



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN



Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie
(Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Andreas Imhoff)

**„Das klinische und radiologische Ergebnis nach Rekonstruktion kombinierter
Supraspinatus-Subscapularis-Sehen-Rupturen“**

Monika Senftl

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

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

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

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Andreas Imhoff
2. apl. Prof. Dr. Klaus Wörtler

Die Dissertation wurde am 19.05.2014 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 21.01.2015 angenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	4
1 EINLEITUNG	6
2 MATERIAL UND METHODEN	11
2.1 PATIENTEN.....	11
2.2 ANAMNESE UND KLINISCHE UNTERSUCHUNG.....	12
2.3 KLINISCHE SCORES.....	15
2.3.1 <i>CONSTANT-SCORE</i>	15
2.3.2 <i>TEGNER-AKTIVITÄTSINDEX</i>	17
2.3.3 <i>SHORT FORM 36 (SF-36) LEBENSQUALITÄTSFRAGEBOGEN</i>	17
2.3.4 <i>VISUELLE ANALOGSKALA</i>	18
2.3.5 <i>SUBJEKTIVE ZUFRIEDENHEIT</i>	19
2.4 KRAFTMESSPLATTE.....	19
2.4.1 <i>TECHNISCHER AUFBAU</i>	19
2.4.2 <i>MESSUNG</i>	20
2.5 MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE.....	23
2.5.1 <i>UNTERSUCHUNGSTECHNIK</i>	23
2.5.2 <i>AUSWERTUNGSKRITERIEN</i>	24
2.6 KONTROLLGRUPPE.....	30
2.6.1 <i>DRUCKMESSPLATTE</i>	30
2.6.2 <i>MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE</i>	31
2.7 STATISTISCHE VERFAHREN.....	32
3 ERGEBNISSE	33
3.1 KLINISCHE ERGEBNISSE.....	33
3.1.1 <i>ANAMNESE UND UNTERSUCHUNG</i>	33
3.1.2 <i>SCORES</i>	38
3.1.2.1 <i>CONSTANT-SCORE</i>	38
3.1.2.2 <i>TEGNER-AKTIVITÄTSINDEX</i>	42
3.1.2.3 <i>SHORT FORM 36</i>	42
3.1.2.4 <i>VISUELLE ANALOGSKALA</i>	45

3.1.2.5	<i>SUBJEKTIVE ZUFRIEDENHEIT</i>	45
3.2	ERGEBNISSE DER DRUCKMESSPLATTE.....	46
3.3	ERGEBNISSE DER MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE	53
3.3.1	<i>SEHNENINTEGRITÄT UND MUSKELBESCHAFFENHEIT</i>	53
3.3.2	<i>MUSKELFLÄCHE</i>	55
3.3.3	<i>DURCHMESSER M. SUBSCAPULARIS</i>	57
3.4	ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE.....	60
4	DISKUSSION	62
4.1	ROTATORENMANSCHETTENRUPTUREN	62
4.2	KLINIK.....	62
4.2.1	<i>AKZEPTANZ DER OPERATION</i>	62
4.2.2	<i>VISUELLE ANALOGSKALA</i>	63
4.2.3	<i>BEWEGUNGSUMFANG</i>	64
4.2.4	<i>CONSTANT-SCORE</i>	64
4.3	KRAFTMESSUNG	66
4.4	MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE.....	68
4.4.1	<i>ALLGEMEIN</i>	68
4.4.2	<i>ATROPHIE UND FETTIGE DEGENERATION</i>	69
4.4.3	<i>MUSKELFLÄCHE</i>	73
4.4.4	<i>DURCHMESSER DES M. SUBSCAPULARIS</i>	74
5	ZUSAMMENFASSUNG	77
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	80
	TABELLENVERZEICHNIS	82
	LITERATURVERZEICHNIS	84
	DANKSAGUNG	97

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADU	Analog-Digital-Umsetzer
a.p.	anterior-posterior
AR	Außenrotation
Art.	Articulatio
BWS	Brustwirbelsäule
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
cm ³	Kubikcentimeter
CT	Computertomographie
DMP	Druckmessplatte
et al.	lat.: et alia (und andere)
Hz	Hertz
ISP	Musculus infraspinatus
IR	Innenrotation
KG	Kontrollgruppe
Lig.	Ligamentum
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	Musculus (Singular)
MCS	mental component scale
Mm.	Musculus (Plural)
mm	Millimeter
mm ²	Quadratmillimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
MR	Magnetresonanz
ms	Millisekunden
N	Newton
N.	Nervus
neg	negativ
Op	Operation

p	p-Wert (Signifikanz)
P0	operierte Seite
P1	kontralaterale, gesunde Seite
PCS	physical component scale
pos	positiv
postop	postoperativ
präop	präoperativ
Proc.	Processus
r	Korrelationskoeffizient
RM	Rotatorenmanschette
s.	siehe
SF-36	Short Form-36
sog.	sogenannt
SSC	Musculus subscapularis
SSP	Musculus supraspinatus
T1	T1-gewichtete Magnetresonanztomographie-Sequenz
T2	T2-gewichtete Magnetresonanztomographie-Sequenz
u.a.	unter anderem
USB	Universal Serial Bus
VAS	visuelle Analogskala

1 EINLEITUNG

Die freie Beweglichkeit und der große Aktionsradius des Armes im Schultergelenk werden eingebußt durch eine hohe Verletzungs- und Luxationsrate. Die Beweglichkeit der *Articulatio humeri* selbst ist das Ergebnis einer differenzierten neuromuskulären Balance, die bei diesem Gelenk aufgrund des auffallenden Größenunterschieds der beiden Gelenkkörper besonders ins Auge sticht. Der große, kugelförmige Humeruskopf artikuliert mit der kleinen, konkaven Gelenkpfanne des Schulterblattes bei einem Missverhältnis der Gelenkflächen von 4:1 [67]. Gewährleistet wird die Stabilität des Glenohumeralgelenkes durch einen relativ weiten und lockeren Kapselbandapparat sowie der muskulären Führung durch die Rotatorenmanschette und deren komplexes Zusammenspiel [7, 21, 25].

Als Rotatorenmanschette wird eine Gruppe von vier Muskeln bezeichnet. Sie setzt sich zusammen aus den konvergierenden Sehnenportionen der *Mm. subscapularis*, *supraspinatus*, *infraspinatus* und *teres minor* [87], welche über dem Humeruskopf ein kuppelförmiges Dach bilden und eine wichtige Rolle bei der aktiven Bewegung des Oberarmes sowie der Zentrierung des Humeruskopfes in der *Cavitas glenoidalis* spielen.

Der *M. supraspinatus* entspringt in der *Fossa supraspinata* und inseriert am kranialen Anteil des *Tuberculum majus* [107, 157]. Das Muskelvolumen beträgt im Mittel $48,8 \text{ cm}^3$ [78] und wirkt vor allem in der Initialphase der Abduktion des Armes sowie bei der Zentrierung des Humeruskopfes in der Pfanne [15].

Der *M. subscapularis* bildet den anterioren Anteil der Rotatorenmanschette. Er entspringt an der ventralen Fläche der *Scapula* und inseriert am *Tuberculum minus* des *Caput humeri*. Seine Sehne besteht aus vier bis sechs Bündeln, wobei der kaudale Anteil meist bis zur Insertion am *Tuberculum minus* muskulär bleibt [124]. Teile der kräftigen Sehne überqueren den *Sulcus bicipitalis* und inserieren gemeinsam mit der Sehne des *M. supraspinatus* am *Tuberculum majus* [23]. Mit einem Volumen von $153,6 \text{ cm}^3$ [78] ist der *M. subscapularis* der kräftigste Muskel der Rotatorenmanschette und trägt zu 53 % der Gesamtkraft bei [80]. Er fungiert als stärkster Innenrotator des Humerus [15] und kann in maximaler Innenrotation bis zu 250 N aufbringen [18]. Im Weiteren ist er an der Stabilisierung der Bizepssehne im *Sulcus intertubercularis* beteiligt.

Zwischen den Sehnen des *M. subscapularis* und des *M. supraspinatus* liegt das „Rotatorenintervall“. Mit diesem Begriff wird die verhältnismäßig dünne Zone der ventralen Gelenkkapsel bezeichnet, die sich zwischen Oberrand der *Subscapularissehne*

und Vorderrand der Supraspinatussehne befindet und vom Lig. coracohumerale und Lig. glenohumerale superius gebildet wird [57, 124].

Eine muskuläre Einheit bildet der M. infraspinatus zusammen mit dem M. teres minor. Der M. infraspinatus entspringt breitflächig kaudal der Spina scapulae [107]. Er inseriert unterhalb des M. supraspinatus am Tuberculum majus und mit seinem Muskelvolumen von 125,1 cm³ [78] rotiert er den Oberarm nach außen [15]. Vom Margo lateralis scapulae entspringt der M. teres minor. Dieser verläuft kaudal und parallel zum M. infraspinatus und ist häufig mit ihm verwachsen. Seine platt geformte Sehne inseriert dorsal an der Gelenkkapsel und der unteren Facette des Tuberculum majus. Der M. teres minor ist verantwortlich für Adduktion und Außenrotation des Oberarmes.

Das funktionelle Resultat der Muskelgruppe ist eine dynamische Stabilität mit gleichzeitig außerordentlich hoher Beweglichkeit in mehreren Ebenen und der Rotationsachse.

Schulerschmerzen sind allerdings für 16 % aller muskuloskelettalen Beschwerden verantwortlich [20, 154]. Wobei Verletzungen im Speziellen der Rotatorenmanschette, eine der häufigsten Konsultationsgründe in der Orthopädie darstellen [10, 27, 143]. Neueren Untersuchungen zufolge sind etwa 20,7 % der Bevölkerung von Rotatorenmanschettenläsionen betroffen, wovon sich ein Großteil durchaus asymptomatisch präsentieren kann [171].

Mit fortgeschrittenem Lebensalter steigt die Prävalenz der chronischen Rotatorenmanschettenbeschwerden [13, 20, 25, 103, 115, 170, 171, 176]. Während nur 13 % der 50-Jährigen von Läsionen der Rotatorenmanschette betroffen sind, steigt der Anteil bei über 70-Jährigen auf mehr als 31 % an [84, 147, 171]. Selten kommt es zu rein traumatischen Sehnenrupturen. Häufiger sind Rupturen infolge von Mikrotraumen und degenerativen Veränderungen des Muskel-Sehnen-Gewebes [63]. Degenerative Veränderungen des Acromions können zusätzlich eine chronische Reizung des Sehngleitgewebes hervorrufen, wodurch es dann bereits bei Alltagsbewegungen zu Rupturen der Sehnen kommen kann. Oft erleiden die Patienten bei degenerativer Schadenslage ein akutes Trauma, welches den bereits vorliegenden Defekt vergrößert und als klinisches Bild manifest werden lässt [56].

Am häufigsten ist mit über 86 % der Rotatorenmanschettenläsionen [14, 39] die Supraspinatussehne betroffen [24, 25, 62, 115], wobei sich ein Defekt dieser hin zu einer Komplettruptur in die übrigen Muskelgruppen ausdehnen kann [123]. Die Ätiologie der traumatischen Ruptur ist meist ein Sturz auf den gestreckten Arm. Wohingegen eine degenerative Ruptur durch Störung der Durchblutung infolge der subacromialen Enge

bedingt wird. Hierbei kommt es zunächst zu Ödemen mit Mikroblutungen, gefolgt von fibrotischen Degenerationen und Teileinrissen bis hin zu totalen Rupturen [97, 113].

Eine Verletzung des M. subscapularis tritt in lediglich 4-8 % der Fälle auf [29, 34] und kann durch Hyperextensions- bzw. Abduktions-Außenrotationstrauma sowie bei vorderer Instabilität der Schulter erfolgen. Ebenso kann eine Subscapularisruptur Ergebnis des coracoidalen Impingements sein. Hierbei klagen die Patienten über Schmerzen im anterioren Bereich der Schulter ebenso wie über eine Schwäche des Armes bei Tätigkeiten oberhalb der Schulterebene [45, 151].

Ohne Therapie bleibt die Schulterfunktion langfristig beeinträchtigt [49]. Die betroffene Muskulatur wird zunehmend atrophisch und die rupturierten Sehnenanteile retrahieren [26, 35, 37, 93, 96, 110, 121]. Als Langzeitfolge kann sich durch die fehlende Stabilisierung eine „Cuff-Arthropathie“ mit Arthrose des Glenohumeralgelenkes ausbilden [114]. Bei zunehmend hohem Funktionsanspruch einer auch im hohen Alter sportlich aktiven Gesellschaft [21] rückt das operative Vorgehen in den Mittelpunkt der therapeutischen Optionen [30].

Obwohl die Rekonstruktion ausgeprägter Rotatorenmanschettenrupturen einer der häufigsten Weichteiloperationen ist, variiert ihr Erfolg dennoch [55, 118, 138]. Bei erfolgreicher Rekonstruktion entstehen langfristig gute bis exzellente Resultate [34, 36, 44, 124]. Jedoch treten ebenso Rerupturen der Sehne mit zusätzlicher Muskeldegeneration bei klinisch nicht zufriedenstellenden Ergebnissen auf [43]. Nachgewiesen ist, dass sich die Rerupturrate mit dem sagittalen Ausmaß der Ruptur und der Anzahl der betroffenen Sehnen vergrößert [116]. Bei einer präoperativen Zweisegmentruptur übersteigt diese meist 50 % [10, 43, 66, 88, 102]. Auf Grund dieser hohen Rerupturrate (bis zu 70 %) befürworten einige Autoren eine konservative Therapie [40, 43, 62, 74, 176]. Des Weiteren stellen Atrophien und fettige Involution der Rotatorenmanschettenmuskulatur im Rahmen von Sehnenrupturen nicht nur präoperativ ein wesentliches Problem dar, sondern werden auch nach operativen Eingriffen mit Ablösung der Sehnen beobachtet [99, 125]. Demgegenüber stehen Untersuchungen in denen beobachtet wurde, dass die Atrophie des Muskels bei erfolgreicher Rekonstruktion rückläufig war oder zumindest stagnierte [116]. Zusätzlich hat sich herausgestellt, dass im Falle einer Reruptur diese stets von geringerer Ausdehnung war als die Initialruptur [35, 43, 102].

Des Weiteren wurde in einigen Studien berichtet, dass viele Patienten trotz Reruptur das postoperative Ergebnis als exzellent empfanden [35, 43, 102, 115]. Dies spiegelte sich insbesondere wider in reduziertem Schmerzempfinden, in einer verbesserten Funktionalität der Schulter einhergehend mit erhöhter Beweglichkeit speziell im Bereich

der Innenrotation. Dies ermöglichte eine bessere Ausübung der Alltagstätigkeiten und 95 % der Patienten konnten wieder in ihren Beruf zurückkehren [7, 9, 35, 44, 52, 89].

Da Stabilität und Funktionalität der Schulter operativ wiederhergestellt werden konnten, postulierten Gerber et al., dass ein Bestreben nach alleiniger konservativer Therapie mittels Physiotherapie, Kortikoidinjektionen und Schmerzmedikation nicht gerechtfertigt sei [44]. Einig sind sich die Autoren darüber, dass das Vorliegen einer höhergradigen, fettigen Degeneration des Muskels, sowie einem präoperativen Zeitraum von länger als 6 Monaten, die Rerupturrate drastisch erhöht und das Outcome der Patienten verschlechtert [34, 44, 89, 102].

Nur in 2 % der Rotatorenmanschettenläsionen treten Verletzungen der Subscapularissehne in Kombination mit der Supraspinatussehne auf [178]. Aus diesem Grunde existieren über Läsionen des antero-superioren Anteils der Rotatorenmanschette im Gegensatz zu postero-superioren Rupturen nur wenige Arbeiten [34, 166].

Insgesamt gibt es kaum Berichte über eine exakte Kraftquantifizierung der einzelnen Komponenten der Rotatorenmanschette, insbesondere der Mm. supraspinatus und subscapularis nach operativer Rekonstruktion. Im physiologischen Zustand beteiligt sich der M. subscapularis mit 53 % und der M. supraspinatus mit 14 % an der Gesamtkraft der Manschette [80]. Rokito und Mitarbeiter verglichen die Kraft beider Schultern nach Rekonstruktion und berichteten, dass postoperativ 79 % der Kraft in Abduktion und 90 % der Kraft in tiefer Außenrotation im direkten Vergleich zur kontralateralen, gesunden Seite erreicht werden konnten [130]. Kim et al. war die erste Arbeitsgruppe, die absolute Kraftwerte veröffentlichte [84]. Nur wenige Autoren berichteten bisher über eine quantitativ, reproduzierbare Flächenmessung des Muskelbauches im Magnetresonanztomogramm [35, 46, 174]. Juul-Kristensen et al. [78] errechneten bei 20 gesunden Frauen im Magnetresonanztomogramm die Volumina der Mm. supraspinatus, subscapularis und infraspinatus der dominanten Schulter anhand der Querschnittsflächen und Längenmaße der Muskeln. Scheibel und Kollegen definierten als Vergleichsmaß die Durchmesser (vertikal, kranial-transversal und kaudal-transversal) des M. subscapularis anhand von magnetresonanztomographischen sagittalen Schichtbildern [135].

Ziel der hier vorliegenden, retrospektiven Studie war, das klinische und radiologische Ergebnis nach Rekonstruktion kombinierter M. supraspinatus- und M. subscapularis-Rupturen zu ermitteln. Im Mittelpunkt des Forschungsinteresses stand dabei die Objektivierung der Muskelkraft der einzelnen Rotatorenmanschetten-Komponenten in ihren funktionellen Positionen als auch die Quantifizierung der Muskelfläche. Diese Parameter wurden unter Verwendung klinischer Scores, einer Druckmessplatte sowie

magnetresonanztomographischer Schnittbilder analysiert. Es wurde postuliert, dass trotz nachweisbarer radiologischer Pathologika und funktioneller Beeinträchtigung, insbesondere in Hinblick auf die Kraftentwicklung, zufriedenstellende klinische Ergebnisse erreicht werden.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 PATIENTEN

Im Zeitraum von Oktober 2000 bis einschließlich Juli 2006 wurden insgesamt 52 Patienten mit kombinierter M. supraspinatus- und M. subscapularis-Ruptur an der Sportorthopädischen Klinik des Universitätsklinikums rechts der Isar der Technischen Universität München operativ therapiert. Davon konnten 48 Patienten, darunter 11 Frauen und 37 Männer, in die Studie eingeschlossen werden. Ausschlusskriterium der Studie waren zusätzliche Läsionen des M. infraspinatus als auch der kontralateralen Schulter; ebenso Voroperationen der ipsilateralen Schulter, ein stattgehabtes Trauma, rheumatologische oder autoimmunologische Erkrankungen sowie aktuelle Schmerzzustände der kontralateralen Schulter.

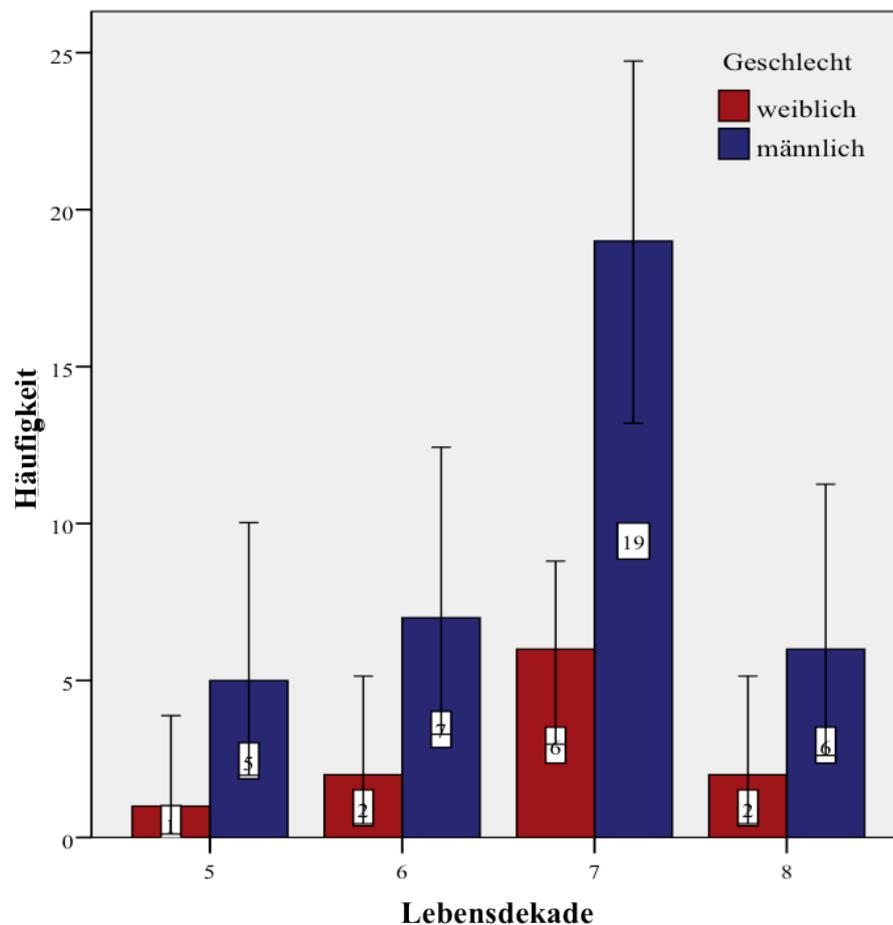


Abbildung 1: Lebensdekade des Patientenkollektivs zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

Die postoperativ durchgeführte Untersuchung umfasste eine ausführliche Anamnese, sowie eine klinische Untersuchung beider Schultern, die sowohl aktive und passive Beweglichkeit als auch spezielle Rotatorenmanschettentests beinhaltete. Des Weiteren wurden verschiedene klinische Scores erhoben und die Kraft der einzelnen Komponenten

der Rotatorenmanschette gemessen. Hierzu wurde eine Druckmessplatte und ein Isobex-Muskelkraft-Analysegerät (Firma Pimatron AG[®], Bern, Schweiz) verwendet. All diese Untersuchungen wurden von demselben Untersucher durchgeführt.

Zusätzlich wurden standardisierte, magnetresonanztomographische Bilder der operierten Schulter angefertigt. Anhand dieser konnte die Sehnen- sowie die Muskelqualität evaluiert, die Muskelfläche der Mm. supraspinatus, subscapularis und infraspinatus als auch der vertikale, sowie der kranial und kaudal transversale Durchmesser des M. subscapularis bestimmt werden.

2.2 ANAMNESE UND KLINISCHE UNTERSUCHUNG

Anhand anamnestischer Angaben wurden die Ursache der Rotatorenmanschettenruptur, die Seite der Läsion und die Dauer der präoperativen Periode erfasst. Ebenso wurden Händigkeit, Schmerzsymptomatik sowie subjektive Zufriedenheit des Patienten nach der Operation erhoben.

Neben einer strukturierten Anamneseerhebung stellte die klinische Untersuchung einen wichtigen Bestandteil dar. Diese stützte sich auf Inspektion, Palpation, Beweglichkeitsprüfung, Provokations- sowie Funktionstests [7]. Die Analyse der aktiven und passiven Beweglichkeit der Schulter wurde im Seitenvergleich durchgeführt und die Bewegungsumfänge entsprechend der Neutral-Null-Methode für Abduktion/Adduktion, Flexion/Extension und Innen-/Außenrotation dokumentiert [28]. Die physiologische Beweglichkeit, einschließlich der Bewegung im Schultergürtel beträgt für die Abduktion/Adduktion 170-0-40°, für Flexion/Extension 170-0-40° und für die Innen-/Außenrotation in Adduktion 95-0-60° [128]. Die Innenrotation wurde durch die mit dem Daumen erreichbare anatomische Struktur an Gesäß oder Rücken (z.B. LWK 1) dokumentiert [17].

Der M. supraspinatus hat die sogenannte Starterfunktion für die Seitführung von 0-30°. Die Funktion dieses Muskels lässt sich durch den 0°-Abduktionstest (Starter-Test) beurteilen. Dazu wurde die aktive Abduktionsbewegung des seitlich an den Körper des Patienten angelegten Armes gegen Widerstand zwischen 0° und 30° getestet. Bei einer Ruptur des M. supraspinatus kann es zu einer Pseudoparalyse des Armes mit vollständiger Aufhebung der aktiven Abduktionsfähigkeit kommen. Erfolgt die Starterfunktion des M. supraspinatus unter Schmerzen oder deutlicher Kraftminderung im Vergleich zur Gegenseite weist dies auf eine Läsion der Sehne hin [16]. Folglich wurde eine verminderte Kraftentwicklung als auch das Auftreten von Schmerzen bei Durchführung dieser Bewegung als positives Testergebnis gewertet.

Zur Abschätzung der Funktion des M. subscapularis wurden der Lift-off- sowie der Belly-Press-Test durchgeführt [134]. Beim Lift-off-Test wird der Arm des Patienten maximal innenrotiert zum Schürzengriff auf den Rücken in Höhe der Lumbalregion geführt. In dieser Position wird der Patient aufgefordert aktiv die Hand vom Körper abzuheben. Bei intaktem M. subscapularis kann der Patient den innenrotierten Arm vom Rücken entfernen und ihn dort positioniert halten. Der Lift-off-Test nach Gerber gilt als positiv, wenn der Patient nicht in der Lage ist ohne Streckung im Ellenbogengelenk den Arm vom Rücken abzuheben oder unfähig ist, den passiv in die Position gebrachten Arm aktiv zu halten und folglich der Arm wieder zurück auf den Rücken sinkt [44, 45, 137]. Die Sensitivität des Lift-off-Tests beträgt 62 % bei einer Spezifität von 100 % [66]. Zur Durchführung des Belly-Press-Tests drückt der Patient den im Ellenbogengelenk gebeugten Unterarm bei geradem Handgelenk mit ganzer Kraft gegen den Bauch und versucht dabei, den Ellenbogen nach vorne zu bewegen. Gelingt die Ventralisierung des Ellbogens nicht, kommt es zum Abknicken des Handgelenkes und die Schulter wird angehoben (positives „Napoleonzeichen“) [16, 44]. Bei einer Flexionsstellung im Handgelenk von 90° (positives Ergebnis) muss von einer kompletten Ruptur der M. subscapularis-Sehne ausgegangen werden. Findet sich eine Flexionsstellung von 30-60° (intermediäres Ergebnis), liegt häufig eine Läsion der oberen 2/3 der M. subscapularis-Sehne vor. Ein negatives Testergebnis schließt jedoch eine Läsion der M. subscapularis-Sehne nicht vollständig aus [21].

Aus den Patientenakten wurden der Bewegungsumfang der Schulter sowie die Ergebnisse der spezifischen Rotatorenmanschettentests der präoperativen klinischen Untersuchung (mit der Graduierung 0 = negativ, 1 = positiv) entnommen.

Anhand des Operationsberichtes wurde die präoperativ vorliegende Ruptur detailliert klassifiziert. Die Klassifikation der Rupturgröße des M. supraspinatus erfolgte nach Snyder [141] und des M. subscapularis nach Fox und Romeo [58]. Diese Klassifikationen beziehen Lokalisation und Ausdehnung des Rotatorenmanschettenschadens mit ein.

Klassifikation von Rotatorenmanschetten-Schäden (nach Snyder)

Lokalisation

- A: gelenkseitig
- B: bursaseitig
- C: komplette Ruptur

Ausdehnung partieller Rotatorenmanschettenschäden

- 0: Normalbefund
- 1: lokale Synovitis oder Bursitis, oberflächliche, punktförmige Auffaserungen <1 cm
- 2: oberflächlicher Substanzdefekt <2 cm
- 3: tieferer Substanzdefekt mit Fragmentation <3 cm
- 4: tief greifender Substanzdefekt mit Fragmentation und Lappenriss >3 cm, meist ausgedehnt über mehr als eine Rotatorenmanschettensehne

Ausdehnung kompletter Rotatorenmanschettenschäden

- C 1: kleine komplette Läsion
- C 2: mäßig große komplette Läsion ohne Retraktion im Bereich nur einer Rotatorenmanschettensehne (<2 cm)
- C 3: ausgedehnte komplette Läsion im Bereich einer Rotatorenmanschettensehne mit nur geringer Retraktion (3-4 cm)
- C 4: Massenruptur im Bereich von zwei oder mehr Rotatorenmanschette Sehnen mit Retraktion und Degeneration, oft „L“-förmig, direkte Naht nicht möglich

Abbildung 2: Klassifikation von Rotatorenmanschetten-Läsionen (nach Snyder) [141]

Die Klassifikation der Ruptur des M. subscapularis erfolgte nach Fox und Romeo [58].

Klassifikation von M. subscapularis-Sehnen-Rupturen (nach Fox und Romeo)

- Typ I partielle, gelenkseitige Ruptur
- Typ II Ruptur obere 25 %
- Typ III Ruptur obere 50 %
- Typ IV komplette Ruptur (> 50 % des kraniokaudalen Durchmessers)

Abbildung 3: Klassifikation von M. subscapularis-Schäden (nach Fox und Romeo) [58]

Mit Hilfe des Operationsberichts wurde neben der exakten Klassifikation der Rupturart außerdem die Anzahl der platzierten Fadenanker sowie das Operationsverfahren (offen oder arthroskopisch) dokumentiert.

Anhand magnetresonanztomographischer Schnittbilder wurde die Sehnenretraktion eingestuft. Nach Patte [58, 120] kann die Ausdehnung der Sehnenretraktion in drei Stadien eingeteilt werden: Stadium 1 liegt vor, wenn sich der Sehnenstumpf in unmittelbarer Nähe des knöchernen Ansatzes am Tuberculum majus befindet und Stadium 2, wenn sich der Sehnenstumpf auf der Höhe des Apex humeri befindet. Stadium 3 entspricht einer Position des Sehnenstumpfes auf Höhe der Cavitas glenoidalis oder weiter medial.

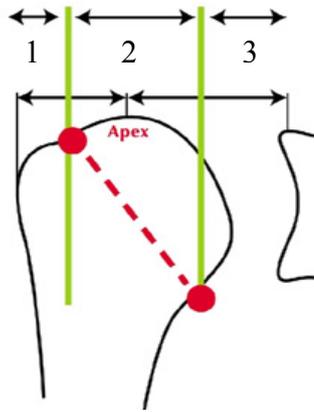


Abbildung 4: Klassifikation der Sehnenretraktion nach Patte [22]

Eine eventuell bestehende Omarthrose wurde im Röntgenbild beurteilt und nach Samilson klassifiziert. Samilson und Prieto unterteilen die Arthrose des Glenohumeralgelenks in drei Schweregrade [133]. Die Einteilung erfolgt im Nativ-Röntgen a.p. durch die Größenbestimmung humeraler und glenoidaler Osteophyten in mild (Grad I: kaudaler Osteophyt 0-3 mm), moderat (Grad II: 3-6 mm) und massiv (Grad III: > 6 mm).

2.3 KLINISCHE SCORES

2.3.1 CONSTANT-SCORE

Neben der klinischen Testung der Rotatorenmanschette wurde zur Erfassung und Beurteilung der Gesamtfunktion der Schulter der Schulterevaluationsbogen nach Constant und Murley verwendet [28, 58, 59] und die absoluten als auch die alters- und geschlechtsadaptierten Werte bestimmt. Der Constant-Score ist eine anerkannte Methode und von der Europäischen Gesellschaft für Schulter- und Ellbogenchirurgie (SECEC/ESSE) als Standardinstrument empfohlen [47, 163, 173].

Der Constant-Score berücksichtigt neben den subjektiven Angaben zu Schmerz und Alltagstätigkeiten ebenso die objektiven Komponenten wie Beweglichkeit und Abduktionskraft. Der Test erreicht eine maximale Punktezahl von 100 Punkten, summiert aus den Teilbereichen Schmerz (15 Punkte), Tätigkeiten des täglichen Lebens (20 Punkte), Bewegungsumfang (40 Punkte) und Kraft (25 Punkte) [79]. Die Kraftmessung wurde als isometrische Kraft in 90° Abduktion und 30° Horizontalflexion (= Position nach Jobe [75]) sowie in hoher Außenrotation (90° Abduktion) mit einem Isobex-Muskelkraft-Analysegerät (Firma Pimatron AG[®], Bern, Schweiz) durchgeführt. Dieses Gerät wurde entwickelt, um Muskelkräfte zu messen. Die Kraft wird während der Messperiode, mit einer Dauer von fünf Sekunden, zehn Mal pro Sekunde in Kilogramm gemessen, integriert und auf diese Weise der Durchschnitt gebildet [44].

