



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Bedeutung der Ätiologie für die Heilungsrate von arthroskopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktionen in einer jungen Patientenkohorte

Timon Benjamin Wagner

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

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Wolfgang A. Weber

Prüfer*innen der Dissertation:

1. Prof. Dr. Sebastian Siebenlist
2. Priv.-Doz. Dr. Alexandra Gersing

Die Dissertation wurde am 10.02.2022 bei der
technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät
für Medizin am 12.07.2022 angenommen

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungsverzeichnis	4
2	Einleitung	7
2.1	Epidemiologie	7
2.2	Ätiologie	9
2.3	Biologie der Sehnenheilung	12
3	Problemstellung und Ziele der Studie	16
4	Material und Methoden	18
4.1	Studiendesign und Patientenselektion	18
4.2	Diagnosestellung und Behandlungsalgorithmus	20
4.2.1	Anamnese und klinischer Befund	21
4.2.2	Bildgebung	21
4.2.3	Therapie und Operationstechnik	26
4.2.4	Postoperative Rehabilitation	29
4.3	Anamnese und klinische Untersuchung	31
4.3.1	Anamnese und allgemeiner Fragebogen	31
4.3.2	Klinische Scores	32
4.3.3	Klinische Untersuchung	35
4.3.4	Angewandte klinische Tests	38
4.3.5	Kraftmessung	44
4.4	Radiologische Untersuchung	47
4.5	Statistische Auswertung	52

5	<i>Ergebnisse</i>	54
5.1	Das Patientenkollektiv	54
5.2	Anamnese und klinische Untersuchung	58
5.2.1	Anamnese und klinische Scores	58
5.2.2	Klinische Untersuchung.....	61
5.3	Radiologische Untersuchung	66
5.3.1	Präoperative Evaluation	66
5.3.2	Nachuntersuchung	67
6	<i>Diskussion</i>	69
6.1	Das Patientenkollektiv	70
6.2	Anamnese und klinische Untersuchung.....	80
6.3	Radiologische Untersuchung	84
6.4	Limitationen.....	86
7	<i>Zusammenfassung</i>	88
8	<i>Literaturverzeichnis</i>	90
9	<i>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</i>	105
9.1	Abbildungsverzeichnis.....	105
9.2	Tabellenverzeichnis.....	108
10	<i>Anhang</i>	110
11	<i>Danksagung</i>	127

1 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abd	Abduktion
Add	Adduktion
ACG	Akromioclaviculargelenk
ADL	Activitites of daily living
AHA	akromiohumeraler Abstand
a.p.	antero-posterior
ARO	Außenrotation
ASAD	Arthroskopische subakromiale Dekompression
ASI	Anterosuperiores Impingement
bFGF	basic fibroblast growth factor
bspw.	Beispielsweise
CI	Konfidenzintervall
CMS	Constant-Murley-Score
DR	Double-Row
Fa.	Firma
I.d.R.	In der Regel
IGF-1	Insulin-like Growth-factor 1
IGHL	Inferiores glenohumerales Ligament
IL	Interleukin
IRO	Innenrotation
ISP	Musculus Infraspinatus
LBS	Lange Bizeps-Sehne

MDW	Mittelwert
MGHL	Mittleres glenohumerales Ligament
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MRA	Magnetresonanarthrographie
MRT	Magnetresonanztomographie
MTJ	muscle-tendon-junction, Muskel-Sehnen-Übergang
OP	Operation
o.ä.	oder ähnliches
PDGF	platelet-derived growth factor
RM	Rotatorenmanschette
RMR	Rotatorenmanschettenruptur
SCG	Sternoclaviculargelenk
SGHL	Superiores glenohumerales Ligament
sog.	sogenannt
SR	Single-Row
SSC	Musculus Subscapularis
SSP	Musculus Supraspinatus
TD	Tenodese
TGF	transforming growth factor
TNF	Tumornekrosefaktor
TT	Tenotomie
TM	Musculus Teres Minor
VEGF	Vascular endothelial growth-factor
z.B.	zum Beispiel

Verwendete Sprachform:

Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird im Text das generische Maskulinum verwendet. Gemeint sind jedoch immer alle Geschlechter.

2 Einleitung

2.1 Epidemiologie

Rotatorenmanschettenrupturen (RMR) stellen eine häufige Schulterpathologie dar, die über die gesamte Lebensspanne hinweg auftreten können (Lazarides et al., 2015; Mall et al., 2013; Luke S Oh, Brian R Wolf, Michael P Hall, Bruce A Levy, & Robert G Marx, 2007; Yamamoto et al., 2010). Allgemein steigt die Prävalenz von Rotatorenmanschettenrupturen mit dem Alter des Patienten (Burns & Snyder, 2008; Lin et al., 2013). Während bei Patienten im fünften Lebensjahrzehnt die Prävalenz sowohl von symptomatischen als auch von asymptomatischen Komplettrupturen bei rund 13% liegt, beträgt die Prävalenz der Komplettrupturen im siebten Lebensjahrzehnt bereits ungefähr 30-40% (Liem & Brunner, 2017; Reilly, Macleod, Macfarlane, Windley, & Emery, 2006; Sher, Uribe, Posada, Murphy, & Zlatkin, 1995; Tempelhof, Rupp, & Seil, 1999; Yamaguchi et al., 2006). Jüngere Patienten sind somit zwar insgesamt seltener betroffen, haben jedoch im Vergleich allgemein einen höheren Anspruch an die Funktionalität der Schulter (Lazarides et al., 2015; Luke S. Oh, Brian R. Wolf, Michael P. Hall, Bruce A. Levy, & Robert G. Marx, 2007). Aus diesem erhöhten Anspruch an die Funktionalität entsteht folgerichtig ebenfalls ein erhöhter Anspruch an der ärztlichen Therapie. Diese Therapie führt allgemein, unabhängig vom Patientenalter, zu hohe Kosten im Gesundheitswesen (Meislin, Sperling, & Stitik, 2005). Bei einer absoluten Zahl von über 250.000 Operationen an der Rotatorenmanschette (im Jahr 2006) in den USA werden die entstehenden jährlichen Kosten auf etwa 4 Milliarden US-Dollar geschätzt (Colvin, Egorova, Harrison, Moskowitz, & Flatow, 2012; Parikh et al., 2021).

Dabei betrug die Inzidenz von arthroskopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktionen im Jahr 2011 in den vereinigten Staaten von Amerika (USA) beispielsweise ungefähr 78 pro 100.000 Personen (Jensen et al., 2017). Eine andere amerikanische Studie ermittelte schon im Jahr 2006 eine Inzidenz der RM-Rekonstruktion von 98 pro 100.000 (Colvin et al., 2012) und in Finnland wurden im Jahr 2011 sogar 131 Menschen pro 100.000 an der RM operiert (Paloneva et al., 2015). In allen drei Studien konnte eine Steigerung der Operationszahlen um weit über 100% innerhalb von etwa 10-20 Jahren festgestellt werden. Gründe für den enormen Anstieg an Operationen an der RMR sind vielfältig. Zum einen gibt es aufgrund der demographischen Entwicklung einen stetig wachsenden Anteil älterer Menschen, bei denen, wie bereits erwähnt, die Prävalenz an RMR signifikant höher ist. Zum anderen wurde das Spektrum der Behandlung der RMR durch verbessertes Instrumentarium und Operationstechniken (OP-Techniken) in den letzten Jahrzehnten deutlich vergrößert. Außerdem entscheiden sich Operateure mittlerweile tendenziell früher für eine Operation im Hinblick auf eine möglichst erfolgreiche Reparatur, nachdem die Ergebnisse von Studien gezeigt haben, dass bei verzögerter Versorgung einer RMR die Rissgröße zunimmt und sich sowohl höheres Alter als auch zunehmende Rissgröße negativ auf die Heilungsfähigkeit nach einer Rotatorenmanschettenreparatur auswirken kann (Colvin et al., 2012).

Unzureichend therapierte RMR können gravierende funktionelle Einschränkungen und strukturelle Folgeschäden für das Schultergelenk nach sich ziehen. Neben dem Kraftverlust und Verlust des Bewegungsumfangs (Range of Motion - ROM) können sich chronische Schmerzzustände entwickeln (Minns Lowe, Moser, & Barker, 2014). Muskeldegeneration bei unbehandelten

RMR führen im Verlauf zudem häufig zu Defektarthropathien, einem Krankheitsbild, das durch progrediente Gelenkdestruktion zur Aufhebung der natürlichen Gelenkmechanik führt und zu Problemen bei Alltagsaktivitäten, im Beruf und auch im gesellschaftlichen Leben führen kann.

2.2 Ätiologie

Rotatorenmanschettenrupturen können hinsichtlich der Ätiologie in traumatische und nicht-traumatische Risse unterteilt werden (CODMAN & AKERSON, 1931; Yamamoto et al., 2010). Dabei sind traumatische RMR durch das Auftreten von Symptomen nach einem adäquaten Trauma an einer zuvor beschwerdefreien Schulter gekennzeichnet (Bjornsson, Norlin, Johansson, & Adolfsson, 2011; Mall et al., 2013; Pogorzelski et al., 2021). Ein adäquates Trauma ist dabei beispielsweise charakterisiert durch passiv forcierte Außen- oder Innenrotation bei meist abduziertem Arm oder eine forcierte passive Traktion bzw. axiale Stauchung des Humerus (Loew, Habermeyer, Wiedemann, Rickert, & Gohlke, 2000). Ein weiteres Beispiel für ein adäquates Trauma sind Schulterluxationen oder -subluxationen, die eine RMR zur Folge haben können.

Nicht-traumatischen RMR liegt in der Regel eine schrittweise Degeneration des Sehngewebes zugrunde (Pogorzelski et al., 2021; Sørensen et al., 2007). Dabei werden grundsätzlich sowohl intrinsische als auch extrinsische Faktoren mit diesen degenerativen Vorgängen assoziiert (Imhoff et al., 2010a, 2010b; Lohr & Uthoff, 2007). Intrinsische Faktoren beschreiben Veränderungen des Sehngewebes selbst oder des Bereichs des Sehnenknochenübergangs (Entese). Häufig liegt diesen intrinsischen Vorgängen eine (teils durch das Alter

begünstigte) Minderdurchblutung des Gewebes zugrunde, welche dann zu Einlagerungen von Hydroxyapatitmikrokalzifikationen sowie fettiger Infiltration zwischen Faserpartikeln und somit zu einer verminderten Sehnenqualität führen kann (Gumina et al., 2006). Mikrokalzifikationen können zudem im Verlauf zu Makrokalzifikationen und damit sekundär zu einer extrinsischen Problematik führen (s.u.). Darüber hinaus wurden kardiovaskuläre Risikofaktoren als Einfluss auf die Pathogenese der RMR beschrieben (Djerbi, Chammas, Mirous, Lazerges, & Coulet, 2015). Präziser gesagt wurde festgestellt, dass sowohl Tabakkonsum als auch Dyslipidämie einen signifikanten Zusammenhang mit RMR hatten (Djerbi et al., 2015; R. Z. Tashjian, 2012). Außerdem zeigte sich bei Patienten mit Hypertonie, mit mindestens einem stattgehabten kardiovaskulärem Ereignis und Tabakkonsum ein negativer Effekt auf den Schweregrad der RMR (Djerbi et al., 2015). Darüber hinaus kompromittiert Tabakkonsum nachweislich die Heilungsfähigkeit von RMR und macht damit Rerupturen wahrscheinlicher (R. Z. Tashjian, 2012).

Zu den extrinsischen Faktoren von RMR können neben pathologischen und degenerativen Prozessen auch anatomische Normvarianten zählen, die extratendinös zu einer Verkleinerung des subakromialen Raums und damit zu einer Einengung der Rotatorenmanschette und somit unter Umständen zu vermehrten Scher- Druckbelastungen der RM führen, die in eine RMR münden kann. Beim primären (Outlet-) Impingement sind mechanische Faktoren wie beispielsweise ein ventraler Akromionsporn, anatomische Varianten des Akromions, AC-Gelenksosteophyten oder ein mobiles Os akromiale ursächlich für die Einengung der RM von kranial. Dagegen werden mit dem primären Non-Outlet-Impingement diejenigen Prozesse gemeint, die innerhalb des

Subakromialraums eine Einengung begünstigen. Ursächlich für das Non-Outlet-Impingement ist zum einen die RMR oder Teilruptur selbst. Als Folge der RMR bleibt die ausreichende Humeruskopfzentrierung aus und es kommt zum Humeruskopfhochstand. Zum anderen kann durch Makrokalzifikationen im subakromialen Raum, auch Tendinosis calcarea genannt, eine gestörte Biomechanik im Schultergelenk entstehen, was darauffolgend ggf. ebenfalls zum primären Non-Outlet-Impingement führt. Weiterhin muss innerhalb des primären Non-Outlet-Impingements noch an die Bursitis subacromialis gedacht werden (Garving, Jakob, Bauer, Nadjari, & Brunner, 2017).

Das sekundäre Non-outlet-Impingement resultiert ebenfalls aus dem Verlust der Humeruskopfzentrierung. Hier sind jedoch andere Pathomechanismen wie bspw. muskulären Dysbalancen zu nennen. Diese verändern das Rotationszentrum bei Elevation, was anschließend zur Einklemmung führt (Markus Scheibel, 2010). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Auftreten von RMR multifaktoriell durch intrinsische und extrinsische Faktoren begünstigt wird (Markus Scheibel, 2010).

Weitere spezielle Formen des inneren Schulterimpingements sind das anterosuperiore (ASI) und das posterosuperiore (PSI) Impingement. Beim ASI kann es pathogenetisch bei einem Einriss des superioren glenohumeralen Ligaments (SGHL) zu einer Subluxation der langen Bizepssehne (LBS) kommen, welche zwischen Tuberkulum minus Muskulus Subscapularis und Glenoid zu einer Einklemmung führt (Habermeyer, Magosch, Pritsch, Scheibel, & Lichtenberg, 2004). Das posteriore Korrelat, nämlich das posteriosuperiore Impingement (PSI), kann durch übermäßige Dehnung der ventralen Kapselanteile bei gleichzeitiger Kontraktur der dorsalen Kapselanteile bei

Überlastung in hoher Abduktion und Außenrotation entstehen. Folge ist ein Ungleichgewicht in der Bewegungskette und schließlich das PSI (Rose & Loos, 2017).

Werden die Formen der Rupturen respektive die Ätiologie von RMR betrachtet, können deutliche Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Patienten ausgemacht werden. In der älteren Population werden hauptsächlich RMR aufgrund einer degenerativen Genese festgestellt. Dagegen finden sich bei der jüngeren Population eher Rupturen, die traumatischer Genese sind (Longo, Berton, Papapietro, Maffulli, & Denaro, 2012) . Dwyer et al. stellten bei jüngeren Patienten eine höhere Rate an kleineren Rissen fest (Dwyer, Razmjou, & Holtby, 2015). Mall et al. (Mall et al., 2013) beschrieben zudem, dass das Alter der Patienten mit traumatischen Rupturen gegenüber den Patienten mit atraumatischen Rupturen durchschnittlich etwa 10 Jahre jünger ist, und dass Partialrupturen bei traumatischer Genese häufig sind.

2.3 Biologie der Sehnenheilung

Um die Heilungsprozesse nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion besser nachvollziehen zu können, wird im Folgenden auf die biologischen Prozesse der Sehnenheilung eingegangen. Ähnlich den Reparaturprozessen von Sehnenverletzungen anderer Körperstellen ist die Heilung der Rotatorenmanschette zeitabhängig und in drei konsekutive Phasen unterteilt: 1. Inflammationphase, 2. Reparations- und Proliferationsphase und 3. Remodelingsphase (Molloy, Wang, & Murrell, 2003; Pogorzelski et al., 2021; Voleti, Buckley, & Soslowsky, 2012; Zumstein, Lädermann, Raniga, & Schär,

2017). In jeder Phase wirken dabei andere Zellpopulationen, Botenstoffe und Wachstumsfaktoren (Nichols, Best, & Loiselle, 2019). Bei der exakten Dauer der einzelnen Phasen besteht dabei eine hochgradige Abhängigkeit von dem Organismus, Verletzungsmechanismus, Ort der Verletzung, Komorbiditäten und der Art der Therapie (Carpenter, Thomopoulos, Flanagan, DeBano, & Soslowsky, 1998; Sandrey, 2003).

Unmittelbar nach einer akuten Verletzung führt die durch die Blutung ausgelöste Akkumulation von Zytokinen, dazu gehören Fibrin, Fibronectin, Interleukin 1- β (IL 1- β), Interleukin 6 (IL-6) und Tumornekrosefaktor α (TNF- α), zu einer erhöhten Gefäßpermeabilität und zur Rekrutierung von zirkulierenden Entzündungszellen an der Verletzungsstelle. Phagozytäre neutrophile Granulozyten erscheinen innerhalb von Minuten nach der ersten Verletzung. Kurz darauf folgen Monozyten/Makrophagen (Wong et al., 2009). Neben der Ausschüttung von Zytokinen kommt es in dieser ersten Phase auch bereits zu einer Akkumulation von Wachstumsfaktoren, insbesondere von platelet-derived growth factor (PDGF), basic fibroblast growth factor (bFGF) und transforming growth factor β (TGF- β). Diese Wachstumsfaktoren erreichen ihren maximalen Spiegel etwa um den 7. Tag (Kobayashi et al., 2006). Die durch die Wachstumsfaktoren aktivierten Fibroblasten haben eine Schlüsselrolle bei der Aktivierung des Heilungsprozesses, der Angiogenese und dem Umbau der sich entwickelnden extrazellulären Matrix inne (Nichols et al., 2019). Die Dauer der beschriebenen ersten Phase der Inflammation wird mit etwa 7 Tagen angegeben (Molloy et al., 2003; Pogorzelski et al., 2021; Voleti et al., 2012; Zumstein et al., 2017).

Die folgende Phase der Proliferation und Reparation beginnt bereits etwa zwei bis vier Tage nach der Verletzung und dauert ungefähr zwei Wochen (Molloy et

al., 2003; Pogorzelski et al., 2021; Voleti et al., 2012; Zumstein et al., 2017). Vasoaktive und chemotaktische Faktoren wie der Vascular endothelial growth-factor (VEGF) und TGF- β , die nach 10 Tagen ihr Wirkmaximum haben, aktivieren in dieser Phase die Kollagensynthese und Angiogenese, beenden jedoch zeitgleich die Zellproliferation (Pogorzelski et al., 2021). Daneben sorgen Fibroblasten für die Produktion von Kollagenen, hauptsächlich Kollagen I und III (Galatz et al., 2006). Während in gesunden Sehnen vorrangig Kollagen Typ I vorhanden ist, enthalten die abgeheilten Sehnennarben vermehrt Kollagen Typ III (Edwards, Lynch, Saltzman, Terry, & Nuber, 2011). Weiterhin sind auch Epitendineum und Endotendineum der rupturierten Sehne am Reparaturprozess beteiligt (Dyment et al., 2013). Vom Epitendineum gehen Zellen aus, die in die Verletzungszone einwandern und mit erhöhten Konzentrationen von Laminin und Fibronectin vergesellschaftet sind (Best & Loiselle, 2019; Dyment et al., 2013). Sowohl Laminin als auch Fibronectin können im entstehenden Granulationsgewebe gefunden werden, was auf die Beteiligung epitendinöser Zellen an der Reparatur der Sehne hinweist (Howell et al., 2017; Taylor et al., 2011).

Die dritte Phase der Sehnenheilung (Remodeling) beginnt nach wenigen Wochen und kann über Jahre andauern (Edwards et al., 2011). Die Remodeling-Phase ist typischerweise durch eine deutliche Abnahme sowohl der Vaskularität als auch der Zellularität gekennzeichnet (Nichols et al., 2019). Das entstandene Granulationsgewebe reift zu einer Narbe heran. Der nach drei Wochen vorherrschende Insulin-like growth-factor 1 (IGF-1) stimuliert die Kollagensynthese (Molloy et al., 2003). Im Rahmen der Kollagenbildung findet, zumindest teilweise, ein erneuter Wechsel von Kollagentyp III zu Typ I statt (Galatz et al., 2006). Die Folge ist eine verstärkte Organisation der extrazellulären

Matrix (Edwards et al., 2011). Die genannten Heilungsprozesse führen jedoch nicht vollumfänglich zu einer Wiederherstellung der nativen Sehne, sondern hinterlassen eine fibrovaskuläre Narbe (Angeline & Rodeo, 2012). Anhand von Studien an Tiermodellen konnte gezeigt werden, dass die Sehnenqualität mechanisch und histologisch nach Verletzung nicht mehr den Urzustand erreichen kann (Carpenter et al., 1998).