CONSTANT-SCORE

Schmerz: der am stärksten verspürte im Verlauf des täglichen Lebens

	kein	mild					mäßig					starke Schmerzen				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Punkte	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Alltagsaktivitäten:

Arbeitsfähigkeit: 0 – 1 – 2 – 3 – 4

Sport- und Freizeitfähigkeit: 0 – 1 – 2 – 3 – 4

Schlaffähigkeit: 0 – 1 – 2

Handreichweite: Verrichtung von Arbeiten schmerzlos möglich bis...

	Gürtellinie	Xiphoid	Hals	Scheitel	über den Kopf hinaus
	2	4	6	8	10

Motilität: schmerzfrei und aktiv!

	<u>Flexion</u>	<u>Abduktion</u>
0-30°	0	0
31-60°	2	2
61-90°	4	4
91-120°	6	6
121-150°	8	8
151-180°	10	10

Außenrotation:

Hand auf dem Scheitel, Ellenbogen nach vorne	2
Hand auf dem Scheitel, Ellenbogen zur Seite	2
Hand am Hinterkopf, Ellenbogen nach vorne	2
Hand am Hinterkopf, Ellenbogen zur Seite	2
Uneingeschränkte Überkopfbeweglichkeit	2

Innenrotation:

Handrücken auf Außenseite des Oberschenkels	0
Handrücken auf Gesäß	2
Handrücken auf lumbosacralem Übergang	4
Handrücken auf Gürtellinie (3. LWK)	6
Handrücken auf 12. Rückenwirbel	8
Handrücken zwischen den Schulterblättern	10

Kraft: Messwert: _____ kg

90° Abduktion in der Scapularebene, Hand proniert, Abduktion gegen Widerstand (Isobex)

1 P – 0,45 kg	6 P – 2,70 kg	11 P – 4,95 kg	16 P – 7,20 kg	21 P – 9,45 kg
2 P – 0,90 kg	7 P – 3,15 kg	12 P – 5,40 kg	17 P – 7,65 kg	22 P – 9,90 kg
3 P – 1,35 kg	8 P – 3,60 kg	13 P – 5,85 kg	18 P – 8,10 kg	23 P – 10,35 kg
4 P – 1,80 kg	9 P – 4,05 kg	14 P – 6,30 kg	19 P – 8,55 kg	24 P – 10,80 kg
5 P – 2,25 kg	10 P – 4,5 kg	15 P – 6,75 kg	20 P – 9,00 kg	25 P – 11,25 kg

Abbildung 5: Constant-Score [79]

2.3.2 TEGNER-AKTIVITÄTSINDEX

Mit dem Tegner-Aktivitätsindex wurden berufliche Belastung und sportliche Aktivität der Patienten erfasst und in 10 Gruppen eingeteilt. Tegner [146] entwickelte diesen Score, bestehend aus Angaben des Patienten zur Aktivität und Sportfähigkeit, als sinnvolle Ergänzung zu subjektiven Aussagen und funktionellen Untersuchungen nach operativer Therapie. Die Gruppe Null ist gleichbedeutend mit Arbeitsunfähigkeit oder Berentung, gefolgt von sitzender Berufstätigkeit (Gruppe 1). In den weiteren Gruppen kommen darüber hinaus verschiedene Sportarten hinzu, die mit steigender Gruppenzahl eine Zunahme der Belastung darstellen, bis hin zu Gruppe 10: „Leistungssport: national und international“. Die Einteilung in die Aktivitätsgruppen wurde mit Hilfe eines Fragebogens selbstständig durch den Patienten vorgenommen.

2.3.3 SHORT FORM-36 (SF-36) LEBENSQUALITÄTSFRAGEBOGEN

Lebensqualität besitzt als Erfolgskriterium therapeutischer Maßnahmen eine hohe Relevanz. Zur Evaluation des Gesundheitszustandes wurde die deutsche Übersetzung des Short Form-36 (SF-36) Lebensqualitätsfragebogen verwendet, dessen Schwerpunkt in der Selbsteinschätzung von psychischen, körperlichen und sozialen Aspekten der Lebensqualität liegt.

Der SF-36 wurde 1992 von Dr. John Ware et al. im Rahmen der Medical Outcomes Study (MOS) entwickelt und 1996 nochmals überarbeitet [100, 165] sowie eine deutsche Version erstellt. Er teilt sich in physische (SF-36-PCS) und psychische (SF-36-MCS) Subskalen auf und die Prozentwerte werden mit der deutschen Normpopulation verglichen, welche auf die 50. Perzentile normiert ist. Der Fragebogen ist ein vielseitiges, krankheitsübergreifendes Messinstrument zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von Patienten und ermöglicht es nachzuvollziehen, wie sich die Patienten fühlen und wie sie im Alltag zurechtkommen. Der Bogen benutzt die am häufigsten verwendeten Konzepte zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität unter anderem jene, die am stärksten durch Krankheit und Behandlung beeinflusst werden. Diese sind zusammengefasst in 8 Subskalen und in einer Einzelfrage verständlich und in dennoch aussagefähiger Kürze formuliert. Der Bogen erfasst die Bereiche körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, körperliche Schmerzen, allgemeine Gesundheitswahrnehmung, Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenerfüllung und psychisches Wohlbefinden [60, 164].

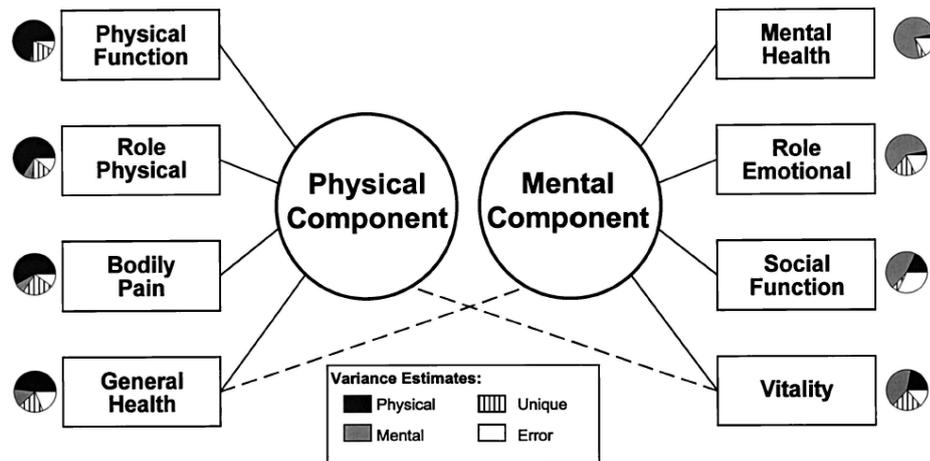


Abbildung 6: 8 Dimensionen des SF-36; konzeptuell in die Bereiche körperliche und psychische Gesundheit eingeordnet [164]

Die Probanden beurteilten die Antwortmöglichkeiten bei einer Vielzahl der Fragenelemente anhand einer Ordinalskala von 1 bis 5. Wobei beispielsweise betreffend den allgemeinen Gesundheitszustand „1“ einem ausgezeichneten und „5“ einem schlechten Befinden entsprach.

2.3.4 VISUELLE ANALOGSKALA

Zur Beurteilung der Schmerzempfindung des Patienten wurde die visuelle Analogskala (VAS) verwendet. Dabei handelt es sich um eine 10 cm lange Linie, deren Endpunkte extreme Zustände darstellen; beispielsweise repräsentiert die 0-cm-Marke absolute Schmerzfreiheit und die 10-cm-Marke einen als unerträglich empfundenen Schmerz (Vernichtungsschmerz). Die subjektive Empfindung der Schmerzen wird durch einen vertikalen Strich auf der nicht skalierten Linie markiert [61].

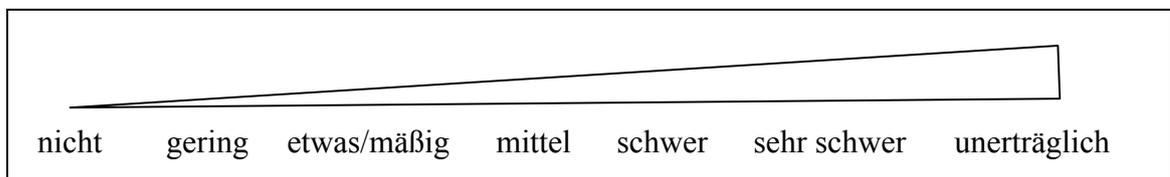


Abbildung 7: Visuelle Analogskala

Die Patienten wurden aufgefordert, den Schmerzzustand präoperativ als auch zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung aufzutragen. Im Rahmen der Auswertung wurde die Distanz vom Nullpunkt bis zur Markierung gemessen.

2.3.5 *SUBJEKTIVE ZUFRIEDENHEIT*

Die subjektive Zufriedenheit des Patienten mit dem Resultat nach der Operation wurde entsprechend einer Ordinalskala mit vier Stufen bewertet. Grad 1 entsprach einem sehr zufriedenen, Grad 2 einem zufriedenen, Grad 3 einem bedingt zufriedenen und Grad 4 einem unzufriedenen Patienten.

2.4 KRAFTMESSPLATTE

2.4.1 *TECHNISCHER AUFBAU*

Mit Hilfe einer, von der Abteilung für Biomechanik am Klinikum rechts der Isar in München entwickelten, validierten Druckmessplatte [5] wurde die Muskelkraft der Rotatorenmanschette objektiv und präzise quantifiziert (Abbildung 8). Die hierzu verwendete Druckmessplatte (DMP) bestand aus einer Wägezelle (HBM Messtechnik[®], Darmstadt, Deutschland) auf Basis eines Dehnungsmessstreifen (Vollbrücke), der temperatur- und kriechkompensiert ist. Wägezellen enthalten einen Federkörper, dessen Geometrie sich unter Einwirkung eines Gewichts bzw. externer Kräfte (Druck der Patienten) elastisch verformt, vergleichbar mit einem Kraftsensor. Diese Verformung resultiert in einer Änderung des elektrischen Widerstandes und wird somit in ein elektrisches Signal umgewandelt (Abbildung 9). Die Änderung der elektrischen Spannung ist proportional zur einwirkenden Kraft und kann mit einer Genauigkeit von 0,2 % für Gewichte ab 0,2 N bis hin zu über 500 N vom Dehnungsmessstreifen erfasst werden.

Die Wägezelle wurde zwischen zwei Duraluminiumplatten eingepasst und besitzt die Eigenschaft auch bei dezentralem Kraftangriff die Fehlerquote gering zu halten.

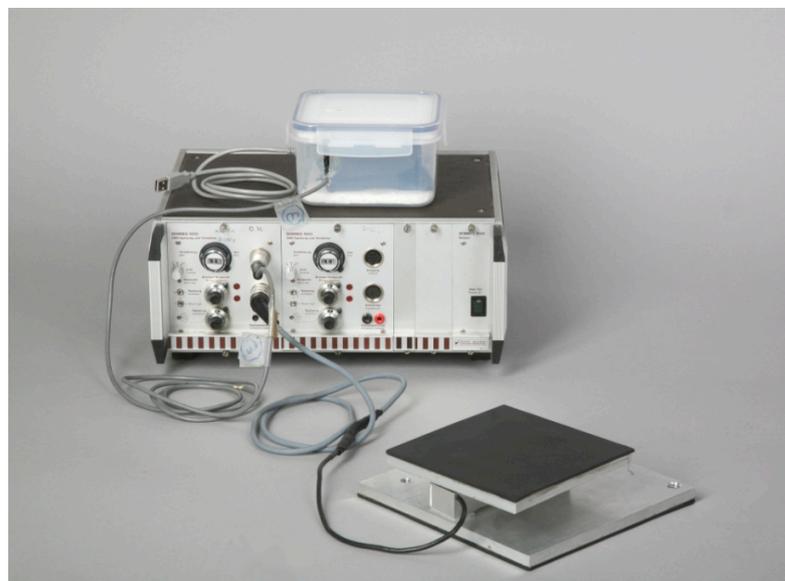


Abbildung 8: Druckmessplatte

Die Aufzeichnung der Signaldaten erfolgte mit einem 12 Bit-USB-analog-digital-Wandler (ADU, Velleman[®], Gavere, Belgien) mit der Samplingrate 100 Hz. Der ADU quantisierte ein kontinuierliches Spannungssignal sowohl in Zeit als auch in Amplitude. Jedes Signal stellte sich dadurch nach Umsetzung in einem Amplituden-Zeit-Diagramm treppenförmig dar.

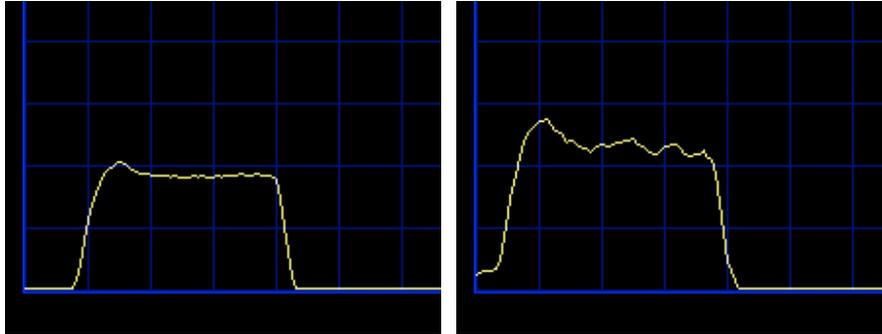


Abbildung 9: Druckkurven bei Messung der Muskelkraft mittels DMP

Die Verstärkung des Signals erfolgte über einen zwischengeschalteten Messverstärker (Semmeg 3000, Burster[®], Gernsbach, Deutschland). Dieser bestand aus mehreren Verstärker- und Filterschaltungen, die das Signal verarbeiteten sowie einem Messumformer zur Normierung des Messsignals. Die analogen Signale des Dehnungsmessstreifens wurden mit Messverstärkern aufbereitet und am Computer ausgewertet.

Die Kalibrierung der Druckmessplatte wurde mittels einer Prüfmaschine durchgeführt (Zwick 1120; Zwick GmbH, Ulm, Germany). Durch Umrechnung der Spannungsdifferenz in Newton wurden die erhobenen Daten (Kraft-Zeitverlauf) im Anschluss analysiert. Dies erfolgte mit Hilfe des Programms „Pc-Lab 2000“ der Firma Velleman[®]-Instruments (Version 1.01 für Windows, 2003, Magnova[®] Instruments, Belgien). Hierbei wurden das absolute Maximum und der Durchschnitt der Kraftwerte über 70 % der Maximalkraft berechnet. Als Vergleichswert diente der durchschnittliche Maximalwert der aufgetragenen Kraft der kontralateralen Schulter sowie einer Kontrollgruppe [5].

2.4.2 MESSUNG

Im Fokus der Kraftmessung lagen die beiden rekonstruierten Muskeln mit denen für sie spezifischen Funktionstests (s. Abbildung 10-13). Hierzu wurde den Patienten die Untersuchungsapparatur erläutert als auch mit den Messpositionen vertraut gemacht. Im Anschluss wurden die Patienten aufgefordert, diese Positionen unter Verwendung der, mit Hilfe eines Gurtes größenadjustierbaren, Druckmessplatte einzunehmen, die

entsprechende Stellung zu halten und mit der maximal möglichen Muskelkraft des Armes für 3 Sekunden Druck auf die Platte auszuüben.

Die Kraftmessungen der Rotatorenmanschettenmuskulatur erfolgten analog zu den jeweiligen Funktionstests in nachstehenden Positionen:

- M. supraspinatus in Starter-Position



Abbildung 10: Messung der Muskelkraft des M. supraspinatus in Starter-Position unter Verwendung der DMP

- M. subscapularis in Belly-Press- und Lift-off Position



Abbildung 11: Messung der Muskelkraft des M. subscapularis in Belly-Press-Position unter Verwendung der DMP



Abbildung 12: Messung der Muskelkraft des M. subscapularis in Lift-off-Position unter Verwendung der DMP

➤ M. infraspinatus in tiefer Außenrotation



Abbildung 13: Messung der Muskelkraft des M. infraspinatus in tiefer Außenrotation unter Verwendung der DMP

Die isometrischen Kraftwerte wurden beidseits erfasst und im Anschluss mit der kontralateralen, gesunden Schulter sowie mit einer Kontrollgruppe verglichen [6], um so einen Unterschied der erreichten Kraftwerte nachvollziehen zu können.

2.5 MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE

Die Magnetresonanztomographie ist eine etablierte Methode zur Evaluierung von Rotatorenmanschettenläsionen [1, 7, 33, 69, 87, 122, 179].

2.5.1 UNTERSUCHUNGSTECHNIK

Bei der kernspintomographischen Routineuntersuchung wird der Patient mit adduzierten und ca. 10° außenrotiertem Arm für die gesamte Untersuchung statisch gelagert.

Für die MR-tomographische Diagnostik wurde ein MRT-Gerät mit einem Hauptmagnetfeld von 1,5 Tesla (Magnetom Espree; Siemens® Medical Solutions, Erlangen, Deutschland) verwendet. Alle Patienten wurden postoperativ gemäß einem standardisierten Sequenzprotokoll untersucht. In der koronaren Ebene wurden T1-gewichtete Spin-Echo Sequenzen und T2-gewichtete Turbo-Spin-Echo Sequenzen verwendet. In der sagittalen und axialen Ebene kamen T2-gewichtete Turbo-Spin-Echo Sequenzen zur Anwendung. Die sagittalen Bilder erfassten den Muskelbauch des M. supraspinatus medial und wurden ohne Fettsuppression angefertigt um die Beurteilung der Atrophie und der fettigen Degeneration zu gewährleisten.

Sequenzprotokoll

Parakoronare Ebene:

Spin-Echo SE T1w: TR 510 ms, TE 15 ms

Schichtdicke: 3 mm

in-plane resolution: 0,4×0,3–0,5 mm

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

Länge des Echo-Trains: 7

Schichtdicke: 3 mm

in-plane resolution: 0,4×0,3–0,5 mm

Axiale Ebene:

Fatsuppressed intermediate weighted Turbo-Spin-Echo: TSE TR 2800 ms, TE 45 ms

(Synonym: proton density-weighted (PDw))

Länge des Echo-Trains: 7

Schichtdicke: 3 mm

in-plane resolution: 0,4×0,3–0,5 mm

Parasagittale Ebene:

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

Länge des Echo-Trains: 9

Schichtdicke: 3 mm

in-plane resolution: 0,4×0,3–0,5 mm

Abbildung 14: Sequenzprotokoll

Die MR-tomographische Analyse wurde in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Röntgendiagnostik des Klinikums rechts der Isar vorgenommen. Hierbei wertete ein unabhängiger Radiologe, welcher keinerlei Zusatzinformation hatte, die vorhandene Bildgebung aus.

2.5.2 AUSWERTUNGSKRITERIEN

Die Magnetresonanztomographie wird als diagnostisches Mittel der Wahl bei Pathologien der Rotatorenmanschette und als wichtigstes Instrumentarium in der Evaluation rekonstruierter Rotatorenmanschetten angesehen.

Mit hohem Weichteilkontrast und räumlicher Auflösung können neben Sehnenkontinuitäten insbesondere Muskelverfettung und Atrophien dargestellt werden. Dies ist von besonderer Bedeutung, da die Beschreibung des Verfettungs- und Atrophiegrades zur operativen Indikationsstellung bei Rupturen herangezogen wird [132, 136, 137, 156].



Abbildung 15: Präoperatives, magnetresonanztomographisches, parakoronares Bild einer M. supraspinatus-Ruptur der linken Schulter (protonengewichtet)

Sichere Zeichen einer Rotatorenmanschettenruptur sind Kontinuitätsunterbrechungen mit Flüssigkeitsansammlungen in der Bursa subacromialis. Partielle Rupturen können durch eine Signalerhöhung auf den T2-gewichteten Aufnahmen sichtbar werden. Komplette Rupturen haben je nach Alter unterschiedliche Signalcharakteristika. Bei frischen Rupturen kommt es zu einem Ödem innerhalb des Defektes, welches sich in T1 signalarm und in T2 signalreich darstellt, wohingegen ältere Rupturen sich auf Grund von

Granulationsgewebe in T2 oft signalarm zeigen [122]. Artificielle Signalerhöhungen innerhalb der Rotatorenmanschette können als Teilruptur oder Tendinitis fehlgedeutet werden. Eine Fehlinterpretation bezüglich einer Partialruptur kann ebenso durch das „Magic-angle-Phänomen“ erfolgen. Dabei handelt es sich um ein physikalisches Phänomen das auftritt, wenn Strukturen mit einer hochgeordneten Kollagenstruktur einen Winkel von 40°-60° zu dem Hauptfeld des Magneten einnehmen [158]. Hierbei kommt es zu einer Signalerhöhung von inhomogen angeordneten Sehnenfasern, was vor allem bei Pulssequenzen mit kurzer Echozeit (T1- und Protonengewichtete Spin-Echo-Sequenz) zu beobachten ist [152]. Dieses Phänomen kann von einer Partialruptur durch eine fehlende Signalerhöhung in der zweiten Ebene in T2-Wichtung unterschieden werden. Die Evaluation der postoperativ veränderten Rotatorenmanschette ist gekennzeichnet durch Artefakte und Signalalterationen, die nicht als Zeichen einer Läsion oder Partialläsion gewertet werden können. Im Fall einer nativen MR-Untersuchungstechnik muss beachtet werden, dass auf T2-gewichteten Aufnahmen in fast 80 % der Fälle ein erhöhtes Signal im Subakromialraum zu finden ist [158]. Dieser Befund wurde ebenso bei asymptomatischen Patienten mit erfolgreicher Rekonstruktion erhoben und sollte nicht als pathologisch gewertet werden [158, 175]. Erschwerend für die Beurteilung wirken sich metallinduzierte Artefakte aus [7], welche durch Knochenanker und Titanplättchen zur Sehnenfixation ebenso wie durch Metallabrieb bei transossären Nähten verursacht werden.

Die kernspintomographische Beurteilung der Sehnenintegrität der Mm. supraspinatus, subscapularis und infraspinatus erfolgte anhand axialer und parakoronarer Schnitte T2-gewichteter Aufnahmen. In dieser Sequenz ist die Diskontinuität der Sehnen aufgrund des hohen Signalkontrastes zwischen dem intakten Sehnenrand und dem signalreichen Manschettendefekt besonders gut sichtbar. Entsprechend einer Ordinalskala wurde die Beschaffenheit der Sehne mit drei Stufen bewertet:

Grad 0	Sehne intakt
Grad 1	Sehne ausgedünnt
Grad 2	Komplettruptur

Tabelle 1: Gradeinteilung der Sehnenintegrität

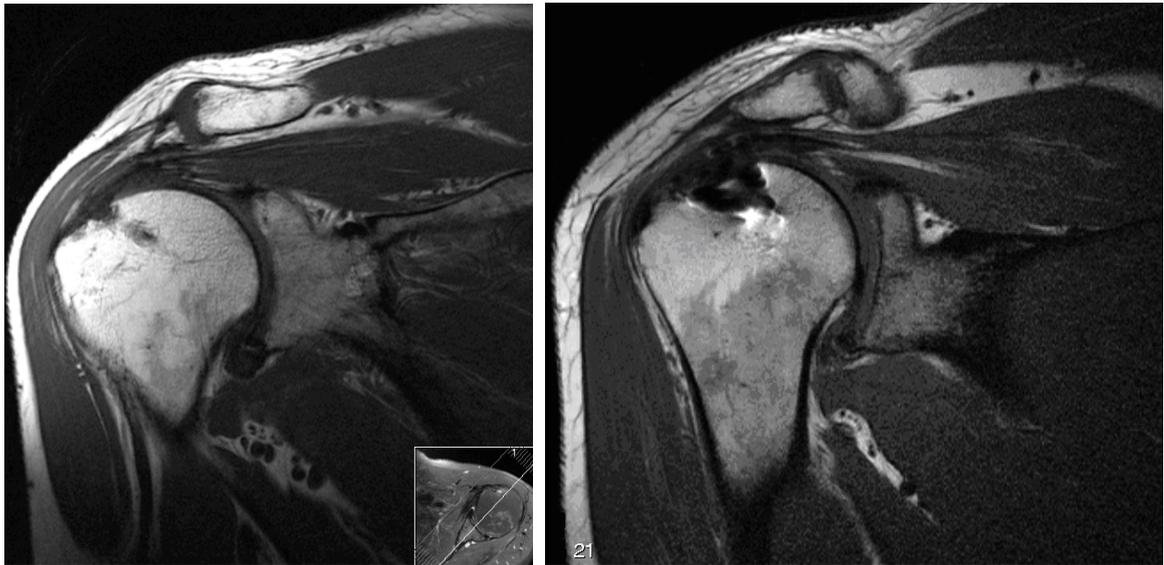


Abbildung 16: T1-gewichtete parakoronare Schnittebene der rechten Schulter nach Rekonstruktion einer anterosuperioren Rotatorenmanschettenläsion; zwei Fadenanker sichtbar in Projektion auf das Tuberculum majus

Die Querschnittsflächenmessung des Muskelbauchs des M. supraspinatus, des M. subscapularis und des M. infraspinatus erfolgte mit parasagittalen Schnittbildern. Um eine exakte Reproduzierbarkeit der Schnittebene zu gewährleisten, wurde die am weitesten lateral gelegene Schnittebene, auf der die Spina scapulae noch in Kontakt mit dem restlichen Scapulakörper war, zur Ermittlung der Fläche herangezogen. Diese transskapuläre Ebene wurde in Anlehnung an die von Thomazeau et al. beschriebene „Y-shaped position“ gewählt [149]. Hierbei verläuft die Schnittebene senkrecht zur Scapula durch die mediale Begrenzung des Processus coracoideus und stellt die Fossa supraspinata dar [137].

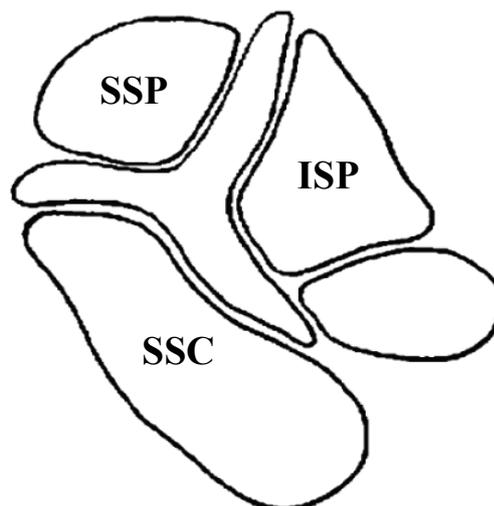


Abbildung 17: Exemplarisch-zeichnerische Darstellung der sog. „Y-shaped position“ der Schulter im MRT: parasagittales Bild [102]



Abbildung 18: T1-gewichtete, parasagittale Schnittebene auf Höhe der Schnittstelle der Spina scapulae mit dem Scapulakörper („Y-shaped position“); Querschnitt der Mm. supraspinatus und subscapularis

Die gleiche Schnittebene wurde für die Messung des vertikalen, sowie des kranialen und kaudalen transversalen Durchmessers des M. subscapularis gewählt. In der parasagittalen Schichtung wurde der maximale, schrägvertikale Durchmesser des gesamten M. subscapularis parallel zur Scapula gemessen. Die Messlinie des kranialen schrägtransversalen Durchmessers verlief senkrecht zum vertikalen Durchmesser und endete an der Stelle, an der die Spina scapulae auf das Scapulablatt trifft. Der kaudale schrägtransversale Durchmesser wurde ebenfalls senkrecht zum vertikalen Durchmesser gemessen und zielte auf den distalsten Punkt des Schulterblattes [137].



durchgezogene Linie: vertikaler Durchmesser
gestrichelte Linie: kranial transversaler Durchmesser
gepunktete Linie: kaudal transversaler Durchmesser

Abbildung 19: Messung des vertikalen sowie kranialen und kaudalen transversalen Durchmessers des M. subscapularis in T1-gewichteten, parasagittalen Schnittbildern

Im Weiteren wurde die fettige Degeneration in den T1-gewichteten koronaren Magnetresonanztomographie-Bildern in Anlehnung an die Kriterien von Goutallier deskriptiv qualitativ beurteilt [36, 51]. In Abhängigkeit von Alter und Größe der Ruptur kann es zur Fettumwandlung von Muskelgewebe kommen [51, 101, 177], was ein wichtiger Prognosefaktor für das Ergebnis einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion ist. Diese fettige Atrophie des Muskelbauches zeigt sich in den T1-gewichteten Aufnahmen als lineare oder fokale Signalerhöhung innerhalb des Muskels [158].

Nach Modifikation der Einteilung von Fuchs [36] lag folgende Graduierung vor:

Grad	Charakteristik	prozentualer Anteil Fett
0	normales Magnetresonanztomographie-Signal des Muskels ohne fettige Steifen	0 %
1	vereinzelt verfettete Areale in der Muskulatur (Auftreten einiger signalreicher Streifen im T1-gewichteten Bild)	< 25 %
2	deutliche fettige Infiltration: mehr Muskel- als Fettmasse	26-49 %
3	deutliche fettige Degeneration: gleich viel Fettmasse wie Muskulatur	50 %
4	ausgeprägte fettige Infiltration: weniger Muskulatur als Fett	> 50 %

Tabelle 2: Graduierung der fettigen Degeneration der Rotatorenmanschettenmuskulatur

Die qualitative Analyse der Atrophie der Mm. supraspinatus, subscapularis und infraspinatus erfolgte anhand von sagittalen Schnittbildern. Insbesondere für den M. supraspinatus wurde in Anlehnung an Zanetti et al. [174] das sogenannte „tangent sign“ verwendet. Dabei wird eine Verbindungslinie zwischen der Basis des Processus coracoideus und der oberen Grenze der Spina scapulae gezogen. Liegt der Muskelbauch unterhalb dieser Linie, gilt das Tangentenzeichen als positiv. Ein positives Tangentenzeichen verbunden mit fettiger Degeneration [168] und Signalerhöhungen im T1-gewichteten Bild gilt als ein schlechter Prognosefaktor bezüglich einer erfolgreichen Rekonstruktion der Rotatorenmanschette [174]. In der vorliegenden Studie wurde das „tangent sign“ modifiziert: Grad 1 (Muskelbauch kranial der Verbindungslinie) entsprach einem nicht oder nur gering atrophierten Muskel. Grad 2 (Muskelbauch auf Höhe der Verbindungslinie) repräsentierte eine mittelgradige Atrophie; Grad 3 (Muskelbauch kaudal der Verbindungslinie) entsprach einer starken Atrophie.

2.6 KONTROLLGRUPPE

2.6.1 DRUCKMESSPLATTE

Als Vergleichswert der Kraftmessung diente zum einen die kontralaterale, gesunde Schulter der Patienten. Zum anderen wurde die Kraftmessung ebenso an einer nach Alter, Geschlecht und Body-Mass-Index (BMI) angepassten Kontrollgruppe durchgeführt. Einschlusskriterien der Kontrollgruppe waren eine aktive, freie Beweglichkeit der untersuchten Schultern sowie der Ausschluss eines vorausgegangenen Traumas, einer stattgehabten Operation oder aktuelle Schmerzzustände.

Im Altersbereich von 20-69 Jahren wurden mit mindestens 8 Probanden pro Geschlecht und Lebensdekade die Messungen, in den unter 2.4.2. beschriebenen Positionen, durchgeführt. Daraus ergab sich eine Kontrollgruppe bestehend aus 115 Probanden, darunter 47 (40,9 %) Frauen und 68 (59,1 %) Männer mit einem durchschnittlichen Alter von $48,5 \pm 16,8$ (20-79) Jahren.

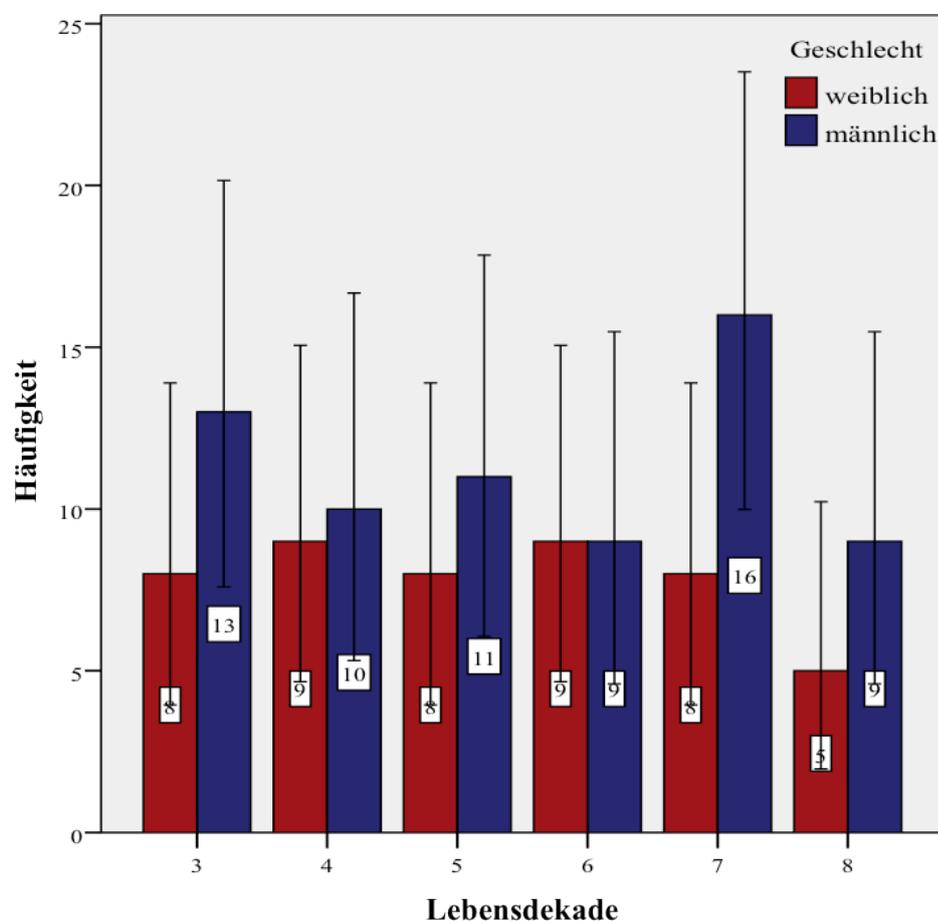


Abbildung 20: Verteilung der Lebensdekaden der Kontrollgruppe (Druckmessplatte)

Zusätzlich wurden Händigkeit, Beruf und Body-Mass-Index sowie der Tegner-Aktivitätsindex dokumentiert.

2.6.2 MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE

Die Kontrollgruppe zur Bestimmung der Muskelflächen sowie des Durchmessers des M. subscapularis bestand aus 82 Probanden, darunter 34 (41,5 %) Frauen und 48 (58,5 %) Männer, mit einem durchschnittlichen Alter von $40,9 \pm 13,8$ (16-68) Jahren.

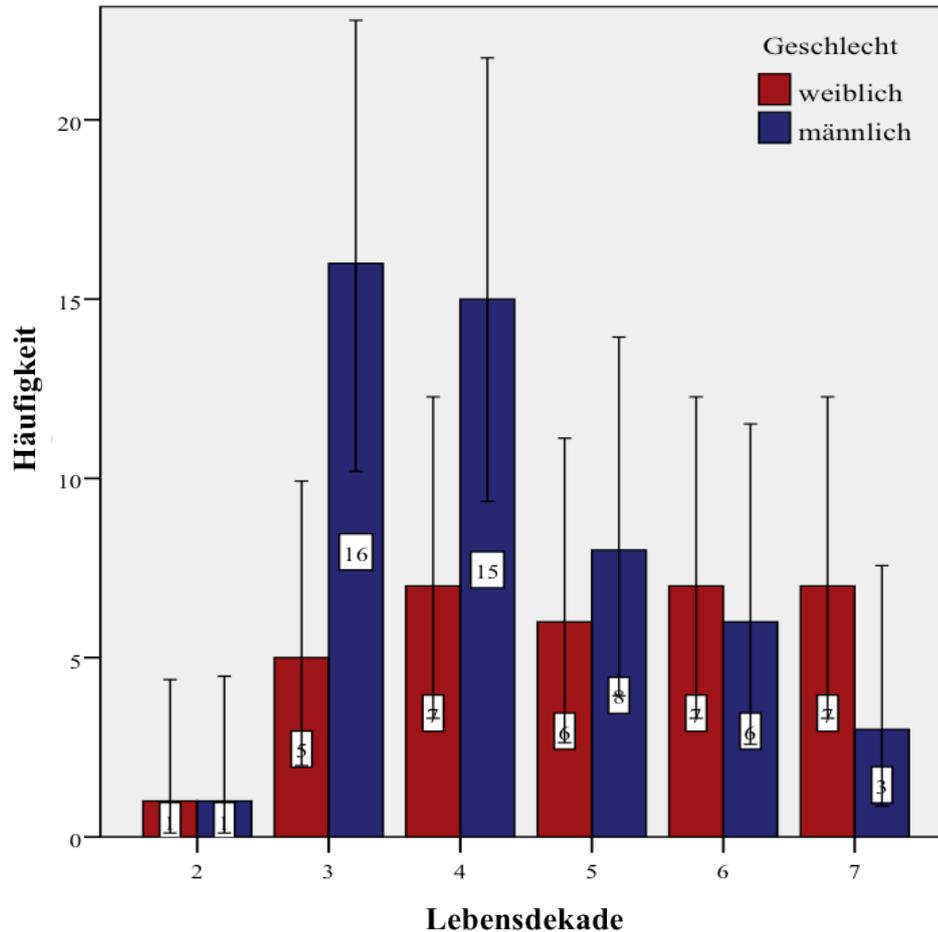


Abbildung 21: Verteilung der Lebensdekaden der Kontrollgruppe (Magnetresonanztomographie)

Hierbei war ebenso der Ausschluss eines stattgehabten Traumas, einer Operation oder aktueller Schmerzzustände der Schulter Bedingung zur Teilnahme an dieser Studie. Striktes Ausschlusskriterium war das Vorliegen einer Rotatorenmanschettenruptur. Aus ethischen Gründen konnten magnetresonanztomographische Bilder der kontralateralen Schulter des Patientenkollektivs nicht angefertigt werden und damit nicht als Kontrollgruppe dienen.

2.7 STATISTISCHE VERFAHREN

Die Auswertung der ermittelten Daten erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie der Technischen Universität München.

Die Ergebnisse wurden auf eine Dezimalstelle genau einschließlich Standardabweichung und Varianzbreite berechnet. Für die deskriptive Statistik wurden Mittelwert-, Minimum- und Maximumberechnungen, sowie die Ermittlung von Standardabweichungen durchgeführt. Boxplot, Linien-, Kreis-, Streu- und Balkendiagramme sind zur graphischen Darstellung verwandt worden. Zur Überprüfung von Signifikanzen zwischen zwei Gruppen wurden der t-Test (nach Student) für verbundene und unverbundene Stichproben und Varianzanalysen verwendet. Zur Anwendung kamen der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben und der Kruskal-Wallis-Rangsummentest. Zur Bestimmung des Zusammenhangs zweier normalverteilter Variablen diente der Pearson-Korrelationskoeffizient „r“. Bei nicht normalverteilten Variablen wurde der Spearman-Korrelationskoeffizient angewendet.

Deskriptive Ergebnisse wurden wie folgt angegeben: Mittelwert \pm Standardabweichung. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ als signifikant und $p < 0,001$ als hochsignifikant für sämtliche statistischen Untersuchungen festgelegt.

Die Berechnungen und Darstellungen erfolgten durch das Softwareprogramm SPSS Version 16.0.1 für Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

3 ERGEBNISSE

3.1 KLINISCHE ERGEBNISSE

3.1.1 ANAMNESE UND UNTERSUCHUNG

Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug zum Zeitpunkt der Operation $58,0 \pm 8,5$ Jahre und am Tag der Untersuchung $61,5 \pm 8,3$ Jahre (Varianzbreite 41 bis 74 Jahre). Die klinische Untersuchung wurde durchschnittlich $44,2 \pm 19,9$ (16-84) Monate nach der Operation durchgeführt. Der Body-Mass-Index (BMI) lag im Mittel bei $26,2 \pm 3,4$ kg/m² (21,1-35,8).

Die Patientenanamnese ergab, dass in 27 (56,2 %) von 48 Fällen die dominante Schulter und bei 21 (43,8 %) Patienten die nicht-dominante Schulter affiziert war. Eine Rotatorenmanschettenläsion der rechten Schulter lag in 44 (91,7 %), der linken Schulter in 4 (8,3 %) Fällen vor. Bei 16 (33,3 %) Fällen wurde von Patientenseite ein auslösendes Trauma berichtet, wohingegen in 32 (66,7 %) Fällen die Ruptur rein degenerativen Ursprungs war.

Die symptomatische, präoperative Periode der traumatischen Rupturen betrug durchschnittlich $105,1 \pm 103,3$ (6-396) Tage. Der Zeitpunkt des Beschwerdebegins degenerativer Rupturen konnte naturgemäß nicht exakt definiert werden.

Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung des Bewegungsumfanges der Schulter sowohl prä- als auch postoperativ sind in Tabelle 3 dargestellt.

Untersuchung	präoperativ P0	postoperativ P0	postoperativ P1
Flexion	$125,8^\circ$ $\pm 42,2$ (40-180)	$175,4^\circ$ $\pm 14,1$ (90-180)	$177,1^\circ$ $\pm 6,5$ (160-180)
Extension	$30,9^\circ$ $\pm 10,8$ (5-45)	$46,2^\circ$ $\pm 14,2$ (20-80)	$46,2^\circ$ $\pm 14,2$ (20-80)
Abduktion	$110,8^\circ$ $\pm 47,5$ (10-170)	$171,9^\circ$ $\pm 18,8$ (90-180)	$174,0^\circ$ $\pm 17,6$ (90-180)
Adduktion	$17,1^\circ$ $\pm 4,9$ (10-20)	$35,1^\circ$ $\pm 13,6$ (20-70)	$35,4^\circ$ $\pm 13,9$ (20-70)
Außenrotation	$55,1^\circ$ $\pm 14,7$ (20-85)	$52,3^\circ$ $\pm 15,6$ (30-90)	$52,5^\circ$ $\pm 16,3$ (30-90)

P0 = operierte Seite, P1 = kontralaterale, gesunde Seite

Tabelle 3: Untersuchung des Bewegungsausmaßes

Im Vergleich zu dem präoperativen Bewegungsumfang stellte sich postoperativ eine hochsignifikante Verbesserung in Flexion ($p < 0,001$) und Abduktion ($p < 0,001$) sowie eine signifikante Verbesserung bei Extension ($p = 0,002$) und Adduktion ($p = 0,035$) dar. Keine Signifikanz zeigte die Beweglichkeit der Schulter in Bezug auf die tiefe Außenrotation ($p = 0,488$).

Zwischen operierter und kontralateraler Schulter konnte nach operativer Rekonstruktion kein signifikanter Unterschied des Bewegungsausmaßes in Bezug auf Flexion, Extension, Abduktion, Adduktion und tiefer Außenrotation festgestellt werden ($p > 0,050$).

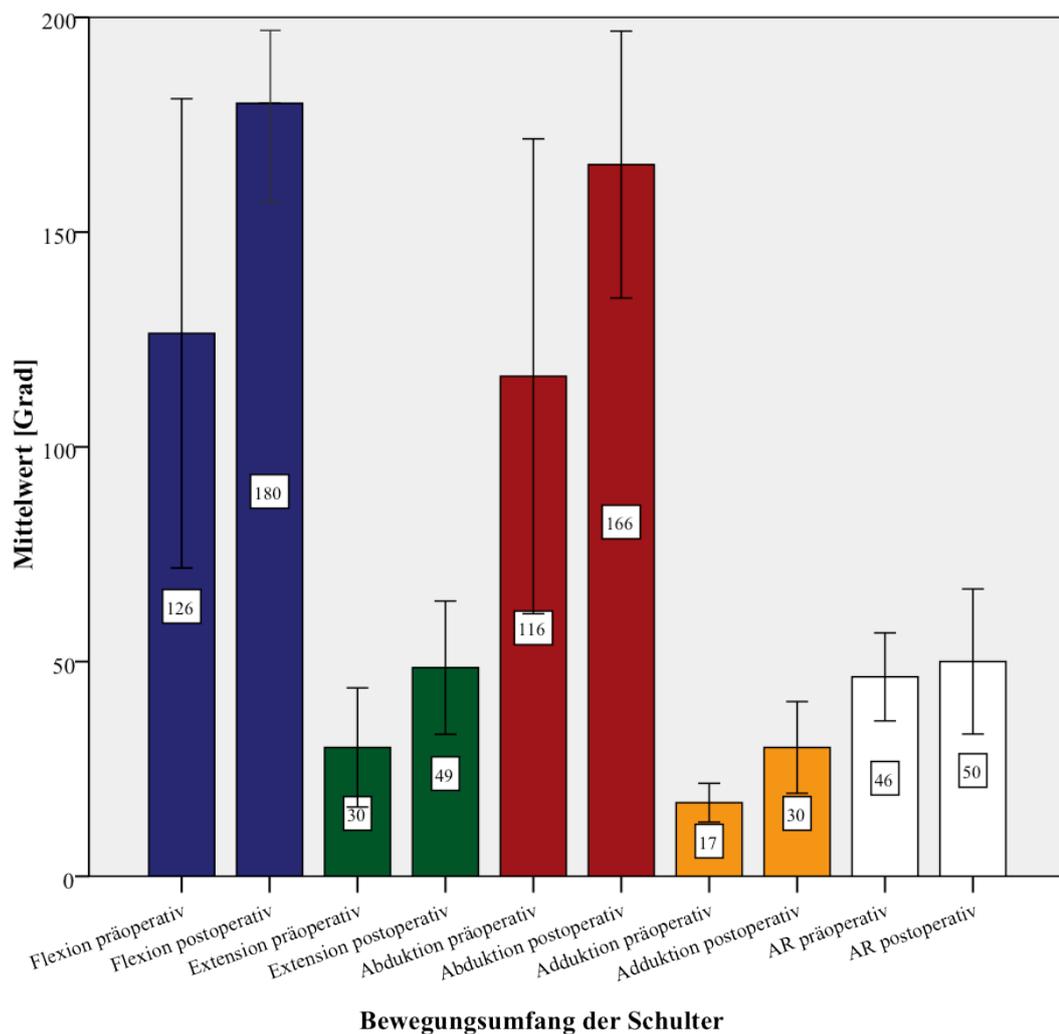


Abbildung 22: Bewegungsausmaß prä- und postoperativ im Vergleich

Die Dokumentation der Innenrotation erfolgte durch die mit dem Daumen erreichbare anatomische Struktur am Gesäß oder Rücken und ist aus Tabelle 4 zu entnehmen.

Innenrotation	Häufigkeit		
	präoperativ P0	postoperativ P0	P1
Spina scapulae	1 (2,6 %)	5 (10,4 %)	10 (20,8 %)
BWK 10	9 (23,7 %)	13 (27,1 %)	17 (35,4 %)
LWK 1	11 (28,9 %)	23 (47,9 %)	18 (37,5 %)
sakral	5 (13,2 %)	2 (4,2 %)	1 (2,1 %)
gluteal	11 (28,9 %)	5 (10,4 %)	2 (4,2 %)
Oberschenkel	1 (2,6 %)		

Tabelle 4: klinische Untersuchung der Innenrotationsfähigkeit

Bezüglich der Innenrotation stellte sich heraus, dass bei 60,5 % (23/38) der Patienten eine Verbesserung im Vergleich zur präoperativen Untersuchung festzustellen war. In 21,1 % (8/38) der Fälle blieb die Innenrotationsfähigkeit unverändert und in lediglich 18,4 % (7/38) kam es zu einer Verschlechterung.

In 18 (37,5 %) Fällen war die Innenrotation postoperativ im Vergleich zur nicht operierten Seite vermindert. Wohingegen in 28 (58,3 %) Fällen die Innenrotation der beiden Schultern keine Differenz zeigte und in 2 (4,2 %) Fällen die Innenrotationsfähigkeit der operierten Seite sogar höher war als kontralateral.

Bei der Funktionsprüfung durch die spezifischen Rotatorenmanschettentests fiel postoperativ der Starter-Test des M. supraspinatus bei 36 (75,0 %) Patienten negativ und bei 12 (25,0 %) Patienten positiv aus. In 76,1 % (35/46) konnte ein präoperativ positives in ein negatives Testergebnis umwandelt werden.

Starter-Test	präoperativ P0	postoperativ P0	P1
gesamt	46 (95,8 %)	48 (100 %)	48 (100 %)
negativ	0 (0 %)	36 (75,0 %)	48 (100 %)
positiv	46 (100 %)	12 (25,0 %)	0 (0 %)

Tabelle 5: Ergebnis des klinischen Starter-Tests

Bei Überprüfung der Funktion des M. subscapularis fiel der postoperative Belly-Press-Test bei 38 (79,2 %) Patienten negativ und bei 10 (20,8 %) Patienten positiv aus. In 84,8 % (28/33) wurde ein präoperativ positives zu einem negativen Ergebnis. Bei 15,2 % (5/33) der Patienten blieb der Belly-Press-Test auch postoperativ positiv.

Belly-Press-Test	präoperativ P0	postoperativ P0	P1
gesamt	38 (79,2 %)	48 (100 %)	48 (100 %)
negativ	5 (13,2 %)	38 (79,2 %)	48 (100 %)
positiv	33 (86,8 %)	10 (20,8 %)	0 (0 %)

Tabelle 6: Ergebnis des klinischen Belly-Press-Tests

Die Funktionsprüfung des M. subscapularis mittels Lift-off-Test fiel postoperativ bei 34 (70,8 %) Patienten negativ und bei 14 (29,2 %) Patienten positiv aus. In 57,1 % (16/23) wurde aus einem präoperativ positiven ein negatives Ergebnis. 7 positive Testergebnisse (7/23; 30,4 %) blieben postoperativ unverändert.

Lift-off-Test	präoperativ P0	postoperativ P0	P1
gesamt	28 (58,3 %)	48 (100 %)	48 (100 %)
negativ	5 (17,9 %)	34 (70,8 %)	46 (95,8 %)
positiv	23 (82,1 %)	14 (29,2 %)	2 (4,2 %)

Tabelle 7: Ergebnis des klinischen Lift-off-Tests

Abgesehen von klinischen Untersuchungsbefunden wurden ebenso radiologische Befunde ausgewertet. Auf den präoperativ angefertigten Röntgenbildern zeigte sich bei 16 (35,6 %) Patienten ein Normalbefund, in 24 (53,4 %) Fällen bereits eine milde Omarthrose (Grad 1 nach Samilson), in 4 (8,9 %) Fällen eine moderate Arthrose Grad 2 sowie in einem Fall (2,2 %) eine starke Omarthrose entsprechend Grad 3 nach Samilson. Präoperativ lag gemäß der magnetresonanztomographischen Schnittbildgebung in 30 (62,5 %) Fällen eine Sehnenretraktion der Supraspinatussehne Patte Grad 1, in 11 (22,9 %) Fällen Patte 2 und in 7 (14,6 %) Fällen Patte 3 vor.

Die Verteilung der im Operationsbericht dokumentierten Rupturgröße des M. supraspinatus nach Snyder ist in folgender Tabelle veranschaulicht:

Snyder / Häufigkeit	A (artikularseitig)	B (bursaseitig)	C (komplett)
Grad 0: Normalbefund			
Grad 1: Punktförmig, < 1 cm	3 (6,2 %)		1 (2,1 %)
Grad 2: 1–2 cm	8 (16,7 %)		15 (31,3 %)
Grad 3: 2–3 cm		1 (2,1 %)	20 (41,7 %)
Grad 4: 3 cm, massive, komplette Ruptur			

Tabelle 8: Verteilung der Rupturgröße des M. supraspinatus entsprechend der Klassifikation nach Snyder

Die Größe und Lokalisation der M. supraspinatus-Ruptur klassifiziert nach Snyder beeinflusste signifikant die Kraftmessung in Jobe-Position ($p=0,022$), die postoperative Fläche des M. supraspinatus ($p=0,025$), das postoperative Schmerzniveau ($p=0,028$) sowie den Constant-Score ($p=0,044$).

Beim M. subscapularis lag entsprechend der Klassifikation nach Fox und Romeo in 22 (45,8 %) Fällen eine Partiaalläsion und in 20 (41,7 %) Fällen ein Riss des oberen Viertels der Sehne vor. In weiteren 3 (6,2 %) Fällen war die obere Sehnenhälfte betroffen und in 3 (6,2 %) Fällen handelte es sich um eine Komplettruptur. Die Rupturausdehnung des M. subscapularis hatte keinen signifikant Einfluss auf die postoperativen klinischen Parameter noch auf Kraft- oder Flächenmessung.

Die intraoperative Beurteilung der Sehnenintegrität zeigte in 22 Fällen (45,8 %) eine Kombination einer partiellen, gelenkseitigen M. subscapularis-Ruptur mit einer M. supraspinatus-Ruptur. Am häufigsten (25,0 %) trat eine M. supraspinatus-Ruptur Grad C3 nach Snyder in Kombination mit einer M. supraspinatus-Ruptur Grad 2 nach Fox auf.

Snyder / Fox	1	2	3	4	gesamt
A1	2		1		3
A2	7	1			8
A3					
B1					
B2					
B3	1				1
C1			1		1
C2	6	7		2	15
C3	6	12	1	1	20
gesamt	22	20	3	3	48

Tabelle 9: Kombination der Sehnenläsionen nach den Klassifikationen Snyder und Fox

Der operative Zugang zur Rekonstruktion der Rotatorenmanschettenruptur erfolgte nach diagnostischer Arthroskopie in 42 (87,5 %) Fällen offen und in 6 (12,5 %) Fällen konnte arthroskopisch fortgefahren werden. Für die Rekonstruktion wurden durchschnittlich $2,8 \pm 0,8$ (Varianzbreite 2-5) Fadenanker verwendet. Eine Tenodese der langen Bizepssehne wurde in 41 Fällen (85,4 %), eine Tenotomie lediglich bei einem (2,1 %) Patienten vorgenommen. In den verbleibenden Fällen war die lange Bizepssehne nicht betroffen und wurde keiner operativen Therapie unterzogen.

3.1.2 SCORES

3.1.2.1 CONSTANT-SCORE

Der durchschnittliche, ungewichtete Constant-Score lag postoperativ bei $78,9 \pm 12,2$ (Varianzbreite 47-98) Punkten, altersadaptiert bei $94,4 \pm 14,5$ (64-116) %. Die männlichen Patienten erreichten $81,1 \pm 11,1$ (56-98) Punkte; altersadaptiert entsprach dies $93,0 \pm 12,8$ (68-115) %. In der weiblichen Gruppe lag dieser bei $71,7 \pm 13,6$ (47-84) Punkten, altersadaptiert bei $99,4 \pm 19,2$ (64-116) %.

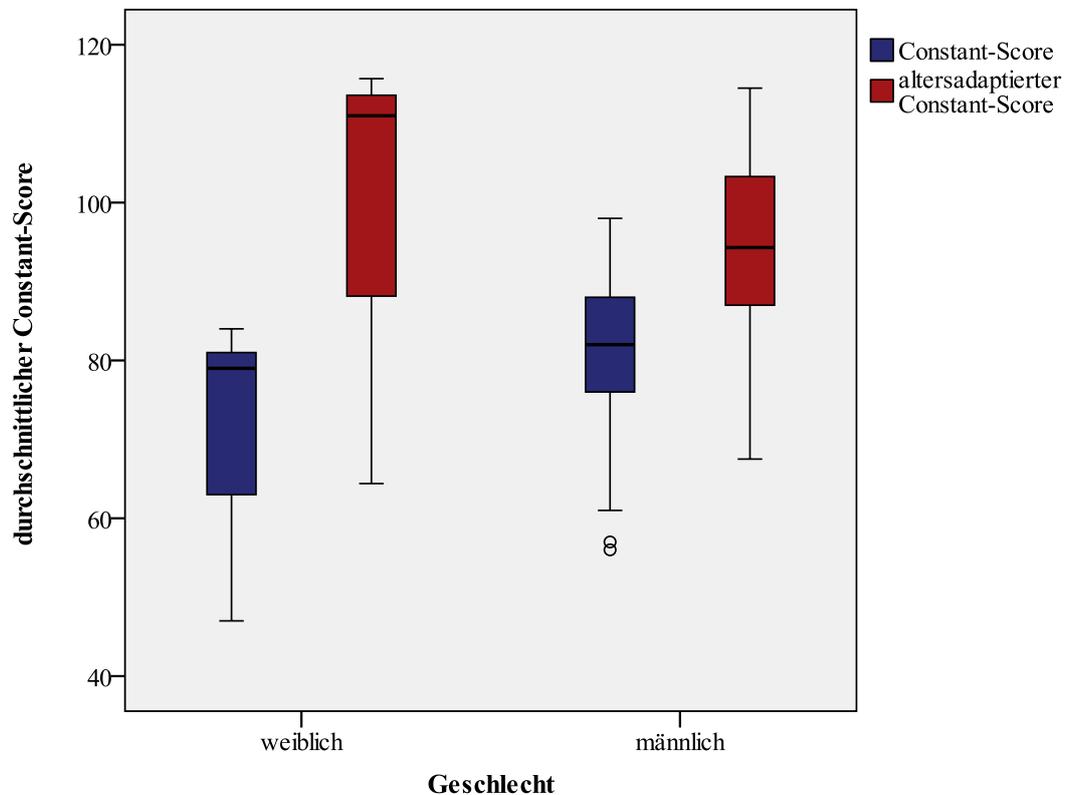


Abbildung 23: Postoperativer Constant-Score: absolut und altersadaptiert

In Tabelle 10 wurden die Einzelkategorien des Constant-Scores differenziert ausgewertet:

Kategorie	postoperativ
Constant-Score (max. 100 Punkte)	$78,9 \pm 12,2$ (47-98)
Constant-Score altersadaptiert (in %)	$94,4 \pm 14,5$ (64-116)
Schmerz (15 Punkte)	$13,4 \pm 3,0$ (2-16)
subjektive Einschränkung (20 Punkte)	$18,2 \pm 3,1$ (10-20)
Funktion (40 Punkte)	$36,0 \pm 2,5$ (28-40)
Kraft (25 Punkte)	$11,4 \pm 6,4$ (1-25) $5,1 \pm 2,9$ (0-11) kg

Tabelle 10: Mittelwerte der Kategorien des Constant-Scores

Das Alter der Patienten zeigte keine Auswirkung auf den Constant-Score. Wohingegen das Geschlecht Einfluss nahm: die männlichen Patienten erzielten signifikant höhere Werte als die weiblichen Probanden ($p=0,033$). Des Weiteren zeigte sich, dass sowohl eine höhere subjektive Zufriedenheit ($p=0,002$) als auch eine niedrigere postoperative visuelle Analogskala ($p=0,016$) der Patienten, insbesondere ab Stufe 4, das Ergebnis des Constant-Scores signifikant verbesserten.

Constant / VAS	0 - 1	0 - 2	0 - 3	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 7
p	0,613	0,291	0,138	0,053	0,038	0,036	0,016

Tabelle 11: Einfluss der VAS auf den Constant-Score

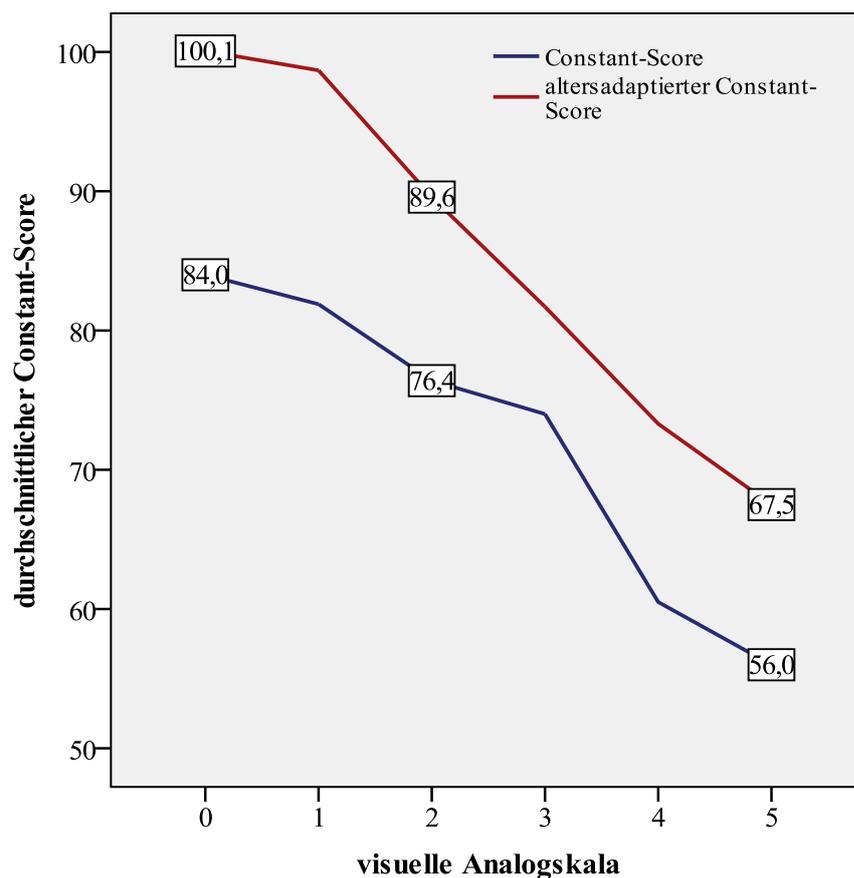


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Constant-Score und Schmerzniveau

Bezüglich der Patientenzufriedenheit ergab sich, dass jene Patienten, die mit dem Erfolg lediglich bedingt zufrieden waren durchschnittlich 57,0 Punkte erzielten. Demgegenüber steht, dass die Patienten, die zufrieden oder sogar sehr zufrieden waren, signifikant höhere Ergebnisse verzeichneten (74,6 Punkte ($p=0,043$) bzw. 83,0 Punkte ($p=0,001$)).

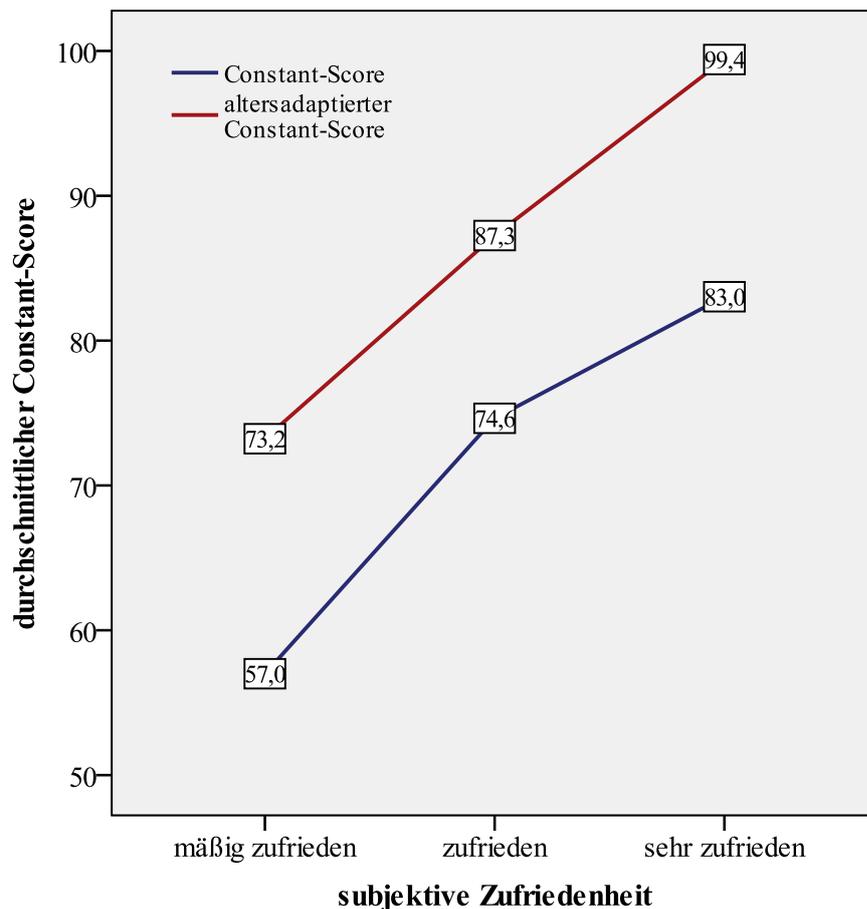


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Constant-Score und subjektiver Zufriedenheit

Keine Verbindung konnte gefunden werden zum Arthrosegrad der Schulter, zu der Operationsseite, zwischen traumatischen und degenerativen Rupturen, arthroskopischer und offener Operationstechnik, Anzahl der Fadenanker sowie einer zusätzlichen Tenodese der langen Bizepssehne.

Das Ergebnis des Starter-Tests in der postoperativen klinischen Untersuchung beeinflusste den Constant-Score signifikant ($p=0,001$; altersadaptiert $p=0,002$). Zugleich nahmen der Lift-off-Test ($p<0,001$; altersadaptiert $p=0,007$) sowie der Belly-Press-Test ($p=0,036$; altersadaptiert $p=0,187$) ebenfalls Einfluss und es zeigten sich höhere Constant-Score-Werte bei unauffälligem, klinischen Testergebnis.