3 Problemstellung und Ziele der Studie

Diese beschriebenen Reparaturmechanismen werden in gewissem Umfang sowohl bei traumatischen als auch bei atraumatischen Rupturen durchlaufen. Inwieweit diese unterschiedlichen Pathomechanismen die postoperativen Ergebnisse in dieser Patientenkohorte beeinflussen, ist jedoch noch unbekannt. Daher war es das Ziel dieser Studie, den Einfluss der Ätiologie auf das postoperative Outcome nach operativer Naht der Rotatorenmanschette zu untersuchen. Dabei wurden traumatische und atraumatisch degenerative Risse in einem Patientenkollektiv, welches jünger als 50 Jahre war, untersucht und bezüglich subjektiver und objektiver Ergebnisse verglichen. Um die subjektiven Ergebnisse quantifizieren zu können, kamen verschiedene Fragebögen zum Einsatz, unter anderem der Constant- und der ASES-Score. Für die objektive Evaluation wurden Beweglichkeits- und Kraftprüfung sowie eine Magnetresonanztomographie (MRT) durchgeführt. In dieser Studie wurden bewusst ausschließlich jüngere Patienten für das Follow-up ausgewählt, um den bereits erkannten und relevanten Faktor „Alter“ als Einfluss auf den Erfolg nach einer operativen Rotatorenmanschettennaht konstant zu halten.

Wir stellten die Hypothese (Alternativhypothese) auf, dass die Rekonstruktion traumatischer RMR im Vergleich zur Rekonstruktion nicht-traumatischer/ degenerativer Risse zu besseren postoperativen Ergebnissen und höheren radiologischen Heilungsraten führen würde, da bei traumatischen Rupturen theoretisch eine höhere Heilungskapazität gemäß der intrinsischen Sehnenheilungskaskaden zu erwarten sind. Demnach entsprach die

Nullhypothese dabei, dass zwischen den genannten Gruppen eben keine Unterschiede zu erkennen waren.

Ein relevantes Nebenziel dieser Arbeit war es zu erkennen, ob ein Zusammenhang zwischen den erhobenen radiologischen Resultaten und den klinischen bzw. subjektiven Befunden zu erwarten ist. Dabei soll die Heilungsrate mit der Sehnenintegrität nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion mithilfe der Magnetresonanztomographie ermittelt und in Relation zu den weiteren erhobenen Ergebnissen gesetzt werden.

4 Material und Methoden

4.1 Studiendesign und Patientenselektion

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Ergebnisstudie. Die zuständige Ethikkommission der Fakultät für Medizin des Klinikums rechts der Isar erteilte die Genehmigung für die Studie (Ethikvotum Nr. 17/19 S-AS).

Vor Beginn der Untersuchungen wurde das gesamte Patientenkollektiv schriftlich über die Studie hinsichtlich des Ablaufs, möglicher Risiken und Ziele informiert. Die Einverständniserklärung für die Teilnahme an der Studie wurde per Post an unsere Abteilung zurückgeschickt.

Das Patientenkollektiv umfasst alle Patienten, die in der Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar im Zeitraum von 2006 bis 2018 eine Rotatorenmanschettennaht erhielten und zum Zeitpunkt der OP jünger als oder genau 50 Jahre alt waren. Die Rekrutierung der Patienten erfolgte aus den Datensätzen der Abteilung mit Hilfe des internen Krankenhausinformationssystem der Firma SAP.

Elementar Bestandteil der Patientenselektion ist die Differenzierung des Krankheitsursprungs nach traumatischer oder nicht-traumatischer Natur. Dabei sind traumatische RMR durch das Auftreten von Symptomen nach einem adäquaten Trauma an einer zuvor unverletzten Schulter gekennzeichnet (Bjornsson et al., 2011; Mall et al., 2013; Pogorzelski et al., 2021). Ein adäquates Trauma ist dabei beispielsweise charakterisiert durch passiv forcierte Außen- oder Innenrotation bei meist abgespreiztem Arm, eine forcierte passive Traktion

nach kaudal, ventral oder medial oder durch eine axiale Stauchung des Humerus (Loew et al., 2000). Dagegen besteht eine nicht-traumatische Genese, wenn ein traumatisches Ereignis nicht erinnerlich ist, welches den Ursprung der Beschwerden markiert (Kukkonen, Joukainen, Itala, & Aarimaa, 2013). Folgende Ein- und Ausschlusskriterien wurden definiert:

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien:

Alter ≤ 50 Jahre bei Operation zwischen 2006 und 2018

Rotatorenmanschettenrekonstruktion des SSP +/- SSC (traumatisch/ atraumatisch)

Komplettruptur oder hochgradige Partialruptur mit intraoperativer Komplettierung (Ellmann A/B 2 oder 3)

Mindest-Follow-up-Zeit 24 Monate

Ausschlusskriterien

Begleitverletzungen (Bankart-Repair, Tendinitis calcarea, Osteosynthese, Schulterluxation, Frozen shoulder)

Präoperative Zeichen einer Defekarthropathie (Hamada >2) oder Omarthrose Samilson/Prieto >1)

Revisionsoperationen der betroffenen Schulter

Patienten mit ausländischer Heimatadresse

Grunderkrankung die eine Teilnahme nicht zulässt

Die Klassifizierung von Partialrupturen nach Ellmann gibt an, welche Oberfläche betroffen ist, und stuft den Schweregrad der Ruptur nach der Tiefe ein (ELLMAN, 1990). Die betroffene Oberfläche wird demnach nach den Kategorien A (artikularseitige Oberfläche), B (schleimbeutelseitige Oberfläche) und C (interstitiell) eingeteilt, wobei sowohl Typ A als auch Typ B in unserer Studie Einschluss fanden. Die normale Manschette wird als 10-12 mm dick beschrieben. Ein partieller Riss des Grades 1 (weniger als 3 mm tief) lässt zwar eine deutliche Unterbrechung der Sehnenfasern erkennen, wurde aber, bei noch geringer Partialruptur, ausgeschlossen. Eingeschlossene, von uns intraoperativ vervollständigte, Rupturen des Grades 2 (3-6 mm tief) und 3 (>6 mm tief) reichen weit in die Substanz der Manschette hinein und überschreiten bei Grad 3 die Hälfte der Manschettensubstanz (ELLMAN, 1990).

4.2 Diagnosestellung und Behandlungsalgorithmus

Die Rotatorenmanschettenruptur wird über die Gesamtschau verschiedener Untersuchungsinstrumente gestellt. Die Primärdiagnostik bei RMR hat das Ziel, durch Anamnese und klinische Untersuchung, den Verdacht auf eine RMR zu erhärten und damit weiterführende Diagnostik zur Diagnosesicherung einzuleiten. Durch die röntgenologische Basisdiagnostik können relevante Faktoren der RMR untersucht und knöchernen Differentialdiagnosen ausgeschlossen werden. Sind Anamnese respektive klinische Untersuchung mit diagnostischen Tests auffällig und suggestiv für eine RMR, schließt sich zur Diagnosesicherung eine MRT-Untersuchung an (de Jesus, Parker, Frangos, & Nazarian, 2009). Auffällige Befunde der Röntgendiagnostik hinsichtlich einer RMR unterstützen dabei die Indikation zur Durchführung der MRT.

4.2.1 Anamnese und klinischer Befund

Bei der Erstevaluation werden insbesondere anamnestische Angaben, wie Geschlecht, Dauer der Beschwerden, Ätiologie und Schmerzlokalisierung sowie die Schmerzcharakteristik berücksichtigt. Außerdem sollte in der Anamnese auf wichtige Begleitpathologien bzw. Nebendiagnosen eingegangen werden (z.B. Diabetes mellitus, orale Antikoagulation, HWS-Syndrom etc.). Die Patienten berichten häufig von Schmerzen am Ansatzgebiet des M. Deltoideus. Weiterhin sind Belastungsschmerzen und die Schmerzverstärkung in der Seitenlage auf der betroffenen Seite für RMR typisch.

RMR präsentieren sich häufig mit Kraftverlust in Abduktion, Außenrotation oder Innenrotation und können mit schmerzabhängigen Bewegungseinschränkung v.a. in den genannten Bewegungsrichtungen sowie in Anteversion/Flexion einhergehen. Bei der aktiven Bewegungsprüfung in Abduktion sprechen Schmerzen zwischen 60° und 120° für einen „painful arc“, welcher auf eine begleitende Impingementsymptomatik hindeutet (H. B. Park, Yokota, Gill, El Rassi, & McFarland, 2005). Hinweise auf eine RMR geben zudem diagnostische Tests der RM, darunter v.a. der Jobe-Test, der Lift-off-Test und die Kraft in Außenrotation (Jain, Fan, Higgins, Kuhn, & Ayers, 2018).

4.2.2 Bildgebung

Das Röntgen stellte die Basisdiagnostik bei Schulterbeschwerden dar. Regelhaft werden drei Ebenen aufgenommen: Die a.p.-Aufnahme, die axiale Aufnahme und die Outlet-Aufnahme.

In der true a.p.-Aufnahme nach Grashey wird der Patient um etwa 30°-45° in Richtung der darzustellenden Schulter gedreht. Dies hat zur Folge, dass sich die Scapula parallel zum Strahlengang befindet, um den Gelenkspalt frei darstellen zu können. Der in dieser Ebene beurteilbare Hochstand des Humerus ist nahezu beweisend für eine Massenruptur der RM, da gezeigt werden konnte, dass es bei singulären SSP-Rupturen nicht zu einer signifikanten Vermehrung des Drucks am Schulterdach kommt, also somit auch noch kein Höherentreten zu beobachten ist. Um diesen Hochstand zu quantifizieren, wird der akromiohumerale Abstand (AHA) gemessen. Hamada et al. (Hamada, Fukuda, Mikasa, & Kobayashi, 1990) definierten Schweregrade des AHA bezüglich der Diagnose einer Cuff-Arthropathie. Der erste Grad nach Hamada ist mit einem AHA von über 6 mm beschrieben, beim zweiten Grad ist dieser 5 mm oder weniger. Beim dritten Grad kommt neben dem geringen Abstand <5mm die sogenannte Azetabularisierung vor. Von den Autoren wird die Azetabularisierung als eine konkave Deformität der Akromionunterfläche definiert. Bei Grad 4 kommt zu den Merkmalen des Grades 3 eine Verengung des Glenohumeralgelenks hinzu. Grad 5 umfasst Fälle von Humeruskopf-Kollaps (Hamada et al., 1990).

Außerdem kann mittels der Einteilung nach Samilson und Prieto (Samilson & Prieto, 1983) eine mögliche (ursprünglich instabilitätsbedingte) Arthrose im Glenohumeralgelenk (GHG) klassifiziert werden. Samilson und Prieto teilten den Schweregrad der Arthrose im Röntgen in „mild“, „moderate“ und „severe“ ein. Milde Arthrosen sind dabei mit Exostosen am inferioren Humeruskopf mit einer Größe unter 3 mm gekennzeichnet. Moderat wird hingegen mit Exostosengröße von 3 mm bis 7 mm ergänzend mit leichter Irregularität im Glenohumeralgelenk definiert. Exostosen größer als 7 mm gepaart mit Verengung im GHG und

Sklerose entsprechen einer schweren („severe“) Arthrose (Samilson & Prieto, 1983). Patienten mit Schweregrad „moderate“ oder „severe“ wurden aus unserer Studie ausgeschlossen.

Außerdem kann im a.p. Strahlengang die sogenannte Kopf-Hals-Linie nach Bandi überprüft werden. Im Regelfall kann eine durchgezogene Linie von der kaudalen Pfanne zum Kopf gezeichnet werden. Steht der Kopf jedoch höher, ist diese Linienziehung nicht mehr möglich. Dies spricht für eine Dezentrierung des Humeruskopfes und gibt Hinweis auf eine RMR (Hedtmann & Heers, 2007).

Die zweite klassische Ebene der Initialdiagnostik der Schulter ist die axiale Aufnahme (Flaig & Mäurer, 2002). Mit ihr kann das ACG, das Tuberkulum minus und das Glenoid dargestellt werden (OrthoRad, 2004).

Um den subakromialen Raum beurteilen zu können, eignet sich besonders die Outlet-Aufnahme nach Morrison und Bigliani (siehe Abb.1). Die Einteilung der anatomischen Form des Akromions nach Bigliani gibt Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit eines Outlet-Impingement-Syndroms. Die Inzidenzen der jeweiligen Form hatte Bigliani (Bigliani, Morrison, & April, 1986) in seiner Kadaverstudie mit Typ I:17%, Typ II: 43% und Typ III: 40% betitelt.

Vor allem Typ II und III sind assoziiert mit RMR, wobei durch große Unterschiede in der interindividuellen Beurteilung der Typen die Reliabilität fragwürdig ist (Jacobson et al., 1995; Zuckerman, Kummer, Cuomo, & Greller, 1997).

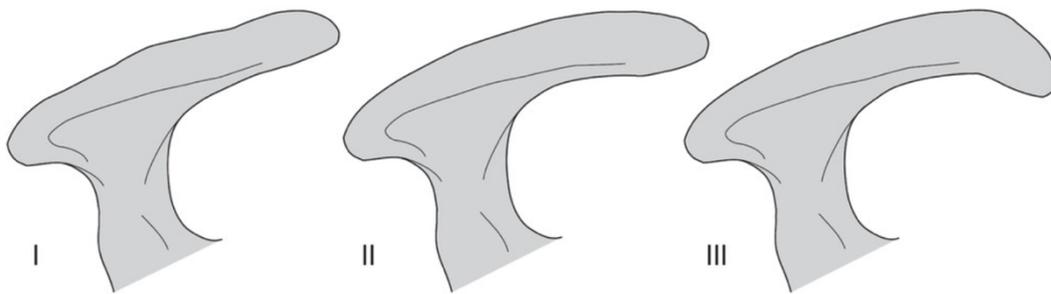


Abbildung 1: Morphologische Akromiontypen nach Bigliani und Morrison, Typ I: flach, Typ II: gebogen, Typ III: hakenförmig (Bigliani et al., 1986; Imhoff et al., 2010a)

Die Magnetresonanztomographie stellt den Goldstandard bei RMR dar und war damit fester Bestandteil der Rotatorenmanschetten-Diagnostik. Auch hier werden, ähnlich der Röntgendiagnostik, drei Standardebenen berücksichtigt: Oblique-koronar, oblique-sagittal und axial (siehe Abb. 2).

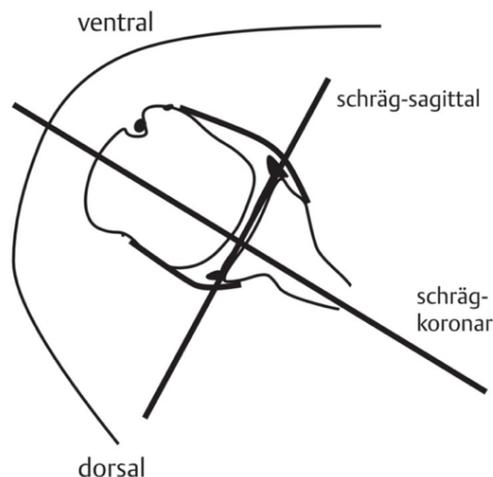


Abbildung 2: Schnittführung im MRT, hier transversaler (axialer) Schnitt durch das Schultergelenk (Fox, Noerdlinger, & Romeo, 2003; Vahlensieck, Träber, & Gieseke, 2014)

Es wurden sowohl die T1- als auch die T2-Sequenz berücksichtigt. In der T1-Wichtung kommen Fett und paramagnetische Substanzen hyperintens zur Darstellung. Muskeln, kortikaler Knochen, Verkalkungen und die meisten pathologischen Veränderungen sind hingegen hypointens. Diese Sequenz ist wenig anfällig gegenüber Artefakten. In der T2-Wichtung erscheinen Fett und

Muskeln etwas hypointenser als im T1-Bild. Flüssigkeiten und die meisten pathologischen Veränderungen zeigen sich dagegen hyperintens. Die T2-Bildsequenz ist deshalb besonders wichtig zur Erfassung von akut-pathologischen Befunden. Sie zeigt jedoch eine beträchtliche Anfälligkeit gegenüber Artefakten durch Bewegung oder Pulsation (Vahlensieck et al., 2014).

Eine Untersuchung mithilfe der MRT bei Verdacht auf RMR wird angestrebt, um alle relevanten Anteile der RM sowie der LBS und des ACG darstellen zu können. Dabei ist die MRT sowohl in der Sensitivität als auch in der Spezifität der Sonographie überlegen (Liu et al., 2020). Es konnte festgestellt werden, dass sich die MRT auch zur Diagnostik des SSC eignet, jedoch bleibt die Sensitivität hinter der Diagnostik posteriorer oder superiorer Rupturen zurück (Malavolta et al., 2019). Um gegenüber der nativen MRT noch eindeutiger Ergebnisse sowohl bei Partial- als auch bei Komplett rupturen zu erhalten, kann diese mit der MRA (Magnetresonanz-Arthrographie) erweitert werden (Liu et al., 2020). Insbesondere bei unklaren Partia lläsionen kann die MRA notwendig werden (Lenza et al., 2013).

Für eine RMR sprechen folgende Befunde in der MRT:

- Moderate Hyperintensität in T1/Deutliche Hyperintensität in T2 in der Sehne (Hedtmann & Heers, 2007)
- Flüssigkeiten aus Bursen (subakromial oder subdeltoideal) und Synovia kommunizieren
- Kontinuitätsunterbrechung der Sehne (siehe Klassifikation nach Patte (Patte, 1990))
- Fettige Degeneration der Muskulatur (Goutallier, Postel, Bernageau, Lavau, & Voisin, 1994)

4.2.3 Therapie und Operationstechnik

Bei Diagnosestellung einer symptomatischen, radiologisch nachgewiesenen RMR mit Möglichkeit der operativen Refixation und Einverständnis vonseiten des Patienten wird die stationäre operative Behandlung angestrebt. Beschwerdepersistenz bei konservativen Therapieversuch ist eine weitere Indikation für die operative Therapie. Die stationäre Verweildauer beträgt etwa zwei Nächte je nach Zustand und Schmerzkontrolle des Patienten. Die Operation erfolgt in Allgemeinanästhesie mithilfe eines Skalenus-Blockes und/oder eines Schmerzkatheters. Die jeweilige Schmerztherapie wird in enger Zusammenarbeit mit dem Schmerzdienst am ersten oder zweiten postoperativen Tag langsam ausgeschlichen und vor Entlassung entfernt.

Der Patient wird nach Narkoseeinleitung in die sogenannten Beach-chair-Lagerung gebracht. Anschließend Durchführen des diagnostischen Rundganges über das posteriore Standardportal mit Beurteilung der Gelenkflächen mit Labrum, der LBS, des kapsoligamentären Komplexes insb. Pulley-System und der Insertionen der RM. Es werden Rupturgröße und Konfiguration der RMR beurteilt. Weitere anteriore und laterale Arbeitsportale können je nach Rupturkonfiguration und betroffener Sehne verwendet werden. Dazu gehören das antero-superiore, laterale, antero-laterale, posterolaterale Portal.

Nun wird die Indikation, wie Tendinitis, Partialläsion oder Instabilität bei Pulley-Läsion, für eine Bizeps-Tenotomie geprüft. Bei Entscheidung für eine Tenotomie mit oder ohne Tenodese wird die LBS basisnah am oberen Labrum mithilfe einer arthroskopischen Schere abgesetzt. Jedoch wird für die intraartikuläre Tenodese die Sehne vor Durchtrennung intraartikulär angeschlungen. Die abgetrennte

Sehne rutscht spontan, durch mechanischen Druck auf den M. Bizeps oder durch passive Extension des Ellbogengelenks in den Bizepssehnenkanal. Außerdem wird mithilfe der Elektrosonde der Footprint der Bizepssehne débridiert und denerviert.

Sollte die SSC-Sehne betroffen sein, kann mit einer Gewebefasszange die Reponierbarkeit überprüft werden. Dies hat Einfluss auf den Umfang der später benötigten Mobilisation des SSC bevor eine Naht möglich wird. Nun wird diese i.d.R. direkt versorgt. Dazu wird nach der Inspektion die Sehne mit Shaver und Elektroinstrument mobilisiert. Verwachsungen mit dem mittleren glenohumeralen Ligament (MGHL), Korakoid und Scapulahals werden so gelöst. Während der Mobilisation kann die Sehne bei erheblicher Retraktion über eingebrachte Haltefäden auf Zug gehalten werden. Anschließend wird der gewünschte Insertionsbereich am Tuberkulum minus angefrischt. Über anteriore Portale werden dann nach Bedarf 1-4 (je nach Größe und Konfiguration der Ruptur, z.B. in single row bei F&R (Fox&Romeo) 1-2 oder double row bei Komplettrupturen F&R 3 (Fox et al., 2003)) Anker eingebracht, um die Sehne wieder bestmöglich an ihrem Ursprung zu fixieren. Die Fäden am Anker werden mit speziellen Shuttle Instrumenten und Hohlnadeln durch die Sehne hindurchgeführt. Befestigt wurde die Sehne am Ende mithilfe arthroskopischer Knoten und ggf. einer zusätzlichen Doppelreihentechnikanlage.

Nach dem Wechsel des Arthroskops in den subakromialen Raum erfolgt die Beurteilung der bursaseitigen Manschette. Zudem kann zur besseren Visualisierung eine Bursektomie und bei vorhandenem Outlet-Impingement eine subakromiale Dekompression mittels Shaver oder Elektrosonde durchgeführt werden. Mit einer Gewebefasszange kann daraufhin die Retraktion und die

Reponierbarkeit der superioren Rotatorenmanschette überprüft werden. Auch hier folgte, analog zum SSC im Ablauf die Mobilisation der Sehne, das Anfrischen der Insertion am Tuberkulum majus, das Einbringen der armierten Anker und dann das Greifen und Durchstechen der Sehne/n mittels Shuttleinstrumenten. Bei einer kleinen, spannungsfrei reponierbaren Sehnenruptur besteht die Möglichkeit die Sehne lediglich in Einreihentechnik zu versorgen. Dazu wird die betroffene Sehne an der Insertionsstelle am Tuberkulum majus mithilfe von Nähten und Knoten analog zur SSC-Sehne fixiert.

Bei eindeutiger Überlegenheit der biomechanischen Stabilität wird jedoch bei größeren Rupturen die Doppelreihentechnik bevorzugt (Chen et al., 2013; Lorbach, Bachelier, Veas, Kohn, & Pape, 2008; M. C. Park et al., 2007). Hier werden zusätzliche Anker noch weiter lateral eingebracht. Mit diesen Ankern werden die zuvor verarbeiteten Fäden fixiert (Siehe Abb. 3&4). Zur Fixation in Doppelreihentechnik kann die mediale Reihe entweder geknotet (Suture-Bridge) oder knotenlos (SpeedBridge, Fa. Arthrex) eingebracht werden und in beiden Fällen über die laterale Reihe knotenlos abgespannt werden. Bei L-förmigen oder U-förmigen Rupturen kann es zudem erforderlich und vorteilhaft sein, die Rupturränder erst in Side-to-side-Technik aneinander anzunähern (Matthias J. Feucht, Minzlaff, Aboalata, Rosenstiel, & Braun, 2013; M. J. Feucht et al., 2017). Zuletzt wird die LBS, bei Entscheidung für eine Tenodese, im sulcus bicipitalis intraartikulär nach erfolgter Anschlingung oder subpectoral extraartikulär mithilfe von Tenodeseschrauben fixiert. Für die subpectorale Tenodese ist ein weiterer Hautschnitt an der Oberarmvorderseite, ca. 1 cm lateral der Axillarfalte, von Nöten.

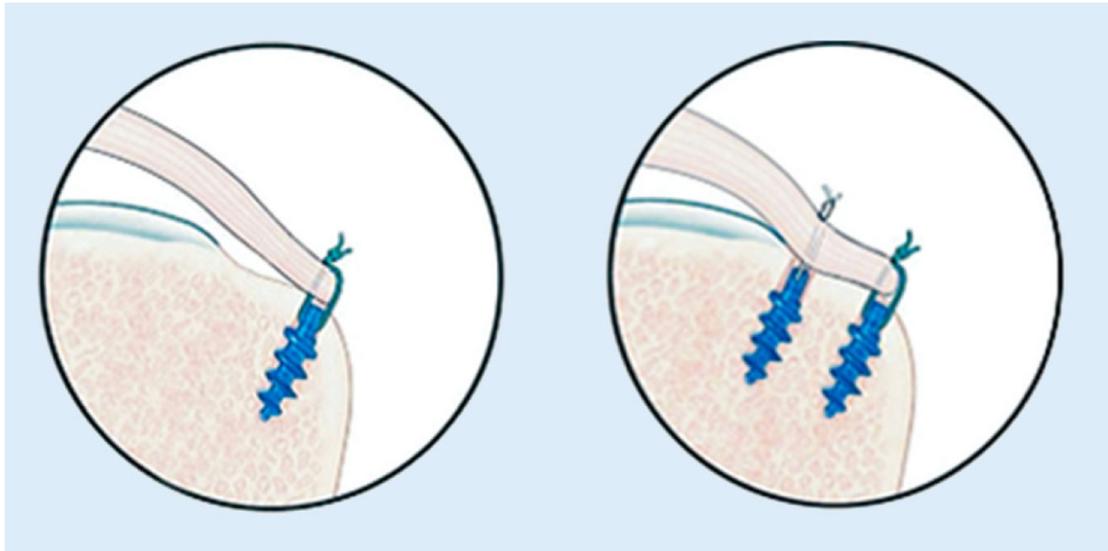


Abbildung 3: Illustration einreihigen (links) und zweireihigen (rechts) Nahttechnik zur Rekonstruktion von Rupturen der Rotatorenmanschette (Meier & Meier, 2006)

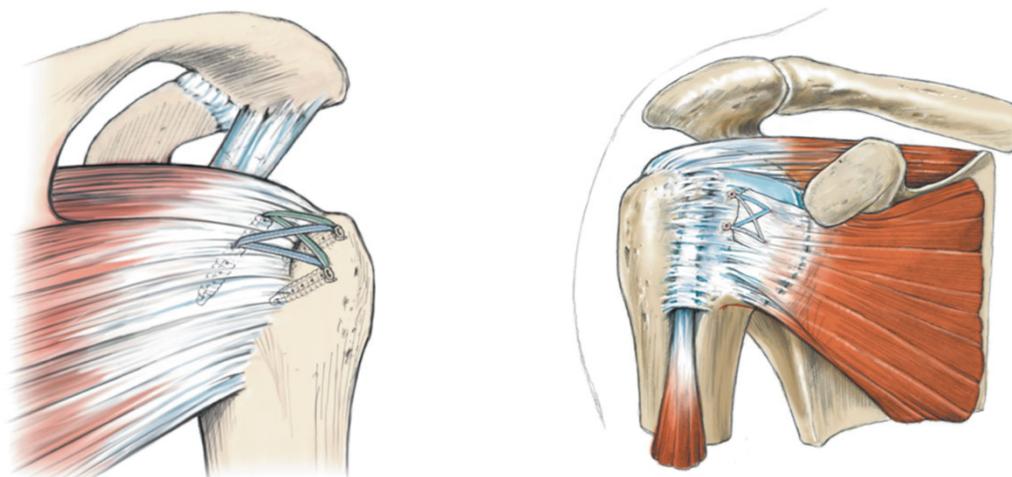


Abbildung 4: Illustration der OP-Technik für die Rotatorenmanschettenrekonstruktion; Links: Double-row mit SpeedBridge-Technik an Musculus Supraspinatus: zweite Fadenankerreihe lateral der Insertionszone; Rechts: Double-row mit SpeedBridge-Technik des Musculus Subscapularis (M. J. Feucht et al., 2017; Fox et al., 2003)

4.2.4 Postoperative Rehabilitation

Das postoperative Bewegungsausmaß ist abhängig von der durchgeführten Rekonstruktion (Tabelle 2 und 3). Wird eine Tenodese respektive Tenotomie durchgeführt, muss zusätzlich für 6 Wochen darauf geachtet werden, dass keine aktiven Bizepsübungen durchgeführt werden. Für alle Rekonstruktionen gilt ab

der 7. bis zur 9. Woche freie aktiv-assistierte Beweglichkeit und ab der 9. Woche freie aktive Beweglichkeit.

Tabelle 2: Nachbehandlungsschema bei Supraspinatus-Sehnen-Rekonstruktion

6 Wochen	MEDI®-SAS comfort (Schulter- abduktionskissen in 15° Abduktion)
1. – 3. Woche	Passive Abd./Add.: frei/0°/0°, aktiv-ass. Abd./Add.: 90°/0°/0°, passive Flex./Ext.: frei/0°/0°, aktiv-ass. Flex. bis 90°, aktiv-ass. I.R./A.R.: frei
Ab 7. Woche	Freie aktive Beweglichkeit, Übungen zur Stabilisierung des Scapulasettings und des scapulathorakalen Rhythmus.

Tabelle 3: Nachbehandlungsschema bei zusätzlicher Subscapularis-Sehnen-Rekonstruktion

6 Wochen	Medi ® SAS comfort (15° Abduktion)
1. – 3. Woche	Passive Abd./Add.: 90°/0°/0°, passive Flex./Ext.: 90°/0°/0°, passive I.R./A.R.: frei/0°/0°, aktiv-ass. A.R.: bis 0°.
4. – 6. Woche	Passive Abd./Add.: frei/0°/0°, aktiv-ass. Abd./Add.: 90°/0°/0°, passive Flex./Ext.: frei/0°/0°, aktiv-ass. Flex./Ext. 90°/0°/0°, aktiv-ass. I.R./A.R.: frei/0°/0°.
Ab 7. Woche	Freie aktive Beweglichkeit, Übungen zur Stabilisierung des Scapulasettings und des scapulathorakalen Rhythmus.

4.3 Anamnese und klinische Untersuchung

Nach Erhalt der schriftlichen Einverständniserklärungen erfolgt die Einladung der Patienten und die Terminvereinbarung zur Nachuntersuchung in die Abteilung für Sportorthopädie und Radiologie am Klinikum rechts der Isar München. Teil der Nachuntersuchung sind neben ausgehändigten Fragebögen und der klinischen Untersuchung respektive Krafttestung eine radiologische Darstellung der Schulter mittels MRT.

4.3.1 Anamnese und allgemeiner Fragebogen

Ein relevanter Teil der eigentlichen Anamnese wird bereits innerhalb der Fragebögen in Erfahrung gebracht (s.u.). Weiterhin werden Seite der Läsion, Händigkeit, Schmerzsymptomatik und subjektives Kraftminderung sowie etwaige weitere Beschwerden abgefragt.

Die Patienten erhalten zu Beginn der Nachuntersuchung vorab einen allgemeinen Fragebogen, um innerhalb einer standardisierten Anamnese allgemeine Informationen zu erfassen. Der Fragebogen ist dabei zweigeteilt. Im ersten Teil werden demographische Daten und Informationen zur aktuellen medizinischen Situation und Vorgeschichte der Patienten erhoben (darunter: Nikotinkonsum, Voroperationen an der Schulter, Vorerkrankungen und Medikamenteneinnahme). Der zweite Teil des Fragebogens beinhaltet eine Schmerzanamnese der operierten Schulter mit Fragen nach Schmerzstärke und benötigte Medikamenteneinnahme sowie Fragen zur näheren Einschätzung der Funktionalität der Schulter in Alltag, Beruf und Sport. In allen drei Bereichen (Alltag, Beruf und Sport) wird nach der aktuellen Funktionalität im Vergleich zu

der Funktionalität vor der Verletzung gefragt. Bezüglich der beruflichen Situation wird eruiert, ob ein Wechsel zu einer intensitätsärmeren Arbeit innerhalb einer Firma oder sogar ein Berufswechsel aufgrund der eingeschränkten Schulterfunktionalität nötig wurde. Dabei wird berücksichtigt, ob der Beruf mit körperlicher Arbeit verbunden war. Außerdem werden die sportlichen Aktivitäten der Patienten näher erfasst. Neben Fragen zu der Art des Sports (Wurf-, Wasser- und Lauf/Radsport), sind Leistungsniveau (Hobby-, Wettkampf- und Leistungssport), die Aufgabe bestimmter Sportarten aufgrund der Schulterverletzung und der Bedarf einer Schmerzmedikation zur Durchführung einer Sportart Teil des Fragebogens. Die Antworten im zweiten Teil des Fragebogens werden dabei in ordinalskalierten Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Der Originalfragebogen findet sich im Anhang.

4.3.2 Klinische Scores

4.3.2.1 Die visuelle Analogskala (VAS)

Die visuelle Analogskala gibt den subjektiv empfundenen Schmerz des Patienten auf einer Skala wieder (Habermeyer P., 2006). Diese Skala reicht von 1 „überhaupt kein Schmerz“ bis 10 „maximal vorstellbarer Schmerz“. Die VAS wird sowohl für den aktuellen Zeitpunkt als auch für den stärksten vorgekommenen Schmerz innerhalb der letzten Wochen bestimmt („im Verlauf des täglichen Lebens“). Gerade Zweiteres hilft zur Einschätzung der Relevanz des Schmerzes, wobei Ersteres situationsabhängig sehr unterschiedlich sein kann und deswegen begrenzte Informationen über den Schmerzverlauf des Patienten gibt.

4.3.2.2 Der ASES-Score

Der Score der American Shoulder and Ellbow Surgeons (ASES) wurde von Richards et. al. (Richards et al., 1994) entwickelt und von Goldhahn et al. für die deutsche Sprache angepasst (Goldhahn et al., 2008). Mithilfe des ASES-Scores wird über einen Fragebogen bezüglich der Schmerzsituation (VAS) und der Durchführbarkeit von Alltagsaktivitäten eine Punktzahl berechnet. Es können dabei bestenfalls 100 Punkte erreicht werden. Teil der 10 sogenannten „Activities of daily living“ (ADL), also den Alltagsaktivitäten, sind eine Jacke anziehen, auf der betroffenen Seite schlafen, den Rücken waschen, Intimhygiene, Haare kämmen, ein hohes Regal erreichen, 4,5 kg über Schulterniveau heben, einen Ball werfen, gewohnte Arbeiten erledigen und gewohnten Sport ausüben. Diese ADL werden mithilfe einer Ordinalskala abgefragt, welche jeweils von 0 bis 3 reicht, wobei 0 mit „unfähig“, 1 mit „fällt schwer“, 2 mit „etwas schwierig“ und 3 mit „nicht schwer“ verschlüsselt wurden. VAS und ADL wurden im Verhältnis gleichwertig mit folgender Gleichung berücksichtigt:

$$[(10 - \text{VAS-Schmerz-Score}) \times 5] + (5/3 \times \text{ADL-Score}).$$

Abgesehen von den zur Berechnung des ASES-Scores relevanten Parametern, gibt es auch noch nicht zu verrechnende Fragen im ASES-Score. Es werden nächtlicher Schmerz und etwaige Schmerzmedikation abgefragt. Außerdem wird nach der gewohnten Arbeit und dem gewohnten Sport gefragt. Der verwendete ASES-Score-Fragebogen befindet sich im Anhang.

4.3.2.3 Modifizierter Constant-Murley-Score

Der Constant-Murley-Score wurde ursprünglich 1987 veröffentlicht (C. R. Constant & Murley, 1987) und 2008 überarbeitet und modifiziert (Christopher R. Constant et al., 2008) und stellt heute einen etablierten Fragebogen nach diversen Operationen dar (Angst, Schwyzer, Aeschlimann, Simmen, & Goldhahn, 2011).

Auch in diesem Score können maximal 100 Punkte erreicht werden. Es werden sowohl objektive als auch subjektive Inhalte innerhalb von vier Kategorien erfragt:

1. VAS → 15 Punkte
2. ADL → 20 Punkte
3. Range of Motion (ROM) → 40 Punkte
4. Kraft → 25 Punkte

In der ersten Kategorie wird, ähnlich zum ASES-Score erneut mithilfe einer VAS der subjektiv empfundene Schmerz abgefragt. Entgegen der VAS im ASES-Score wird jedoch nicht der Schmerz zum Untersuchungszeitpunkt, sondern die stärksten verspürten Schmerzen im Verlauf des täglichen Lebens abgefragt. Die zweite Kategorie beinhaltet den Beruf, die Arbeitsfähigkeit (0 - 100%), die Sportfähigkeit, die Schlaffähigkeit und die Höhe der noch schmerzfrei möglichen ausgeführten ADL mit dem betroffenen Arm (ordinal von minimal „Gürtellinie“ bis maximal „über Kopfhöhe“). Für die dritte und vierte Kategorie bestimmt entweder der Untersucher die Beweglichkeit (Anteversion, Abduktion (Abd), Außenrotation (ARO) und Innenrotation (IRO)) in der klinischen Untersuchung und die Kraft mithilfe von Kraftmessinstrumenten (Isobex 2.1 Dynamometer), oder der Patient schätzt die eigene Beweglichkeit mithilfe von Abbildungen auf dem Fragebogen

ein und testet die eigene Kraft unter Zuhilfenahme einer Stofftasche, die mit bekannten gewichten wie Milch- oder Saftpackungen gefüllt sind. Für die graphische Evaluation der ROM werden für die Abduktion und Flexion jeweils ordinalskalierte Kategorien angegeben (I: 0-30°; II: 31-60°; III: 61-90°, IV: 91-120°; V: 121-150 und VI: 151-180°). Für die Außenrotation soll der Patient versuchen, wie auf Abbildungen illustriert, seine Hand erst auf den Kopf und dann in den Nacken zu legen und anschließend eine horizontale Abduktion in der Schulter soweit möglich durchzuführen. Kann der Patient die Hand in Nacken legen und dabei den Ellenbogen in 90° horizontalen Abduktion führen, geht man vom besten Ergebnis für die Außenrotation in der Schulter aus. Bei der Innenrotation soll der Patient versuchen, seine Hand des betroffenen Armes auf den Rücken zu bringen und auf dem Rücken so weit wie möglich nach kranial zu wandern (ordinalskaliert: I. Handrücken zum seitlichen Oberschenkel, II. Handrücken zum Gesäß, III. Handrücken zum Steißbein, IV. Handrücken zur Gürtellinie, V. Handrücken zur oberen Taille, VI. Handrücken auf Schulterblatthöhe). Für die selbstständige Krafttestung des Patienten, bekommt dieser eine genaue Anleitung, wie verfahren werden sollte. Für jede Beweglichkeitsprüfung können maximal 10 Punkte erreicht werden. Die angeleitete Eigentestung der Patienten wurde durch Kupsch (Kupsch, 2004) validiert. Der verwendete Fragebogen ist angehängt.

4.3.3 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung besteht aus der aktiven und passiven ROM, sowie aus den in den weiteren Unterpunkten behandelten klinischen Tests und der Kraftprüfung. Die aktive und passive Beweglichkeit wird im Stand überprüft. Es

werden Anteversion und Retroversion, Abduktion und Adduktion (Add) sowie Innenrotation und Außenrotation berücksichtigt (siehe Abb. 5-7). Bei der passiven Beweglichkeit wird durch Fixation der Scapula mit dem Codmann-Handgriff gewährleistet, dass möglichst ausschließlich das Glenohumeralgelenk (GHG) untersucht wird. Daher weichen hier die Werte vor allem bei Anteversion/Retroversion und Abd/Add von dem aktiven Bewegungsausmaß ab. Bei der aktiven Bewegung ohne Untersucherbeteiligung lassen sich die weiteren, an der Beweglichkeit der Schulter beteiligten Komponenten, nicht ausschalten. Die aktive Beweglichkeit wurde vergleichbar mit der Testung im Constant-Score ausgewertet.

Die Innenrotation wird ausschließlich aktiv mit dem Schürzengriff getestet (siehe Abb. 6, Tabelle 4). Dafür werden ordinalskaliert 6 verschiedene Höhen berücksichtigt.