Ebenso korrelierte die fettige Degeneration des M. supraspinatus mit dem Ergebnis des Constant-Scores. Bei vorliegender fettiger Infiltration höher als Grad 2 nach Goutallier, war der Constant-Score im Vergleich zu einem nicht degenerierten Muskel signifikant vermindert ($p=0,013$; altersadaptiert $p=0,089$). Von der Degeneration des M. subscapularis oder des M. infraspinatus blieb der Constant-Score unbeeinflusst.

Im Hinblick auf Atrophie verschlechterte sich der Constant-Score mit zunehmender Atrophie des M. supraspinatus ($p=0,025$; altersadaptiert $p=0,043$).

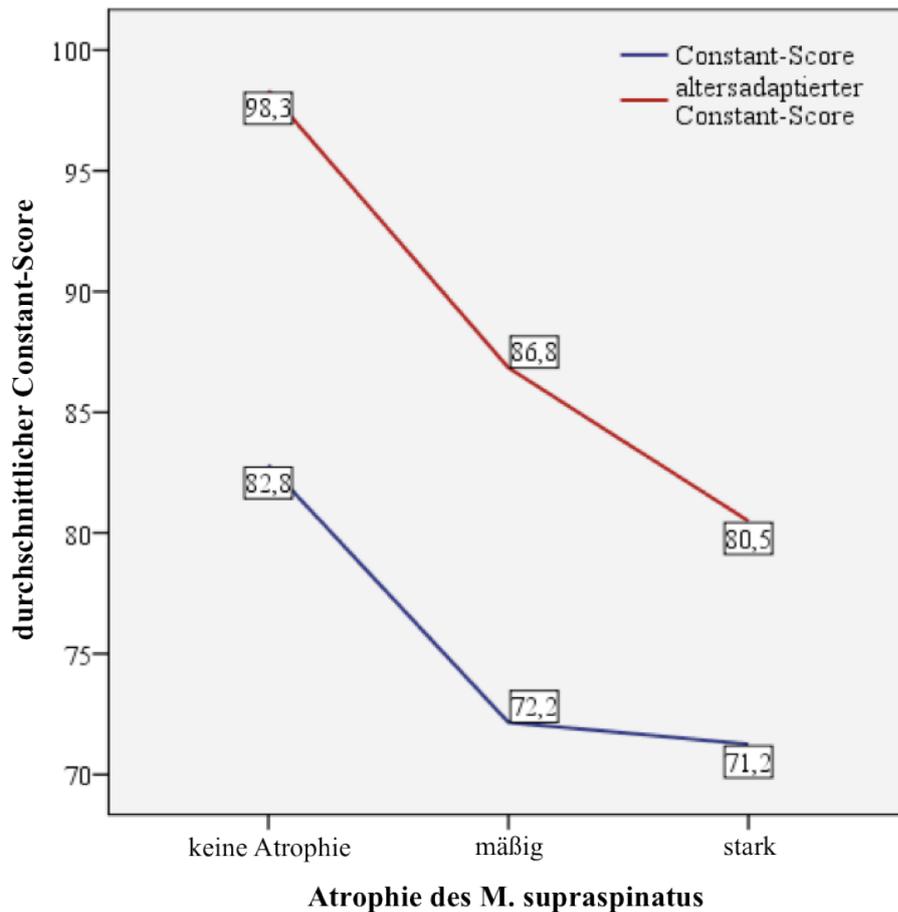


Abbildung 26: Zusammenhang zwischen Constant-Score und Atrophie des M. supraspinatus

Unbeeinflusst blieb der Constant-Score durch das Ausmaß der Atrophie des M. subscapularis und des M. infraspinatus sowie durch die Ausdehnung der Ruptur klassifiziert nach Fox und Romeo.

Bei präoperativ steigender Sehnenretraktion (Patte 1 gegenüber Patte 3) nahm der postoperative Constant-Score signifikant ($p=0,026$; altersadaptiert $p=0,017$) ab.

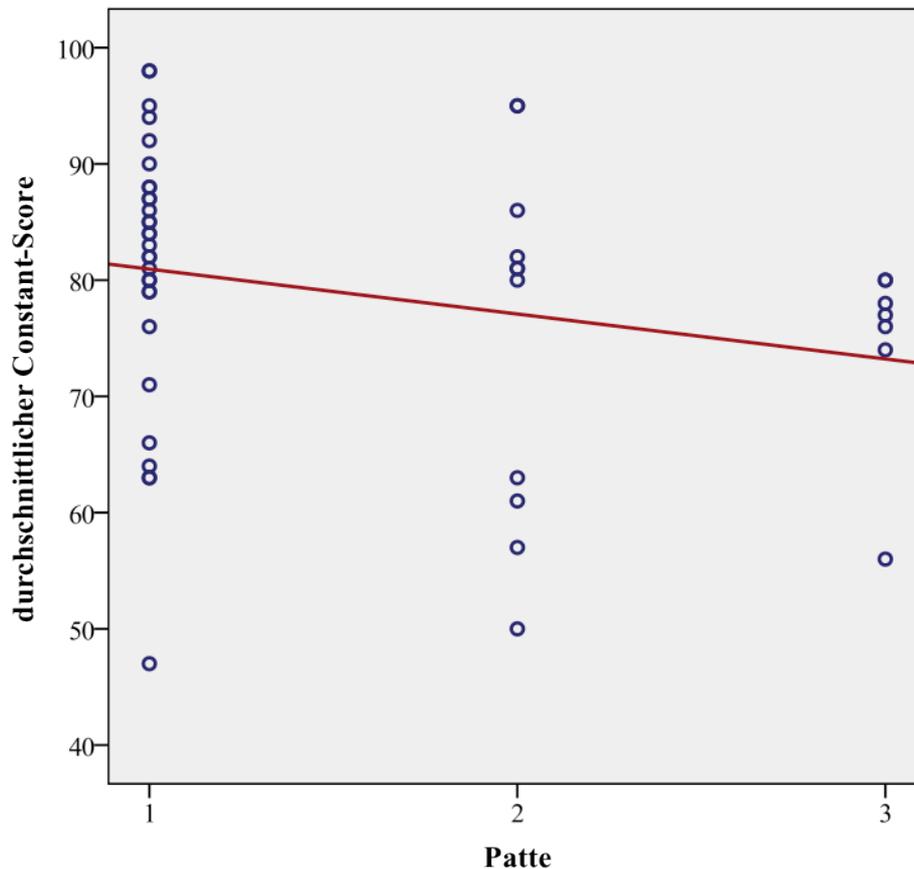


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Constant-Score und präoperativer Sehnenretraktion

3.1.2.2 TEGNER-AKTIVITÄTSINDEX

Als weiterer Parameter wurde der Tegner-Aktivitätsindex verwendet. Dieser lag präoperativ bei $4,7 \pm 1,8$ (1-9) Punkten und verbesserte sich postoperativ nicht signifikant auf $4,9 \pm 1,4$ (1-9) Punkte ($p=0,270$).

Insgesamt konnte bei 37,5 % der Patienten der Tegner-Aktivitätsindex postoperativ verbessert werden; bei ebenfalls 37,5 % blieb dieser unverändert.

3.1.2.3 SHORT FORM-36

Die Auswertung des SF-36 ermöglichte eine Differenzierung in körperliche und psychische Summenskalen [19;165]. Hierbei wurden die einzelnen Kategorien gemäß ihrer Aussagekraft für den psychischen bzw. körperlichen Gesundheitszustand gewichtet. Die Auswertung erfolgte durch Berechnung von z-Werten für jede Subskala des SF-36. Hierfür wurde der Mittelwert einer deutschen Normpopulation vom Mittelwert der untersuchten Population subtrahiert und das Ergebnis durch die Standardabweichung der deutschen Normstichprobe dividiert. Durch Multiplikation der z-Werte mit Regressions-

koeffizienten für die körperlichen und psychischen Faktoren der einzelnen SF-36-Subskalen erhält man die Rohwerte der Summenskalen. Der Mittelwert der Normpopulation ist auf den Wert 50 festgesetzt. Höhere Werte entsprechen damit einem besseren Gesundheitszustand.

Im untersuchten Kollektiv lag der Durchschnitt der körperlichen Summenskala im Normmittel bei $48,6 \pm 10,7$ (10-61) und der psychischen Summenskala bei $46,3 \pm 9,6$ (20-64).

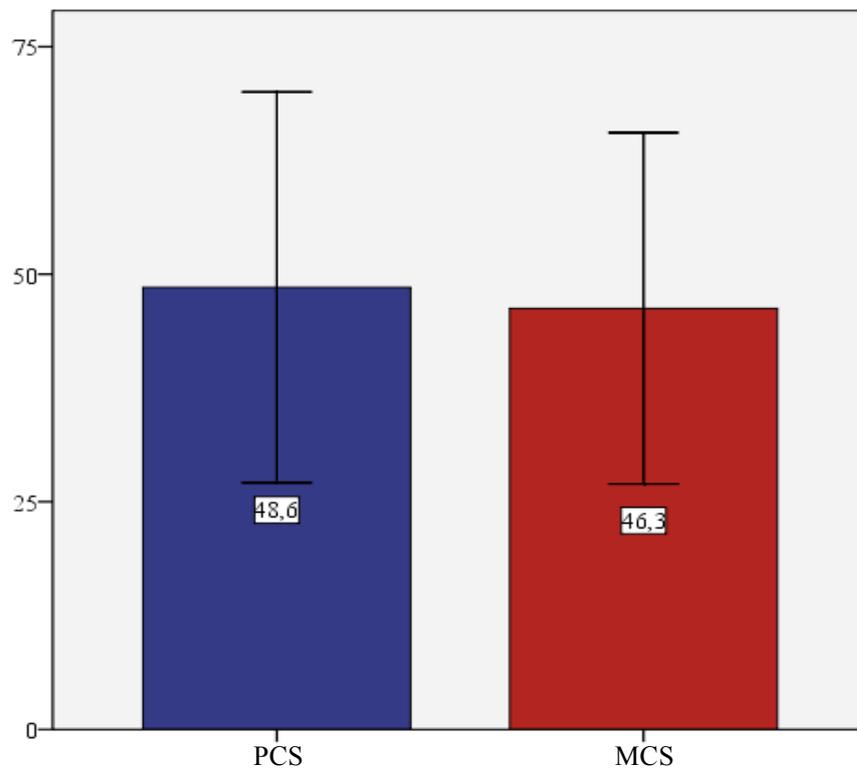


Abbildung 28: Mittelwerte des SF-36 – körperliche und psychische Summenskala

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Probanden in der Beurteilung der körperlichen und seelischen Subskalen.

Bei der physischen Komponente lagen 21 Fälle (43,8 %) unterhalb der 50. Perzentile, wohingegen die Mehrzahl (27 Patienten, 56,2 %) oberhalb des Durchschnittes lag. Bei Betrachtung der mentalen Komponente lagen 29 (60,4 %) unterhalb des Durchschnittes und 19 (39,6 %) darüber.

Zwischen PCS und subjektiver Zufriedenheit bestand eine signifikante Korrelation ($p=0,037$). Dagegen korrelierten MCS und subjektive Zufriedenheit nicht.

Ebenso zeigte sich, dass zwischen der Muskelkraft mit Ausnahme der tiefen Außenrotation (Starter-Position: $p=0,003$, $r=0,418$; Lift-off-Position: $p=0,024$, $r=0,329$; Belly-Press-Position: $p=0,006$, $r=0,394$) sowie der Muskelfläche des M. subscapularis ($p=0,43$; $r=0,307$) und der physischen Summenskala ein Zusammenhang bestand.

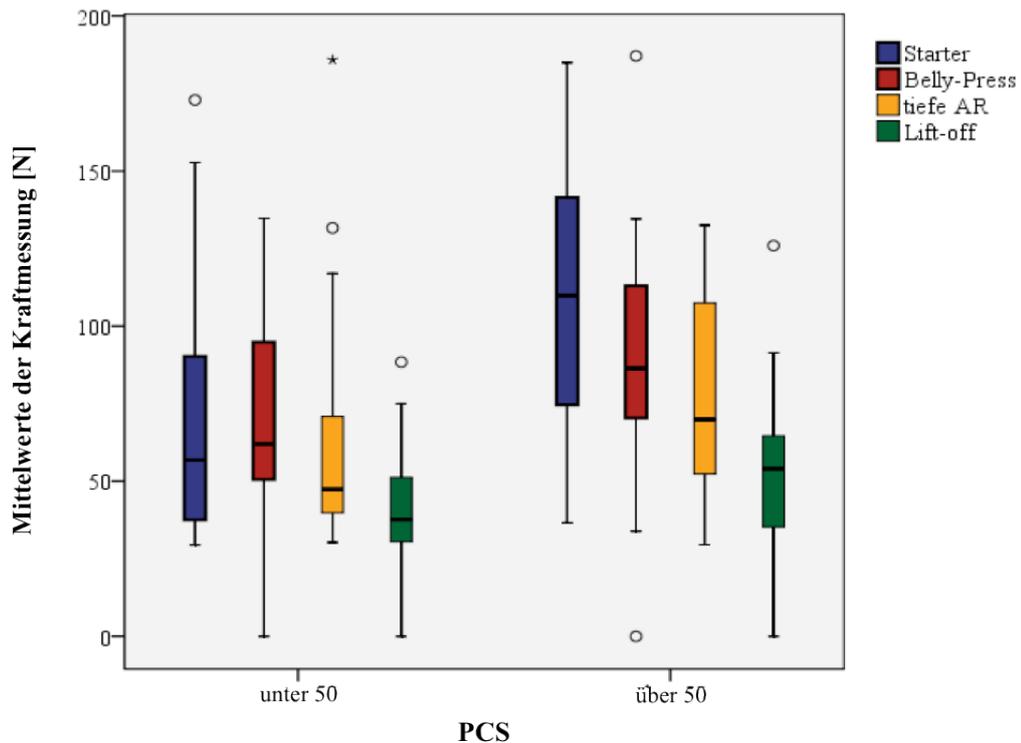


Abbildung 29: Korrelation zwischen PCS und Kraftmessung

Es bestand weder eine Korrelation zwischen MCS und Kraftmessung noch zur Muskelfläche. Ebenso korrelierte weder der Constant-Score noch die visuelle Analogskala mit den mentalen Komponenten. Im Gegensatz dazu zeigte sich zwischen PCS und visueller Analogskala ($p=0,022$) sowie dem Constant-Score eine hochsignifikante Korrelation ($p<0,001$; $r=0,625$).

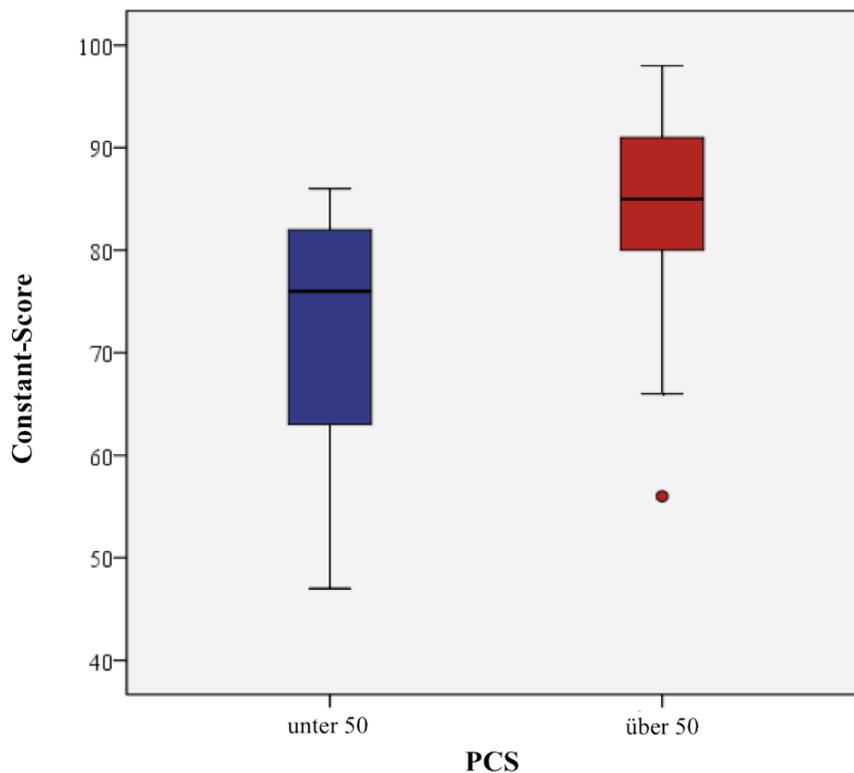


Abbildung 30: Korrelation zwischen PCS und Constant-Score

3.1.2.4 VISUELLE ANALOGSKALA

Zur Einschätzung der Schmerzempfindung mittels visueller Analogskala setzen die Patienten präoperativ bei $7,2 \pm 2,9$ (0-10) cm die Markierung; zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei $1,3 \pm 1,9$ (0-7) cm. Dies entsprach einer hochsignifikanten ($p < 0,001$) Verbesserung eines recht hohen Schmerzniveaus präoperativ, hin zu geringfügigen Schmerzen bzw. Schmerzfreiheit.

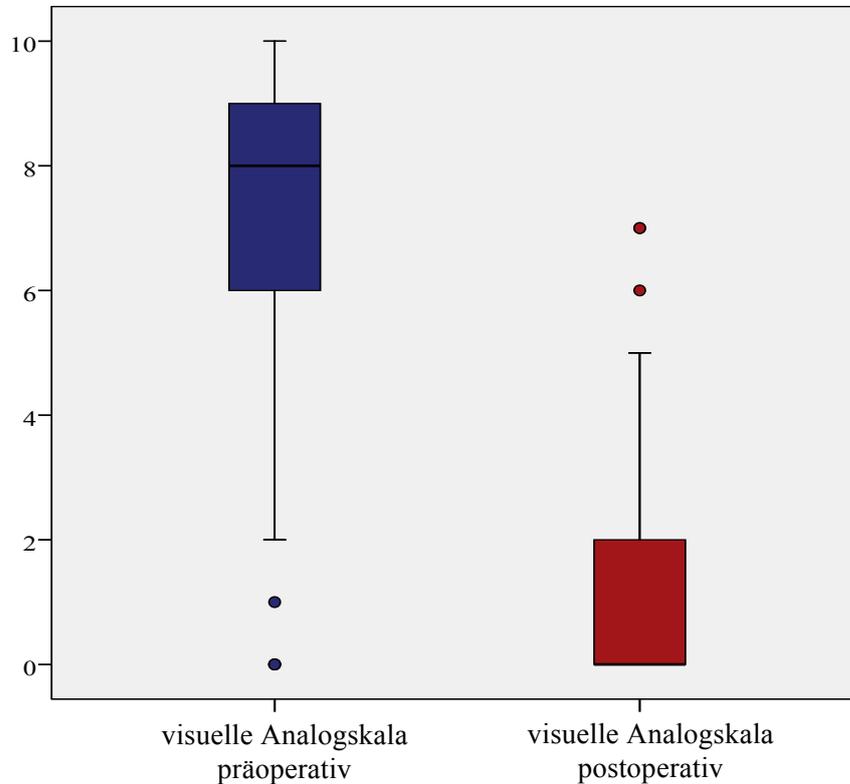


Abbildung 31: Mittelwerte der visuellen Analogskala prä- und postoperativ

3.1.2.5 SUBJEKTIVE ZUFRIEDENHEIT

Insgesamt waren 44 (91,7 %) der 48 Patienten mit dem Resultat der Operation zufrieden; darunter 33 (68,8 %) Patienten sehr zufrieden. Lediglich 4 (8,3 %) Patienten waren mäßig zufrieden und kein Patient gab absolute Unzufriedenheit an.

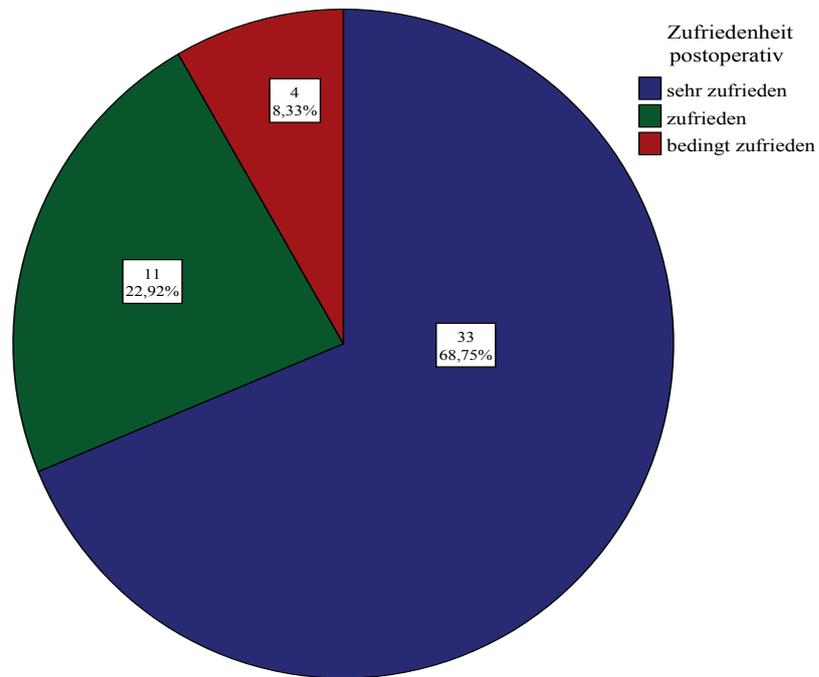


Abbildung 32: Subjektive Zufriedenheit postoperativ

3.2 ERGEBNISSE DER DRUCKMESSPLATTE

Bei differenzierter Messung der Muskelkraft der Rotatorenmanschette unter Verwendung der Druckmessplatte (DMP) ergaben sich folgende Werte (s. Tabelle 12 + 13). Es war eine signifikante Kraftminderung zwischen operierter und kontralateraler Schulter sowohl in Position des Belly-Press-Tests, des Lift-off-Tests ($p < 0,001$) als auch in tiefer Außenrotation ($p = 0,002$) erkennbar. Wohingegen das Ergebnis in Starter-Position keine Differenz zeigte.

Test / Mittelwert	P0	P1	p-Wert
DMP Starter	93,1 N ± 46,0 (29-185)	99,8 N ± 47,4 (30-235)	0,082
DMP Belly-Press	79,9 N ± 38,6 (0-187)	98,6 N ± 39,2 (34-199)	<0,001
DMP Lift-off	49,9 N ± 23,4 (0-126)	61,0 N ± 29,0 (29-147)	<0,001
DMP tiefe Außenrotation (AR)	71,5 N ± 35,6 (30-186)	81,3 N ± 38,2 (29-182)	0,002

Tabelle 12: Ergebnis der Kraftmessung mittels Druckmessplatte des Patientenkollektivs (gesamt)

Test / Mittelwert	weiblich			männlich		
	P0	P1	p	P0	P1	p
DMP Starter	52,6 N ± 22,0 (29-90)	62,7 N ± 29,5 (30-124)	0,075	105,2 N ± 44,4 (30-185)	110,8 N ± 46,3 (30-235)	0,234
DMP Belly-Press	46,8 N ± 12,8 (31-68)	67,9 N ± 32,4 (34,127)	0,014	89,8 N ± 38,3 (0-187)	107,7 N ± 36,7 (43-199)	0,001
DMP Lift-off	37,0 N ± 17,0 (0-64)	45,5 N ± 19,0 (29-96)	0,070	53,7 N ± 23,9 (0-126)	65,6 N ± 30,0 (30-147)	0,001
DMP tiefe AR	43,3 N ± 10,1 (2-7)	47,7 N ± 13,3 (29-62)	0,187	79,9 N ± 36,2 (32-186)	91,4 N ± 37,5 (30-182)	0,004

Tabelle 13: Ergebnis der Kraftmessung mittels Druckmessplatte des Patientenkollektivs (geschlechtsspezifisch)

Zwischen den weiblichen und männlichen Patienten lagen in allen Positionen sowohl auf der operierten als auch auf der kontralateralen Seite signifikante Kraftunterschiede vor.

Test / p-Wert bei Vergleich weiblich – männlich	p-Wert (P0)	p-Wert (P1)
DMP Starter	0,001	0,001
DMP Belly-Press	<0,001	0,002
DMP Lift-off	0,042	0,032
DMP tiefe Außenrotation	0,001	<0,001

Tabelle 14: Korrelation der Kraftwerte der Druckmessplatte in Gegenüberstellung weiblicher und männlicher Patienten

Bezüglich dominanter und nicht-dominanter Operationsseite war ein signifikanter Unterschied in tiefer Außenrotation ($p=0,003$) zu beobachten; jedoch zeigten Starter-, Lift-off- und Belly-Press-Test keine Beeinflussung durch die Operationsseite bei der Kraftmessung. Der Constant-Score zeigte Übereinstimmung mit den Kraftmessungen in allen Positionen.

Die postoperativ erhobenen klinischen Testergebnisse korrelierten mit der jeweiligen Kraftmessung in Position des Starter- ($p=0,005$) als auch des Lift-off-Tests ($p=0,007$).

Bei Betrachtung der subjektiven Patientenzufriedenheit konnte eine signifikante Wechselwirkung hergestellt werden mit dem Ergebnis der Kraftquantifizierung in allen Positionen sowie bei Messung der Kraft in Position des Jobe-Tests mittels Isobex. Bei Berechnung der Kraftwerte aufgeteilt nach dem Grad der Zufriedenheit zeigte sich:

Test P0 / subjektive Zufriedenheit	sehr zufrieden	zufrieden	bedingt zufrieden	p-Wert
DMP Starter	101,0 N	89,9 N	37,4 N	0,021
DMP Belly-Press	89,9 N	63,2 N	43,6 N	0,015
DMP Lift-off	56,3 N	36,2 N	34,0 N	0,005
DMP tiefer AR	79,8 N	58,7 N	38,3 N	0,008
Isobex Jobe	5,6 kg = 54,9 N	4,9 kg = 48,1 N	1,6 kg = 15,7 N	0,023

Tabelle 15: Berechnung der Kraftwerte aufgeteilt nach dem Grad der subjektiven Zufriedenheit

Des Weiteren wurde die Kraftmessung in allen funktionellen Positionen von der Integrität der Supraspinatus-Sehne beeinflusst: Starter-Test $p=0,027$; Belly-Press $p=0,005$; Lift-off $p=0,010$; tiefe Außenrotation $p=0,008$. Die Beeinflussung der Muskelkraft durch die Sehnenintegrität des M. supraspinatus ist in folgender Tabelle dargestellt:

Test / Sehnenintegrität	p-Wert	
	0 – 2	1 – 2
DMP Starter	0,018	0,010
DMP Belly-Press	0,046	0,001
DMP Lift-off	0,011	0,003
DMP tiefe AR	0,005	0,004

Tabelle 16: Korrelation zwischen Sehnenintegrität des M. supraspinatus und der Kraftmessung mittels Druckmessplatte

Die Sehnenintegrität des M. subscapularis beeinflusste die Kraftquantifizierung in Lift-off-Position ($p=0,030$). Eine Ausdünnung der M. infraspinatus-Sehne nahm Einfluss auf die Kraftquantifizierung in allen Positionen (Starter-Test: $p=0,031$; Belly-Press: $p=0,026$; Lift-off: $p=0,014$; tiefe Außenrotation: $p=0,027$).

Jedoch spielte nicht nur die Integrität der Sehne, sondern ebenso die Beschaffenheit des Muskels eine wichtige Rolle. Bei einer postoperativen fettigen Degeneration des M. supraspinatus größer als Grad 2 nach Goutallier war die Kraft in Starter-

Position ($p=0,026$), Belly-Press-Position ($p=0,034$), Lift-off-Position ($p=0,050$) und tiefer Außenrotation ($p=0,013$) im Vergleich zu nicht degenerierter Muskulatur signifikant vermindert.

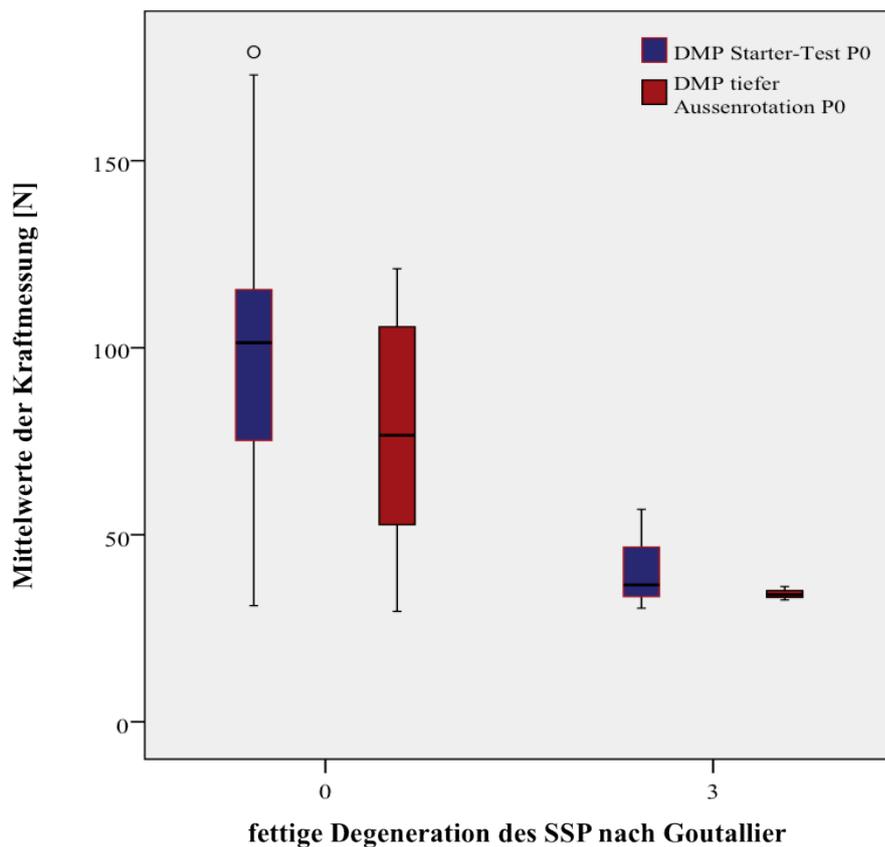


Abbildung 33: Gegenüberstellung der Kraftmessergebnisse mittels Druckmessplatte in Abhängigkeit vom Grad der fettigen Degeneration

Die Kraftmessung in tiefer Außenrotation in Korrelation mit der fettigen Infiltration nach Goutallier des M. infraspinatus zeigte zwischen Grad 0 und Grad 2 Signifikanz ($p=0,026$).

Des Weiteren konnte eine negative Korrelation zwischen dem, auf den Schnittbildern mittels Tangent-Sign ermittelten qualitativen Atrophiegrad und der Kraftmessung gebildet werden:

Test / Atrophie SSP	p-Wert	
	1 - 2	1 - 3
DMP Starter	0,002	0,006
DMP Belly-Press	0,010	0,011
DMP Lift-off	0,010	0,025
DMP tiefe Außenrotation	0,003	0,005

Tabelle 17: Korrelation zwischen dem Atrophiegrad des M. supraspinatus (Tangent sign) und der Kraftmessung mittels Druckmessplatte

Neben den Messungen des Patientenkollektivs wurde die Kraftmessung zusätzlich mit einer gematchten Kontrollgruppe (KG) durchgeführt und die Ergebnisse ausgewertet:

Test / Mittelwert	weiblich			männlich	
	dominant	dominant	nicht-dom	dominant	nicht-dom
DMP Starter	102,5 N ± 40,1 (39-202)	73,0 N ± 24,7 (39- 150)	74,4 N ± 22,4 (47,137)	123,0 N ± 35,8 (54- 202)	120,0 N ± 37,6 (67- 219)
DMP Belly-Press	87,8 N ± 35,4 (36-203)	59,8 N ± 26,1 (36- 96)	60,7 N ± 16,2 (35- 112)	107,2 N ± 32,8 (64- 203)	107,0 N ± 36,3 (52- 207)
DMP Lift-off	67,2 N ± 30,3 (29-180)	52,6 N ± 26,1 (29- 143)	51,2 N ± 21,3 (29- 131)	77,2 N ± 29,0 (36- 180)	77,2 N ± 26,0 (33- 157)
DMP tiefe AR	85,9 N ± 30,3 (30-180)	65,5 N ± 19,8 (30- 116)	65,2 N ± 20,1 (33- 120)	100,0 N ± 28,3 (52- 180)	103,2 N ± 25,4 (63- 197)

Tabelle 18: Ergebnis der Kraftmessung mittels Druckmessplatte der Kontrollgruppe

Die Kontrollgruppe setzte sich aus 106 (92,2 %) Rechtshändern und 9 (7,8 %) Linkshändern zusammen; zwischen dominanter und nicht-dominanter Seite konnte keine signifikante Kraftdifferenz festgestellt werden.

Wohingegen im Vergleich des Patientenkollektivs mit der Kontrollgruppe in allen Positionen eine Kraftminderung registriert wurde. Hochsignifikant war dies bei Messung in Lift-off-Position ($p < 0,001$) und signifikant ($p = 0,001$) in tiefer Außenrotation auf der operierten Seite.

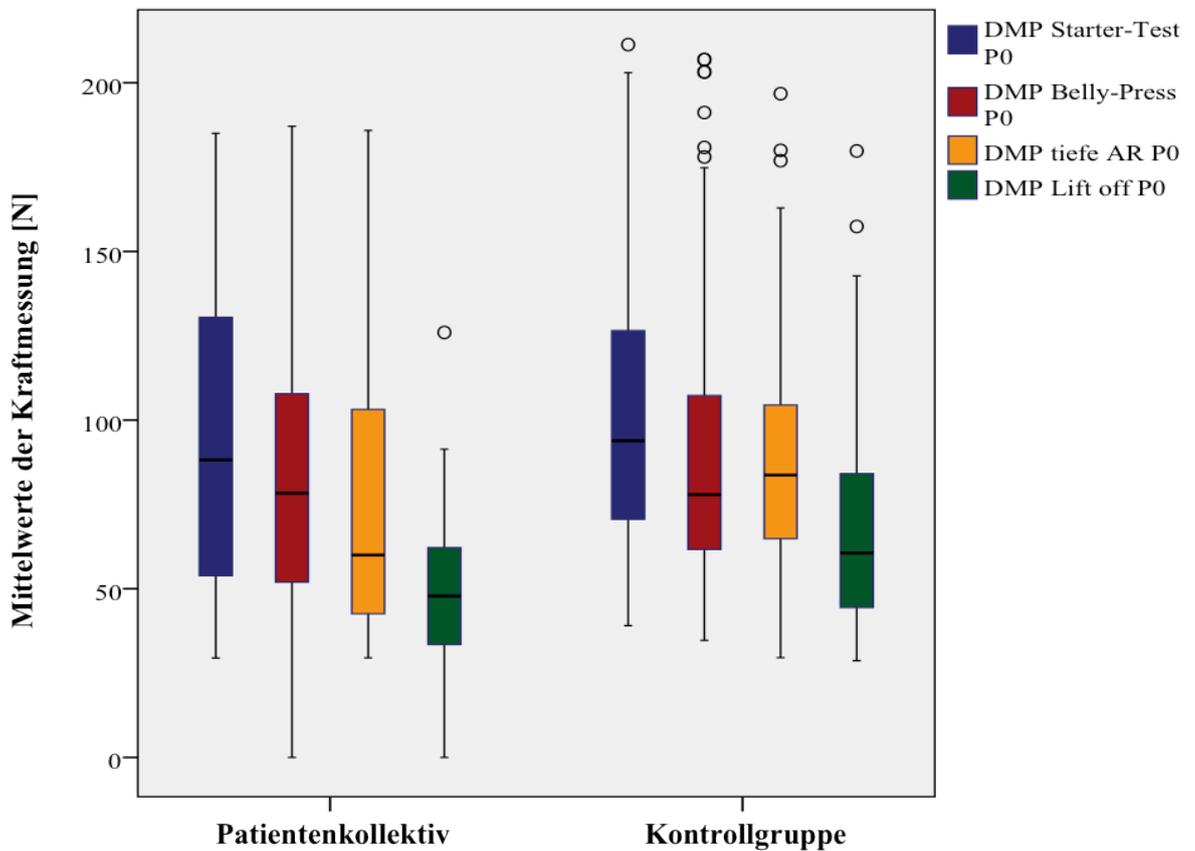


Abbildung 34: Gegenüberstellung der Kraftmessung der Kontrollgruppe und des Patientenkollektivs P0

Der Vergleich zwischen den freiwilligen Probanden und operierter Schulter der Patienten, ausgewertet nach Geschlecht, zeigte folgendes Ergebnis:

Test / Mittelwert	weiblich			männlich		
	P0	KG	p	P0	KG	p
DMP Starter	52,6 N	73,0 N	0,010	105,2 N	123,0 N	0,074
DMP Belly-Press	46,8 N	59,9 N	0,007	89,8 N	107,2 N	0,050
DMP Lift-off	37,0 N	52,6 N	0,037	53,7 N	77,2 N	<0,001
DMP tiefe AR	43,3 N	65,5 N	<0,001	79,9 N	100,0 N	0,001

Tabelle 19: Vergleich der Kraftmessung zwischen operierter Seite Patientenkollektiv P0 und Kontrollgruppe (geschlechtsspezifisch)

Demzufolge bestand in allen Positionen, mit Ausnahme des Starter-Tests in der männlichen Subgruppe, eine signifikante Kraftminderung der operierten Schulter im Vergleich zur Kontrolle. Im Gegensatz dazu zeigte sich keine signifikante Kraftminderung bei Gegenüberstellung der kontralateralen, nicht operierten Seite des Patientenkollektivs zu der Kontrollgruppe in nahezu allen Positionen (s. Tabelle 20+21).

Test / Mittelwert	P1	Kontrollgruppe	p
Starter	99,8 N	101,4 N	0,778
Belly-Press	98,6 N	88,0 N	0,063
Lift-off	61,0 N	66,5 N	0,136
tiefe AR	81,3 N	87,6 N	0,129

Tabelle 20: Vergleich der Kraftmessung zwischen nicht operierter Seite Patientenkollektiv P1 und Kontrollgruppe

Test / Mittelwert	weiblich			männlich		
	P1	KG	p	P1	KG	p
DMP Starter	62,7 N	73,5 N	0,145	110,8 N	119,4 N	0,184
DMP Belly-Press	67,9 N	60,7 N	0,759	107,7 N	106,3 N	0,804
DMP Lift-off	45,5 N	50,5 N	0,469	65,6 N	78,0 N	0,019
DMP tiefe AR	47,7 N	65,2 N	0,009	91,4 N	103,2 N	0,042

Tabelle 21: Vergleich der Kraftmessung zwischen nicht operierter Seite Patientenkollektiv P1 und Kontrollgruppe (geschlechtsspezifisch)

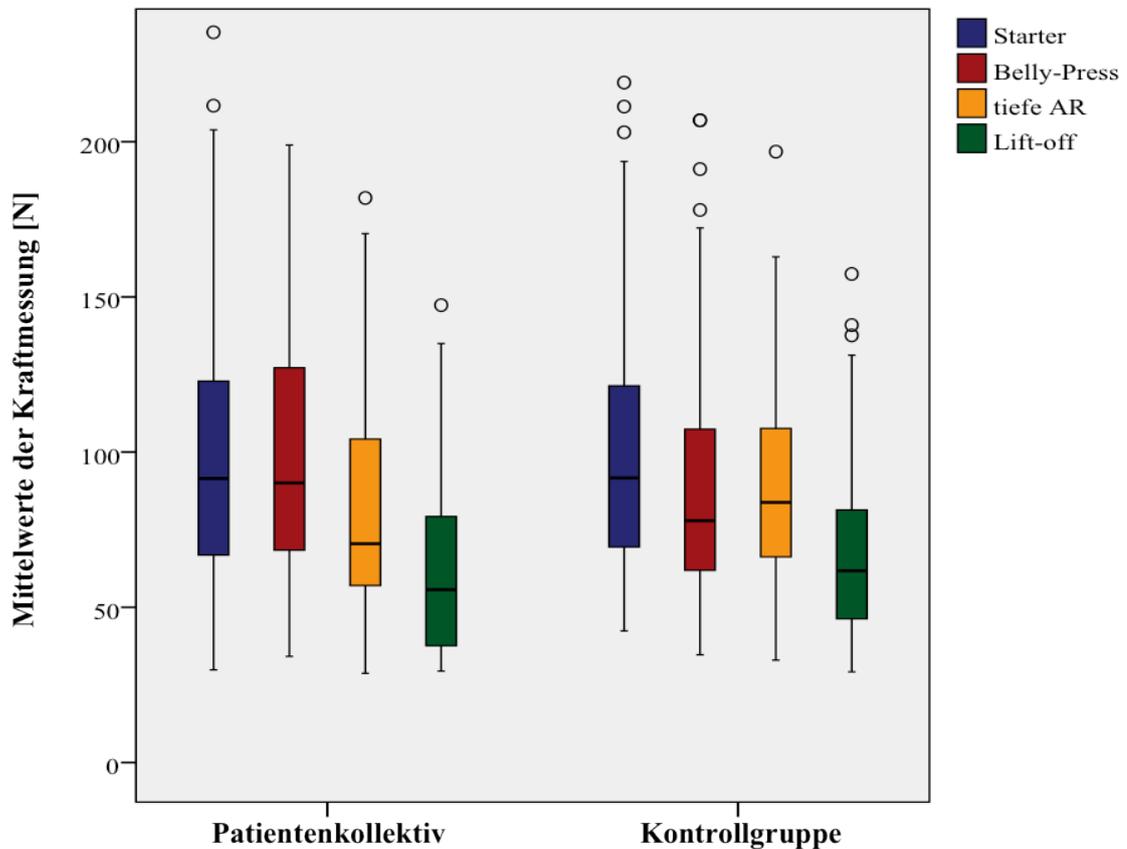


Abbildung 35: Gegenüberstellung der Kraftmessung der Kontrollgruppe und nicht operierter Seite des Patientenkollektivs (P1)

Die Kraftmessung mittels Isobex in Jobe-Position und hoher Außenrotation ergab Folgendes:

Position / Kraft	P0	P1	p
Jobe	5,1 ± 2,9 kg (0-11) 50,0 ± 28,4 N	6,9 ± 3,0 kg (2-12) 67,7 ± 29,4 N	<0,001
hohe Außenrotation	8,2 ± 4,2 kg (2-18) 80,4 ± 41,2 N	9,5 ± 4,1 kg (1-19) 93,2 ± 40,2 N	<0,001

Tabelle 22: Ergebnisse der Kraftmessung unter Verwendung des Isobex

Isobex und Druckmessplatte zeigten im Vergleich der Messmethoden für die Positionen Starter - Jobe, Starter - Belly-Press sowie tiefe Außenrotation - hohe Außenrotation hochsignifikante Zusammenhänge ($p < 0,001$; $r > 0,556$).

3.3 ERGEBNISSE DER MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE

3.3.1 SEHNENINTEGRITÄT UND MUSKELBESCHAFFENHEIT

Unter Verwendung der gängigen Magnetresonanztomographie-Kriterien für die Diagnose einer Rotatorenmanschettenruptur wurden im postoperativen Verlauf 9 (18,8 %) komplett rerupturierte Mm. supraspinatus und 2 (4,2 %) rupturierte Mm. subscapularis diagnostiziert. In 4 Fällen wurde kernspintomographisch eine simultane Beteiligung der Supraspinatus- als auch der Subscapularissehne im Sinne der Initialruptur diagnostiziert. Ausdünnungen der Infraspinatussehne waren stets mit M. supraspinatus-Rupturen vergesellschaftet.

Sehnenbeschaffenheit	M. supraspinatus	M. subscapularis	M. infraspinatus
intakt	25 (52,1 %)	41 (85,4 %)	40 (83,3 %)
ausgedünnt	14 (29,2 %)	5 (10,4 %)	8 (16,7 %)
komplette Reruptur	9 (18,8 %)	2 (4,2 %)	

Tabelle 23: Sehnenbeschaffenheit und -integrität postoperativ

Eine singuläre Veränderung der Supraspinatussehne war in 15 Fällen, der Subscapularissehne in 2 Fällen vorhanden. Insgesamt wurden bei 22 Patienten keine Auffälligkeiten der Sehnen diagnostiziert.

Die Beurteilung der fettigen Infiltration der Rotatorenmanschettenmuskulatur nach den Kriterien von Goutallier ergab folgende Verteilung:

Goutallier / Häufigkeit	M. supraspinatus	M. subscapularis	M. infraspinatus
0	21 (43,8 %)	20 (41,7 %)	18 (37,5 %)
1	16 (33,3 %)	18 (37,5 %)	23 (47,9 %)
2	5 (10,4 %)	6 (12,5 %)	5 (10,4 %)
3	4 (8,3 %)	3 (6,3 %)	2 (4,2 %)
4	2 (4,2 %)	1 (2,1 %)	

Tabelle 24: Beurteilung der fettigen Infiltration der Rotatorenmanschettenmuskulatur nach Goutallier

Ein Großteil der betroffenen Muskulatur wies postoperativ degenerative Veränderungen auf. Auch der M. infraspinatus war von fettiger Infiltration betroffen, obwohl dieser initial keine Läsion aufwies.

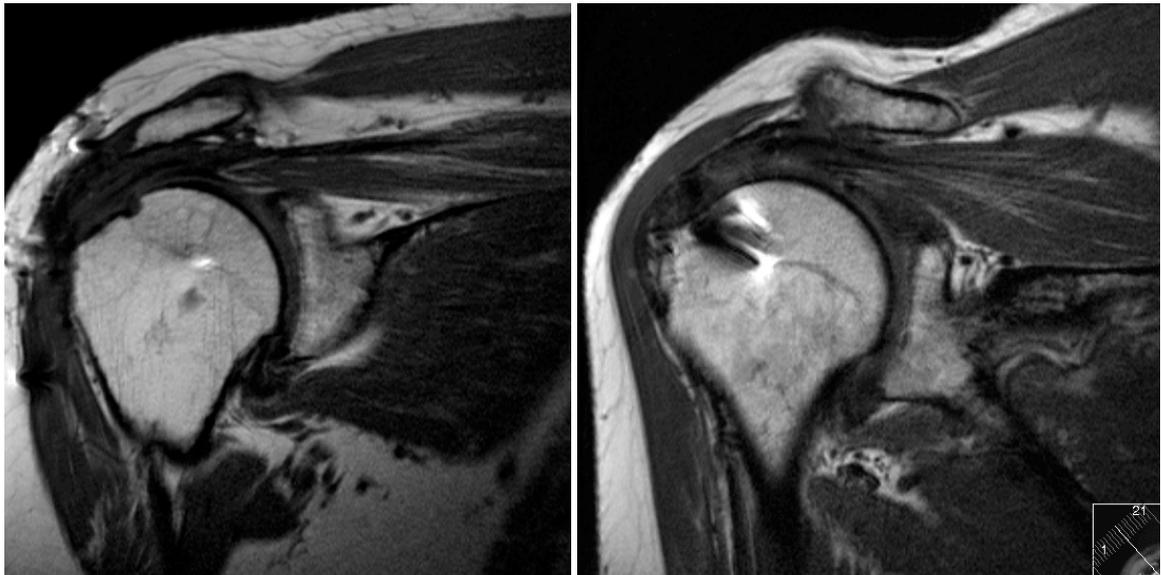


Abbildung 36: Parakoronare, T1-gewichtete MR-Bilder einer rechten Schulter mit bereits sehlig-verfetteten Arealen in der Muskulatur

Sowohl die präoperative Rupturgröße als auch die postoperative Integrität des M. supraspinatus und des M. subscapularis nahm signifikanten Einfluss auf die fettige Degeneration des jeweiligen Muskels ($p < 0,050$).

Der durchschnittliche fettige Infiltrationsgrad des Supraspinatusmuskels stieg zwar mit zunehmender Dauer der symptomatischen präoperativen Periode an, jedoch ohne Signifikanz ($p > 0,050$).

3.3.2 MUSKELFLÄCHE

Die Bestimmung der Querschnittsfläche des Muskelbauchs ergab auf der operierten Seite (P0) für den M. supraspinatus eine mittlere Fläche von $559,5 \pm 210,0$ (205-1035) mm² im Vergleich zur Kontrollgruppe von $739,6 \pm 189,7$ (381-1387) mm²; entsprechend einem hochsignifikanten Unterschied ($p < 0,001$).

Beim M. subscapularis lag postoperativ ebenfalls eine signifikante Verminderung der Fläche ($p = 0,005$) vor, bei durchschnittlich $1754,0 \pm 815,2$ (134-3115) mm² gegenüber $2154,8 \pm 677,2$ (591-3611) mm² im Vergleichskollektiv.

Kein signifikanter Unterschied war beim M. infraspinatus ($p = 0,413$) festzustellen mit einer Fläche von $939,5 \pm 372,5$ (131-1683) mm² im Patientenkollektiv und $991,5 \pm 315,6$ (278-2001) mm² in der Kontrolle.



Abbildung 37: Messung der Muskelfläche der Mm. supraspinatus und subscapularis in sagittalen Magnetresonanztomographiebildern einer rechten Schulter nach operativer Rekonstruktion einer Rotatorenmanschettenläsion

Ein signifikanter Zusammenhang konnte hergestellt werden zwischen der Integrität der Sehnen postoperativ und der Muskelfläche.

Muskelfläche / Integrität	intakt	Komplettreutpur	p
M. supraspinatus	611,8 mm ²	366,5 mm ²	0,003
M. subscapularis	1947,6 mm ²	1092,0 mm ²	

Tabelle 25: Muskelfläche entsprechend der Sehnenbeschaffenheit

Der postoperative Zustand der M. supraspinatus-Sehne nahm sowohl auf die Muskelfläche des M. supraspinatus ($p=0,005$), des M. subscapularis ($p=0,033$) als auch des M. infraspinatus ($p=0,011$) Einfluss. Eine komplette Läsion der M. supraspinatus-Sehne führte zu einer signifikanten Verminderung der Muskelfläche gegenüber einer intakten Sehne ($p=0,003$). Ebenso verringerte sich die Muskelfläche des M. subscapularis signifikant bei verminderter Sehnenqualität dessen ($p=0,005$).

Die Muskelfläche des M. supraspinatus wurde signifikant durch die präoperative Rupturgröße nach Snyder ($p=0,025$), jedoch nicht durch das Ausmaß der Sehnenretraktion nach Patte beeinflusst. Die Fläche des M. subscapularis blieb durch die Größe der Läsion (nach Fox und Romeo) unbeeinflusst.

Der Einfluss der Muskelfläche auf die klinische Testung der Rotatorenmanschettenmuskulatur stellte sich folgendermaßen dar:

klinischer Test (negativ - positiv) / Fläche	M. supraspinatus	M. subscapularis	M. infraspinatus
Starter	<0,001	0,082	0,003
Lift-off	0,227	0,041	0,185
Belly-Press	0,692	0,121	0,670

Tabelle 26: Korrelation zwischen dem Ergebnis klinischer Rotatorenmanschetten-Tests postoperativ und Muskelfläche

Bei Betrachtung der fettigen Infiltration in Zusammenhang mit der Muskelfläche zeigte sich, dass sowohl beim M. supraspinatus ($p=0,003$) als auch beim M. subscapularis ($p=0,006$) eine Verminderung der Fläche bei steigendem Infiltrationsgrad zu verzeichnen war. Keine dementsprechende Korrelation konnte beim M. infraspinatus gefunden werden.

Durch Korrelation der Kraftwerte mittels Druckmessplatte sowie Isobex mit der gemessenen Muskelfläche im Magnetresonanztomogramm ergab sich Folgendes:

Messung	Korrelationskoeffizient r	Signifikanzniveau p
Starter-Test vs. Fläche SSP	0,572	<0,001
Starter-Test vs. Fläche ISP	0,477	0,001
Belly-Press-Test vs. Fläche SSC	0,499	0,001
Lift-off-Test vs. Fläche SSC	0,141	0,363
tiefe AR vs. Fläche SSP	0,477	0,001
tiefe AR vs. Fläche ISP	0,279	0,067
Jobe-Position vs. Fläche SSP	0,462	0,002
Jobe-Position vs. Fläche ISP	0,478	0,001

Tabelle 27: Korrelation zwischen der gemessenen Kraft mittels Druckmessplatte und der Muskelfläche in der Magnetresonanztomographie

Zwischen subjektiven Parametern und Flächenbestimmung ergab sich, dass bei der visuellen Analogskala eine hochsignifikant negative Korrelation ($p=0,049$) zur Fläche des M. subscapularis bestand.

In Bezug auf die subjektive Zufriedenheit zeigte sich ebenfalls ein Zusammenhang, jedoch ohne Signifikanz.

Fläche (mm ²) / Zufriedenheit	sehr zufrieden	zufrieden	bedingt zufrieden
SSP	593,9	542,6	356,0
SSC	1854,2	1573,0	1525,8
ISP	948,3	1042,2	593,0

Tabelle 28: Einfluss der Muskelfläche auf die postoperative Zufriedenheit

3.3.3 DURCHMESSER M. SUBSCAPULARIS

Der vertikale Durchmesser des M. subscapularis betrug im Patientenkollektiv $75,9 \pm 15,5$ (34-104) mm im Vergleich zu $91,2 \pm 10,2$ (71-121) mm in der Kontrolle. Damit lag eine hochsignifikante ($p<0,001$) Verringerung dieses Durchmessers vor.

Der transversale Durchmesser war im kranialen Anteil des Muskels postoperativ hochsignifikant ($p<0,001$) vermindert mit $20,2 \pm 7,2$ (6-30) zu $27,9 \pm 6,1$ (14-42) mm wohingegen im kaudalen Anteil dieser nicht signifikant ($p=0,087$) verringert war mit $26,0 \pm 8,0$ (0-40) mm zu $35,2 \pm 46,0$ (16-434) mm.



Abbildung 38: Magnetresonanztomographische Messung der Durchmesser des M. subscapularis einer rechten Schulter nach operativer Rekonstruktion einer Rotatorenmanschettenläsion (vertikaler und transversale Durchmesser)

Atrophien des M. subscapularis waren in der Mehrzahl der Fälle vor allem im kranialen Teil aufzufinden. Der vertikale ($p=0,027$) und der transversal kraniale ($p=0,003$) als auch kaudale ($p=0,049$) Durchmesser wurden signifikant durch die Sehnenintegrität des M. subscapularis beeinflusst: beim direkten Vergleich der Durchmesser eines intakten M. subscapularis mit einer partial rupturierten Sehne ließ sich wiederum eine negative Verbindung zwischen allen Durchmessern aufweisen (kranial transversal: $p=0,001$; kaudal transversal: $p=0,022$; vertikal: $p=0,017$).

Bei Ermittlung des Einflusses der fettigen Infiltration nach Goutallier war eine signifikante Abnahme des kranialen ($p=0,006$) und kaudalen transversalen ($p=0,001$) sowie des vertikalen ($p=0,047$) Durchmesser mit steigendem Infiltrationsgrad zu beobachten.

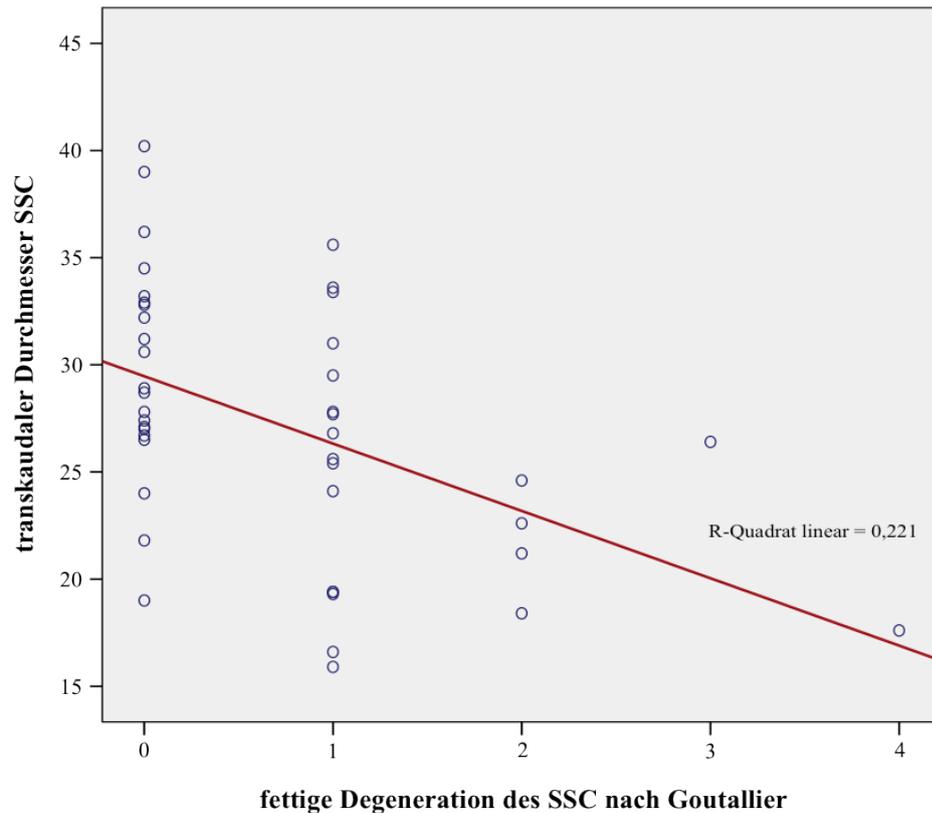


Abbildung 39: Veränderung des kaudal transversalen Durchmessers bei steigender fettiger Infiltration des M. subscapularis

Es zeigte sich, dass der kaudal transversale Durchmesser das Ergebnis des postoperativen Lift-off-Tests signifikant beeinflusste ($p=0,045$). Keiner der Durchmesser beeinflusste den Belly-Press-Test (kranial transversaler Durchmesser: $p=0,122$).

Weder zwischen subjektiver Zufriedenheit noch zwischen postoperativer visueller Analogskala und den Durchmessern des M. subscapularis bestand ein signifikanter Zusammenhang.

3.4 ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE

Zusammenfassend ließ sich aus den dargelegten Ergebnissen schließen, dass postoperativ das Bewegungsausmaß des betroffenen Schultergelenks hochsignifikant bei Flexion ($p < 0,000$) und Abduktion ($p < 0,000$), sowie signifikant bei Extension ($p = 0,002$) und Adduktion ($p = 0,035$) verbessert werden konnte. In Hinsicht auf die Innenrotation konnte bei 65,8 % (25/38) der Patienten eine Verbesserung im Vergleich zur präoperativen Untersuchung erzielt werden. In 21,1 % (8/38) der Fälle blieb die Innenrotationsfähigkeit unverändert und in lediglich 13,2 % (5/38) kam es zu einer Verschlechterung.

Mit dem Resultat der Operation waren 33 (68,8 %) Patienten sehr zufrieden und 11 (22,9 %) Patienten zufrieden. Lediglich 4 (8,3 %) Patienten waren mäßig zufrieden und kein Patient gab Unzufriedenheit an. Das Schmerzniveau der Patienten, gemessen anhand der visuellen Analogskala, konnte hochsignifikant ($p < 0,001$) von 7,2 auf 1,3 verbessert werden.

Dies spiegelte sich im Constant-Score wider, welcher sowohl bei hoher subjektiver Zufriedenheit ($p = 0,002$) als auch bei geringem Schmerzempfinden ($p = 0,016$) der Patienten signifikant bessere Ergebnisse zeigte.

Durch Quantifizierung der Muskelkraft der Rotatorenmanschette mittels Druckmessplatte konnte ein Kraftdefizit zwischen operierter und kontralateraler Schulter dargelegt werden. Dies zeigte lediglich beim Starter-Test berechnet über das gesamte Kollektiv keine Signifikanz, wohingegen in Position sowohl des Belly-Press- als auch des Lift-off-Tests hochsignifikante ($p < 0,001$) und in tiefer Außenrotation ($p = 0,002$) signifikante Krafteinbußen zu verzeichnen waren.

Ebenfalls ergaben sich Kraftdefizite gegenüber der Kontrollgruppe: ein hochsignifikanter Kraftverlust bei Messung in der Lift-off-Position ($p < 0,001$) und eine signifikante ($p = 0,001$) Verringerung bei Messung in tiefer Außenrotation waren zu beobachten. Bei Auswertung der Messung getrennt nach Geschlecht ergab sich ein Kraftverlust in nahezu allen Positionen. Im Gegensatz dazu bestand bei Gegenüberstellung der nicht operierten Seite des Patienten- mit dem Kontrollkollektiv bei keiner Messposition eine Differenz.

Bei steigender subjektiver Zufriedenheit der Patienten konnte eine signifikante Verbesserung dokumentiert werden in Hinblick auf das Ergebnis der Kraftmessung in allen Positionen sowie bei der Messung der Kraft in Position des Jobe-Tests.

In der magnetresonanztomographischen Analyse zeigten sich ebenfalls Pathologika. Bei Bestimmung der Muskelfläche ergab sich auf der operierten Seite für den M. supraspinatus ein hochsignifikanter Flächenverlust ($p < 0,001$). Beim M. subscapularis lag postoperativ ebenfalls eine signifikante Verminderung der Fläche im Vergleich zur

Kontrollgruppe vor, wohingegen beim M. infraspinatus kein Flächenverlust zu verzeichnen war.

Bei Korrelation der Kraftwerte (quantifiziert unter Verwendung der Druckmessplatte und Isobex) mit der Muskelfläche im Magnetresonanztomogramm zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Starter-Test als auch Jobe-Position und der Fläche des M. supraspinatus ($p < 0,001$) sowie der Fläche des M. infraspinatus ($p = 0,001$). Gleiches war für den Belly-Press-Test und der Fläche des M. subscapularis zu beobachten.

Zwischen subjektiven Parametern und Flächenbestimmung ergab sich folgender Zusammenhang: die visuelle Analogskala zeigte eine hochsignifikant negative Korrelation zur Fläche des M. subscapularis als auch des M. supraspinatus.

Bei genauerer Betrachtung des M. subscapularis mit Hilfe dreier Durchmesser waren der vertikale als auch der kranial transversale Durchmesser des M. subscapularis beim Patientenkollektiv verglichen mit der Kontrolle hochsignifikant ($p < 0,001$) vermindert. Der kaudal transversale Durchmesser blieb unbeeinflusst.

Insgesamt waren demnach auch 3,68 Jahre nach Rekonstruktion massive Differenzen der Muskelbeschaffenheit als auch der -kraft zu verzeichnen.

4 DISKUSSION

4.1 ROTATORENMANSCHETTENRUPTUREN

Rupturen der Rotatorenmanschette sind eine der häufigsten Gründe für Schulterschmerzen [3, 105, 115, 117, 161]. Die operative Rotatorenmanschettenrekonstruktion ist eine gängige Therapieoption und führt langfristig zu hervorragenden, klinischen Ergebnissen gegenüber dem natürlichen Verlauf der Ruptur [25, 32, 34, 62, 112]. Dennoch wird die Rerupturrate nach operativem Eingriff in unterschiedlichen Studien zwischen 13 und 70 % beziffert [34, 35, 43, 70, 166, 180]. Insbesondere anterosuperiore Rupturen sind eine seltene Entität und verzeichnen ein schlechteres postoperatives Ergebnis [8, 166]. Folglich ist eine Reruptur angesichts ihrer beschriebenen Häufigkeit eine wiederholt auffindbare Komplikation nach Rekonstruktion. Dies ist jedoch nicht gleichbedeutend mit klinischem Versagen der operativen Therapie [35, 43, 62].

Auf Grund der bestehenden offenkundigen Diskrepanz zwischen funktionellem und anatomischem Resultat stellt sich die Frage nach der Effektivität chirurgischer Maßnahmen. Verschiedenste Faktoren nehmen Einfluss auf das postoperative Ergebnis. Dazu gehören Größe und Lokalisation der Ruptur, Alter der Patienten, Zeitpunkt der Operation, Sehnenqualität, die präoperativ bereits bestehende Atrophie und Degeneration der Muskulatur, der vollständige Rupturverschluss und die prä- und postoperative Betreuung [22, 44, 48, 53, 62, 70, 89, 90, 93, 112, 131, 139, 167]. Ferner beeinflussen die Erwartungen des Patienten vor der Operation nicht nur die postoperative Zufriedenheit [144], sondern ebenso das Resultat nach Rekonstruktion [65].

In der vorliegenden Studie wurden erstmals am weltweit größten Studienkollektiv das klinische Outcome, die Muskelkraft und die Querschnittsfläche des Muskelbauches nach anterosuperiorer Rotatorenmanschettenrekonstruktion vergleichend untersucht. Auf Basis dieser Daten sollte die Frage beantwortet werden, inwiefern sich durch die Versorgung einer Rotatorenmanschettenruptur mittels operativer Rekonstruktion sowohl Kraft als auch Muskelfläche wiederherstellen lassen. Ein weiteres Ziel der Arbeit war hierbei die Analyse der Korrelation zwischen klinischem Outcome und objektiven Parametern wie Kraftmessung und Muskelvolumen.