Tabelle 4: Werte für Innenrotation

1	Handrücken zum seitlichen Oberschenkel
2	Handrücken zum Gesäß
3	Handrücken zum Steißbein
4	Handrücken zur Gürtellinie
5	Handrücken zur oberen Taille
6	Handrücken auf Schulterblatthöhe



Abbildung 5: *Testung der passiven Beweglichkeit in Abduktion mit dem Codmann-Handgriff*



Abbildung 6: *Testung der passiven Beweglichkeit in Außenrotation (links) und Innenrotation (rechts)*



Abbildung 7: *Testung der passiven Beweglichkeit in Retroversion/Extension (links) und der Anteversion/Flexion (rechts) mit Codmann-Handgriff*

4.3.4 Angewandte klinische Tests

Für die Funktionstestung der einzelnen Muskeln der Rotatorenmanschette werden im Rahmen der Nachuntersuchung klinische Tests angewendet.

Um die Funktion der Abduktion (SSP) zu überprüfen, werden Starter-Test und Jobe-Test durchgeführt (Brunner U., 2010).

Der Starter-Test dient der Abgrenzung einer Supraspinatussehnenläsion von einem Outlet-Impingement (Magosch, Lichtenberg, Loew, Tauber, & Habermeyer, 2013). Der Patient lässt beide Arme neben dem Körper in Neutralstellung hängen (0° Abd, 0° Anteversion). Der Daumen zeigt nach anterior. Jetzt soll der Patient, gegen den Widerstand vom Untersucher am distalen Arm, versuchen den Arm zu abduzieren. Die Beurteilung des Tests findet im Seitenvergleich statt und ist bei Seitendifferenz oder schmerzbedingten

Abbruch der Testung positiv und gibt Hinweis auf eine Supraspinatusläsion (siehe Abb. 8).



Abbildung 8: Starter-Test, Widerstand gegen Abduktion in 0°-Stellung

Der Jobe-Test dient als weiterer Funktionstest zur Detektion von superioren Rotatorenmanschetterupturen. Mit einer Sensitivität von 89% und Spezifität von 50% (Itoi, Kido, Sano, Urayama, & Sato, 1999) bei Muskelschwäche und/oder Schmerzen eignete sich der Jobe-Test vor allem als Screening-Test für den SSP (Jobe & Moynes, 1982). Durchgeführt wurde dieser im Stand. Der Patient positionierte dabei seinen Arm in 90° Abd und 20° horizontaler Add. Der Daumen zeigte zum Boden (empty can test) für die posterioren Muskelanteile respektive zur Decke (full can test) für die anterioren Muskelanteile (Magosch et al., 2013). Jetzt sollte der Patient bei Widerstand von kranial auf den Arm die Position halten. Der Test war positiv, wenn entweder der Arm nicht in der Position gegen Widerstand gehalten werden konnte, er schmerzbedingt den Test abbrechen musste, oder eine Seitendifferenz bestand. Zu Bedenken ist jedoch die Möglichkeit einer beidseitigen Schulterpathologie (siehe Abb. 9).



Abbildung 9: Jobe-Test (empty-can-Test) in Abduktion und horizontaler Adduktion

Für die Funktionstestung der Innenrotation (SSC) werden sowohl Belly-press- als auch Lift-off-Test angewendet.

Der Lift-off-Test, auch nach dem Schweizer Arzt Dr. Gerber als Gerbers-Test bekannt, kann eine Insuffizienz oder Ruptur des SSC detektieren (Gerber & Krushell, 1991). Während Bartsch et al. (Bartsch, Greiner, Haas, & Scheibel, 2010) eine Sensitivität von 40% und Spezifität von 79% feststellte, konnte Barth et al. (Barth, Burkhardt, & De Beer, 2006) eine Sensitivität von lediglich 19% jedoch aber eine Spezifität von 100% ermitteln. Zur Durchführung des Lift-off-Tests bringt der Patient seine Hand zuerst in Schürzenposition hinter den Rücken. Er soll den Arm vom Rücken entfernt in IRO halten (lift-off). Dann soll der Patient versuchen die vom Untersucher angelegte Hand nach dorsal abzuheben (lift-up). Der Test ist positiv, wenn der Patient keinen Widerstand gegen den Untersucher aufbauen konnte (lift-up) oder die Hand nicht entfernt vom Rücken halten konnte (lift-off) (siehe Abb. 10) (Gerber, Hersche, & Farron, 1996; Linke & Imhoff, 2014).

Die Druckausübung der Hand auf den Bauch ist bei flektiertem Unterarm nur mit einer Innenrotation im GHG und damit mit Aktivität des SSC möglich und wird mit dem Belly-Press-Test untersucht (Gerber et al., 1996). Mit einer Sensitivität von 40% und einer Spezifität von 97,9% eignet sich dieser Test besonders als Bestätigungstest (Barth et al., 2006). Gegenüber dem Lift-off-Test besteht der Vorteil, dass eine Innenrotation mit der Handfläche auf dem Rücken des Patienten nicht von Nöten ist. Der Patient presst für den Test seine flache Hand fest auf seinen Bauch. Dabei versucht der Patient im GHG die maximale IRO einzustellen, erkennbar am Ellenbogen, der sich in sagittaler Ebene dann etwa auf Höhe der flachen Hand befindet. Der Test ist positiv, wenn der Patient, um seine Hand auf seinen Bauch zu pressen, schmerzbedingt oder kraftbedingt keine IRO ausführen kann (siehe Abb. 11). Ist die IRO nicht möglich, führt der Patient stattdessen eine Ausweichbewegung des GHG in Extension durch, zu erkennen an der Bewegung des Ellenbogens nach posterior (Gerber et al., 1996; M. Scheibel, Tsynman, Magosch, Schroeder, & Habermeyer, 2006). Bei Partialruptur (<1/3 des SSC) weicht der Ellenbogen zwar noch dorsal ab, es bleibt jedoch eine Handgelenksflexion von unter 30° bestehen. Wenn 2/3 des SSC betroffen sind, wird das Handgelenk über 60° flektiert (Linke & Imhoff, 2014). Mit einer Erweiterung des Belly-press-Tests kann die Kraft noch vom Untersucher subjektiv quantifiziert werden. Dies wird über einen Widerstand des Untersuchers auf den Ellenbogen gegen die gewollte IRO gewährleistet (Lafosse et al., 2007).



Abbildung 10: Lift-off- und Lift-up-Zeichen



Abbildung 11: Belly-Press-Zeichen

Zur Vervollständigung der klinischen Untersuchung der RM werden für die Funktionstestung von ISP und respektive TM auch noch das ARO-Lag-Zeichen und die Kraft der ARO in Neutral-Nullstellung und in 90° Abduktion durchgeführt (siehe Abb. 12&13) (Hurschler, Wulker, Windhagen, Hellmers, & Plumhoff, 2004; L. Willinger et al., 2018).



Abbildung 12: Links: Krafttest für die Außenrotation (ARO) in 0°-Stellung; Rechts: ARO-Lag-Sign



Abbildung 13: Krafttest für die Außenrotation in 90° Abduktion

Neben einer reinen dichotomen Ausprägung der Tests nach positiv und negativ, kann die getestete Muskelkraft auch noch nach den Kraftgraden eingeteilt werden. Entwickelt wurde dieses Schema vom British Medical Research Council 1978. Diese gehen ordinalskaliert von 0 bis 5 (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Kraftgrade

0/5	Keine Aktivität
1/5	Sichtbare Muskelkontraktion ohne Funktion
2/5	Bewegung unter Ausschluss der Schwerkraft
3/5	Bewegung gegen die Schwerkraft
4/5	Bewegung gegen Widerstand
5/5	Normale Kraft

4.3.5 Kraftmessung

Zur Bestimmung der isometrischen Kraft der Muskeln der Rotatorenmanschette, wird eine quantitative Analyse analog zu Willinger et al. durchgeführt (L. Willinger et al., 2018). Die Krafttestungen finden dabei dreimalig auf beiden Körperseiten statt. Aus den drei in Newton gemessenen Werten wird der Mittelwert berechnet. Vor der eigentlichen Messung wird der Patient in jeden Test umfassend eingewiesen, um für die korrekte Haltung und Bewegung ein Verständnis zu entwickeln. Zusätzlich achtet der Untersucher auf die korrekte Haltung und Durchführung der Übungen. Der SSP wird dafür im aufrechten Sitz in Jobe-Position, also in 90° Abduktion, 20° horizontale Adduktion und Pronation getestet

(Siehe Abb. 14) (Jobe & Moynes, 1982). Für den ISP wird die Außenrotation im aufrechten Stand in 0° Abduktion bei 90° Flexion im Ellenbogengelenks getestet (siehe Abb. 15). Der SSC wird in Belly-press-Haltung im aufrechten Stand getestet (siehe Abb. 16). Um die Kraft von SSP und ISP zu quantifizieren, wird der Isobex 2.1 Dynamometer (CURSOR AG, Bern, Switzerland) verwendet. Die Kraft in Innenrotation, also die des M. Subscapularis, wird dagegen mithilfe einer Messplatte ermittelt (Bartl et al., 2011). Ein kommerzielles Messgerät und Software (PCE-FB 5K; PCE) werden zur Kalibrierung, Analog-Digital-Wandlung und Aufzeichnung der Kraftdaten (Abtastfrequenz, 40 Hz) herangezogen. Der höchste Wert, der 5 Sekunden gehalten werden kann, wird gemessen.



Abbildung 14: Krafttestung der Abduktion (*Musculus Supraspinatus*)



Abbildung 15: Krafttestung der Außenrotation (*Musculi Infraspinatus und Teres minor*)



Abbildung 16: Krafttestung der Innenrotation (*Musculus Subscapularis*)

4.4 Radiologische Untersuchung

Um die postoperative Integrität der Sehnen sowie eine potenzielle fettige Degeneration der Muskeln nach erfolgter Rotatorenmanschettenrekonstruktion zu beurteilen, wird bei der Nachuntersuchung eine hochauflösende 3-T-Magnetresonanztomographie der betroffenen Schulter mit einem Ganzkörperscanner (Ingenia, Philips Healthcare) für alle Patienten durchgeführt. Für die radiologische Untersuchung werden die Patienten in Rückenlage mit dem Arm in neutraler Position gelagert. Die Bildgebung besteht aus einem standardisierten Protokoll mit schrägen sagittalen, schrägen koronaren und transversalen Ebenen in T1- und T2-gewichteten Scans. Alle Bilder werden auf Workstations von Bildarchivierungskommunikationssystemen (PACS, Easy Vision, Philips) übertragen. Für die MRT-Untersuchung der Schulter wird folgendes Sequenzprotokoll verwendet:

Oblique-koronare Ebene:

- Spin-Echo SE T1w: TR 500 ms, TE 18 ms; Schichtdicke: 3 mm; in-plane resolution: 0,35x0,45x3 mm
- PD-fatsat. (Fett-Signal-Unterdrückung): TR 2500 TE 50; Schichtdicke 3 mm; in-plane resolution: 0,4x0,47x3 mm

Axiale Ebene:

- PD-fatsat. (Fett-Signal-Unterdrückung): TSE TR 2500 ms, TE 50 ms
Schichtdicke: 3 mm in-plane resolution: 0,4x0,46x3 mm

Oblique-sagittale Ebene:

- Turbo-Spin-Echo TSE T2w: TR 3771 ms, TE 90 ms; Schichtdicke: 3 mm
in-plane resolution: 0,35x0,46x3 mm

- PD-fatsat. (Fett-Signal-Unterdrückung): TR 2500 TE 50 ms; Schichtdicke 3 mm; in-plane resolution: 0,4x0,5x3 mm

Die abschließende MRT-Auswertung wird von zwei orthopädischen Chirurgen (J.P., A.T.) unabhängig voneinander durchgeführt. Aus Validitätsgründen werden die MR-Bilder zweimal im Abstand von 2 Monaten ausgewertet und im Falle von Meinungsverschiedenheiten über die Klassifikationsergebnisse diskutiert und eine gemeinsame Entscheidung getroffen.

Für die Beurteilung der durchgeführten MRT-Untersuchungen werden mehrere, in der Diagnostik von RMR bedeutsame, Klassifikationen herangezogen. Ziel ist es eine umfassende Analyse der Sehnenintegrität durchzuführen.

Für das Ausmaß SSP-Sehnenretraktion eignet sich die Klassifikation nach Patte (Patte, 1990). Patte entwickelte diese Klassifikation ursprünglich für den intraoperativen Einsatz, jedoch ist die SSP-Sehne in parakoronarer Ebene, entsprechend der Betrachtung nach Patte, in der MRT gut beurteilbar. Bei nur leichter Retraktion des proximalen Sehnenstumpfes zwischen Tuberkulum majus und Apex spricht man von Stadium 1. In Stadium 2 befindet sich der proximale Sehnenstumpf zwischen Apex und Glenoidrand und im Stadium 3 auf Höhe des Glenoids oder dahinter (siehe Abb. 17).



Abbildung 17: Klassifikation nach Patte, 1=Stadium 1, 2=Stadium 2, 3=Stadium 3 (Fox et al., 2003; Patte, 1990)

Zur Beurteilung fettiger Infiltrationen der Rotatorenmanschette dient die Goutallier-Klassifikation (Goutallier et al., 1994). Da Goutallier et al. die Klassifikation lediglich für die CT-Untersuchung entwickelt hatten, erweiterten Fuchs et al. diese auf die MRT (Fuchs, Weishaupt, Zanetti, Hodler, & Gerber, 1999). N. Lippe et al. (Lippe et al., 2012) konnten jedoch feststellen, dass die Interrater-Unterschiede in der Beurteilung der Schweregrade für die Goutallier-Klassifikation nur moderat reliabel waren ($\kappa = 0,53$).

Es werden vier Schweregrade unterschieden:

Tabelle 6: Klassifikation nach Goutallier (Goutallier et al., 1994)

Grad I	Geringe Verfettung
Grad II	Weniger muskuläre Verfettung als Muskelmasse
Grad III	Anteil fettiger Degeneration mit Anteil Muskelmasse identisch
Grad IV	Vermehrt fettige Degeneration im Vergleich zur Muskelmasse

Weiterhin kann die muskuläre Atrophie nach Thomazeau eingeteilt werden. (Thomazeau, Rolland, Lucas, Duval, & Langlais, 1996). Thomazeau setzte den Querschnitt des Muskels mit dem Querschnitt der fossa supraspinata ins Verhältnis und entwickelte eine dreigradige Klassifikation daraus (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Klassifikation nach Thomazeau, Verhältnis jeweils Muskel/Fossa supraspinata (Thomazeau et al., 1996)

Grad I	Normaler oder nur gering atrophierte Muskel, Verhältnis 0,6 – 1,0
Grad II	Mäßige Atrophie, Verhältnis 0,4 – 0,6
Grad III	Schwere Atrophie, Verhältnis < 0,4

Darüber hinaus wird die Integrität der Sehnen nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion mithilfe der Sugaya-Klassifikation (Sugaya, Maeda, Matsuki, & Moriishi, 2005) eingestuft (Tabelle 10). Bei den Sugaya-Typen I-III werden die Sehnen als intakt beurteilt. Bei den Sugaya-Typen IV und V werden die Sehnen dagegen als re-rupturiert klassifiziert (Tabelle 8) (Sugaya, Maeda, Matsuki, & Moriishi, 2007). Darüber hinaus wird die fettige Degeneration der betroffenen Muskeln, wie von Fuchs et al. beschrieben und basierend auf der ursprünglichen Goutailler-Klassifikation, beurteilt.

Tabelle 8: MRT-Einteilung von Rotatorenmanschettenrerupturen nach Sugaya (Sugaya, Maeda, Matsuki, & Moriishi, 2005)

Grad I	Komplett eingehheilte Sehne, normale Sehnendicke, homologe Signalintensität
Grad II	Geheilte Sehne ohne Reruptur, normale Sehnendicke, teilweise erhöhte Signalintensität
Grad III	Geheilte Sehne ohne Reruptur, verminderter Sehnendicke, deutlich erhöhte Signalintensität
Grad IV	Reruptur auf maximal 1-2 Schichten nachweisbar
Grad V	Reruptur auf mehr als 2 Schichten nachweisbar

Tabelle 9: Klassifikation nach Fox&Romeo (Fox et al., 2003)

Typ I	Partialruptur
Typ II	Komplette Ruptur der oberen 25 % der Sehne
Typ III	Komplette Ruptur der oberen Hälfte der Sehne
Typ IV	Komplette Ruptur der Sehne

Für die Rupturen der SSC-Sehne wird die Klassifikation nach Fox&Romeo (Fox et al., 2003) verwendet (siehe Tabelle 9/ Abb. 18).

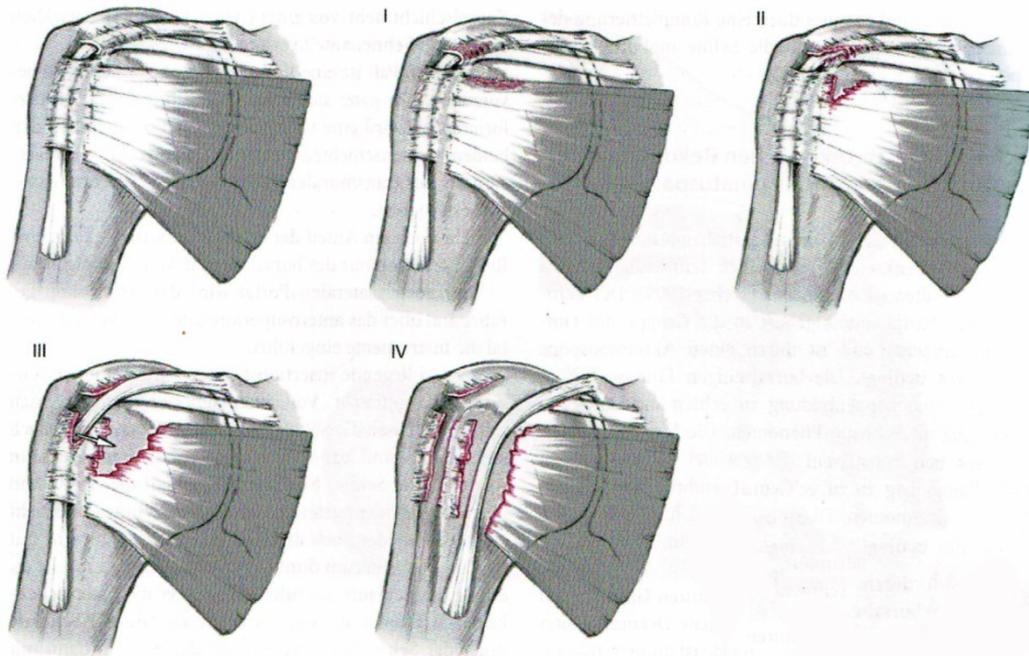


Abbildung 18: Einteilung der Subscapularis-Ruptur nach Fox&Romeo (Fox et al., 2003; Habermeyer P, 2010)

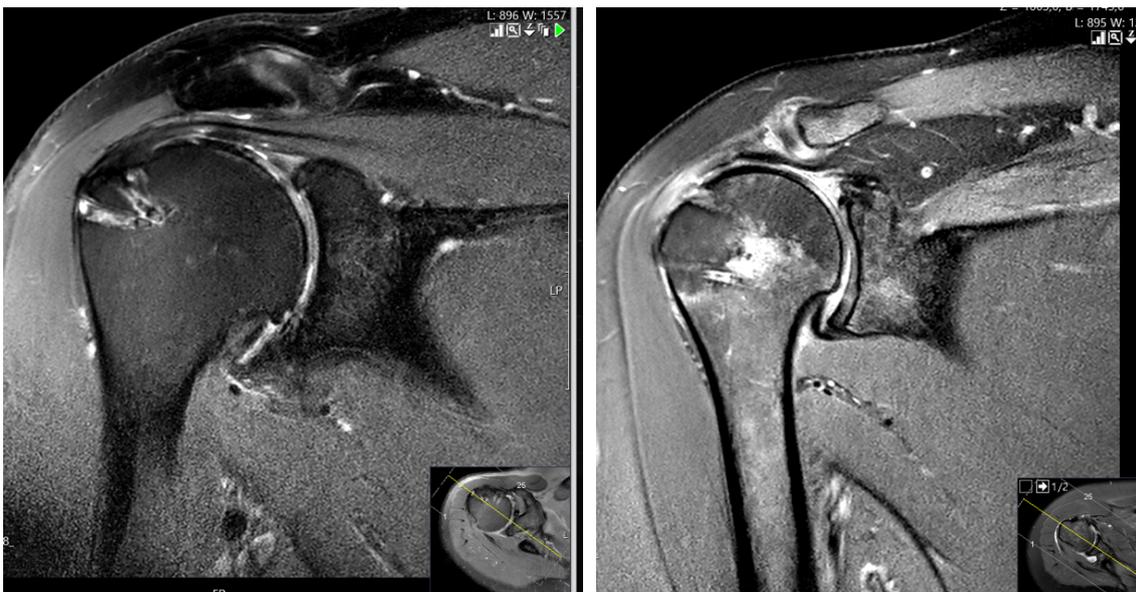


Abbildung 19: MRT des Musculus Supraspinatus in schrägkoronarer Ebene in T2; Links: Sugaya Grad 1; Rechts Sugaya Grad 5