4.2 KLINIK

4.2.1 AKZEPTANZ DER OPERATION

Die entscheidenden Kriterien im Hinblick auf den Erfolg der operativen Rekonstruktion sind aus Sicht der Patienten zum einen dauerhafte Schmerzreduktion [144, 163] und zum

anderen eine Verbesserung der Funktionalität des Schultergelenkes [130, 144]. Als wesentliches Therapieziel gilt somit nicht nur das objektive Resultat, sondern ebenso die Zufriedenheit der Patienten mit dem operativen Ergebnis.

Flury et al. [34] untersuchten 63 Patienten nach Rekonstruktion von M. subscapularis-Sehnen-Rupturen. In 51 % der Fälle traten diese in Kombination mit einer M. supraspinatus-Ruptur auf. Die Akzeptanzrate der Operation war 35 Monate postoperativ sehr hoch: 98 % der Patienten waren zufrieden mit dem Resultat und 89 % würden sich erneut der Operation unterziehen. Hatstrup et al. [64] ermittelten ebenso bis zu 88,6 % subjektiv als exzellent gewertete Ergebnisse nach Rotatorenmanschettennaht.

In der hier vorgelegten Studie waren 3,7 Jahre (44 Monate) postoperativ über 90 % der Patienten zufrieden bis sehr zufrieden mit dem Ergebnis der Rekonstruktion. Kein Patient gab vollkommene Unzufriedenheit an. Dieser hohe Zufriedenheitsgrad wurde unter anderem durch eine Reduktion der Schmerzen [92] sowie durch die Verbesserung des Bewegungsumfanges erzielt [7]. Wie auch die Resultate anderer Autoren zeigten [30, 31, 34, 35, 38, 44, 53, 77, 89, 144, 148], unterstreicht die vorliegende Untersuchung, dass durch operative Rekonstruktion ein subjektiv exzellentes Ergebnis erreicht wird.

4.2.2 VISUELLE ANALOGSKALA

Schmerz als eines der Hauptsymptome symptomatischer Rotatorenmanschettenrupturen stellt einen wichtigen Aspekt bei der Indikationsstellung für eine operative Therapie dar. Dementsprechend kommt der Schmerzlinderung eine zentrale Rolle für die Zufriedenheit der Patienten zu [144, 167].

Das Erreichen einer signifikanten Schmerzreduktion wurde bereits in der Studie von Gerber et al. [43] gezeigt. Bei 10 Patienten mit kombinierter M. supraspinatus- und M. subscapularis-Sehnen-Ruptur konnte die Schmerzintensität (dokumentiert im Rahmen des Constant-Scores) von 3,8 auf 12,7 von maximal 15 Punkten verbessert werden. Im eigenen Untersuchungsgut erreichten die Patienten postoperativ 13,4 Punkte und befanden sich damit auf sehr niedrigem Schmerzniveau. Zusätzlich wurde die durchschnittliche Schmerzstärke auf einer stufenlosen, visuellen Analogskala (VAS) aufgetragen. Präoperativ lag der Wert im Bereich starker Schmerzen (7,2 Punkte). Die empfundene Schmerzintensität konnte postoperativ hochsignifikant auf 1,2 Punkte reduziert werden. In einer Studie von Bennett et al. [8] wurde ebenso eine signifikante Schmerzminderung von 7 auf postoperativ 2 erzielt. Somit bestätigt die vorliegende Erhebung die in der Literatur vorherrschende Meinung [8, 27, 35, 43, 53, 62, 148], dass

bei einem Großteil der Patienten durch die Naht der rupturierten Rotatorenmanschette eine deutliche Schmerzlinderung eintritt.

4.2.3 *BEWEGUNGSUMFANG*

Ein wesentlicher Bestandteil der Schulterfunktionalität ist die Beweglichkeit, welche anhand der Neutral-Null-Methode beurteilt wurde. Präoperativ bestanden bei den Patienten insbesondere Einschränkungen in den Bewegungsrichtungen Abduktion und Flexion.

Bezüglich des Bewegungsausmaßes konnte beobachtet werden, dass mit Ausnahme der tiefen Außenrotation, der Bewegungsumfang der Schulter in allen Ebenen signifikant zunahm. Insbesondere wurden für die aktive Abduktion und Flexion hochsignifikante Verbesserungen erzielt. In 60,5 % der Fälle wurde ein Zugewinn der Innenrotation erzielt. Postoperativ bestand in Hinblick auf die Bewegungsfreiheit kein signifikanter Unterschied zwischen operierter und kontralateraler Schulter. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen anderer Studien [35, 43, 70, 112, 148] und bewirkte insbesondere zusammen mit einer Schmerzreduktion, dass die Patienten die gewohnten Aktivitäten und Tätigkeiten in Beruf und Alltag wiederaufnehmen konnten [30, 35, 44].

Die wirtschaftliche Bedeutung von Sehnenrekonstruktionen evaluierten Iannotti et al. [68]. In deren Untersuchungsgut empfingen präoperativ 24 der 33 erwerbsfähigen Patienten eine Arbeitsunfähigkeitsentschädigung. Alle Patienten konnten postoperativ zu ihrem Arbeitsplatz zurückkehren. In einer Arbeit von Gerber et al. [44] wurde ebenfalls die Rate der Arbeitsunfähigkeit um 36 % reduziert. Das Vermögen in der ursprünglichen Anstellung die Tätigkeit wieder aufzunehmen stieg von 59 % auf 95 %. Dieser Aspekt ist ein weiterer wichtiger Punkt und rechtfertigt zusätzlich aus wirtschaftlicher Sicht die operative Rekonstruktion von Läsionen der Rotatorenmanschette.

4.2.4 *CONSTANT-SCORE*

Zur Gesamtbeurteilung der Schulterfunktion wurde der Constant-Score aufgrund einer sinnvollen Verknüpfung subjektiver wie objektiver Parameter, sowie der einfachen und reproduzierbaren Durchführbarkeit [28, 173] erhoben. Er bietet aufgrund seiner geringen Abweichung auch bei wechselnden Untersuchern eine hervorragende Basis zur vergleichenden Auswertung verschiedener Studien. Die Normwerte liegen bei Frauen mit einem durchschnittlichen Kollektivalter von 61,5 Jahren alters- und geschlechtsadaptiert bei 70 Punkten und bei Männern bei 75 Punkten [8, 41]. Constant et al. [28] postulierten

allgemeine Normwerte von 73 Punkten bei weiblichen und 84 Punkten bei männlichen Probanden.

Eine Abnahme der Constant-Score-Werte bei steigender Anzahl rupturierter Sehnen dokumentierten Gerber et al. [43]. Patienten mit Läsionen zweier Sehnen erzielten einen postoperativen Constant-Score von 74,2 Punkten. Bei 72 Patienten mit einer kompletten Rotatorenmanschettenruptur berichteten Romeo et al. [131] 54 Monate nach offener Rotatorenmanschettennaht von einem durchschnittlichen Constant-Score von 78 Punkten. Bennett und Mitarbeiter [8] ermittelten bei 35 Patienten mit anterosuperioren Rotatorenmanschettendefekten 2-4 Jahre postoperativ einen Constant-Score von 77 Punkten.

Der mittlere Constant-Score der hier vorliegenden Untersuchung lag in vergleichbarer Größenordnung: die weiblichen Patienten erreichten 71,7 Punkte und die männlichen Probanden 81,1 Punkte. Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse des Constant-Scores fiel auf, dass die Werte signifikant abhängig waren von dem Ergebnis der VAS als auch von der Patientenzufriedenheit. Bei ansteigender VAS, d.h. zunehmender Schmerzintensität, nahm der Constant-Score ab. Bei höherer Zufriedenheit erzielten die Patienten ebenso signifikant höhere Werte im Constant-Score. Jene Patienten, die mit dem Erfolg lediglich bedingt zufrieden waren, erzielten durchschnittlich 57,0 Punkte. Demgegenüber steht, dass Patienten, die zufrieden oder sogar sehr zufrieden waren 74,6 Punkte bzw. 83,0 Punkte im Constant-Score erreichten.

Von Iannotti et al. [68] wurden 40 Patienten zwei Jahre postoperativ unter anderem mit Hilfe des Constant-Scores nachuntersucht und vergleichend die subjektive Bewertung der Schulter dokumentiert. Die Einteilung erfolgte in normal (keine Symptome), annähernd normal (Schmerzreduktion, jedoch geringer Restschmerz ohne medikamentöse Behandlung oder Einschränkungen im Alltag), verbessert (leichte Schmerzen, anstrengende Alltagsaktivitäten eingeschränkt) und verschlechtert (Schmerzzunahme). Iannotti und Mitarbeiter kamen zu dem Ergebnis, dass 92 % der Patienten, die ihre Schulterfunktion als normal oder annähernd normal einschätzten, einen postoperativen Constant-Score von über 90 Punkten erzielten. Wohingegen alle Patienten mit einem Scoreergebnis von weniger als 70 Punkten über leichte Schmerzen mit deutlichen funktionellen Einschränkungen klagten.

Entsprechend bestätigt sich erneut die Annahme, dass die Korrelation des Constant-Scores mit subjektiver Beurteilung und Zufriedenheit hoch ist [44, 47, 68, 144, 180].

Eine grundlegende Schwäche des Constant-Score besteht darin, dass im objektiven Teil v.a. der M. supraspinatus repräsentiert wird und damit nur eine eingeschränkte Aussagekraft bei Rotatorenmanschettenläsionen, die über eine singuläre Ruptur des

M. supraspinatus hinaus gehen, besteht [9]. Insbesondere bedingt dadurch, dass eine Kraftmessung im Rahmen des Constant-Scores lediglich in Jobe-Position ausgeführt wird und auch in der Mobilitätsprüfung der M. subscapularis nur zu 10 % berücksichtigt wird.

4.3 KRAFTMESSUNG

Entsprechend spiegeln die geläufigen Outcome-Scores wie der Constant-Score meist nicht das global-funktionelle Ergebnis wider. Die direkte Naht einer rupturierten Rotatorenmanschette führt gewöhnlich zu einer Verbesserung der Kraft der operierten Schulter [32]. Ein Erreichen von Kraftwerten, äquivalent zur unverletzten, nicht operierten Seite, ist allerdings als Ausnahme anzusehen [85, 129, 131]. Für die Regeneration der Muskelkraft wird durchschnittlich mehr als ein Jahr benötigt [11, 129], wobei der größte Kraftanstieg ab dem sechsten Monat postoperativ zu verzeichnen ist [162, 169]. In der Literatur existieren nur wenige quantitative Daten über das Kraftpotential der Rotatorenmanschette – im Speziellen in den funktionellen Positionen der beteiligten Muskeln. Ebenso lagen bislang keine Vergleichswerte für die Messung der Muskelkraft mittels einer Druckmessplatte vor.

Kim et al. war 2009 die erste Arbeitsgruppe, die quantitative Werte veröffentlichte und damit signifikante Kraftunterschiede nach Altersgruppe und Geschlecht aufzeigte [84].

Zuvor wurden zumeist prozentuale Vergleichswerte herangezogen. In der Studie von Gore et al. [50] wurde 5,5 Jahre nach Operation 86 % der normalen Kraft in Abduktion erreicht. Bei Walker et al. [162] wurden im Durchschnitt 80 % in Abduktion und 90 % in Außenrotation ein Jahr postoperativ gemessen. Äquivalente Werte präsentierten Rokito et al. [130] mit 87 % und 90 % für Abduktion und tiefer Außenrotation. Vergleichbare Resultate erzielten die Patienten des eigenen Kollektivs in Gegenüberstellung mit der Kontrollgruppe: in Starter-Position 93,1 N im Patientenkollektiv gegenüber 102,5 N der Kontrollgruppe, 79,9 N im Vergleich zu 87,7 N in Belly-Press, 49,9 N gegenüber 67,2 N in Lift-off und 71,5 N gegenüber 85,9 N in tiefer Außenrotation. Dies entsprach 90,8 % des Referenzwerts in Abduktion, 89,1% in Belly-Press-, 74,3 % in Lift-off-Position und 83,2 % in tiefer Außenrotation.

Im Rahmen einer quantitativen Messung legten Barth et al. [4] einen speziellen Fokus auf die Kraft des M. subscapularis in Belly-Press-Position und bestimmten diese bei 68 Probanden mit einem digitalen Spannungsmessgerät (Tensiometer). Patienten mit arthroskopisch rekonstruiertem M. subscapularis wiesen ein signifikantes Kraftdefizit zwischen operierter und kontralateraler Schulter auf und konnten lediglich 7,9 kg Kraft entwickeln, wohingegen bei Probanden mit initial intaktem M. subscapularis 10,8 kg

gemessen wurden und keine Seitendifferenz erkennbar war. Die eigens durchgeführten Messungen ergaben in Belly-Press-Position umgerechnet (von Newton in Kilogramm) 8,8 kg in der Kontrollgruppe und 7,9 kg im Patientenkollektiv. Das Vergleichskollektiv von Barth et al. erzielte somit ungefähr 2 kg höhere Werte, wohingegen das Patientengut mit rekonstruierter Subscapularis-Sehne übereinstimmende Kraftwerte erlangte.

Mit Hilfe der Druckmessplatte konnten die Kraftdefizite der operierten gegenüber der gesunden Schulter weiter objektiviert werden. Kraftverluste waren sowohl in Position des Belly-Press- als auch des Lift-off-Tests hochsignifikant und in tiefer Außenrotation signifikant nachweisbar. Ein Defizit in Starter-Test-Position konnte ebenfalls bestätigt werden, blieb jedoch ohne Signifikanz. Dies könnte dadurch beeinflusst sein, dass der nicht involvierte M. infraspinatus ebenfalls zu Teilen an der Abduktion beiträgt [42].

Im direkten Vergleich des Patientenkollektivs mit der Kontrollgruppe dokumentierte sich ebenso in fast allen Positionen ein signifikanter Kraftverlust. Die Kraftwerte der Patienten lagen in Abduktion, Außenrotation und Innenrotation des operierten Armes unterhalb deren der Probanden. Hingegen bei Gegenüberstellung der nicht operierten Seite des Patientenkollektivs mit der Vergleichsgruppe konnte jedoch im Untersuchungs-gut in keiner Messposition ein signifikantes Kraftdefizit nachgewiesen werden.

Die vorgelegte Studie zeigt, dass sich die Kraft des M. supraspinatus potentiell zu erholen scheint, wohingegen die anderen Komponenten der Rotatorenmanschette auch über 3 Jahre postoperativ Defizite aufweisen. Dies wurde unter Einsatz der Druckmessplatte deutlich, welche die spezifische Testung in allen funktionellen Positionen ermöglicht und damit das Spektrum der klinischen Diagnostik erweitert.

Unter Einbezug der MR-tomographischen Aspekte konnte bei Betrachtung der Sehnenqualität postoperativ mit abnehmender Qualität ein Kraftverlust aufgezeigt werden. Die Abduktionskraft gemessen mittels Isobex betrug im gesamten Kollektiv 5,1 kg; bei intaktem M. supraspinatus 5,8 kg wohingegen bei einer Reruptur lediglich 3,6 kg gemessen wurden. Als Vergleichswert konnte die von Gerber et al. [46] bei 13 Patienten mit M. supraspinatus-Ruptur gemessene Abduktionskraft dienen. Bei intakter Rekonstruktion verbesserte sich die Abduktionskraft von 3,4 kg präoperativ auf 5,7 kg ein Jahr nach Operation. Bei fehlgeschlagener Rekonstruktion lag der Wert bei lediglich 2,9 kg. In einer Studie von Thomazeau und Mitarbeiter [148] wurde bei 30 Patienten mit M. supraspinatus-Ruptur ebenfalls die Abduktionskraft prä- als auch postoperativ gemessen. Die Kraft stieg von 1 kg vor der Operation signifikant auf 5,4 kg nach operativer Rekonstruktion.

Jost et al. [76] fokussierten sich auf Patienten mit prä- als auch postoperativer Ruptur des M. supraspinatus und quantifizierten die Abduktionskraft mittels Isobex-Dynamometer bei 20 Patienten. In dieser Studie konnte trotz Reruptur die Abduktionskraft von 1,7 kg auf 3,2 kg verbessert werden.

Die vorliegende Untersuchung unterstreicht die Ergebnisse vorausgegangener Studien [46, 148] und durch die Kraftmessung mittels Druckmessplatte wurde objektivierbar, dass mit zunehmender Ausdünnung der Sehne die erzielten Kraftwerte abnahmen. Bei einer kompletten Reruptur des M. supraspinatus waren die Werte in Starter-Position verglichen mit einer intakten Rekonstruktion (58,1 N; 101,2 N) signifikant reduziert. Ebenso verhielten sich die Kraftwerte einer Partialruptur zu einer Komplettruptur. Von einer Reruptur des M. supraspinatus wurde jedoch nicht nur die Messung in Starter-Position beeinflusst, sondern ebenso die Messungen aller Positionen. Äquivalent nahmen beim M. subscapularis die Kraftwerte in Lift-off-Position bei Vorliegen einer Partialruptur (22,8 N) gegenüber einer intakten Sehne (53,2 N) signifikant ab.

Belegt werden konnte neben einer Korrelation zwischen postoperativem Sehnenzustand und dem Ergebnis der Kraftmessung [62, 76, 94, 102, 148] auch ein Zusammenhang mit der subjektiven Zufriedenheit der Patienten. Die Patienten mit niedrigerem Schmerzniveau waren zufriedener, konnten mehr Muskelkraft entwickeln [112] und erzielten insgesamt sowohl bei subjektiven als auch bei objektiven Parametern ein besseres Resultat. Die Kraftminderung in der isometrischen Kraftmessung spiegelte sich in einer signifikanten Verringerung des Constant-Scores wider.

Diese Ergebnisse unterstrichen die Feststellung von Itoi et al. [73] dass eine Schwäche der Rotatorenmanschette nach Rekonstruktion evident ist [127].

4.4 MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE

4.4.1 ALLGEMEIN

Für die Beurteilung der postoperativen Schulter bietet die Magnetresonanztomographie eine nicht-invasive, reproduzierbare Möglichkeit zur Diagnosestellung von strukturellen Veränderungen, deren Sensitivität und Spezifität in mehreren Arbeiten nachgewiesen wurde [69, 119, 145, 179] und deshalb von vielen Autoren favorisiert wird [72, 126, 174, 179]. Imhoff et al. [71] berichteten über eine Sensitivität von 83,3 % und eine Spezifität von 90,3 % und bestätigten somit die magnetresonanztomographische Diagnostik als eine exakte Methode, um Läsionen der Rotatorenmanschette zu beurteilen. Die Differenzierung zwischen physiologischem Zustand der rekonstruierten Sehne, welche sich im Heilungsprozess befindet, und einer Sehnenreruptur stellt eine der

Haupt Herausforderungen der postoperativen MRT-Diagnostik dar. Die für die präoperative Phase definierten MRT-Diagnosekriterien sind in der postoperativen Phase nur eingeschränkt verwendbar [160]. Insbesondere partielle Rupturen sind mitunter schwer von intakten rekonstruierten Sehnen zu unterscheiden [108, 119]. Spielmann et al. [142] konnten zeigen, dass erhöhte Signalintensitäten rekonstruierter Rotatorenmanschetten noch Jahre nach der Operation ebenso bei asymptomatischen Patienten mit guten klinischen Ergebnissen nachweisbar sind. Klinisch sind Rupturen der Rotatorenmanschette im postoperativen Verlauf häufig stumm oder schwer von anderen Affektionen zu unterscheiden und entziehen sich somit der alleinigen klinischen Diagnostik [62]. In magnetresonanztomographischen Untersuchungen der Rotatorenmanschette können jedoch postoperative Veränderungen wie erhöhte Signalintensitäten, fettige Infiltration der Muskulatur und muskuläre Atrophie bei entsprechender Erfahrung gut diagnostiziert werden [108, 137, 150, 174].

4.4.2 ATROPHIE UND FETTIGE DEGENERATION

Da Rotatorenmanschettenrupturen nicht eine alleinige Pathologie der Sehne sind, sondern ebenso die Muskulatur beeinflussen [101], stellen Muskelatrophie und fettige Involution der Rotatorenmanschettenmuskulatur nicht nur präoperativ ein wesentliches Problem dar, sondern werden ebenso nach operativen Eingriffen beobachtet. Verschiedene klinische und experimentelle Arbeiten weisen auf Strukturveränderungen der Muskulatur nach Rupturen im Sinne einer Atrophie hin [30, 51, 111, 137, 150, 174]. Des Weiteren sind Atrophie [109] und fettige Muskelinfiltration [51, 54, 55] wichtige Determinanten für ein erfolgreiches Resultat [48, 53, 168] und beide vergesellschaftet mit reduzierter Schulterfunktion und schlechterem Resultat einer Sehnenrekonstruktion [54, 62].

Björkenheim et al. postulierten, dass sich Muskelatrophie bereits innerhalb weniger Wochen entwickelt [12]. Fettige Degeneration der Rotatorenmanschettenmuskulatur ist gekennzeichnet durch das Eindringen von Fettgewebe in die Muskelfasern. Die pathophysiologischen Mechanismen sind jedoch nur unvollständig verstanden [81]. Fettige Degeneration tritt insbesondere bei Schultern mit rupturierter Rotatorenmanschette auf und steht in engem Zusammenhang mit der Rupturausdehnung [51, 53].

Es bleibt eine kontrovers diskutierte Frage, ob sich Atrophie des Muskels sowie fettige Degeneration nach erfolgter Rekonstruktion zurückbilden oder zumindest stagnieren.

Goutallier und Mitarbeiter beschrieben die Muskelinfiltration und untersuchten in verschiedenen Studien den Einfluss der fettigen Degeneration auf die Prognose und das Resultat nach operativer Rotatorenmanschettenrekonstruktion. In einer 1998

veröffentlichten Studie [54] wurden 74 Patienten mit M. supraspinatus-Ruptur, darunter 20 mit kombinierter M. supraspinatus- und M. subscapularis-Ruptur, sowohl prä- als auch 10,5 Monate postoperativ mittels Computertomographie untersucht. Goutallier et al. postulierten, dass nach operativem Eingriff das Fortschreiten einer fettigen Infiltration zwar stagniere, aber dass eine Rückbildung selbst nach erfolgreicher Rekonstruktion als Rarität zu betrachten sei. Des Weiteren zeigten sie eine enge Beziehung zwischen dem präoperativ bereits bestehenden Grad der Degeneration und der Rerupturrate auf. In einer weiteren Studie im Jahre 2003 [53] wurden 220 Patienten mit M. supraspinatus-Ruptur, darunter 34 mit kombinierter M. supraspinatus- und M. subscapularis-Ruptur, prä- als auch 37 Monate postoperativ mittels Magnetresonanz- oder Computertomographie untersucht. Nach erfolgreicher operativer Therapie präsentierte sich die entsprechende Muskulatur bei Betrachtung der fettigen Infiltration ebenfalls weitgehend unverändert.

In einer Studie von Fuchs und Mitarbeitern [35] wurden 32 Patienten mit isolierten Rupturen der Rotatorenmanschettenmuskulatur untersucht; darunter 22 Fälle mit M. supraspinatus- und 10 Fälle mit M. subscapularis-Ruptur. Es zeigte sich, dass sowohl Atrophie als auch fettige Degeneration trotz Wiederherstellung der Sehnenintegrität nicht regredient waren. Vielmehr wurde festgestellt, dass die fettige Infiltration des M. supraspinatus und des M. subscapularis fortschritt. Im Falle einer Reruptur war sowohl bezüglich Infiltration als auch Atrophie eine Progression zu beobachten.

Ebenso kamen Gerber et al. [43] bei einer Nachuntersuchung von Rupturen von mindestens zwei Komponenten der Rotatorenmanschette (37 Monate postoperativ, 27 Patienten) zu dem Ergebnis, dass sich die Atrophie nicht wesentlich zurückbildete und sich der fettige Anteil der Muskulatur tendenziell vergrößerte.

Die Arbeitsgruppe um Gerber kam 2007 in einer weiteren Studie [46] zu dem Ergebnis, dass bei intakter Rekonstruktion lediglich die atrophische Muskulatur bestenfalls eine Tendenz zur Verbesserung zeigte, wohingegen fettige Infiltration keinen Rückgang zeigte. Im Falle einer Reruptur schritt sowohl Muskelschwund als auch Degeneration fort.

Gladstone und Mitarbeiter [48] untersuchten bei 38 Patienten den Verlauf von fettiger Degeneration und Atrophie nach operativer Rekonstruktion von Rotatorenmanschettenrupturen. Dazu wurden präoperativ und ein Jahr nach Rekonstruktion magnetresonanztomographische Bilder angefertigt. Diese Arbeitsgruppe kam ebenfalls zu dem Ergebnis, dass trotz erfolgreichem Resultat weder fettige Infiltration noch Atrophie reversibel waren.

Eine Studie mit langem follow-up wurde bezüglich dieser Fragestellung von Jost et al. durchgeführt [76, 77]. Die Arbeitsgruppe untersuchte sowohl nach 3,2 als auch nach 7,6 Jahren 20 Patienten mit postoperativ bestehender Läsion der Rotatorenmanschette; in 5 Fällen mit kombinierter M. supraspinatus- und M. subscapularis-Ruptur. Nach 3,2 Jahren schritt die fettige Degeneration beim M. supraspinatus und beim M. infraspinatus im Vergleich mit präoperativen magnetresonanztomographischen Bildern fort. Ebenfalls nahm die Muskelfläche des M. supraspinatus ab. Zwischen 3,2 und 7,6 Jahren postoperativ stagnierte dieser Prozess. Letztendlich nahm die fettige Infiltration aller Muskeln verglichen mit dem präoperativen Befund im Laufe der Zeit zu. Bei magnetresonanztomographischer Betrachtung allein der Atrophie von 28 Schultern prä- als auch zwei und zwölf Monate postoperativ durch Shimizu et al. [140] zeigte sich, dass bei kombinierten Rupturen die Querschnittsfläche des M. supraspinatus zwei Monate postoperativ lediglich 61 % der Fläche der kontralateralen Seite betrug. Diese fortgeschrittene Atrophie blieb auch ein Jahr postoperativ unverändert.

Im eigenen Untersuchungsgut wies ein Großteil der betroffenen Muskulatur postoperativ fettige, degenerative Veränderungen auf. Im Vergleich zur Kontrollgruppe waren die Muskeln atrophiert. Die Fläche des M. supraspinatus im Patientenkollektiv betrug lediglich 75,6 % der Kontrollgruppe, im Falle des M. subscapularis waren es 81,7 % und bei Betrachtung des intakten M. infraspinatus 94,7 %.

Jedoch war selbst der M. infraspinatus in über der Hälfte degeneriert, obwohl dieser nicht rupturiert war. Die in diesem Kollektiv häufig beobachteten Signalveränderungen im Bereich des M. infraspinatus waren kernspintomographisch mitunter schwer unterscheidbar zwischen: postoperativer Signalerhöhung nach beispielsweise ausgedehnter Mobilisierung des M. supraspinatus, Artefakt (z.B. durch eingebrachte Fadenanker im Bereich des Tuberculum majus) [95, 119], zuvor nicht als M. infraspinatus-Ruptur gewertete Pathologie (da die präoperative Bildgebung mitunter extern durchgeführt worden war) oder anteroposteriore Rupturausdehnung im Verlauf trotz operativer Intervention im Bereich anterosuperiorer Anteile der Rotatorenmanschette [83].

Die Tatsache, dass der M. infraspinatus bei anterosuperioren Rupturen fettig infiltrierte, ohne initial von der Läsion betroffen gewesen zu sein, wurde bereits von Fuchs et al. [35] sowie Goutallier et al. [51] beobachtet. Verschiedene Theorien wurden hierfür postuliert, eine klinische Evidenz fehlt jedoch zumeist [82]. Albritton et al. [2] postulierten, dass bei einer Ruptur des M. supraspinatus aufgrund damit verbundener Atrophie und Sehnenretraktion die erhöhten Zugkräfte auf den N. suprascapularis zu einer nervalen

Schädigung und damit einer Degeneration des M. infraspinatus - ohne direkte Sehnenläsion - führen [155, 172]. Mochizuki et al. [107] untersuchten in 128 Kadaverschultern die Insertion der Mm. supraspinatus und infraspinatus und wiesen darauf hin, dass diese verflochtener und dadurch schwieriger abzugrenzen sind als bisher angenommen [23, 83, 106]. Lediglich 1,3 mm seien im anterioren Teil alleiniger Sehnenansatz des M. supraspinatus. Ebenso kamen Kim et al. [83] zu dem Ergebnis, dass die meisten degenerativen Rupturen im Bereich der überlappenden Sehneninsertionen liegen, was die konsekutive Degeneration des M. infraspinatus bei eigentlich singulärer M. supraspinatus-Ruptur erklären könne.

Angesichts dieser Ergebnisse haben Rupturen, die vorerst nur den M. supraspinatus zu betreffen scheinen durchaus eine häufige Mitbeteiligung des M. infraspinatus. Hierdurch könnte die Atrophieentwicklung des M. infraspinatus selbst ohne Schädigung des N. suprascapularis erklärt werden. Auszuschließen ist jedoch nicht, dass eine subklinische Schädigung des N. suprascapularis im Rahmen der Sehnenmobilisierung während des operativen Eingriffs oder eine allgemeine Inaktivitätsinvolution der Schulter auf Grund der M. supraspinatus-Ruptur zu einer Degeneration auch des M. infraspinatus führen [35, 137].

Referenz	Patientenzahl	Follow-up	Atrophie	Infiltration
Goutallier et al. 1998 [54]	74	10,5		o
Goutallier et al. 2003 [54]	220	37		o
Fuchs et al. [54]	32		o	+
Gerber et al. 2000 [54]	27	37	o	+
Gerber et al. 2007 [54]	13	12	-/o	o/+
Gladstone et al. [54]	38	12	o	o
Shimizu et al. [54]	28	12	o	

„+“ = Zunahme; „o“ = Stagnation, „-“ = Abnahme

Tabelle 29: Literaturvergleich

In Zusammenschau dieser Befunde lässt sich jedoch folgern [43, 46, 48, 53, 150, 159, 180], dass weder Atrophie noch fettige Degeneration durch erfolgreiche Rekonstruktion reversibel sind; tendenziell steigt der Anteil der fettige Infiltration trotz Intervention an. Ob nun bspw. eine längere Verzögerung der operativen Therapie oder mögliche Denervierung der musklotendinösen Einheit während des operativen Eingriffes zum Eintreten irreversibler Atrophie und Degeneration führt bleibt unklar.

4.4.3 MUSKELFLÄCHE

Die im Rahmen einer Atrophie zu beobachtende Volumen- und Querschnittsflächenabnahme kann auf parasagittalen Aufnahmen reproduzierbar quantifiziert werden [158]. Zur Bestimmung der Muskelvolumina fertigten Juul-Kristensen et al. [78] von 20 gesunden Probandinnen magnetresonanztomographische Bilder der dominanten Schulter an und ermittelten aus Querschnittsfläche und Länge des Muskels dessen Volumen. Die durchschnittliche Querschnittsfläche wurde berechnet aus dem Mittelwert dreier Messpositionen. Die drei Messungen erfolgten jeweils im medialen und lateralen Viertel, sowie in der Mitte des Muskels. Die gemittelten Flächen des M. supraspinatus, des M. subscapularis und des M. infraspinatus betragen: $4,0 \text{ cm}^2 (= 400,0 \text{ mm}^2)$, $12,1 \text{ cm}^2 (= 1210,0 \text{ mm}^2)$ und $9,8 \text{ cm}^2 (= 980,0 \text{ mm}^2)$. Die Flächen gemessen in der Mitte des Muskels waren $5,4 \text{ cm}^2$, $19,7 \text{ cm}^2$ und $11,8 \text{ cm}^2$. Daraus errechneten sich folgende Volumina: $48,9 \text{ cm}^3$, $153,6 \text{ cm}^3$, $125,1 \text{ cm}^3$. In der eigens erhobenen Kontrollgruppe mit 33 Probandinnen waren die Flächen für den M. supraspinatus $581,8 \text{ mm}^2$, für den M. subscapularis $1599,2 \text{ mm}^2$ und für den M. infraspinatus $756,5 \text{ mm}^2$. Die Diskrepanzen zwischen den jeweiligen Werten ließen sich durch die etwas abweichenden Messlokalisationen als auch durch das unterschiedliche Patientengut erklären.

Die Querschnittsfläche der Rotatorenmanschettenmuskulatur bestimmten Fuchs et al. [35] bei 32 Patienten (22 M. supraspinatus-Rupturen, 10 M. subscapularis-Rupturen) in parasagittalen, T1-gewichteten Magnetresonanztomographiebildern. Zur Messung verwendet wurde die am weitesten lateral gelegene Ebene, in der die Spina scapulae noch in Kontakt mit dem Schulterblatt stand. Insgesamt konnte vergleichend zu den präoperativen Querschnittsflächen postoperativ weder ein signifikanter Flächenverlust noch -zuwachs dokumentiert werden. Nach Rekonstruktion betrug die Querschnittsfläche des M. supraspinatus 414 mm^2 und die Fläche des M. subscapularis 1117 mm^2 . Bei Betrachtung der rekonstruierten gegenüber der initial intakten Muskulatur zeigten sich signifikante Flächenverluste.

Von Gerber et al. [46] wurden bei 13 Patienten mit Ruptur des M. supraspinatus (darunter 4 Patienten mit zusätzlicher M. subscapularis-Ruptur) die Muskelfläche im Magnetresonanztomogramm präoperativ und ebenso sechs Wochen sowie sechs und zwölf Monate postoperativ gemessen. Dies erfolgte ebenfalls in der am weitesten lateral gelegenen, sagittalen Schnittebene in der die Basis der Spina scapulae sichtbar war. Präoperativ betrug die Fläche des M. supraspinatus $4,28 \text{ cm}^2 (= 428,0 \text{ mm}^2)$. Zwölf Monate postoperativ wurde im gesamten Kollektiv durchschnittlich eine Muskelfläche

von 4,59 cm² (= 459,0 mm²) gemessen. Bei Vorliegen einer Reruptur lag der Mittelwert bei 3,03 cm² wohingegen bei intakter Sehne die Fläche 5,38 cm² maß.

Im eigenen Untersuchungsgut ergab die Bestimmung der Muskelquerschnittsfläche der operierten Patienten für den M. supraspinatus einen hochsignifikanten Flächenverlust gegenüber der Kontrollgruppe. Die Fläche des M. supraspinatus betrug im Patientenkollektiv 559,5 mm² wohingegen in der Kontrollgruppe 739,6 mm² gemessen wurden. Beim M. subscapularis lag postoperativ ebenfalls eine signifikante Verminderung der Fläche (1754,0 mm²) zum Vergleichskollektiv (2154,8 mm²) vor. Obwohl der M. infraspinatus nicht von der Initialruptur betroffen war atrophierte dieser ebenfalls, jedoch ohne Signifikanz (P0: 939,5 mm²; KG: 991,5 mm²). Die Tatsache, dass der M. infraspinatus vor allem bei extensiv anterosuperioren Rupturen degeneriert ohne ursprünglich betroffen gewesen zu sein, wurde, wie zuvor diskutiert, bereits in anderen Studien beschrieben [2, 35, 51, 148].

Im Kontext mit klinischen Parametern korrelierten die Muskelflächen signifikant mit dem Resultat gemessen am Constant-Score. Folglich lassen sich durch den Constant-Score nicht nur Rückschlüsse auf den Sehnenzustand ziehen [148], sondern ebenso auf die postoperativ vorhandene Muskelfläche.

Bei Betrachtung der subjektiven Parametern und der Querschnittsflächenbestimmung ergab sich eine hochsignifikant negative Korrelation der visuellen Analogskala zur Fläche der, von der Ruptur betroffenen, Muskeln.

Nach Maughan et al. [98] beeinflusst die Querschnittsfläche des Muskels die Fähigkeit der isokinetischen Kraftentwicklung. Folglich resultiert Atrophie der Muskulatur in Kraftminderung [36, 46]. Dies bestätigten die eigens erhobenen Daten bei Korrelation der Kraftwerte mit der Muskelfläche im Magnetresonanztomogramm. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Starter-Test und der Fläche des M. supraspinatus sowie des M. infraspinatus, die zu ähnlichen Teilen der Abduktion beitragen [42, 73, 91], konnte gezeigt werden. Ebenso beeinflusste die Fläche des M. subscapularis die Kraftentfaltung in Belly-Press-Position.

4.4.4 DURCHMESSER DES M. SUBSCAPULARIS

Eine weitere Möglichkeit die Atrophie des M. subscapularis differenziert zu beurteilen ist die magnetresonanztomographische Bestimmung des vertikalen sowie zweier transversaler Durchmesser. Die Datensätze konnten anhand einer definierten Schichtebene, entsprechend der Messposition der Muskelflächen, bezüglich des Muskelvertikal- und -transversaldurchmessers analysiert werden.

In der Studie von Schröder et al. [137] betrug der vertikale Durchmesser der Kontrollgruppe 92,7 mm; der Transversaldurchmesser im kranialen Anteil 28,8 mm und kaudal 29,6 mm. Diese Messwerte waren vergleichbar mit den Werten des eigenen Untersuchungsguts: Durchmesser vertikal 91,2 mm, transversal kranial 27,9 mm und transversal kaudal 35,2 mm.

Beim Patientenkollektiv verglichen mit der Kontrollgruppe waren vertikaler als auch transversal kranialer Durchmesser des M. subscapularis hochsignifikant vermindert. Der kaudale Transversaldurchmesser blieb ebenso wie bei Schröder et al. [137] unbeeinflusst. Im Einklang damit postulierten Pfirrmann et al. [124], dass eine Atrophie des M. subscapularis insbesondere im kranialen Anteil beurteilt werden sollte, da der kaudale Part nur selten davon betroffen sei. Für die vornehmliche Veränderung des kranialen M. subscapularis-Anteils sind verschiedene Hypothesen zu diskutieren. Neben der Eventualität einer Reruptur nach Refixation beschrieben Miller et al. [104] die Möglichkeit der Muskeldenervierung im Rahmen des operativen Eingriffs, die sekundär mit einer Atrophie und Verfettung der Muskulatur einhergeht. Eine präoperativ bereits bestehende Atrophie der M. subscapularis-Muskulatur konnte nicht sicher ausgeschlossen werden, da keine präoperativen Magnetresonanztomographie-Bilder vorlagen, welche eine reproduzierbare Messung erlaubten.

Eine Korrelation zwischen magnetresonanztomographischen und klinischen Parametern war nur zu Teilen gegeben. Der kaudale als auch der vertikale Durchmesser des M. subscapularis korrelierten mit dem Ergebnis des Constant-Scores.

Der transversal kraniale und der vertikale Durchmesser wurden signifikant von der Sehnenintegrität des M. subscapularis beeinflusst, wohingegen der transkaudale Durchmesser unbeeinflusst blieb. Während die Vertikal- und oberen Transversaldurchmesser des M. subscapularis gute Korrelationen mit der klinischen Funktion aufwiesen, schien die Adaptation des unteren M. subscapularis-Anteils geringer ausgeprägt.

Tokish et al. [153] entdeckten durch elektromyographische Messungen, dass der kraniale Anteil des M. subscapularis vor allem bei klinischer Testung durch den Belly-Press-Test aktiviert wird, wohingegen der kaudale Anteil in Lift-off-Position Veränderungen aufwies. Die eigenen Messungen zeigten, dass der transkaudale Durchmesser das Ergebnis des klinischen postoperativen Lift-off-Tests als auch das Ergebnis der Kraftmessung signifikant beeinflusste. Der transkraniale als auch der -kaudale Durchmesser beeinflussten die Werte der Kraftmessung, jedoch nicht den Belly-Press-Test in der klinischen Untersuchung.

Insgesamt zeigte sich eine deutliche Atrophie des M. subscapularis insbesondere im kranialen Anteil, welche in engem Zusammenhang mit der Integrität der rekonstruierten Sehne stand. Da Rupturen insbesondere den kranialen Teil der M. subscapularis-Sehne in Mitleidenschaft ziehen, scheint der intakte, kaudale Teil die Atrophie des kranialen Parts suffizient zu kompensieren, den Humeruskopf zu zentrieren und so das Kräftegleichgewicht aufrecht zu erhalten.

Trotz deutlichen Kraft- als auch Volumenverlusten wurden diese strukturellen Schwächen gut toleriert und führten zu exzellenten klinischen Resultaten. Jost et al. [76, 77] untersuchten 20 Patienten mit magnetresonanztomographisch nachgewiesener Reruptur in einem Nachuntersuchungszeitraum von 3,2 und 7,6 Jahren. In diesem Kollektiv waren auch nach 7,6 Jahren follow-up die Patienten sehr zufrieden, klagten über keine Einschränkungen bei täglichen Aktivitäten und kein Patient empfand eine Verschlechterung im Vergleich zum präoperativen Zustand. Zusätzlich zeigte sich nicht nur, dass das Schmerzniveau postoperativ sank, sondern dass sowohl Kraft als auch Funktion der Schulter verbessert werden konnten, obwohl die Rekonstruktion gemäß Bildgebung frustran war. Des Weiteren ergab die Nachuntersuchung nach 7,6 Jahren keine signifikanten Veränderungen in Hinblick auf Constant-Score, Schmerzniveau, Kraft, Funktion, Rerupturgröße und Patientenzufriedenheit und belegte damit langfristig konstant bleibende Ergebnisse.

Wie bereits in einigen Studien [46, 76, 86] beobachtet, konnte auch in dieser Untersuchung festgestellt werden, dass alleine der Rekonstruktionsversuch zu einer deutlichen Verbesserung der Schulterfunktion und der Kraft, als auch zu einer Verminderung des Schmerzes führt, obwohl mittels Magnetresonanztomographie ein Muskelflächendefizit und zu Teilen eine Reruptur diagnostiziert wurde. Diese Diskrepanz zwischen gutem funktionellen Ergebnis und pathologischen MR-Befunden lässt funktionstüchtige Kompensationsmechanismen vermuten [160]. Insgesamt konnte ein hoher Grad an Patientenzufriedenheit sowie ein gutes funktionelles Resultat trotz wiederkehrender Läsion erzielt werden [62].

5 ZUSAMMENFASSUNG

Da Rekonstruktionen von Rotatorenmanschettenrupturen eine der häufigsten Weichteiloperationen sind, steht das postoperative Resultat im Mittelpunkt vieler Arbeiten. Der Frage nach dem klinischen Ergebnis im Hinblick auf Wiedererlangung der Kraft nach Rekonstruktion wurde bisher nur ein geringer Anteil der orthopädischen Literatur gewidmet.

Ziel dieser Arbeit war die Ermittlung des klinischen als auch radiologischen Resultats sowie eine exakte Kraft- und Muskelflächenquantifizierung, um das Ergebnis nach Rekonstruktion zu objektivieren und eine Korrelation objektiver und subjektiver Parameter zu untersuchen.

Hierfür wurden 48 Patienten mit operativ rekonstruierter, kombinierter M. supraspinatus- und M. subscapularis-Ruptur in die vorliegende Studie eingeschlossen und ermöglichte somit die Auswertung anhand der weltweit größten Studienpopulation. Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug zum Zeitpunkt der Datenerhebung 61,5 Jahre und der Nachuntersuchungszeitraum 44,2 Monate. Neben der klinischen Untersuchung wurde sowohl eine spezifische Kraftmessung beiderseits als auch magnetresonanztomographische Schnittbilder der betroffenen Schulter angefertigt. Zur Erlangung von Referenzdaten wurde neben einer alters- und geschlechtsadaptierten Kontrollgruppe der Kraftmessung ebenfalls eine MRT-Kontrollgruppe erstellt. Eine Ergebnisanalyse der Kraftmessung und der einzelnen Befunde der Magnetresonanztomographie wurden in Bezug auf die zugehörigen klinischen Parameter wie Bewegungsausmaß, visuelle Analogskala, Zufriedenheit der Patienten und Constant-Score durchgeführt.

Nach Auswertung der Daten war postoperativ in der Mehrzahl der Fälle sowohl eine deutliche Verbesserung des Bewegungsausmaßes als auch ein Rückgang des Schmerzniveaus zu verzeichnen. Über 90 % der Patienten waren mit dem Resultat zufrieden und werteten die Operation subjektiv als Erfolg. Bei Betrachtung der klinischen Scores, insbesondere des Constant-Scores, lagen diese zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Bereich der alters- und geschlechtsspezifischen Normwerte und wurden durch das Schmerzniveau und die Zufriedenheit der Patienten, sowie Kraftpotential und Muskelflächen beeinflusst.

Während ein Großteil der klinischen Tests postoperativ verbessert wurde, ergab die präzise Quantifizierung der Muskelkraft unter Verwendung der Druckmessplatte in fast allen Positionen ein signifikantes Kraftdefizit. Diese Partialinsuffizienz lag sowohl im Vergleich der operierten zur kontralateralen, gesunden Schulter der Patienten als auch zur

Kontrollgruppe vor. Unterstrichen wurde dieses Ergebnis zusätzlich, da wiederum die gesunde Schulter kein signifikantes Defizit zum Normalkollektiv aufwies. Auffallend war, dass die postoperative Kraft in engem Zusammenhang mit dem Grad der Zufriedenheit der Patienten stand. Zusätzlich wurde die Kraft der Rotatorenmanschette in allen Positionen getestet und korrelierte jeweils signifikant mit dem Constant-Score.

Im Mittelpunkt des Interesses standen des Weiteren die postoperativen Magnetresonanztomographie-Befunde mit besonderem Fokus auf die Muskelflächen. Den funktionellen Ergebnissen entsprechend waren die Querschnittsflächen des M. supraspinatus und des M. subscapularis gegenüber dem Vergleichskollektiv signifikant reduziert. Dies spiegelte sich in der isometrischen Kraftmessung mit einem entsprechenden Kraftverlust wider. Eine Zunahme der Fläche des M. supraspinatus resultierte sowohl in Starter- als auch in Jobe-Position in signifikant höheren Kraftwerten. Analog verhielten sich die Flächenwerte des M. subscapularis mit den Kraftergebnissen in Position des Belly-Press-Tests. Die postoperative Sehnenintegrität und die fettige Degeneration vor allem des M. supraspinatus übte den größten Einfluss auf die Querschnittsflächen der Rotatorenmanschettenmuskulatur aus. Dieses Ergebnis unterstreicht die anatomisch evidenten Auswirkungen der Sehnenbeschaffenheit auf die Muskulatur und dessen qualitative Abstufungen.

Eine Korrelation zwischen den objektiven Flächenwerten und klinischen Parametern war allerdings nur teilweise gegeben. Während die Muskelfläche den Constant-Score sowie die Kraftmessung beeinflusste, zeigte sich kein Zusammenhang zu visueller Analogskala oder subjektiver Zufriedenheit der Patienten.

Trotz guter funktioneller Ergebnisse nach Rekonstruktion waren auch über 3 Jahre postoperativ MR-Pathologika wie Signalerhebung im Verlauf der Sehnen häufig nachweisbar. Auch wurden mitunter wiederkehrende Läsionen sowie Atrophie, als indirektes Diagnosekriterium einer Ruptur anzusehen, beobachtet. Die erhobenen pathologischen Veränderungen im MRT gingen jedoch nicht zwangsläufig mit vermindertem funktionellen Ergebnis oder mit Beschwerden einher.

Aus den dargelegten Ergebnissen ließ sich eine gute Korrelation zwischen klinischem und radiologischem Resultat nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion erkennen. Rerupturen bzw. strukturelles Versagen sind zwar eine häufig anzutreffende Komplikation, die sich jedoch nur zu Teilen in klinischen Outcome-Scores oder im Ergebnis magnetresonanztomographischer Untersuchungen widerspiegelt.

Spezifische isometrische Kraftmessung der Rotatorenmanschette sowie magnetresonanztomographische Flächenbestimmung des Muskelbauches sind aufschlussreiche

Möglichkeiten um prä- als auch postoperativ das Patientengut zu analysieren. Mit Hilfe der Druckmessplatte konnte die Kraft der Rotatorenmanschettenkomponenten in den funktionellen Positionen evaluiert werden. Der Einsatz der Druckmessplatte als exakter, diagnostischer Parameter für den Erfolg der Rotatorenmanschettenrekonstruktion hat sich als valide bestätigt und erweitert das Spektrum der klinischen Diagnostik. Insbesondere für die Ermittlung von M. subscapularis-Insuffizienzen scheint es ein hilfreiches Instrument zu sein, da diese sich oft subklinisch präsentieren und in den herkömmlichen Scores nur zu geringen Anteilen berücksichtigt werden [31].

Letztendlich ist die chirurgische Rekonstruktion von Rotatorenmanschettenrupturen trotz bleibendem Kraftdefizit und Atrophie eine Operation mit einem hohen Prozentsatz an postoperativer Zufriedenheit und einem lang anhaltenden Nutzen für den Patienten in Hinblick auf Schmerzminderung und Wiedererlangung der Schulterfunktion bei klinisch nicht relevanten Struktur- und Kraftdefiziten.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 1: Lebensdekade des Patientenkollektivs zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung
- Abbildung 2: Klassifikation von Rotatorenmanschetten-Läsionen (nach Snyder) [141]
- Abbildung 3: Klassifikation von M. subscapularis-Schäden (nach Fox und Romeo) [58]
- Abbildung 4: Klassifikation der Sehnenretraktion nach Patte [22]
- Abbildung 5: Constant-Score [79]
- Abbildung 6: 8 Dimensionen des SF-36; konzeptuell in die Bereiche körperliche und psychische Gesundheit eingeordnet [164]
- Abbildung 7: Visuelle Analogskala
- Abbildung 8: Druckmessplatte
- Abbildung 9: Druckkurven bei Messung der Muskelkraft mittels DMP
- Abbildung 10: Messung der Muskelkraft des M. supraspinatus in Starter-Position unter Verwendung der DMP
- Abbildung 11: Messung der Muskelkraft des M. subscapularis in Belly-Press-Position unter Verwendung der DMP
- Abbildung 12: Messung der Muskelkraft des M. subscapularis in Lift-off-Position unter Verwendung der DMP
- Abbildung 13: Messung der Muskelkraft des M. infraspinatus in tiefer Außenrotation unter Verwendung der DMP
- Abbildung 14: Sequenzprotokoll
- Abbildung 15: Präoperatives, magnetresonanztomographisches, parakoronares Bild einer M. supraspinatus-Ruptur der linken Schulter (protonengewichtet)
- Abbildung 16: T1-gewichtete parakoronare Schnittebene der rechten Schulter nach Rekonstruktion einer anterosuperioren Rotatorenmanschettenläsion; zwei Fadenanker sichtbar in Projektion auf das Tuberculum majus
- Abbildung 17: Exemplarisch-zeichnerische Darstellung der sog. „Y-shaped position“ der Schulter im MRT: parasagittales Bild [102]
- Abbildung 18: T1-gewichtete, parasagittale Schnittebene auf Höhe der Schnittstelle der Spina scapulae mit dem Scapulakörper („Y-shaped position“); Querschnitt der Mm. supraspinatus und subscapularis
- Abbildung 19: Messung des vertikalen sowie kranialen und kaudalen transversalen Durchmessers des M. subscapularis in T1-gewichteten, parasagittalen Schnittbildern
- Abbildung 20: Verteilung der Lebensdekaden der Kontrollgruppe (Druckmessplatte)
- Abbildung 21: Verteilung der Lebensdekaden der Kontrollgruppe (Magnetresonanztomographie)
- Abbildung 22: Bewegungsausmaß prä- und postoperativ im Vergleich
- Abbildung 23: Postoperativer Constant-Score: absolut und altersadaptiert
- Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Constant-Score und Schmerzniveau

- Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Constant-Score und subjektiver Zufriedenheit
- Abbildung 26: Zusammenhang zwischen Constant-Score und Atrophie des M. supraspinatus
- Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Constant-Score und präoperativer Sehnenretraktion
- Abbildung 28: Mittelwerte des SF-36 – körperliche und psychische Summenskala
- Abbildung 29: Korrelation zwischen PCS und Kraftmessung
- Abbildung 30: Korrelation zwischen PCS und Constant-Score
- Abbildung 31: Mittelwerte der visuellen Analogskala prä- und postoperativ
- Abbildung 32: Subjektive Zufriedenheit postoperativ
- Abbildung 33: Gegenüberstellung der Kraftmessergebnisse mittels Druckmessplatte in Abhängigkeit vom Grad der fettigen Degeneration
- Abbildung 34: Gegenüberstellung der Kraftmessung der Kontrollgruppe und des Patientenkollektivs P0
- Abbildung 35: Gegenüberstellung der Kraftmessung der Kontrollgruppe und nicht operierter Seite des Patientenkollektivs (P1)
- Abbildung 36: Parakoronare, T1-gewichtete MR-Bilder einer rechten Schulter mit bereits sehnig-verfetteten Arealen in der Muskulatur
- Abbildung 37: Messung der Muskelfläche der Mm. supraspinatus und subscapularis in sagittalen Magnetresonanztomographiebildern einer rechten Schulter nach operativer Rekonstruktion einer Rotatorenmanschettenläsion
- Abbildung 38: Magnetresonanztomographische Messung der Durchmesser des M. subscapularis einer rechten Schulter nach operativer Rekonstruktion einer Rotatorenmanschettenläsion (vertikaler und transversale Durchmesser)
- Abbildung 39: Veränderung des kaudal transversalen Durchmessers bei steigender fettiger Infiltration des M. subscapularis

TABELLENVERZEICHNIS

- Tabelle 1: Gradeinteilung der Sehnenintegrität
- Tabelle 2: Graduierung der fettigen Degeneration der Rotatorenmanschettenmuskulatur
- Tabelle 3: Untersuchung des Bewegungsausmaßes
- Tabelle 4: klinische Untersuchung der Innenrotationsfähigkeit
- Tabelle 5: Ergebnis des klinischen Starter-Tests
- Tabelle 6: Ergebnis des klinischen Belly-Press-Tests
- Tabelle 7: Ergebnis des klinischen Lift-off-Tests
- Tabelle 8: Verteilung der Rupturgröße des M. supraspinatus entsprechend der Klassifikation nach Snyder
- Tabelle 9: Kombination der Sehnenläsionen nach den Klassifikationen Snyder und Fox
- Tabelle 10: Mittelwerte der Kategorien des Constant-Scores
- Tabelle 11: Einfluss der VAS auf den Constant-Score
- Tabelle 12: Ergebnis der Kraftmessung mittels Druckmessplatte des Patientenkollektivs (gesamt)
- Tabelle 13: Ergebnis der Kraftmessung mittels Druckmessplatte des Patientenkollektivs (geschlechtsspezifisch)
- Tabelle 14: Korrelation der Kraftwerte der Druckmessplatte in Gegenüberstellung weiblicher und männlicher Patienten
- Tabelle 15: Berechnung der Kraftwerte aufgeteilt nach dem Grad der subjektiven Zufriedenheit
- Tabelle 16: Korrelation zwischen Sehnenintegrität des M. supraspinatus und der Kraftmessung mittels Druckmessplatte
- Tabelle 17: Korrelation zwischen dem Atrophiegrad des M. supraspinatus (Tangent sign) und der Kraftmessung mittels Druckmessplatte
- Tabelle 18: Ergebnis der Kraftmessung mittels Druckmessplatte der Kontrollgruppe
- Tabelle 19: Vergleich der Kraftmessung zwischen operierter Seite Patientenkollektiv P0 und Kontrollgruppe (geschlechtsspezifisch)
- Tabelle 20: Vergleich der Kraftmessung zwischen nicht operierter Seite Patientenkollektiv P1 und Kontrollgruppe
- Tabelle 21: Vergleich der Kraftmessung zwischen nicht operierter Seite Patientenkollektiv P1 und Kontrollgruppe (geschlechtsspezifisch)
- Tabelle 22: Ergebnisse der Kraftmessung unter Verwendung des Isobex
- Tabelle 23: Sehnenbeschaffenheit und -integrität postoperativ
- Tabelle 24: Beurteilung der fettigen Infiltration der Rotatorenmanschettenmuskulatur nach Goutallier
- Tabelle 25: Muskelfläche entsprechend der Sehnenbeschaffenheit
- Tabelle 26: Korrelation zwischen dem Ergebnis klinischer Rotatorenmanschetten-Tests postoperativ und Muskelfläche

- Tabelle 27: Korrelation zwischen der gemessenen Kraft mittels Druckmessplatte und der Muskelfläche in der Magnetresonanztomographie
- Tabelle 28: Einfluss der Muskelfläche auf die postoperative Zufriedenheit
- Tabelle 29: Literaturvergleich

LITERATURVERZEICHNIS

1. Adams, C.R., Schoolfield, J.D., and Burkhart, S.S., Accuracy of preoperative magnetic resonance imaging in predicting a subscapularis tendon tear based on arthroscopy. *Arthroscopy*, 26 (2010) 1427-1433.
2. Albritton, M.J., Graham, R.D., Richards, R.S., and Basamania, C.J., An anatomic study of the effects on the suprascapular nerve due to retraction of the supraspinatus muscle after a rotator cuff tear. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 12 (2003) 497-500.
3. Aurora, A., Gatica, J.E., den Bogert, A.J., McCarron, J.A., and Derwin, K.A., An analytical model for rotator cuff repairs. *Clin. Biomech. (Bristol. , Avon.)*, 25 (2010) 751-758.
4. Barth, J.R., Burkhart, S.S., and De Beer, J.F., The bear-hug test: a new and sensitive test for diagnosing a subscapularis tear. *Arthroscopy*, 22 (2006) 1076-1084.
5. Bartl, C., Salzmann, G.M., Seppel, G., Eichhorn, S., Holzapfel, K., Wörtler, K., and Imhoff, A., Subscapularis function and structural integrity after arthroscopic repair of isolated subscapularis tears. *Am J Sports Med.*, 39 (2011) 1255-62.
6. Bartl, C., Senftl, M., Eichhorn, S., Holzapfel, K., Imhoff, A., Salzmann, G.M., and Eichhorn, S., Combined tears of the subscapularis and supraspinatus tendon: clinical outcome, rotator cuff strength and structural integrity following open repair. *Arch Orthop Trauma Surg.*, 132 (2012) 41-50.
7. Bedi, A., Dines, J., Warren, R.F., and Dines, D.M., Massive tears of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg. Am*, 92 (2010) 1894-1908.
8. Bennett, W.F., Arthroscopic repair of anterosuperior (supraspinatus/subscapularis) rotator cuff tears: a prospective cohort with 2- to 4-year follow-up. Classification of biceps sublaxation/instability. *Arthroscopy*, 19 (2003) 21-33.
9. Bennett, W.F., Arthroscopic repair of isolated subscapularis tears: A prospective cohort with 2- to 4-year follow-up. *Arthroscopy*, 19 (2003) 131-143.
10. Bigliani, L.U., Cordasco, F.A., McIlveen, S.J., and Musso, E.S., Operative treatment of failed repairs of the rotator cuff. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 74 (1992) 1505-1515.
11. Bigoni, M., Gorla, M., Guerrasio, S., Brignoli, A., Cossio, A., Grillo, P., and Marinoni, E.C., Shoulder evaluation with isokinetic strength testing after arthroscopic rotator cuff repairs. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 18 (2009) 178-183.
12. Bjorkenheim, J.M., Structure and function of the rabbit's supraspinatus muscle after resection of its tendon. *Acta Orthop. Scand.*, 60 (1989) 461-463.
13. Bjornsson, H., Norlin, R., Knutsson, A., and Adolfsson, L., Fewer rotator cuff tears fifteen years after arthroscopic subacromial decompression. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 19 (2010) 111-115.

14. Blevins, F.T., Warren, R.F., Cavo, C., Altchek, D.W., Dines, D., Palletta, G., and Wickiewicz, T.L., Arthroscopic assisted rotator cuff repair: results using a mini-open deltoid splitting approach. *Arthroscopy*, 12 (1996) 50-59.
15. Brookham, R.L., McLean, L., and Dickerson, C.R., Construct Validity of Muscle Force Tests of the Rotator Cuff Muscles: An Electromyographic Investigation. *Am. Phys. Ther.*, 90 (2010) 572-580.
16. Brunner, U.H., Klinische Untersuchung der Schulter. In: "Schulterchirurgie", Habermeyer, P. (Hrsg.). Urban & Fischer Verlag Jena München, Heidelberg, 2001, 3. Auflage, 53-55.
17. Brunner, U.H., Klinische Untersuchung der Schulter - Bewegungsanalyse. In: "Schulterchirurgie", Habermeyer, P. (Hrsg.). Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2001, 3. Auflage, 49-50.
18. Bull, A.M., Reilly, P., Wallace, A.L., Amis, A.A., and Emery, R.J., A novel technique to measure active tendon forces: application to the subscapularis tendon. *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 13 (2005) 145-150.
19. Bullinger, M., German translation and psychometric testing of the SF-36 Health Survey: preliminary results from the IQOLA Project. *International Quality of Life Assessment. Soc. Sci. Med.*, 41 (1995) 1359-1366.
20. Burbank, K.M., Stevenson, J.H., Czarnecki, G.R., and Dorfman, J., Chronic shoulder pain: part I. Evaluation and diagnosis. *Am. Fam. Physician*, 77 (2008) 453-460.
21. Burkhart, S.S., Arthroscopic treatment of massive rotator cuff tears. Clinical results and biomechanical rationale. *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1991) 45-56.
22. Charouset, C., Bellaiche, L., Kalra, K., and Petrover, D., Arthroscopic repair of full-thickness rotator cuff tears: is there tendon healing in patients aged 65 years or older?, *Arthroscopy*, 26 (2010) 302-309.
23. Clark, J.M. and Harryman, D.T., Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff. Gross and microscopic anatomy. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 74 (1992) 713-725.
24. Codman, E.A., Rupture of the supraspinatus tendon. 1911, *Clin. Orthop. Relat Res.*, 5 (1990) 3-26.
25. Cofield, R.H., Rotator cuff disease of the shoulder. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 67 (1985) 974-979.
26. Cofield, R.H., Rotator cuff disease of the shoulder. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 67 (1985) 974-979.
27. Cofield, R.H., Parvizi, J., Hoffmeyer, P.J., Lanzer, W.L., Ilstrup, D.M., and Rowland, C.M., Surgical repair of chronic rotator cuff tears. A prospective long-term study. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 83-A (2001) 71-77.
28. Constant, C.R. and Murley, A.H., A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1987) 160-164.

29. Deutsch, A., Altchek, D.W., Veltri, D.M., Potter, H.G., and Warren, R.F., Traumatic tears of the subscapularis tendon. Clinical diagnosis, magnetic resonance imaging findings, and operative treatment. *Am. J. Sports Med.*, 25 (1997) 13-22.
30. Edwards, T.B., Walch, G., Nove-Josserand, L., Boulahia, A., Neyton, L., O'Connor, D.P., and Williams, M.D., Arthroscopic debridement in the treatment of patients with isolated tears of the subscapularis. *Arthroscopy*, 22 (2006) 941-946.
31. Edwards, T.B., Walch, G., Sirveaux, F., Mole, D., Nove-Josserand, L., Boulahia, A., Neyton, L., Szabo, I., and Lindgren, B., Repair of tears of the subscapularis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 87 (2005) 725-730.
32. Ellman, H., Hanker, G., and Bayer, M., Repair of the rotator cuff. End-result study of factors influencing reconstruction. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 68 (1986) 1136-1144.
33. Evancho, A.M., Stiles, R.G., Fajman, W.A., Flower, S.P., Macha, T., Brunner, M.C., and Fleming, L., MR imaging diagnosis of rotator cuff tears. *AJR Am. J. Roentgenol.*, 151 (1988) 751-754.
34. Flury, M.P., John, M., Goldhahn, J., Schwyzer, H.K., and Simmen, B.R., Rupture of the subscapularis tendon (isolated or in combination with supraspinatus tear): when is a repair indicated?. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 15 (2006) 659-664.
35. Fuchs, B., Gilbert, M.K., Hodler, J., and Gerber, C., Clinical and structural results of open repair of an isolated one-tendon tear of the rotator cuff. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 88 (2006) 309-316.
36. Fuchs, B., Weishaupt, D., Zanetti, M., Hodler, J., and Gerber, C., Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 8 (1999) 599-605.
37. Fukuda, H., The management of partial-thickness tears of the rotator cuff. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 85 (2003) 3-11.
38. Galatz, L.M., Ball, C.M., Teefey, S.A., Middleton, W.D., and Yamaguchi, K., The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 86-A (2004) 219-224.
39. Gartsman, G.M., Khan, M., and Hammerman, S.M., Arthroscopic repair of full-thickness tears of the rotator cuff. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 80 (1998) 832-840.
40. Gazielly, D.F., Gleyze, P., Montagnon, C., Bruyere, G., and Prallet, B., [Functional and anatomical results after surgical treatment of ruptures of the rotator cuff. 2: postoperative functional and anatomical evaluation of ruptures of the rotator cuff]. *Rev. Chir Orthop. Reparatrice Appar. Mot.*, 81 (1995) 17-26.
41. Gerber, C. and Arneberg, O., Measurement of abductor strength with an electronical device (Isobex). *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 2 (1992).