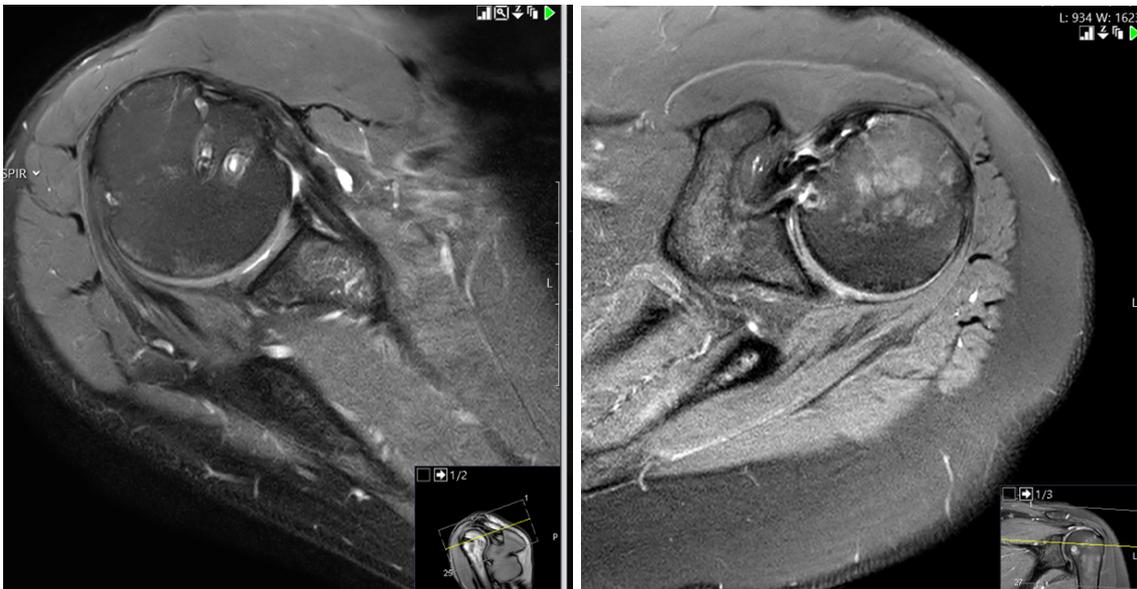


Abbildung 20: MRT in T2, Darstellung des Musculus Subscapularis in axialer Ebene; Links: Sugaya Grad 1; Rechts: Sugaya Grad 4

4.5 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten werden mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel für Mac 2018 (Version 16.16.5, Microsoft, Redmond, Washington, U.S.) verwaltet und nach weiterer Bearbeitung mit dem Statistikprogramm IBM SPSS® Statistics® (Build 1.0.0.1347, IBM, Armonk, New York, U.S.) analysiert.

Über die erhobenen Daten werden in der Auswertung deskriptive Statistiken und Häufigkeitstabellen erstellt. Für die deskriptive Statistik kommen Median, Mittelwert, Standardabweichung und 95%-Konfidenzintervall (95%-CI) zum Einsatz. Um die Stichproben auf Normalverteilung zu überprüfen, werden Schiefe und Kurtosis erstellt, sowie der Kolmogorov-Smirnov-Test bzw. der Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Mithilfe von Histogrammen wird die Normalverteilung auch graphisch ermittelt.

Um auf Signifikanz zu prüfen, kommen bei metrischen und normalverteilten unabhängigen Stichproben der unabhängige T-Test, bei abhängigen Stichproben der abhängige T-Test, zum Einsatz. Bei nicht-normalverteilten skalierten Stichproben wird bei abhängigen Stichproben der Vorzeichen-Test, und bei unabhängigen Stichproben der Mann-Whitney-Test verwendet. Bei ordinal oder nominal skalierten unverbundenen Stichproben wird dagegen der Chi-Quadrat-Test angewendet.

Korrelationen werden zwischen nominalen Skalen mithilfe von Phi/Cramer-V und zwischen ordinalen Skalen mithilfe von Kendall-Tau/Spearman beurteilt. Das Signifikanzniveau wird mit $p < 0,05$ für alle statistischen Tests festgelegt und verwendet.

5 Ergebnisse

5.1 Das Patientenkollektiv

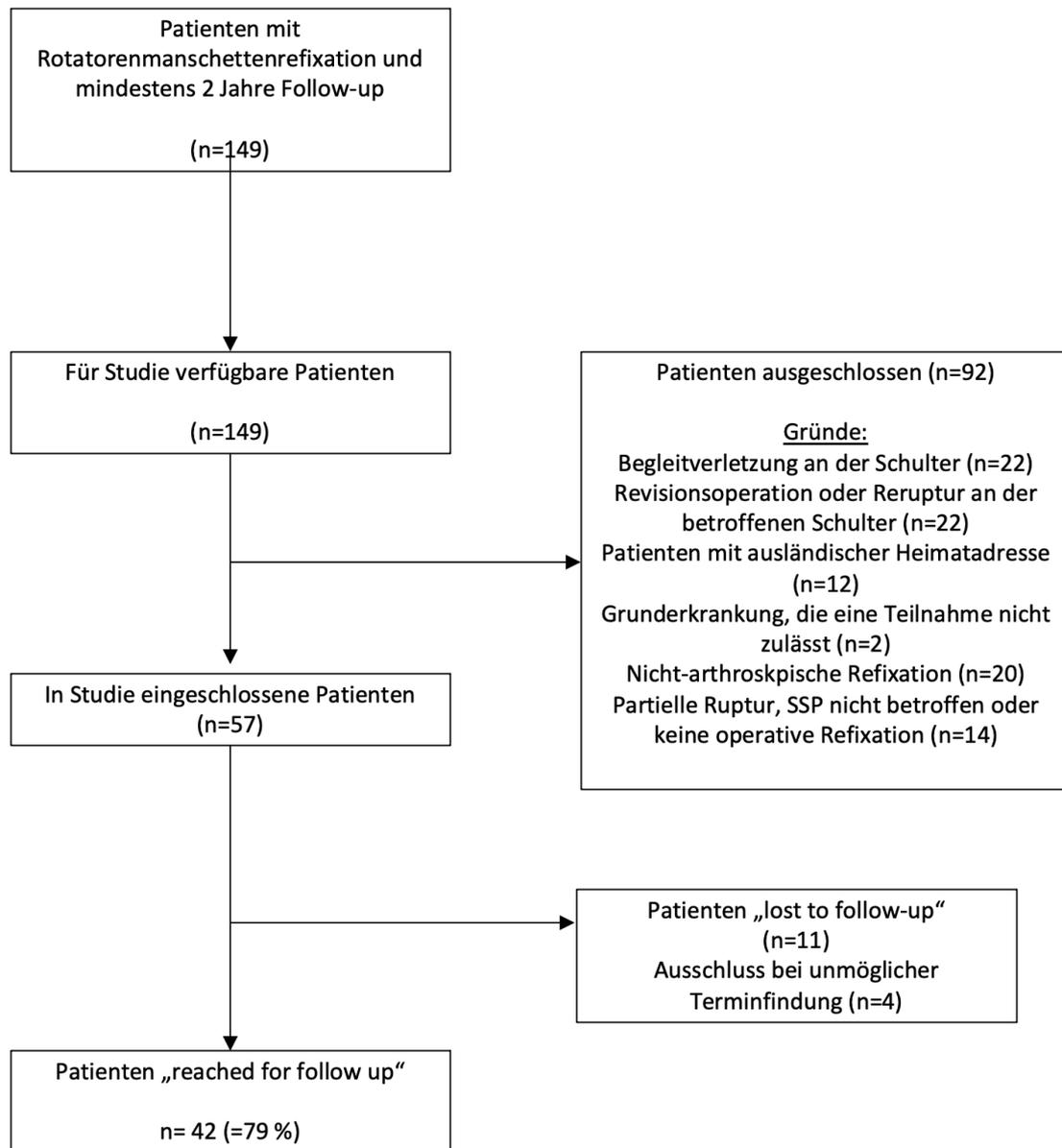


Abbildung 21: Flowchart Patientenrekrutierung

In der Abteilung für Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, wurden zwischen 2006 und 2018 149 Patienten im Alter von maximal 50 Jahren an der Rotatorenmanschette operiert, die im Rahmen der Nachuntersuchung die Mindest-Follow-up-Zeit erreicht hatten. Um innerhalb der Studie Berücksichtigung zu finden, musste die Mindest-Follow-up-Zeit zwei Jahren betragen. Davon mussten 92 aufgrund der Ausschlusskriterien unberücksichtigt bleiben. Es erfüllten insgesamt 57 Patienten die Einschlusskriterien dieser Studie. Bei vier Patienten gelang es nicht, einen Follow-up-Termin bei uns zu vereinbaren, daher wurden diese von der Analyse ausgeschlossen. Elf Patienten konnten nicht erreicht werden und wurden daher als "lost to follow-up" betrachtet. Die verbleibenden 42 Patienten waren für die endgültige Nachuntersuchung verfügbar. Bei zwei Patienten wurden beide Schultern berücksichtigt, da beide Schultern den Ein- und Ausschlusskriterien entsprachen. Das bedeutet, dass die Ergebnisse von 42 Schultern berücksichtigt wurden. Davon haben 8 Teilnehmer aus zeitlichen Gründen lediglich die Fragebögen ausgefüllt. Dies entspricht einer Follow-up-Rate von 79 %. Von den 42 Patienten entwickelten jeweils 21 Patienten eine RMR ohne erinnerliches Trauma und 21 Patienten eine RMR aufgrund eines adäquaten Traumas.

Die mittlere Follow-up-Zeit betrug 56 ± 36 Monate (traumatische Gruppe: $56,0 \pm 39,9$ Monate, atraumatische Gruppe: $51,2 \pm 31,5$ Monate). Von den 42 eingeschlossenen Patienten waren 6 Patienten Frauen und 36 Patienten Männer. Das mittlere Alter bei der durchgeführten Operation an der Rotatorenmanschette war über alle Patienten gemittelt 45 ± 5 Jahre, bei traumatischer Genese 46 ± 4 Jahre und bei atraumatischer Genese 44 ± 5 Jahre (siehe Abb. 22).

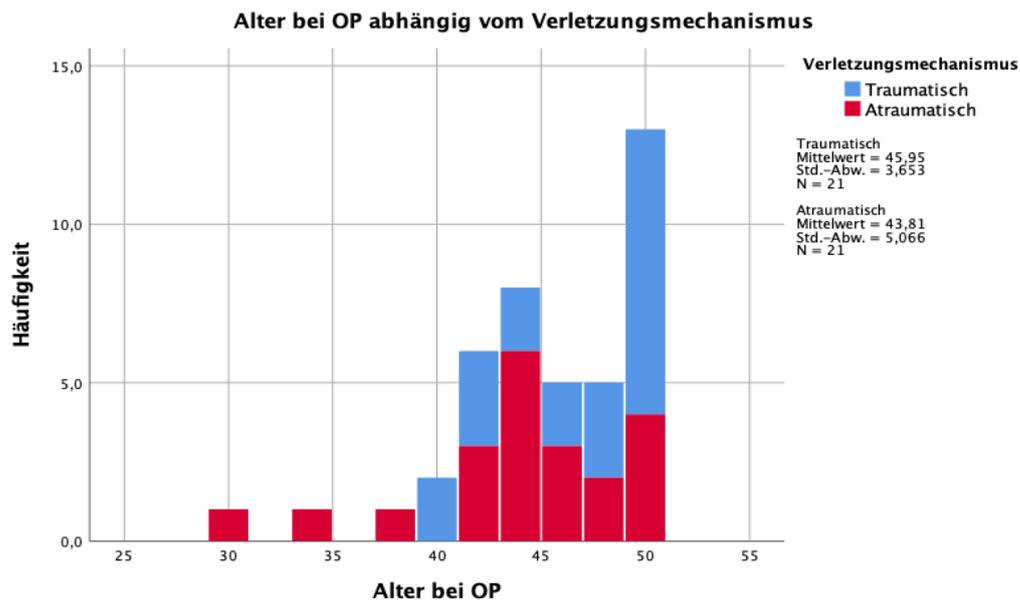


Abbildung 22: Alter bei OP nach Verletzungsmechanismus unterteilt

Bei 32 Patienten (76%) war die betroffene Schulter auf der dominanten Seite. Bei traumatischen und atraumatischen RMR waren gleichermaßen 16 dominante Schulter und 5 nicht dominante Schultern operiert worden.

Die Untersuchung der Rissmorphologie des SSP, welche mit „partiell“ respektive „komplett“ klassifiziert wurde, ergab zwischen der traumatischen und der atraumatischen Gruppe einen signifikanten Unterschied ($p= 0,011$). Komplettrupturen waren dabei eher mit traumatischer Genese vergesellschaftet, während Partialrupturen bei atraumatischer Genese häufiger vorkamen.

Begleitende operative Prozeduren, die nicht als Ausschlusskriterien definiert wurden, waren die LBS-Tenodese, LBS-Tenotomie und subakromiale Dekompression. Die LBS-Tenodese wurde unterschieden nach intra- oder extraartikulärer Refixation der LBS. Lediglich zwei Patienten erhielten keine begleitenden Prozeduren weder subakromial noch an der LBS.

Table 10: Demographische Daten der Patientenparameter

	Gesamt	Traumatisch	Atraumatisch	P-Wert
Patientenzahl	42	21 (50%)	21 (50%)	
Geschlecht				,378
Männlich	36 (86%)	17 (81%)	19 (90%)	
Weiblich	6 (14%)	4 (19%)	2 (10%)	
Alter	44,9 ± 4,5	46,0 ± 3,7	43,8 ± 5,1	,192
Follow-up-Zeit	55,6 ± 35,8	60,0 ± 39,9	51,2 ± 31,5	,505
Dominante Seite	32 (76%)	16 (76%)	16 (76%)	1,000
RM-Läsion				,355
SSP	20 (48%)	9 (43%)	12 (57%)	
SSP+SSC	22 (52%)	12 (57%)	9 (43%)	
Rupturgröße SSP				,011*
Partiell	16 (38%)	4 (19%)	12 (57%)	
Komplett	26 (62%)	17 (81%)	9 (43%)	
Rupturgröße SSC	22 (52%)	13 (62%)	9 (43%)	,323
cSSC	17 (77%)	11 (85%)	6 (66%)	
andere	5 (23%)	2 (15%)	3 (33%)	
OP-Art				1,000
ASK	40 (95%)	20 (95%)	20 (95%)	
Mini-Open	2 (5%)	1 (5%)	1 (5%)	
OP-Technik				,788
Single-row (SR)	7 (17%)	3 (14%)	4 (19%)	
Double-row (DR)	32 (76%)	16 (76%)	16 (76%)	
SR+DR	3 (7%)	2 (10%)	1 (5%)	
Begleitprozeduren				,843
LBS-Tenodese	21 (50%)	10 (45%)	11 (52%)	
LBS-Tenotomie	6 (14%)	2 (10%)	4 (19%)	
ASAD+LBS-TD	6 (14%)	3 (10%)	3 (14%)	
ASAD+LBS-TT	3 (7%)	2 (15%)	1 (5%)	
LBS-TD intraartikulär	4 (10%)	3 (15%)	1 (5%)	
Keine Begleitprozedur	2 (5%)	1 (5%)	1 (5%)	
LBS-Prozedur				,705
TD	31 (74%)	16 (76%)	15 (71%)	
TT	9 (23%)	4 (19%)	5 (24%)	
Keine TD/TT	2 (3%)	1 (5%)	1 (5%)	

Die RMR wurden bei 7 Patienten (17%) in Single-row- (SR) und 32 Patienten (76%) in Double-row-Technik (DR) operiert. Bei 3 Patienten (7%) wurde sowohl eine SR als auch DR angewendet. Bei reiner SSP-Ruptur haben 17 Patienten

(85%) eine DR- und 3 Patienten (15%) eine SR-Versorgung erhalten. Differenziert man dagegen genauer solitär ob der SSC mittels SR oder DR versorgt wurde (n=16), wurde dieser häufiger mit der SR-Technik versorgt, ohne dabei statistische Signifikanz zu erreichen ($p=0,147$, Abb. 23). Darüber hinaus wurde bei einem Patienten mit SR-Versorgung (12,5%) und bei zehn Patienten mit DR-Versorgung (43,5%) eine Reruptur festgestellt. Es gab dabei keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der OP-Technik und der Rerupturrate ($p=0,115$, $\Phi(\varphi)=0,283$).

5.2 Anamnese und klinische Untersuchung

5.2.1 Anamnese und klinische Scores

In der gesamten Patientenkohorte wurde auf der Schmerzskala VAS im Verlauf des täglichen Lebens ein Wert von $3,1 \pm 2,8$ von 10 und für die VAS am Untersuchungstag ein Wert von $1,71 \pm 1,1$ von 10 ermittelt. Gruppierete man die VAS nach dem Verletzungsmechanismus erhält man für die VAS des täglichen Lebens $3,3 \pm 2,8$ (traumatische Gruppe) vs. $3,0 \pm 2,9$ (atraumatische Gruppe) und für die VAS am Untersuchungstag $1,8 \pm 1,1$ vs. $1,6 \pm 1,2$ (siehe Abb. 23). Es zeigte sich, dass 28 Patienten (66%) am Untersuchungstag überhaupt keine Schmerzen hatten. Im Verlauf des täglichen Lebens waren 22 Patienten (52%) gänzlich ohne Schmerzen. Leichte bis mäßige Schmerzen (VAS 2-5) gaben 10 Patienten (24%, 14 Pat. (33%) am Untersuchungstag) und wiederum 10 Patienten (24%, 0% am Untersuchungstag) gaben schwerere Schmerzen über 5 im Verlauf des täglichen Lebens an. Wurde der Verletzungsmechanismus berücksichtigt, gab es von den teilnehmenden 42 Patienten 10 (24%)

schmerzfremde Patienten und 6 (14%) Patienten mit starken Schmerzen über 5 (VAS) in der traumatischen Gruppe vs. 12 (29%) schmerzfremde Patienten und 4 (10%) Patienten mit starken Schmerzen über 5 Patienten in der atraumatischen Gruppe. Es konnten im Vergleich der genannten Gruppen weder am Untersuchungstag noch im Verlauf des täglichen Lebens signifikante Unterschiede gemessen werden ($p=0,328$ und $p=0,595$).