42. Gerber, C., Blumenthal, S., Curt, A., and Werner, C.M., Effect of selective experimental suprascapular nerve block on abduction and external rotation strength of the shoulder. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 16 (2007) 815-820.
43. Gerber, C., Fuchs, B., and Hodler, J., The results of repair of massive tears of the rotator cuff. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 82 (2000) 505-515.
44. Gerber, C., Hersche, O., and Farron, A., Isolated rupture of the subscapularis tendon. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 78 (1996) 1015-1023.
45. Gerber, C. and Krushell, R.J., Isolated rupture of the tendon of the subscapularis muscle. Clinical features in 16 cases. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 73 (1991) 389-394.
46. Gerber, C., Schneeberger, A.G., Hoppeler, H., and Meyer, D.C., Correlation of atrophy and fatty infiltration on strength and integrity of rotator cuff repairs: a study in thirteen patients. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 16 (2007) 691-696.
47. Gilbert, M.K. and Gerber, C., Comparison of the subjective shoulder value and the Constant score. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 16 (2007) 717-721.
48. Gladstone, J.N., Bishop, J.Y., Lo, I.K., and Flatow, E.L., Fatty infiltration and atrophy of the rotator cuff do not improve after rotator cuff repair and correlate with poor functional outcome. *Am. J. Sports Med.*, 35 (2007) 719-728.
49. Gleyze, P., Thomazeau, H., Flurin, P.H., Lafosse, L., Gazielly, D.F., and Allard, M., [Arthroscopic rotator cuff repair: a multicentric retrospective study of 87 cases with anatomical assessment]. *Rev. Chir Orthop. Reparatrice Appar. Mot.*, 86 (2000) 566-574.
50. Gore, D.R., Murray, M.P., Sepic, S.B., and Gardner, G.M., Shoulder-muscle strength and range of motion following surgical repair of full-thickness rotator-cuff tears. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 68 (1986) 266-272.
51. Goutallier, D., Postel, J.M., Bernageau, J., Lavau, L., and Voisin, M.C., Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1994) 78-83.
52. Goutallier, D., Postel, J.M., Chevalier, X., Beaudreuil, J., and Zilber, S., Intermediate term functional outcome prediction following full thickness rotator cuff tear reparative or not reparative surgery. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.*, (2010).
53. Goutallier, D., Postel, J.M., Gleyze, P., Leguilloux, P., and Van Driessche, S., Influence of cuff muscle fatty degeneration on anatomic and functional outcomes after simple suture of full-thickness tears. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 12 (2003) 550-554.
54. Goutallier, D., Postel, J.M., Lavau, L., and Bernageau, J., [Influence of muscular degeneration of the supra- and infra-spinatus on the prognosis of surgical repair of the rotator cuff]. *Acta Orthop. Belg.*, 64 Suppl 2 (1998) 42-45.
55. Goutallier, D., Postel, J.M., Radier, C., Bernageau, J., and Zilber, S., Long-term functional and structural outcome in patients with intact repairs 1 year after open transosseous rotator cuff repair. *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 18 (2009) 521-528.

56. Habermeyer,P. and Lehmann,L., Epidemiologie und Ätiologie. In: "Schulterchirurgie", Habermeyer,P. (Hrsg.), Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2001, 3. Auflage, 335.
57. Habermeyer,P. and Lehmann,L., Läsionen der langen Bizepssehne und des Rotatorenintervalls. In: "Schulterchirurgie", Habermeyer,P. (Hrsg.), Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2001, 3. Auflage, 366-367.
58. Habermeyer,P., Magosch,P., and Lichtenberg,S., Classifications and Scores of the Shoulder, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 2006, 249.
59. Habermeyer,P., Magosch,P., and Lichtenberg,S., Constant-Murley score. In: "Classifications and Scores of the Shoulder", Habermeyer,P., Magosch,P., Lichtenberg,S. (Hrsg.), Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 2006, 1. Auflage, 199-204.
60. Habermeyer,P., Magosch,P., and Lichtenberg,S., Short from 36 (SF-36). In: Habermeyer,P., Magosch,P., Lichtenberg,S. (Hrsg.), Classifications and Scores of the Shoulder, Springer Berlin, Heidelberg, 2006, 233-248.
61. Habermeyer,P., Magosch,P., and Lichtenberg,S., VAS. In: Habermeyer,P., Magosch,P., Lichtenberg,S. (Hrsg.), Classifications and Scores of the Shoulder, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 2006, 248-249.
62. Harryman,D.T., Mack,L.A., Wang,K.Y., Jackins,S.E., Richardson,M.L., and Matsen,F.A., III, Repairs of the rotator cuff. Correlation of functional results with integrity of the cuff, J. Bone Joint Surg. Am., 73 (1991) 982-989.
63. Hashimoto,T., Nobuhara,K., and Hamada,T., Pathologic evidence of degeneration as a primary cause of rotator cuff tear, Clin. Orthop. Relat Res., (2003) 111-120.
64. Hattrup,S.J., Rotator cuff repair: relevance of patient age, J. Shoulder. Elbow. Surg., 4 (1995) 95-100.
65. Henn,R.F., III, Kang,L., Tashjian,R.Z., and Green,A., Patients' preoperative expectations predict the outcome of rotator cuff repair, J. Bone Joint Surg. Am., 89 (2007) 1913-1919.
66. Hertel,R., Ballmer,F.T., Lombert,S.M., and Gerber,C., Lag signs in the diagnosis of rotator cuff rupture, J. Shoulder. Elbow. Surg., 5 (1996) 307-313.
67. Huber,C.E., [The form and size of the glenoid cavity], Anat. Anz., 172 (1991) 137-142.
68. Iannotti,J.P., Bernot,M.P., Kuhlman,J.R., Kelley,M.J., and Williams,G.R., Postoperative assessment of shoulder function: a prospective study of full-thickness rotator cuff tears, J. Shoulder. Elbow. Surg., 5 (1996) 449-457.
69. Iannotti,J.P., Zlatkin,M.B., Esterhai,J.L., Kressel,H.Y., Dalinka,M.K., and Spindler,K.P., Magnetic resonance imaging of the shoulder. Sensitivity, specificity, and predictive value, J. Bone Joint Surg. Am., 73 (1991) 17-29.

70. Ide,J., Tokiyoshi,A., Hirose,J., and Mizuta,H., Arthroscopic repair of traumatic combined rotator cuff tears involving the subscapularis tendon, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 89 (2007) 2378-2388.
71. Imhoff,A. and Hodler,J., [Arthroscopy and MRT of the shoulder--a comparative retrospective analysis], *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.*, 130 (1992) 188-196.
72. Imhoff,A.B. and Hodler,J., Correlation of MR imaging, CT arthrography, and arthroscopy of the shoulder, *Bull. Hosp. Jt. Dis.*, 54 (1996) 146-152.
73. Itoi,E., Minagawa,H., Sato,T., Sato,K., and Tabata,S., Isokinetic strength after tears of the supraspinatus tendon, *J. Bone Joint Surg. Br.*, 79 (1997) 77-82.
74. Itoi,E. and Tabata,S., Conservative treatment of rotator cuff tears, *Clin. Orthop. Relat Res.*, 2 (1992) 165-173.
75. Jobe,F.W. and Moynes,D.R., Delineation of diagnostic criteria and a rehabilitation program for rotator cuff injuries, *Am. J. Sports Med.*, 10 (1982) 336-339.
76. Jost,B., Pfirrmann,C.W., Gerber,C., and Switzerland,Z., Clinical outcome after structural failure of rotator cuff repairs, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 82 (2000) 304-314.
77. Jost,B., Zumstein,M., Pfirrmann,C.W., and Gerber,C., Long-term outcome after structural failure of rotator cuff repairs, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 88 (2006) 472-479.
78. Juul-Kristensen,B., Bojsen-Moller,F., Finsen,L., Eriksson,J., Johansson,G., Stahlberg,F., and Ekdahl,C., Muscle sizes and moment arms of rotator cuff muscles determined by magnetic resonance imaging, *Cells Tissues. Organs*, 167 (2000) 214-222.
79. Katolik,L.I., Romeo,A.A., Cole,B.J., Verma,N.N., Hayden,J.K., and Bach,B.R., Normalization of the Constant score, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 14 (2005) 279-285.
80. Keating,J.F., Waterworth,P., Shaw-Dunn,J., and Crossan,J., The relative strengths of the rotator cuff muscles. A cadaver study, *J. Bone Joint Surg. Br.*, 75 (1993) 137-140.
81. Kenn,W., Bohm,D., Gohlke,F., Hummer,C., Kostler,H., and Hahn,D., 2D SPLASH: a new method to determine the fatty infiltration of the rotator cuff muscles, *Eur. Radiol.*, 14 (2004) 2331-2336.
82. Kim,H.M., Dahiya N., Teefey,S., Keener,J.D., Galatz,L.M., and Yamaguchi,K., Relationship of Tear Size and Location to Fatty Degeneration of the Rotator Cuff, *J Bone Joint Surg. Am*, 92 (2010) 829-839.
83. Kim,H.M., Dahiya N., Teefey,S., Middleton,W., Yamaguchi,K., and Keener,J.D., Location and initiation of degenerative rotator cuff tears: an analysis of three hundred and sixty shoulders, *J Bone Joint Surg. Am*, 92 (2010) 1088-1096.

84. Kim,H.M., Teefey,S.A., Zelig,A., Galatz,L.M., Keener,J.D., and Yamaguchi,K., Shoulder strength in asymptomatic individuals with intact compared with torn rotator cuffs, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 91 (2009) 289-296.
85. Kirschenbaum,D., Coyle,M.P., Jr., Leddy,J.P., Katsaros,P., Tan,F., Jr., and Cody,R.P., Shoulder strength with rotator cuff tears. Pre- and postoperative analysis, *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1993) 174-178.
86. Klepps,S., Bishop,J., Lin,J., Cahlon,O., Strauss,A., Hayes,P., and Flatow,E.L., Prospective evaluation of the effect of rotator cuff integrity on the outcome of open rotator cuff repairs, *Am J Sports Med*, 32 (2004) 1716-1722.
87. Kneeland,J.B., Middleton,W.D., Carrera,G.F., Zeuge,R.C., Jesmanowicz,A., Froncisz,W., and Hyde,J.S., MR imaging of the shoulder: diagnosis of rotator cuff tears, *AJR Am. J. Roentgenol.*, 149 (1987) 333-337.
88. Knudsen,H.B., Gelineck,J., Sojbjerg,J.O., Olsen,B.S., Johannsen,H.V., and Sneppen,O., Functional and magnetic resonance imaging evaluation after single-tendon rotator cuff reconstruction, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 8 (1999) 242-246.
89. Kreuz,P.C., Remiger,A., Erggelet,C., Hinterwimmer,S., Niemeyer,P., and Gachter,A., Isolated and combined tears of the subscapularis tendon, *Am. J. Sports Med.*, 33 (2005) 1831-1837.
90. Kreuz,P.C., Remiger,A., Lahm,A., Herget,G., and Gachter,A., Comparison of total and partial traumatic tears of the subscapularis tendon, *J. Bone Joint Surg. Br.*, 87 (2005) 348-351.
91. Kronberg,M., Nemeth,G., and Brostrom,L.A., Muscle activity and coordination in the normal shoulder. An electromyographic study, *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1990) 76-85.
92. Lahteenmaki,H.E., Hiltunen,A., Virolainen,P., and Nelimarkka,O., Repair of full-thickness rotator cuff tears is recommended regardless of tear size and age: a retrospective study of 218 patients, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 16 (2007) 586-590.
93. Lahteenmaki,H.E., Virolainen,P., Hiltunen,A., Heikkila,J., and Nelimarkka,O.I., Results of early operative treatment of rotator cuff tears with acute symptoms, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 15 (2006) 148-153.
94. Liem,D., Bartl,C., Lichtenberg,S., Magosch,P., and Habermeyer,P., Clinical outcome and tendon integrity of arthroscopic versus mini-open supraspinatus tendon repair: a magnetic resonance imaging-controlled matched-pair analysis, *Arthroscopy*, 23 (2007) 514-521.
95. Magee,T.H., Gaenslen,E.S., Seitz,R., Hinson,G.A., and Wetzell,L.H., MR imaging of the shoulder after surgery, *AJR Am. J. Roentgenol.*, 168 (1997) 925-928.
96. Maman,E., Harris,C., White,L., Tomlinson,G., Shashank,M., and Boynton,E., Outcome of nonoperative treatment of symptomatic rotator cuff tears monitored by magnetic resonance imaging, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 91 (2009) 1898-1906.
97. Matthew J.Matava, Derek B.Purcell, and Jonas R.Rudzki, Partial-thickness rotator cuff tears., *Am J Sports Med*, 33 (2005) 1405-1417.

98. Maughan,R.J. and Nimmo,M.A., The influence of variations in muscle fibre composition on muscle strength and cross-sectional area in untrained males, *J. Physiol*, 351 (1984) 299-311.
99. Maynou,C., Cassagnaud,X., and Mestdagh,H., Function of subscapularis after surgical treatment for recurrent instability of the shoulder using a bone-block procedure, *J. Bone Joint Surg. Br.*, 87 (2005) 1096-1101.
100. McHorney,C.A., Ware,J.E., Jr., Lu,J.F., and Sherbourne,C.D., The MOS 36-item Short-Form Health Survey (SF-36): III. Tests of data quality, scaling assumptions, and reliability across diverse patient groups, *Med. Care*, 32 (1994) 40-66.
101. Melis,B., Nemoz C., and Walch,G., Muscle fatty infiltration in rotator cuff tears: Descriptive analysis of 1688 cases, *Orthop. Traumatol. Surg. Res.*, 95 (2009) 319-324.
102. Mellado,J.M., Calmet,J., Olona,M., Ballabriga,J., Camins,A., Perez,d.P., and Gine,J., MR assessment of the repaired rotator cuff: prevalence, size, location, and clinical relevance of tendon rerupture, *Eur. Radiol.*, 16 (2006) 2186-2196.
103. Milgrom,C., Schaffler,M., Gilbert,S., and van Holsbeeck,M., Rotator-cuff changes in asymptomatic adults. The effect of age, hand dominance and gender, *J. Bone Joint Surg. Br.*, 77 (1995) 296-298.
104. Miller,S.L., Hazrati,Y., Klepps,S., Chiang,A., and Flatow,E.L., Loss of subscapularis function after total shoulder replacement: A seldom recognized problem, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 12 (2003) 29-34.
105. Millett,P.J., Horan,M.P., Maland,K.E., and Hawkins,R.H., Long-term survivorship and outcomes after surgical repair of full-thickness rotator cuff tears, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 20 (2011) 591-597.
106. Minagawa,H., Itoi,E., Konno,N., Kido,T., Sano,A., Urayama,M., and Sato,K., Humeral attachment of the supraspinatus and infraspinatus tendons: an anatomic study, *Arthroscopy*, 14 (1998) 302-306.
107. Mochizuki,T., Sugaya,H., Uomizu,M., Maeda,K., Matsuki,K., Sekiya,I., Muneta,T., and Akita,K., Humeral insertion of the supraspinatus and infraspinatus. New anatomical findings regarding the footprint of the rotator cuff, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 90 (2008) 962-969.
108. Motamedi,A.R., Urrea,L.H., Hancock,R.E., Hawkins,R.J., and Ho,C., Accuracy of magnetic resonance imaging in determining the presence and size of recurrent rotator cuff tears, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 11 (2002) 6-10.
109. Nakagaki,K., Ozaki,J., Tomita,Y., and Tamai,S., Function of supraspinatus muscle with torn cuff evaluated by magnetic resonance imaging, *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1995) 144-151.
110. Nakagaki,K., Ozaki,J., Tomita,Y., and Tamai,S., Fatty degeneration in the supraspinatus muscle after rotator cuff tear, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 5 (1996) 194-200.

111. Nakagaki,K., Tomita,Y., Sakurai,G., Oshiro,O., Tamai,S., and Ozaki,J., [Anatomical study on the atrophy of supraspinatus muscle belly with cuff tear], *Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi*, 68 (1994) 516-521.
112. Namdari,S., Henn,R.F., III, and Green,A., Traumatic anterosuperior rotator cuff tears: the outcome of open surgical repair, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 90 (2008) 1906-1913.
113. Neer,C.S., Impingement lesions, *Clin. Orthop. Relat Res.*, 3 (1983) 70-77.
114. Neer,C.S., Craig,E.V., and Fukuda,H., Cuff-tear arthropathy, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 65 (1983) 1232-1244.
115. Neri,B.R., Chan,K.W., and Kwon,Y.W., Management of massive and irreparable rotator cuff tears, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 18 (2009) 808-818.
116. Nho,S.J., Brown,B.S., Lyman,S., Adler,R.S., Altchek,D.W., and Macgillivray,J.D., Prospective analysis of arthroscopic rotator cuff repair: prognostic factors affecting clinical and ultrasound outcome, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 18 (2009) 13-20.
117. Nho,S.J., Shindle,M.K., Adler,R.S., Warren,R.F., Altchek,D.W., and Macgillivray,J.D., Prospective analysis of arthroscopic rotator cuff repair: subgroup analysis, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 18 (2009) 697-704.
118. Nich,C., Mutschler,C., Vandenbussche,E., and Augereau,B., Long-term clinical and MRI results of open repair of the supraspinatus tendon, *Clin. Orthop. Relat Res.*, 467 (2009) 2613-2622.
119. Owen,R.S., Iannotti,J.P., Kneeland,J.B., Dalinka,M.K., Deren,J.A., and Oleaga,L., Shoulder after surgery: MR imaging with surgical validation, *Radiology*, 186 (1993) 443-447.
120. Patte,D., Classification of rotator cuff lesions, *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1990) 81-86.
121. Patte,D. and Debeyre,J., [Comparative trial of 2 series of ruptures of surgically and non-surgically treated rotary cuffs], *Rev. Chir Orthop. Reparatrice Appar. Mot.*, 74 (1988) 327-328.
122. Patten,R.M., Tears of the anterior portion of the rotator cuff (the subscapularis tendon): MR imaging findings, *AJR Am. J. Roentgenol.*, 162 (1994) 351-354.
123. Perry,S.M., Getz,C.L., and Soslowsky,L.J., After rotator cuff tears, the remaining (intact) tendons are mechanically altered, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 18 (2009) 52-57.
124. Pfirrmann,C.W., Zanetti,M., Weishaupt,D., Gerber,C., and Hodler,J., Subscapularis tendon tears: detection and grading at MR arthrography, *Radiology*, 213 (1999) 709-714.
125. Picard,F., Saragaglia,D., Montbarbon,E., Tourne,Y., Thony,F., and Charbel,A., [Anatomo-clinical consequences of the vertical sectioning of the subscapular

- muscle in Latarjet intervention], *Rev. Chir Orthop. Reparatrice Appar. Mot.*, 84 (1998) 217-223.
126. Quinn,S.F., Sheley,R.C., Demlow,T.A., and Szumowski,J., Rotator cuff tendon tears: evaluation with fat-suppressed MR imaging with arthroscopic correlation in 100 patients, *Radiology*, 195 (1995) 497-500.
 127. Rabin,S.I. and Post,M., A comparative study of clinical muscle testing and Cybex evaluation after shoulder operations, *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1990) 147-156.
 128. Raschke,M.J. and Haas,N.P., Verletzungen der Schulter. In: "Chirurgie", Siewert,J.R. (Hrsg.), Springer Medizin Verlag Heidelberg, Berlin, Heidelberg, New York, 2006, 8. Auflage, 805-807.
 129. Rokito,A.S., Cuomo,F., Gallagher,M.A., and Zuckerman,J.D., Long-term functional outcome of repair of large and massive chronic tears of the rotator cuff, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 81 (1999) 991-997.
 130. Rokito,A.S., Zuckerman,J.D., Gallagher,M.A., and Cuomo,F., Strength after surgical repair of the rotator cuff, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 5 (1996) 12-17.
 131. Romeo,A.A., Hang,D.W., Bach,B.R., Jr., and Shott,S., Repair of full thickness rotator cuff tears. Gender, age, and other factors affecting outcome, *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1999) 243-255.
 132. Rudolph,J., Lorenz,M., Schroder,R., Sudkamp,N.P., Felix,R., and Maurer,J., [Indirect MR arthrography in the diagnosis of rotator cuff lesions], *Rofo*, 172 (2000) 686-691.
 133. Samilson,R.L. and Prieto,V., Dislocation arthropathy of the shoulder, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 65 (1983) 456-460.
 134. Scheibel,M. and Habermeyer,P., [Current procedures for clinical evaluation of the shoulder], *Orthopade*, 34 (2005) 267-283.
 135. Scheibel,M., Tsynman,A., Magosch,P., Schroeder,R.J., and Habermeyer,P., Postoperative subscapularis muscle insufficiency after primary and revision open shoulder stabilization, *Am. J. Sports Med.*, 34 (2006) 1586-1593.
 136. Schroder,R.J., Bostanjoglo,M., Kaab,M., Herzog,H., Hidajat,N., Rottgen,R., Maurer,J., and Felix,R., [Accuracy of routine MRI in lesions of the supraspinatus tendon--comparison with surgical findings], *Rofo*, 175 (2003) 920-928.
 137. Schroder,R.J., Scheibel,M., Tsynman,A., Magosch,P., and Habermeyer,P., [Magnetic resonance analysis of the subscapularis muscle after open anterior shoulder stabilization], *Rofo*, 178 (2006) 706-712.
 138. Seeherman,H.J., Archambault,J.M., Rodeo,S.A., Turner,A.S., Zekas,L., D'Augusta,D., Li,X.J., Smith,E., and Wozney,J.M., rhBMP-12 accelerates healing of rotator cuff repairs in a sheep model, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 90 (2008) 2206-2219.
 139. Shen,P.H., Lien,S.B., Shen,H.C., Lee,C.H., Wu,S.S., and Lin,L.C., Long-term functional outcomes after repair of rotator cuff tears correlated with atrophy of the

- supraspinatus muscles on magnetic resonance images, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 17 (2008) 1S-7S.
140. Shimizu,T., Itoi,E., Minagawa,H., Pradhan,R.L., Wakabayashi,I., and Sato,K., Atrophy of the rotator cuff muscles and site of cuff tears, *Acta Orthop. Scand.*, 73 (2002) 40-43.
 141. Snyder,S.J., Pachelli,A.F., Del Pizzo,W., Friedman,M.J., Ferkel,R.D., and Pattee,G., Partial thickness rotator cuff tears: results of arthroscopic treatment, *Arthroscopy*, 7 (1991) 1-7.
 142. Spielmann,A.L., Forster,B.B., Kokan,P., Hawkins,R.H., and Janzen,D.L., Shoulder after rotator cuff repair: MR imaging findings in asymptomatic individuals--initial experience, *Radiology*, 213 (1999) 705-708.
 143. Strobel,K., Hodler,J., Meyer,D.C., Pfirrmann,C.W., Pirkl,C., and Zanetti,M., Fatty atrophy of supraspinatus and infraspinatus muscles: accuracy of US, *Radiology*, 237 (2005) 584-589.
 144. Tashjian,R.Z., Bradley,M.P., Tocci,S., Rey,J., Henn,R.F., and Green,A., Factors influencing patient satisfaction after rotator cuff repair, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 16 (2007) 752-758.
 145. Teefey,S.A., Rubin,D.A., Middleton,W.D., Hildebolt,C.F., Leibold,R.A., and Yamaguchi,K., Detection and quantification of rotator cuff tears. Comparison of ultrasonographic, magnetic resonance imaging, and arthroscopic findings in seventy-one consecutive cases, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 86-A (2004) 708-716.
 146. Tegner,Y. and Lysholm,J., Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries, *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1985) 43-49.
 147. Tempelhof,S., Rupp,S., and Seil,R., Age-related prevalence of rotator cuff tears in asymptomatic shoulders, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 8 (1999) 296-299.
 148. Thomazeau,H., Boukobza,E., Morcet,N., Chaperon,J., and Langlais,F., Prediction of rotator cuff repair results by magnetic resonance imaging, *Clin. Orthop. Relat Res.*, (1997) 275-283.
 149. Thomazeau,H., Duval,J.M., Darnault,P., and Dreano,T., Anatomical relationships and scapular attachments of the supraspinatus muscle, *Surg. Radiol. Anat.*, 18 (1996) 221-225.
 150. Thomazeau,H., Rolland,Y., Lucas,C., Duval,J.M., and Langlais,F., Atrophy of the supraspinatus belly. Assessment by MRI in 55 patients with rotator cuff pathology, *Acta Orthop. Scand.*, 67 (1996) 264-268.
 151. Ticker,J.B. and Warner,J.J., Single-tendon tears of the rotator cuff. Evaluation and treatment of subscapularis tears and principles of treatment for supraspinatus tears, *Orthop. Clin. North Am.*, 28 (1997) 99-116.
 152. Timins,M.E., Erickson,S.J., Estkowski,L.D., Carrera,G.F., and Komorowski,R.A., Increased signal in the normal supraspinatus tendon on MR imaging: diagnostic pitfall caused by the magic-angle effect, *AJR Am. J. Roentgenol.*, 165 (1995) 109-114.

153. Tokish,J.M., Decker,M.J., Ellis,H.B., Torry,M.R., and Hawkins,R.J., The belly-press test for the physical examination of the subscapularis muscle: electromyographic validation and comparison to the lift-off test, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 12 (2003) 427-430.
154. Urwin,M., Symmons,D., Allison,T., Brammah,T., Busby,H., Roxby,M., Simmons,A., and Williams,G., Estimating the burden of musculoskeletal disorders in the community: the comparative prevalence of symptoms at different anatomical sites, and the relation to social deprivation, *Ann. Rheum. Dis.*, 57 (1998) 649-655.
155. Vad,V.B., Southern,D., Warren,R.F., Altchek,D.W., and Dines,D., Prevalence of peripheral neurologic injuries in rotator cuff tears with atrophy, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 12 (2003) 333-336.
156. Vahlensieck,M., MRI of the shoulder, *Eur. Radiol.*, 10 (2000) 242-249.
157. Vahlensieck,M., an,H.K., and Schmidt,H.M., Two portions of the supraspinatus muscle: a new finding about the muscles macroscopy by dissection and magnetic resonance imaging, *Surg. Radiol. Anat.*, 16 (1994) 101-104.
158. Vahlensieck,W. and Reiser,M., Schulter. In: "MRT des Bewegungsapparats", Vahlensieck,W., Hodler,J. (Hrsg.), Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York, 2002, 2. Auflage, 80-121.
159. van de Sande,M.A., Stoel,B.C., Obermann,W.R., Lieng,J.G., and Rozing,P.M., Quantitative assessment of fatty degeneration in rotator cuff muscles determined with computed tomography, *Invest Radiol.*, 40 (2005) 313-319.
160. von Engelhardt,L.V., von Falkenhausen,M., Fahmy,U., Wallny,T., Schmitt,O., and Kraft,C.N., [MRI after reconstruction of the supraspinatus tendon: MR-tomographic findings], *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.*, 142 (2004) 586-591.
161. Waldt,S., Bruegel,M., Mueller,D., Holzapfel,K., Imhoff,A.B., Rummeny,E.J., and Woertler,K., Rotator cuff tears: assessment with MR arthrography in 275 patients with arthroscopic correlation, *Eur. Radiol.*, 17 (2007) 491-498.
162. Walker,S.W., Couch,W.H., Boester,G.A., and Sprowl,D.W., Isokinetic strength of the shoulder after repair of a torn rotator cuff, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 69 (1987) 1041-1044.
163. Walton,M.J., Walton,J.C., Honorez,L.A., Harding,V.F., and Wallace,W.A., A comparison of methods for shoulder strength assessment and analysis of Constant score change in patients aged over fifty years in the United Kingdom, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 16 (2007) 285-289.
164. Ware,J.E., Jr., SF-36 health survey update, *Spine*, 25 (2000) 3130-3139.
165. Ware,J.E., Jr. and Sherbourne,C.D., The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection, *Med. Care*, 30 (1992) 473-483.
166. Warner,J.J., Higgins,L., Parsons,I.M., and Dowdy,P., Diagnosis and treatment of anterosuperior rotator cuff tears, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 10 (2001) 37-46.

167. Watson,E.M. and Sonnabend,D.H., Outcome of rotator cuff repair, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 11 (2002) 201-211.
168. Williams,M.D., Ladermann,A., Melis,B., Barthelemy,R., and Walch,G., Fatty infiltration of the supraspinatus: a reliability study, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 18 (2009) 581-587.
169. Wolfgang,G.L., Surgical repair of tears of the rotator cuff of the shoulder. Factors influencing the result, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 56 (1974) 14-26.
170. Yamaguchi,K., Ditsios,K., Middleton,W.D., Hildebolt,C.F., Galatz,L.M., and Teefey,S.A., The demographic and morphological features of rotator cuff disease. A comparison of asymptomatic and symptomatic shoulders, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 88 (2006) 1699-1704.
171. Yamamoto,A., Takagishi,K., Osawa,T., Yanagawa,T., Nakajima,D., Shitara,H., and Kobayashi,T., Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 19 (2010) 116-120.
172. Yao,L. and Mehta,U., Infraspinatus muscle atrophy: implications?, *Radiology*, 226 (2003) 161-164.
173. Yian,E.H., Ramappa,A.J., Arneberg,O., and Gerber,C., The Constant score in normal shoulders, *J. Shoulder. Elbow. Surg.*, 14 (2005) 128-133.
174. Zanetti,M., Gerber,C., and Hodler,J., Quantitative assessment of the muscles of the rotator cuff with magnetic resonance imaging, *Invest Radiol.*, 33 (1998) 163-170.
175. Zanetti,M., Jost,B., Hodler,J., and Gerber,C., MR imaging after rotator cuff repair: full-thickness defects and bursitis-like subacromial abnormalities in asymptomatic subjects, *Skeletal Radiol.*, 29 (2000) 314-319.
176. Zingg,P.O., Jost,B., Sukthankar,A., Buhler,M., Pfirrmann,C.W., and Gerber,C., Clinical and structural outcomes of nonoperative management of massive rotator cuff tears, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 89 (2007) 1928-1934.
177. Zlatkin,M.B., Dalinka,M.K., and Kressel,H.Y., Magnetic resonance imaging of the shoulder, *Magn Reson. Q.*, 5 (1989) 3-22.
178. Zlatkin,M.B. and Falchok,F.S., Magnetic resonance pathology of the rotator cuff, *Top. Magn Reson. Imaging*, 6 (1994) 94-120.
179. Zlatkin,M.B., Iannotti,J.P., Roberts,M.C., Esterhai,J.L., Dalinka,M.K., Kressel,H.Y., Schwartz,J.S., and Lenkinski,R.E., Rotator cuff tears: diagnostic performance of MR imaging, *Radiology*, 172 (1989) 223-229.
180. Zumstein,M.A., Jost,B., Hempel,J., Hodler,J., and Gerber,C., The clinical and structural long-term results of open repair of massive tears of the rotator cuff, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 90 (2008) 2423-2431.

DANKSAGUNG

Es ist mir ein Anliegen all jenen Personen zu danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Für die Überlassung des Themas, Hinweise und Anregungen und für das mir geschenkte Vertrauen möchte ich dem Lehrstuhlinhaber und meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Andreas B. Imhoff sehr herzlich danken.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr. med. K. Wörtler vom Institut für Röntgendiagnostik der Technischen Universität München, für die fachliche Unterstützung bei der Auswertung der Magnetresonanztomographiebilder.

Für die Begleitung und ununterbrochene Unterstützung meiner Arbeit insbesondere bei Vorbereitung und Durchführung der klinischen Nachuntersuchungen sowie für die kritische Durchsicht meines Manuskriptes bedanke ich mich ganz herzlich bei meinem Betreuer Herrn PD Dr. med. Gian M. Salzmann.

Sehr hilfreich und gern angenommen waren auch die Ratschläge von Herrn PD Dr. med. Christoph Bartl.

Mein besonderer Dank gilt auch den Herren PD Dr. med. Rainer Burgkart und Dipl.-Ing. Stefan Eichhorn von der Abteilung für Biomechanik der Klinik für Orthopädie der Technischen Universität München für die freundliche Beratung und Hilfe bei der Durchführung des Versuchs.

Weiterhin gilt mein Dank dem Personal der Ambulanz der Abteilung für Sportorthopädie des Universitäts-Klinikums Rechts der Isar der Technischen Universität München für die unkomplizierte Unterstützung bei der Datenerhebung und den klinischen Nachuntersuchungen.

Größter Dank gilt natürlich meinen Eltern, für ihre immerwährende Hilfe und all die Möglichkeiten, die sie mir während meiner gesamten Ausbildung geboten haben.