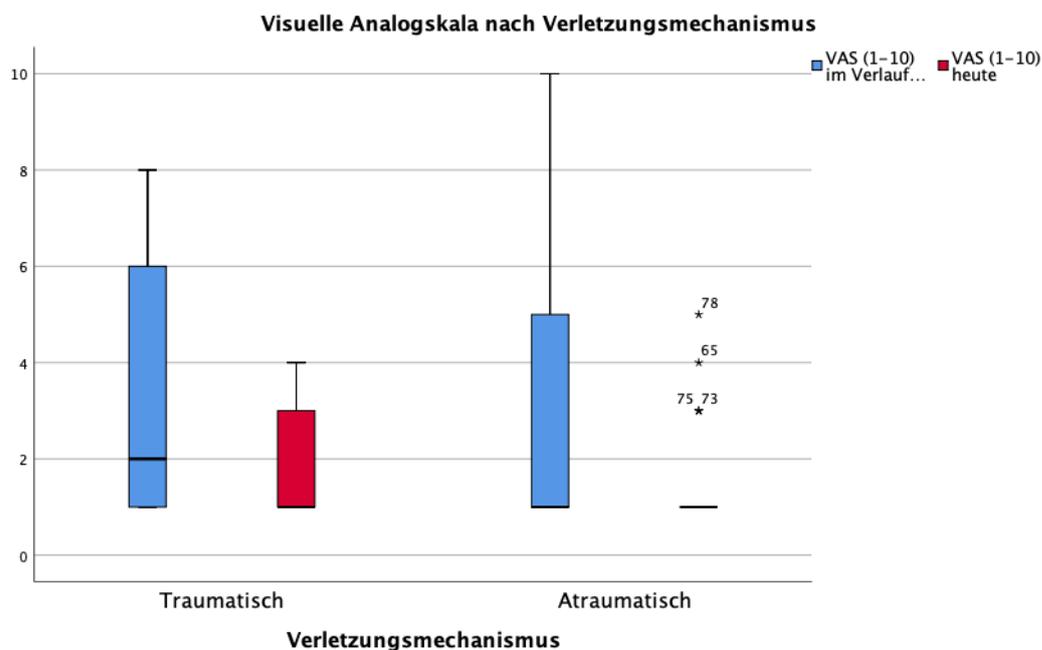


Abbildung 23: Mittelwerte der VAS (visuelle Analogskala) mit 95%-CI, abhängig vom Verletzungsmechanismus

Tabelle 11: Anzahl innerhalb der Funktionalitätskategorien abhängig vom Verletzungsmechanismus

Funktionalität	Gesamt	Traumatisch	Atraumatisch	P-Wert
Alltag				,358
Reduziert	19 (45%)	11 (52%)	8 (38%)	
Gleich oder höher	23 (55%)	10 (48%)	13 (62%)	
Beruf				,821
Reduziert	13 (32%)	6 (30%)	7 (33%)	
Gleich oder höher	28 (68%)	14 (70%)	14 (67%)	
Sport				,780
Reduziert	16 (39%)	7 (37%)	9 (47%)	
Gleich oder höher	22 (54%)	12 (63%)	10 (53%)	
Kein Sport	3 (7%)			

Innerhalb der Funktionalität des Alltags und des Berufs bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der traumatischen und der atraumatischen Gruppe (siehe Tabelle 11). Vergleicht man die traumatische mit der atraumatischen Gruppe unter Berücksichtigung der Art der Arbeit (körperlich vs. sitzend), blieben in der beruflichen Funktionalität signifikante Unterschiede weiterhin aus (körperliche Arbeit: $p=0,543$, sitzende Arbeit: $p=0,302$).

In der Gesamtkohorte ergaben sich für den Constant-Score ein Mittelwert von $77,3 \pm 16,5$ und für den ASES-Score ein Mittelwert von $88,6 \pm 14,6$ Punkte. Die Subanalyse der Fragebögen ergaben mit $76,4 \pm 14,7$ im Constant-Score und $88,2 \pm 13,7$ im ASES-Score in der traumatischen Gruppe gegenüber $78,2 \pm 18,6$ im Constant-Score und $89,1 \pm 15,9$ im ASES-Score in der atraumatischen Gruppe keine statistisch signifikanten Unterschiede (Constant-Score: $p=0,434$, ASES-Score: $p=0,779$) (siehe Abb. 24).

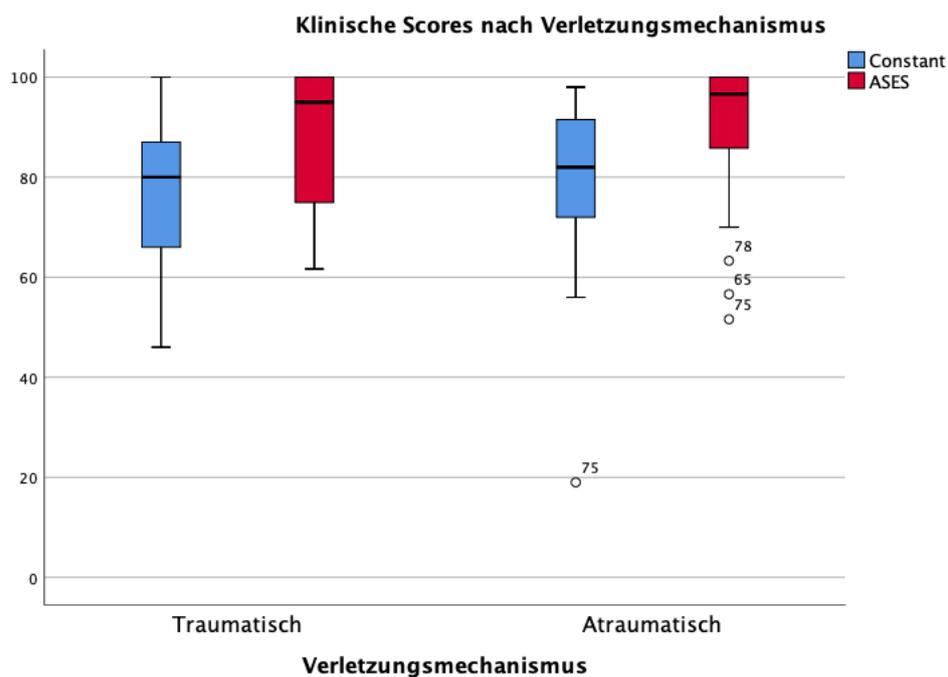


Abbildung 24: Mittelwerte mit 95%-CI von Constant- und ASES-Score

Die Patienten, die bei der Funktionalität im Alltag „reduziert“ angegeben haben, haben mit einem Constant-Score von $69,2 \pm 17,5$ und ASES-Score von $82,1 \pm$ insgesamt signifikant schlechter abgeschnitten als Patienten, die „gleich“ oder „höher“ angegeben haben (Constant $p=0,004^*$, ASES $p=0,012^*$).

5.2.2 Klinische Untersuchung

Es ergeben sich für die passiv durchgeführten Beweglichkeiten in der Gesamtkohorte auf der betroffenen Seite in Flexion $93,7 \pm 6,2$ (vs. nicht betroffen $93,9 \pm 7,6$), in Abduktion $89,7 \pm 3,9$ (vs. nicht betroffen $92,1 \pm 7,1$), in Außenrotation $58,4 \pm 10,3$ (vs. nicht betroffen $66,1 \pm 14,6$) und in Innenrotation $3,8 \pm 0,8$ (vs. nicht betroffen $4,3 \pm 0,6$). Bei Gegenüberstellung der betroffenen zur nicht betroffenen Seite konnten für Flexion und Abduktion keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Flexion: $p=0,832$; Abduktion: $p=0,161$). Dagegen ergab die Signifikanztestung für die Außenrotation respektive Innenrotation ein statistisch signifikant besseres Ergebnis auf der nicht betroffenen Seite (ARO: $p=0,012^*$, IRO: $p=0,020^*$) (siehe Abb. 25).

Vergleicht man nun noch die Beweglichkeit der betroffenen Seite mit dem Verletzungsmechanismus nach traumatisch und atraumatisch, dann sind die Unterschiede für alle getesteten Bewegungsgrade nicht signifikant (siehe Tabelle 12, Abb.25).

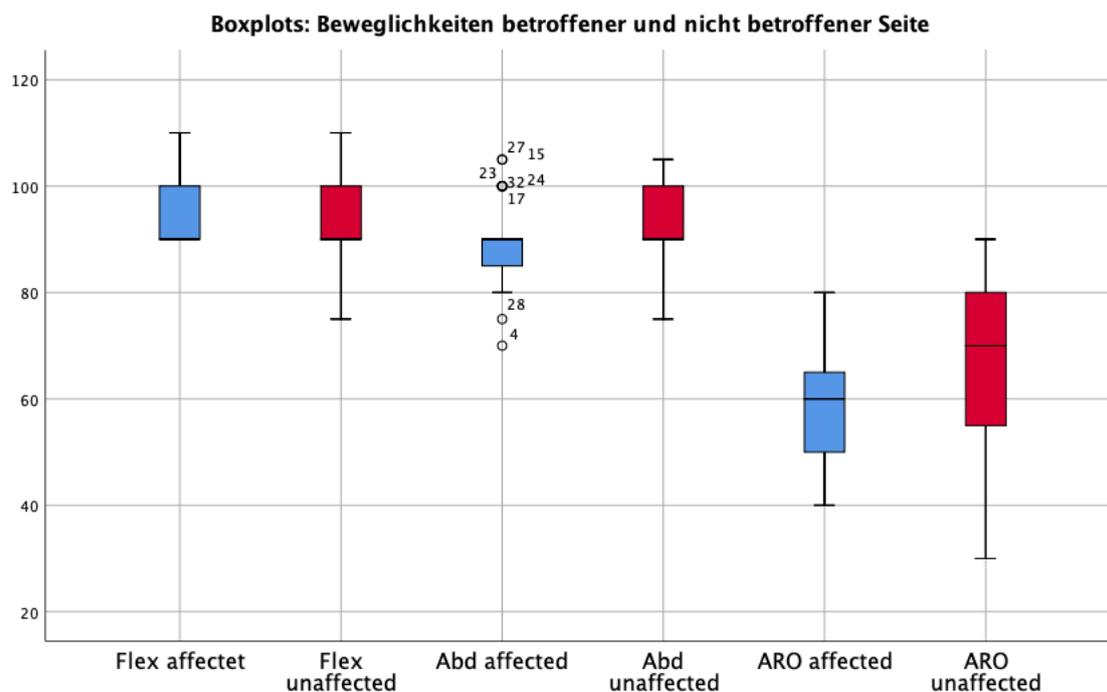


Abbildung 25: Mittelwerte der Beweglichkeit mit 95%-CI; affected=betroffen, unaffected=nicht betroffen

Tabelle 12: Glenohumerale Beweglichkeit auf der betroffenen Seite abhängig vom Verletzungsmechanismus

Beweglichkeit	N	Gesamt	Traumatisch	Atraumatisch	P-Wert
Flexion	29	93,7 ± 6,2	92,8 ± 4,6	94,7 ± 7,6	,590
Abduktion	29	89,7 ± 3,9	88,6 ± 8,9	90,9 ± 7,6	,369
Außenrotation	26	58,4 ± 10,3	57,4 ± 11,6	59,7 ± 8,8	,359
Innenrotation	29	3,8 ± 0,8	3,9 ± 1,0	3,7 ± 0,6	,355

Die aktive Beweglichkeit in Flexion und Abduktion wurde innerhalb des Constant-Scores zudem in Wertebereiche unterteilt. Dabei gab es Abstufungen von 151-180°, 121-150°, 91-120°, 61-90°, 31-60° und 0-30°. Um Mittelwerte zu ermitteln, wurden die eben genannten Wertebereiche von 1 bis 6 durchnummeriert. In Flexion erreichten die Patienten $1,3 \pm 0,8$ (traumatisch $1,2 \pm 0,7$ vs. atraumatisch $1,3 \pm 0,9$). In Abduktion waren es $1,4 \pm 1,0$ ($1,3 \pm 0,8$ vs. $1,5 \pm 1,2$). Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der aktiven Beweglichkeit und dem Verletzungsmechanismus (Flexion $p=0,632$, Abduktion: $p=0,865$).

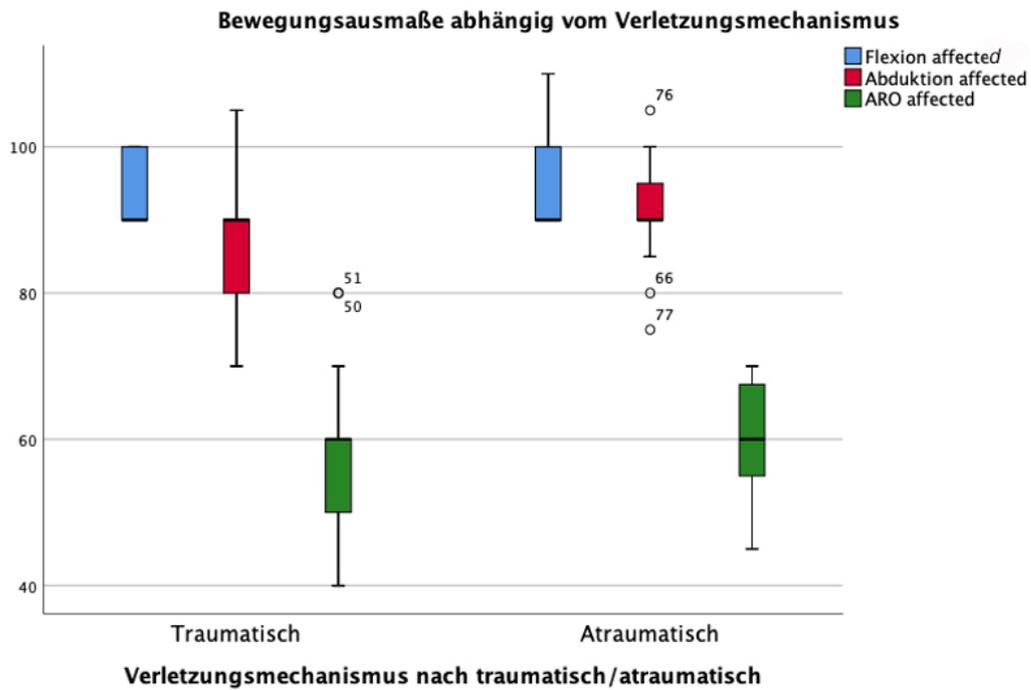


Abbildung 26: Mittelwerte der Beweglichkeit mit 95%-CI für Flexion, Abduktion und Außenrotation in Abhängigkeit zum Verletzungsmechanismus; affected=betroffen, unaffected=nicht betroffen

Die SSP-Tests fielen bei 6 Patienten im Starter-Test und bei 8 Patienten im Jobe-Test positiv aus. Bei den ISP Tests und SSC Tests gab es dagegen bei nur 2 Patienten (ARO-Lag und Belly-Press) bzw. bei 5 Patienten (ARO Kraft in 0°/90° und Lift-off-Test) positive Ergebnisse.

Auf der nicht betroffenen Seite war lediglich bei jeweils einem Patienten der Jobe-Test, der Starter-Test und der ARO-Kraft-Test in 0° und 90° positiv.

Die Überprüfung des Zusammenhangs von positiven Tests mit radiologisch erkannten Rerupturen lieferte für keinen der durchgeführten Tests signifikanten Ergebnisse (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Zusammenhang von Ergebnissen der klinischen Testung mit der Rerupturrate im MRT

Test	Asymptotische Signifikanz	Phi (ϕ)
Starter-Test	0,850	0,035
Jobe-Test	0,361	0,167
Belly-Press-Test	0,685	0,074
Lift-off-test	0,187	0,245
ARO-Lag	0,265	0,203
ARO-Kraft in 0° und 90° Abd	0,236	0,217

5.2.2.1 Kraftmessung

Für die Kraft konnte in Abduktion (SSP) $66,6 \pm 26$ N (vs. nicht betroffen $80,7 \pm 24$ N; $p=0,025^*$), in Außenrotation (ISP) $74,7 \pm 25$ N (vs. nicht betroffen $74,2 \pm 25$ N; $p=0,935$) und in Innenrotation (SSC) $86,1 \pm 38$ N (vs. nicht betroffen $83,4 \pm 34$ N, $p=0,994$) gemessen werden. Wurden lediglich Patienten mit versorgten SSC berücksichtigt ($n=16$), wurden $80,7 \pm 37,5$ N auf der betroffenen Seite und $80,6 \pm 33,5$ N auf der nicht betroffenen Seite ermittelt ($p=0,996$) (siehe Abb. 27).

Betrachtet man die Unterschiede der Krafttests in Bezug auf den Verletzungsmechanismus, blieben die Tests auf Signifikanz negativ (siehe Tabelle 14, Abb. 28).

Tabelle 14: Kraft-Tests der RM in Newton

Kraft	gesamt	Traumatisch		Atraumatisch		P-Wert
		N	MDW+Std.Abw.	N	MDW+Std.Abw.	
SSP	$67,3 \pm 26,5$	17	$61,0 \pm 22,6$	16	$72,5 \pm 28,5$,205
ISP	$75,0 \pm 25,1$	17	$76,1 \pm 20,1$	16	$73,2 \pm 29,3$,745
SSC	$86,1 \pm 38,1$	16	$83,2 \pm 37$	15	$89,1 \pm 40,3$.693

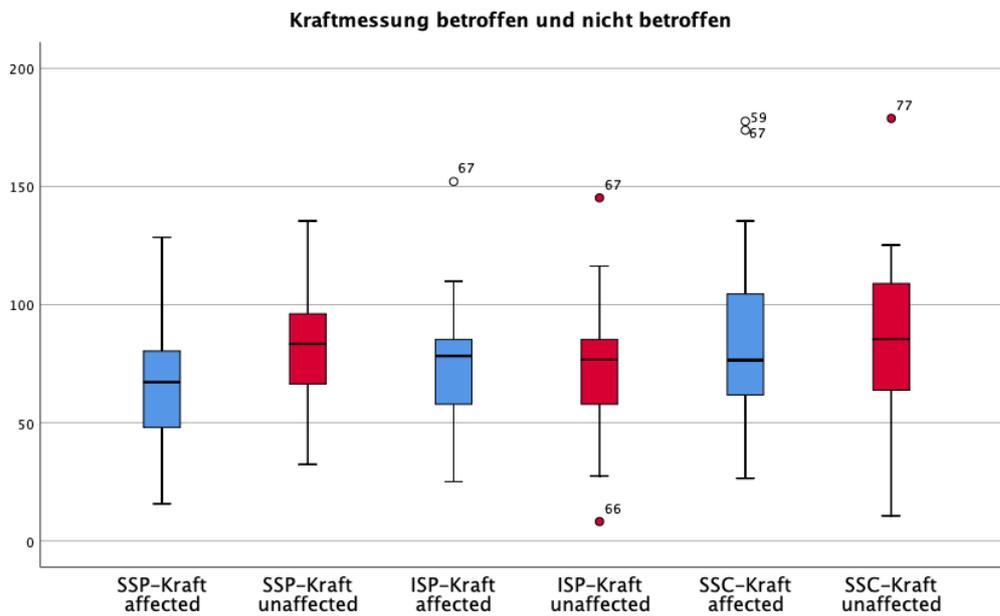


Abbildung 27: Mittelwerte der Kraftmessung mit 95%-CI; betroffene und nicht betroffene Seite (Y-Achse= Kraft in N); affected=betroffen, unaffected=nicht betroffen

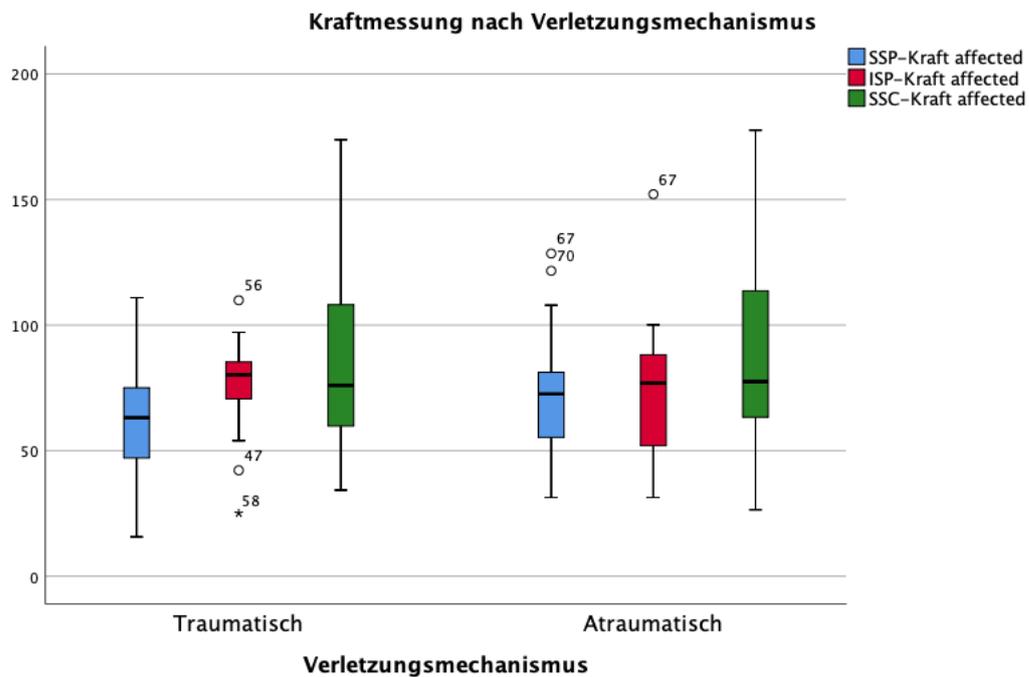


Abbildung 28: Mittelwerte der Kraftmessung mit 95%-CI (Y-Achse= Kraft in N); affected=betroffen, unaffected=nicht betroffen

Bei Berücksichtigung der Mitversorgung des SSC, wurden für die Innenrotation bei n=16 für 9 traumatische RMR $72,1 \pm 28,3$ N vs. 7 atraumatische RMR $92,0 \pm 47,0$ N gemessen ($p= 0,317$).

5.3 Radiologische Untersuchung

5.3.1 Präoperative Evaluation

Präoperativ zeigte keiner der Patienten beider Gruppen röntgenologische Anzeichen eines Manschettenrisses, Cuff-Arthropathie nach der Hamada-Klassifikation oder Anzeichen einer glenohumeralen Osteoarthrose nach der Klassifikation von Samilson & Prieto.

Es gab vier Teilrupturen (19 %) mit intraoperativer Vervollständigung und 17 Komplettrupturen (81 %) der Supraspinatussehne bei traumatischen RMR, im Gegensatz zu zwölf Teilrupturen (57 %) mit intraoperativer Vervollständigung und 9 Komplettrupturen der Supraspinatussehne (43 %) bei atraumatischen RMR ($p= 0,011^*$).

Tabelle 15: Präoperative Ruptur-Formation

	traumatisch	atraumatisch	P-Wert
SSP-Ruptur (Patte)			,470
Grad 1	13 (76,5%)	5 (62,5%)	
Grad 2	3 (17,7%)	3 (37,5%)	
Grad 3	1 (5,9%)	0	
SSC-Ruptur (Fox& Romeo)			,323
Grad 1	11 (84,6%)	6 (66,7%)	
Grad 2	2 (15,4%)	3 (33,3%)	
Grad 3&4	0	0	

Bei Patienten, die sich während der Indexoperation einer zusätzlichen Subscapularis-Reparatur unterzogen (n= 22), waren, unabhängig von der Ätiologie, die meisten Subscapularis-Risse partielle kraniale Risse (siehe Tabelle 15).

5.3.2 Nachuntersuchung

Bei der abschließenden Nachuntersuchung waren insgesamt 31 Patienten (73,8 %) für eine MRT-Auswertung verfügbar. Zwei Patienten mussten aufgrund von Klaustrophobie von der postoperativen MRT-Auswertung ausgeschlossen werden und ein Patient musste aufgrund einer akuten Schulterverletzung vor dem Nachuntersuchungstermin ausgeschlossen werden. Im Rahmen der postoperativen MRT-Befunde wurden insgesamt 20 (64,5 %) Sehnen als geheilt (Sugaya I, II, III), während 11 Sehnen (35,5 %) als nicht geheilt (Sugaya IV, V) beurteilt wurden. Die Risse betrafen nur Supraspinatus-Sehnen. Individuelle Patientencharakteristika (Riss-Ätiologie, partieller Riss/Komplettruptur, LHB-Eingriffe, zusätzliche ASD) waren nicht mit einer erhöhten Rerupturrate assoziiert ($p = .809$; $p = .214$, $p = .098$, $p = .472$).

Tabelle 16: Postoperative MRT-Befunde gemäß Sugaya-Klassifikation

Sugaya-Klassifikation	Traumatisch (n=16)	Atraumatisch (n=15)	P-Wert
Geheilt	10 (62,5%)	10 (66,7%)	,809
Sugaya, n I:II:III	0:9:4	1:5:1	
Nicht geheilt	6 (37,5%)	5 (33,3%)	
Sugaya, n IV:V	4:2	2:3	

Beim Vergleich von Patienten mit geheilten und wieder gerissenen Sehnen bei der Nachuntersuchung gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied

hinsichtlich der bei den Patienten ermittelten Scores (Constant, ASES) (Tabelle 24).

Vergleicht man die klinischen Scores, die Beweglichkeit und die Kraft zwischen den Patienten, bei denen eine intakte Sehne zu finden war, und den Patienten, die eine Reruptur erlitten haben, konnte kein signifikanter Unterschied in einem der untersuchten Parameter festgestellt werden (Tabelle 17).

Tabelle 17: Statistik abhängig von Sehnenstatus

	Intakt	Reruptur	P-Wert
Patientenzahl	20 (65%)	11 (35%)	
Constant-Score	82 (64 – 89)	82 (63 – 90)	,967
ASES-Score	96 (72 - 100)	93 (73 – 100)	,867
Kraft SSP	90 (85 - 90)	90 (80 – 90)	,509

6 Diskussion

Die Ruptur der Rotatorenmanschette ist im höheren Alter eine sehr häufige Verletzung. Durch verschiedene Alterungsprozesse werden die Sehnen der RM weniger widerstandsfähig und reißen deshalb schneller. Insbesondere bei jüngeren Patienten muss hingegen neben chronischen Prozessen in der Schulter auch die unfallbedingte Ruptur der Sehnen bedacht werden, die in der älteren Population einerseits nur deutlich reduziert vorkommt und andererseits dann meist durch einen vorausgegangenen chronischen Prozess beeinflusst wird. Daher können Daten aus der älteren Population nicht ohne weiteres auf jüngere Patienten übertragen werden. Jedoch ist die Evidenzlage bezüglich der Ätiologie von RMR in der jüngeren Patientenpopulation, vor allem durch die allgemein deutlich geringeren Fallzahlen, noch verhältnismäßig schwach ausgeprägt.

Um die Outcomes der operativen Therapie von ätiologisch traumatischen mit atraumatischen Rupturen jüngerer Patienten vergleichen zu können, führten wir eine umfassende klinische Evaluation der Patienten durch. Neben der Anamnese unter Zuhilfenahme von klinischen Scores kamen Beweglichkeits- und Kraftprüfung zum Einsatz. Um die anatomische Einheilung der RM zu objektivieren, wurde die radiologische Überprüfung mittels MRT herangezogen. Wir stellten die Alternativhypothese auf, dass die Rekonstruktion traumatischer RMR im Vergleich zur Rekonstruktion nicht-traumatischer, degenerativer Risse zu besseren postoperativen Ergebnissen und höheren radiologischen Heilungsraten führen würde, da bei traumatischen Rupturen theoretisch eine höhere Heilungskapazität gemäß der intrinsischen Sehnenheilungskaskaden zu erwarten sind. Unsere Annahme stützte sich auf den Unterschieden innerhalb

der operativen Voraussetzungen der beiden Gruppen. Demnach entsprach die Nullhypothese dabei, dass zwischen den genannten Gruppen keine Unterschiede zu erkennen seien würden.

Die Hauptideen dieser Arbeit waren, dass die Ätiologie keinen Einfluss auf das postoperative Ergebnis und die Heilungsrate nach arthroskopischer Reparatur von (antero-)superioren RMR bei Patienten unter 50 Jahren hatte. Die Patienten der traumatischen und atraumatischen Gruppe unterschieden sich nicht signifikant innerhalb der durchgeführten klinischen Scores, der Beweglichkeit, der Kraft oder der Ergebnisse, die die radiologische Untersuchung mittels MRT hervorgebracht hatte. Die Hypothese, dass traumatisch bedingte Rupturen ein besseres Outcome haben würden, ließ sich damit anhand der durchgeführten Analysen nicht bestätigen.

Sekundär konnten wir außerdem feststellen, dass die Sehnenintegrität im MRT bei der Nachuntersuchung nicht prädiktiv für bessere postoperative Ergebnisse oder Kraft im Vergleich zur unverletzten Seite war. Patienten, bei denen radiologisch Rupturen festgestellt wurden, schnitten innerhalb der klinischen Scores, der Beweglichkeit und der Kraft nach einem kurz- bis mittelfristigen follow-up nicht signifikant schlechter ab als Patienten ohne Ruptur.

6.1 Das Patientenkollektiv

Allgemein bleibt trotz einer Reihe von Studien, die sich bereits mit den Unterschieden traumatischer und atraumatischer RMR befassen, die Debatte bestehen, ob diese eine Rolle für die postoperativen Patientenergebnisse und Heilungsraten spielen oder nicht. Um eine valide ätiologische Einteilung einer Kohorte in traumatisch und atraumatisch herstellen

zu können, braucht es die unter 3. „Methoden“ bereits erwähnte, klare Definition der jeweiligen Gruppe. Auch wenn dadurch eine eindeutige Grenze zwischen den Gruppen erstellt werden konnte, kann die vorgenommene Einteilung nicht alle möglichen Faktoren berücksichtigen. Beschwerdefreie Degenerationen bei Patienten, die konsekutiv mit adäquatem Trauma zu einer Ruptur führen, sog. „akut-auf-chronisch“ Läsionen, werden so möglicherweise fälschlich als rein traumatisch eingestuft. Klare Grenzen sind also, besonders aufgrund individueller Schmerzwahrnehmung, schwer abzustecken. Ein weiterer Aspekt findet sich in der Grundlagenforschung. Dort hat sich gezeigt, dass der mechanisch schwächste Punkt der Kontinuität zwischen Knochen, Sehne und Muskel die Muskel-Sehnen-Grenze („muscle-tendon-junction“, MTJ) und nicht die Schnittstelle zwischen Sehne und Knochen ist (Tidball, Salem, & Zernicke, 1993). Daher ist es naheliegend, dass auch bei traumatischen Rupturen eine Vorschädigung im Bereich der Sehne distal der Muskel-Sehnen-Grenze vorhanden war, da anderenfalls anzunehmen wäre, dass primär zuerst die MTJ versagt, bevor ein knochennaher Sehnenriss entsteht.

Für die Analyse der Heilungsraten von traumatischen und atraumatischen RMR wurden jeweils 21 Patienten berücksichtigt. Ob die Ätiologie einen relevanten Einfluss auf die postoperativen Ergebnisse hat, kann von dem Alter des Patienten abhängen. In dieser Studie wurden bewusst ausschließlich jüngere Patienten mit maximal 50 Jahren für das Follow-up ausgewählt, um den bereits erkannten und relevanten Faktor „Alter“ als Einfluss auf den Erfolg nach einer operativen Rotatorenmanschettenrekonstruktion konstant zu halten. Dadurch erhalten die gefundenen Ergebnisse für jüngere Patienten eine größere Relevanz. Dies begründet sich in Hinblick auf die Prävalenz von asymptomatischen RMR bei

jüngeren Patienten, welche deutlich geringer ist als in der älteren Bevölkerung (Yamamoto et al., 2010) und damit die Wahrscheinlichkeit für asymptomatische chronische Degeneration mit konsekutiver traumatischer RMR verkleinert. An den Prävalenzen von maximal 6,7% innerhalb der Bevölkerung unter 50 Jahren, 12,8% von 50-60 Jahren und bereits 35,6% von 60-70 Jahren (Yamamoto et al., 2010) erkennt man das wichtige Ziel dieser Studie, den Faktor der asymptomatisch chronischen RMR mit konsekutiven Trauma durch den Ausschluss von Patienten >50 Jahren gering zu halten. Daher wies unsere Studie mit $45 \pm 4,5$ Jahren eine deutlich jüngere Studienpopulation auf, als es in der allgemeinen Population zu erwarten wäre, bspw. 66,7 Jahre bei Yamamoto et al. (Yamamoto et al., 2010) und 59 Jahre bei Khatri et al. (Khatri et al., 2019). Mall et al. (Mall et al., 2013) dokumentierten dagegen ein Durchschnittsalter von 54,7 Jahren, berücksichtigten jedoch nur traumatische RMR. Traumatisch bedingte RMR betreffen also allgemein vermehrt etwas jüngere Patienten. Dies bestätigen auch Dwyer et al. (Dwyer et al., 2015) in einer Studie, die lediglich Patienten unter 55 Jahren mit einem Durchschnittsalter von 48 Jahren berücksichtigt. Von diesen Patienten hatten 80% eine traumatische Genese.

Im Rahmen der Studie wurden damit ausschließlich jüngere Patienten mit allgemein höherem funktionellem Anspruch berücksichtigt. Eine Theorie für das Fehlen von Unterschieden zwischen den Subgruppen kann daher der erste Arztkontakt sein, den junge Patienten mit atraumatischer RMR womöglich deutlich früher mit bereits geringeren funktionellen Einschränkungen wahrnehmen, und damit die Zeit bis zur Erstbehandlung verkürzt wird.

Darüber hinaus waren mit 85% deutlich mehr Männer als Frauen in der Studienpopulation von der RMR betroffen. Es gibt Hinweise darauf, dass das

männliche Geschlecht für die RMR ein Risikofaktor ist (Yamamoto et al., 2010). In vergleichbaren Studien konnten zudem ein ähnlicher Überhang der Geschlechtsverteilungen festgestellt werden (Braune, von Eisenhart-Rothe, Welsch, Teufel, & Jaeger, 2003; Lazarides et al., 2015).

Ein ähnlicher Zusammenhang konnte in der Häufigkeit für betroffene dominante Schultern festgestellt werden. Es wurde genauer gesagt bei 32 Patienten (76%) die dominante Schulter aufgrund einer RMR behandelt, vergleichbar mit Zahlen, die von Longo et al. veröffentlicht wurden (Longo et al., 2012). Yamamoto et al. (Yamamoto et al., 2010) konnten entsprechend innerhalb einer Regressionsanalyse feststellen, dass die Seitendominanz ein Risikofaktor für die Entstehung der RMR ist.

Die Follow-up-Zeit, welche mit mindestens 24 Monaten definiert wurde, betrug im Patientengut 56 ± 36 Monate. Der Nachuntersuchungszeitraum ist im Vergleich zu ähnlichen Studien in der Literatur eher lang gewählt (Braune et al., 2003; Dwyer et al., 2015; Kukkonen et al., 2013; Tan, Lam, Le, & Murrell, 2016). Durch die längere Mindest-Follow-up-Zeit kann sichergestellt werden, dass alle teilnehmenden Patienten die durchgeführte Rehabilitation der Schulter vollständig abgeschlossen hatten. Bei erfolgreicher Genesung ist also davon auszugehen, dass Studienpatienten wieder voll in Alltag und Beruf eingestiegen waren. Jedoch muss hinzugefügt werden, dass es sich allgemein bei einer Mindest-Follow-up-Zeit von 24 Monaten immer noch um eine eher kurz bis mittelfristige Follow-up-Zeit handelt.

Wir berücksichtigten innerhalb der Studienkohorte alle Patienten, die entweder eine isolierte SSP-Ruptur oder eine kombinierte Ruptur von SSP und SSC erlitten hatten. Unter den Patienten wurden dabei an 52% sowohl SSP als auch SSC,

respektive 48% nur am SSP versorgt. In traumatischen RMR sind allgemein SSP und SSC, vergleichbar mit unserer Kohorte, am häufigsten betroffen (Mall et al., 2013). Es gibt Hinweise darauf, dass atraumatische bzw. degenerative Verletzungsmechanismen häufig postero-superiore RMR hervorrufen (H. M. Kim et al., 2010). Das ließ sich in dieser Studienkohorte aufgrund des Ausschlusses posteriorer RMR weder verneinen noch bestätigen. Da jedoch im Allgemeinen das Alter der Patienten mit degenerativen RMR wesentlich höher ist, sind diese Hinweise nicht ohne Weiteres auch für jüngere Patienten abzuleiten.

Während der beste Zeitpunkt für eine chirurgische Reparatur umstritten ist, gibt es Hinweise darauf, dass eine frühe Behandlung, insbesondere bei traumatischen Rissen, von Vorteil ist (Michael E. Hantes et al., 2011; Lahteenmaki, Virolainen, Hiltunen, Heikkila, & Nelimarkka, 2006; Petersen & Murphy, 2011). Eine frühe chirurgische Reparatur soll eine Sehnenretraktion, Muskelatrophie und fettige Degeneration der Muskulatur verhindern, Darüber hinaus werden akute traumatische Verletzungen von einer Entzündungsreaktion begleitet, die möglicherweise die postoperative Sehnenheilung in der frühen posttraumatischen Phase begünstigt (Pogorzelski et al., 2021). Es muss in diesem Zusammenhang das sehr komplexe Zusammenspiel von Wachstumsfaktoren, Zytokinen und beteiligten Zellen mit unklarem Einfluss auf Heilungsmechanismen und die ideale therapeutische Zeitspanne für eine Operation bei akuter RMR berücksichtigt werden. Bekannt ist bereits, dass bei den meisten Wachstumsfaktoren acht Wochen posttraumatisch ein Rückgang zu erkennen ist (Gulotta & Rodeo, 2009; Molloy et al., 2003; Würigler-Hauri, Dourte, Baradet, Williams, & Soslowsky, 2007). Aus diesem Grund muss davon ausgegangen werden, dass die Heilungsfähigkeit nach diesem Zeitraum deutlich

rückläufig ist und sich der nach atraumatischen Rupturen annähern könnte. Um von einer überlegenen biologischen Heilungsfähigkeit zu profitieren, sollten daher RMR am ehesten innerhalb der ersten 2 Monate jedoch im besten Fall nicht nach 4 Monaten operativ versorgt werden. Ein Zeitraum von mehr als 4 Monaten nach dem Trauma scheint aufgrund der erwähnten Dynamik generell keinen biologischen Vorteil mehr zu haben (Abechain et al., 2017; Duncan et al., 2015; Petersen & Murphy, 2011; Spross et al., 2019). Weitere Autoren stellten zudem mithilfe klinischer Analysen fest, dass der favorisierte Zeitpunkt zur Operation der Rotatorenmanschette, bei einem signifikant besseren Outcome, bereits innerhalb der ersten drei Wochen liegen sollte (Bassett & Cofield, 1983; Michael E. Hantes et al., 2011; Lahteenmaki et al., 2006).

Da wir ein tertiäres Referenzzentrum sind, wurden nur drei Patienten mit traumatischen RMR innerhalb der ersten zwei Monate nach Verletzung bzw. dem Beginn der Symptomatik vorgestellt, so dass die potenziellen Vorteile der akuten Sehnenreparatur möglicherweise verloren gegangen sind. Es konnte dazu allgemein gezeigt werden, dass die RMR im Rahmen der Diagnostik in einer klinischen Notaufnahme oft nicht erfasst und entdeckt wird (Sørensen et al., 2007), was vor allem im Rahmen traumatisch bedingter RMR zu Verzögerung in der Therapie führt. Zusätzlich kann sich die Behandlung aufgrund verspäteter Vorstellung verzögern, wodurch der Zeitraum, in dem sich die biologischen Prädispositionen des akuten posttraumatischen Intervalls vorteilhaft auf die Sehnenheilung auswirken könnten, oft verpasst wird (Bjornsson et al., 2011; Michael E. Hantes et al., 2011; Sørensen et al., 2007; Tan et al., 2016). Die zur Verbesserung der Heilung benötigten physiologisch-unterstützenden Prozesse innerhalb der ersten Wochen werden damit oft nicht in eine erfolgreiche

Behandlung implementiert, was in einer Erhöhung der Quote von Chronifizierungen von RMR mündet. Darüber hinaus kann der Einfluss sowohl der traumatischen als auch der atraumatischen RMR in Bezug auf das Alter des Patienten variieren.

Bei zunehmendem Alter muss mit einer Veränderung von biologischen und mechanischen Faktoren gerechnet werden, welche die Heilungsfähigkeit beeinträchtigen können. Relevante Faktoren sind dabei osteoporotischer Knochen bzw. der Verlust von Zellularität (Zellgehalt und Zellaktivität), eine im Vergleich schlechtere Sehnenszusammensetzung mit Desorientierung der kollagenen Fasern und einer verminderten Gefäßversorgung, die sich unabhängig von der Ätiologie der RMR negativ auf die postoperative Sehnenheilung und die Ergebnisse der Patienten auswirken können (Adler et al., 2008; Hashimoto, Nobuhara, & Hamada, 2003; Mehta, Gimbel, & Soslowky, 2003; Meyer, Fucntese, Koller, & Gerber, 2004). Unbekannt bleibt dabei, in welchem Alter diese Prozesse einsetzen und damit beginnen, die chirurgischen Ergebnisse negativ zu beeinflussen. Patienten im vierten und fünften Lebensjahrzehnt sind zwar im biologischen Sinne noch nicht alt, dennoch können Anzeichen eines altersabhängigen Sehnenverschleißes bereits vorhanden sein. Diese Abnutzungen können dann konsekutiv Operationsergebnisse insbesondere nach traumatischen Rissen beeinträchtigen (Kukkonen et al., 2013; Lin et al., 2013; Tan et al., 2016). Dieses Konzept von „akut auf chronischen“ Läsionen ist nicht neu, muss jedoch bei der Bewertung der Ergebnisse als möglicher konfluierender Faktor nach traumatischen RMR berücksichtigt werden (Kukkonen et al., 2013). In diesem Zusammenhang kann vermutet werden, dass potenzielle Vorteile von traumatisch gerissenen Sehnen

mit zunehmendem Alter respektive einer Verzögerung der Behandlung verloren gehen, was die ähnlichen Ergebnisse zwischen Patienten mit traumatischen und atraumatischen Rissen erklären könnte. Dagegen kann gleichermaßen argumentiert werden, dass die genannten zusätzlichen negativen Einflüsse, wie schlechtere Sehnenzusammensetzung mit Desorientierung von kollagenen Fasern, verminderte Gefäßversorgung und Verlust von Zellularität in der jüngeren Kohorte bei atraumatischen Verläufen noch weniger relevant sind (Adler et al., 2008; Hashimoto et al., 2003; Mehta et al., 2003; Meyer et al., 2004). Dies könnten dazu führen, dass die im Verlauf zu erwarteten pathophysiologischen Prozesse wie Muskelatrophie, fettigen Infiltrationen und Retraktion sowie Atrophie der Rotatorenmanschettensehne in dieser Subgruppe deutlich geringer ausgeprägt sind als es bei älteren Patienten allgemein zu erwarten ist. Diese Annahme hat ebenso die Annäherung der Ergebnisse der beiden Subgruppen zur Folge.

Innerhalb der Kohorte wurde zudem die Rissmorphologie, unterteilt nach Komplet- und Partialrupturen, berücksichtigt. Es konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dieser und dem Verletzungsmechanismus hergestellt werden. Komplettrupturen kommen demnach gehäuft bei traumatischer Genese, partielle Rupturen dagegen bei atraumatischer, Genese vor. Zu einem ähnlichen Resultat kommen bereits Kukkonen et. al. sowie Tan et al. (Kukkonen et al., 2013; Tan et al., 2016). Die Rissmorphologie könnte in diesem Zusammenhang trotz intraoperativer Vervollständigung der Ruptur ein Einflussfaktor auf das Outcome der beiden Gruppen gewesen sein. Komplettrupturen sind gegenüber vervollständigten Rupturen potenziell größer und anspruchsvoller in der Refixation, und können

damit die Heilungsraten und den funktionellen Outcome in der Gruppe kompromittieren. Gründe dafür können eine verstärkte Retraktion und Atrophie sowie fettige Infiltration der Sehne sein, die eine Rekonstruktion gegenüber glatt vervollständigten, weniger retrahierten und atrophierten Sehnen und weniger fettig infiltrierten Sehnen nach Partialrupturen, erschweren (Barry, Lansdown, Cheung, Feeley, & Benjamin, 2013; Davis, Gilotra, Calderon, Roberts, & Hasan, 2021; Fermont, Wolterbeek, Wessel, Baeyens, & Bie, 2014; Brian T. N. Le, Xiao L. Wu, Patrick H. Lam, & George A. C. Murrell, 2014). Dies könnte in unserer Kohorte dazu geführt haben, dass sich, bei an sich potenziell besseren Heilungsraten in der traumatischen Gruppe, die Ergebnisse aneinander angeglichen haben. Weiterhin wurde bereits in Studien beschrieben, dass sich die intraoperative Rissgröße als ein wichtiger Prädiktor für eine erneute Reruptur herausstellt (Brian T.N. Le, Xiao L. Wu, Patrick H. Lam, & George A.C. Murrell, 2014; Tan et al., 2016; Xiao L. Wu, Lisa Briggs, & George A.C. Murrell, 2012). Ein kleinerer anteroposteriorer Durchmesser der Rotatorenmanschettenläsion ist zudem mit einer besseren postoperativen Genesung und einer geringeren Verschleißrate nach arthroskopischer Rotatorenmanschettenreparatur verbunden (Fermont et al., 2014; Brian T.N. Le et al., 2014). Dies deutet darauf hin, dass die intraoperative Rissfläche, im Verhältnis zur Ätiologie, eine aussagekräftigere Determinante für eine erfolgreiche Reparatur, und damit einer besseren Heilungsrate der Rotatorenmanschette, ist. Es muss jedoch ergänzt werden, dass durch die Komplettierung von Partialrupturen innerhalb unserer Studie die Relevanz der Rissgröße abgesehen von den getroffenen Aussagen bezüglich der Rissmorphologie, marginalisiert wurde und in einer jungen

Patientenkohorte die genannten pathophysiologischen Prozesse allgemein weniger ausgeprägt sind.

Von den 42 Patienten wurden 7 (17%) mit der SR-, 32 (76%) mit der DR- und 3 (8%) mit SR- und DR-Technik behandelt. Die SR-Technik wurde insgesamt häufiger und die DR-Technik seltener bei atraumatischer Genese genutzt. In der atraumatischen Gruppe fielen, wie schon beschrieben, die Rupturen signifikant kleiner aus. Es kann gefolgert werden, dass, passend zur Literatur, kleinere Rupturen häufiger mit SR-Technik versorgt werden (M. E. Hantes et al., 2018; Millett, Warth, Dornan, Lee, & Spiegl, 2014; Saridakis & Jones, 2010). Dass das Ergebnis jedoch nicht signifikant bleibt, kann unter anderem an der geringeren Patientenzahl liegen. Die bevorzugte Operation des SSP mithilfe von DR-Technik und des SSC mithilfe der SR-Technik ist dabei ebenso gängig in der Literatur (Burkhart & Brady, 2006; Lorbach et al., 2016). In Gesamtschau unserer Ergebnisse ist es wahrscheinlich, dass das Outcome in der Studie nicht abhängig von der Operationstechnik war (SR oder DR). Vielmehr gibt es Evidenzen dafür, dass die DR-Technik besser abschneidet, wenn die Rerupturrate betrachtet wird (Millett et al., 2014). Das konnte sich jedoch in unserer Kohorte nicht bestätigen. Im Gegenteil lagen Daten vor, die eine geringere Rate der Rerupturen bei Verwendung der SR-Technik zeigte, ohne dabei statistische Signifikanz zu erreichen. Grund für die Diskrepanz der Literatur und unseren Daten scheint vor allem die kleine Patientenkohorte zu sein. Außerdem wurde keine Korrelationen von der tatsächlichen Rissgröße in cm, der verwendeten Technik und der Rerupturrate durchgeführt, was die Interpretation der Ergebnisse zur Repturrate erschwert.

Weiterhin wurde, mit zwei Ausnahmen, die LBS in der OP immer mitadressiert. Es wurden 29 (74%) Tenodesen und 9 (21%) Tenotomien durchgeführt. Bei 9 (21%) Patienten wurde außerdem subakromial dekomprimiert. Von 29 Tenodesen wurden 4 intraartikulär fixiert. Die fast konstante Versorgung der LBS im Patientengut mit lediglich zwei Patienten ohne Begleitprozeduren zeigt, dass bei den stattgehabten RMR fast immer auch eine Läsion der LBS oder des Pulley-Systems vorhanden war. Da SSP und SSC als Teil des Pulley-Systems gelten, ist es nicht verwunderlich, dass Patienten mit RMR Läsionen innerhalb des Pulley-Systems aufweisen. Bestätigt wird diese Beobachtung mit Zahlen von aus der Literatur, bei der 90,3% der Patienten mit RMR auch am Pulley-System betroffen waren (Hawi, Liodakis, Garving, Habermeyer, & Tauber, 2017). Wir gehen aufgrund einer gleichmäßigen Verteilung der Begleitprozeduren in den Gruppen nicht davon aus, dass ein relevanter Einfluss auf die fehlenden Unterschiede der Heilungsraten in der traumatischen und atraumatischen Gruppe entstand.

6.2 Anamnese und klinische Untersuchung

Um subjektive Faktoren bezüglich der RMR beurteilen zu können, wurden anamnestisch neben den klinischen Scores die VAS sowie Fragen nach Funktionalität in Alltag Beruf und Sport implementiert. In der Nachuntersuchung berichteten lediglich 52% der Patienten über komplette Schmerzfreiheit (66% schmerzfrei am Untersuchungstag), während 24% über leichte Schmerzen (VAS ≤ 5) und 24% über schwerere Schmerzen (VAS > 5) im Tagesverlauf klagten. In der Anamnese bezüglich der Funktionalität im Alltag, im Beruf und im Sport gaben die Patienten in allen Kategorien in der Nachuntersuchung mehrheitlich

mindestens eine gleich gut oder sogar eine bessere Funktionalität an (Alltag: 55%, Beruf: 68%, Sport: 54%). Vor allem im Alltag beschrieben insgesamt weniger Patienten der atraumatischen Gruppe eine Reduzierung der Funktionalität (Alltag: 38% atraumatisch vs. 52% traumatisch) ohne dabei statistische Signifikanz zu erreichen. Ursachen für die fehlende Signifikanz ist vor allem die niedrige Patientenzahl. Beim Constant-Score erreichte die traumatische Gruppe mit $76,4 \pm 14,7$ gegenüber der atraumatischen Gruppe mit $78,2 \pm 18,6$ sehr ähnliche Ergebnisse. Beim ASES-Score kam es mit $88,2 \pm 13,7$ traumatisch und $89,1 \pm 15,9$ atraumatisch zu einem vergleichbaren Bild.

In der Beweglichkeitsprüfung wurden die Bewegungsgrade des GHG ausgenommen der Adduktion und Extension/Retroversion berücksichtigt. Es konnte sowohl für die Außenrotation als auch für die Innenrotation eine signifikant bessere Beweglichkeit auf der nicht-betroffenen Seite festgestellt werden. Für die Flexion konnte ein ähnlicher Unterschied nicht gesehen werden und bei der Abduktion waren die Unterschiede bei hoher Standardabweichung nicht signifikant.

In der Kraftprüfung in Abduktion, Außenrotation und Innenrotation war die nicht-betroffene Seite im Seitenvergleich nur in der Abduktion signifikant stärker. Der rekonstruierte M. Supraspinatus konnte demnach innerhalb der Follow-up-Zeit, unabhängig von der Ätiologie, die Kraft für eine Aufhebung von Unterschieden nicht erreichen. Nahezu identische Ergebnisse des Seitenvergleichs für die Innenrotation deuten auf eine gut eingehelte Subscapularis-Sehne hin. Die Ergebnisse der Kraftprüfung in Außenrotation zur Testung von Mm. Infraspinatus und Teres minor ergaben erwartungsgemäß keine Unterschiede, nachdem eine Verletzung der posterioren RM ausgeschlossen wurde. Bei solitärer Betrachtung

der Kraft des SSC bei dessen Mitversorgung, konnte, bei niedrigem n (16), durchaus ein Unterschied der Gruppen zugunsten der atraumatischen Gruppe ausgemacht werden. Bei jedoch hoher Standardabweichung bleiben die Ergebnisse hier statistisch nicht signifikant.

Mit den durchgeführten anamnestischen Instrumenten (VAS, Anamnese der Funktionalität, Constant-score, ASES-Score) sowie der Funktionsanalyse mittels Beweglichkeits- und Kraftprüfung konnten in der Patientenkohorte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der traumatischen und atraumatischen Gruppe herausgestellt werden.

Hinsichtlich der VAS dokumentierte die vergleichbare Studie von Kukkonen et al. im 1-Jahres-Follow-up bei $\geq 80\%$ der Patienten Schmerzfreiheit ohne signifikante Unterschiede bezüglich traumatischer und atraumatischer Genese finden zu können (Kukkonen et al., 2013). Eine Erklärung für die höhere Quote an schmerzfreien Patienten bei annähernd gleichem Constant-Score (1-Jahres-Follow-up: traumatisch 73, atraumatisch 77) kann durch unterschiedliche Messmethoden der VAS hervorgerufen sein. Außerdem besteht durch eine über 10 Jahre jüngeren Patientenkohorte ein höherer funktioneller Anspruch, was eine höhere Belastung der Schulter nach sich zieht und damit den verminderten Anteil an komplett schmerzfreien Tagen im Alltag Patienten erklären könnte.

Eine ähnliche Studie, die beide Ätiologien der RMR verglich, durchgeführt von Braune et al. (Braune et al., 2003), konnte bessere postoperative Ergebnisse im Constant-Score bei Patienten mit einem traumatischen Riss im Vergleich zu Patienten mit nicht-traumatischen Rissen (94,1 vs. 75,3) feststellen. Allerdings waren diese Patienten aufgrund ihrer Definition von traumatischen Rissen (Patientenalter ≤ 50 Jahre) wesentlich jünger als die Patienten mit degenerativen

Rissen in dieser Studie (Durchschnittsalter von 34,2 gegenüber 54,1). Daher konnte das Alter als potenzieller Confounder für die Unterschiede in den Scores nicht vernachlässigt werden. Andere Studien verglichen die postoperativen Ergebnisse zwischen traumatischen und nicht-traumatischen RMR bei Patienten in einem ähnlichen Alter, ohne signifikante Gruppenunterschiede zu finden. Zum Beispiel berichteten Kukkonen et al. (Kukkonen et al., 2013) und Tan et al. (Tan et al., 2016) über ähnliche Ergebnisse hinsichtlich des Constant-Scores, des Bewegungsumfangs oder der Krafttests bei Patienten, bei durchschnittlichem Alter von 57-60 Jahren, und Lin et al. (Lin et al., 2013) berichteten über äquivalente postoperative Outcome-Scores (ASES, Constant, Simple Shoulder Test) zwischen Patienten (<45 Jahre) mit und ohne einem traumatischen Ereignis, das zu ihrer Verletzung führte. Weiterhin konnten auch Abechain et al. (Abechain et al., 2017) keine signifikanten Unterschiede in der Kraft zwischen den Gruppen feststellen. Abechain et al. führten als Funktionstest den UCLA-Score durch, ohne Unterschiede bezüglich der Ätiologie zu erhalten, und verglichen außerdem die Kraft der betroffenen und nicht betroffenen Seite mit, ähnlich zu unseren Ergebnissen, einer signifikant besseren Kraft in der nicht-betroffenen Schulter (Abechain et al., 2017). In Berücksichtigung dieses Ergebnisses verstärkt sich die Annahme, dass sich Unterschiede in der Kraft, bei allgemeinem Kraftverlust der betroffenen Seite, zwischen den ätiologischen Gruppen verkleinern und damit signifikante Unterschiede möglicherweise unmessbar wurden. Außerdem ist eine Abhängigkeit der Kraft respektive der Funktionalität von der Rissgröße sehr wahrscheinlich. Da traumatische Rupturen signifikant öfter Komplettrupturen waren, scheint auch dieser Faktor zu Verminderung von erwarteten Unterschieden in der Kraft eine Rolle gespielt

haben. Weiterhin sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass sich bei unserer Studie bei einer kurz- bis mittelfristigen Follow-up-Zeit von ≥ 24 Monaten weitere erwartete Unterschiede erst im weiteren Verlauf herauskristallisieren könnten.

6.3 Radiologische Untersuchung

Die präoperativen Rupturformen wurden mithilfe des MRTs für den SSP nach Patte und für den SSC nach Fox&Romeo eingeteilt. Es konnten im Schweregrad der RMR sowohl für den SSP als auch für den SSC keine signifikanten Unterschiede zwischen der traumatischen und atraumatischen Gruppe festgestellt werden. Die Voraussetzung für einen Vergleich der beiden Gruppen ohne klare Unterschiede bezüglich des Schweregrads der RMR war demnach gegeben.

In der radiologischen MRT-Nachuntersuchung konnte bei 37% der Patienten eine Reruptur nachgewiesen werden. Obwohl es immer mehr Belege dafür gibt, dass Rerupturen der Rotatorenmanschette mit schlechteren postoperativen Ergebnissen verbunden sind, bleibt unklar, warum einige der Patienten mit einer Reruptur Symptome entwickeln und sich möglicherweise einer Revisionsoperation unterziehen müssen, während andere klinisch inapparent bleiben und zufriedenstellende Ergebnisse erzielen (Boileau et al., 2005; DeFranco, Bershady, Ciccone, Yum, & Iannotti, 2007; El-Azab, Buchmann, Beitzel, Waldt, & Imhoff, 2010; Flurin et al., 2013; Hug, Gerhardt, Haneveld, & Scheibel, 2015; S. J. Kim, Choi, Jung, Lee, & Chun, 2017; Brian T.N. Le et al., 2014; Slabaugh et al., 2010; Lukas Willinger et al., 2018). In der vorliegenden Studie zeigte sich bei der Nachuntersuchung mittels MRT bei einem Drittel der Patienten ein erneuter Riss (Sugaya >III) der zuvor rekonstruierten

Supraspinatussehne. Dabei konnten bezüglich der Ätiologie keine signifikanten Zusammenhänge gezeigt werden. In der Literatur wurden ähnliche Häufigkeiten ermittelt, die von 12% bis weit über 50% reichen (M. E. Hantes et al., 2018; Heuberer et al., 2017; Liem, Bartl, Lichtenberg, Magosch, & Habermeyer, 2007; Tan et al., 2016; Robert Z. Tashjian et al., 2010; X. L. Wu, L. Briggs, & G. A. C. Murrell, 2012). Relevante Einflussfaktoren waren dabei die Dauer der Nachuntersuchung, die ursprünglichen Rissgröße, die Operationstechnik und das Alter. Dabei waren in der Literatur Rerupturraten stets mit der Rupturgröße proportional verbunden. Tan et. al. (Tan et al., 2016) stellten bei einer, im Vergleich zu unseren Daten, etwas älteren Population (atraumatisch 60J, traumatisch 57J) mit 12% für atraumatische, respektive 14% traumatische RMR eine sehr geringe Rerupturrate fest. In dieser Studie fand jedoch das postoperative Follow-up und Beurteilung der Rerupturraten, im Gegensatz zu unserer Studie, mittels Sonographie und bereits nach sechs Monaten statt. Da die Sonographie jedoch in der Sensitivität der MRT signifikant unterlegen ist, wurde die Häufigkeit in der vergleichenden Studie möglicherweise unterschätzt (Liu et al., 2020).

In der aktuellen Studie waren Rerupturen nicht mit schlechteren ASES- und Constant-Scores im Vergleich zu Patienten mit geheilten Sehnen verbunden. Außerdem zeigte sich eine Tendenz zum erhöhtem Kraftverlust in der betroffenen Schulter im Vergleich zur kontralateralen Schulter, jedoch ohne statistische Signifikanz zu erreichen. Es hat sich gezeigt, dass Alter und Ausgleichszahlungen für Arbeitnehmer negative prädiktive Faktoren nach einer Reruptur der rekonstruierten Rotatorenmanschette sind (S. J. Kim et al., 2017). Da keine Ausgleichszahlungen in Bezug auf eine stattgehabte

Schulterverletzung flossen, kann der Einfluss dieses Faktors in unserer Kohorte vernachlässigt werden. Jüngere Patienten sind, trotz höheren Anforderungen an ihr postoperatives Ergebnis, möglicherweise eher in der Lage, mithilfe ihres intakten Force Couples und Deltamuskels einen defizitären SSP zu kompensieren. Um den Gründen für die nicht signifikanten Ergebnisse näher zu kommen, sollte zudem die gesunde mit der kranken Patientenseite verglichen werden. Hierbei fiel in der Nachuntersuchung auf, dass der betroffene Arm eine signifikant geringere Abduktionskraft im Vergleich zum unverletzten Arm unabhängig von Rerupturen aufwies. Des Weiteren konnte bei den durchgeführten klinischen Tests (Starter, Jobe, Belly-Press, Lift-off, ARO-Lag, ARO-Kraft in 0° und 90°) keine signifikanten Zusammenhänge zwischen positiven Tests und radiologisch erkannter Reruptur erkannt werden, was die Annahme einer suffizienten Kompensation durch die genannte Muskulatur bestärkt. Daher marginalisierten sich möglicherweise die Unterschiede, die eigentlich zu erwarten wären, und eine weitere signifikante Verringerung der Kraft in der Gruppe der Rerupturen blieb aus.

6.4 Limitationen

Innerhalb des Studiendesigns einer retrospektiven Studie, und trotz aller Bemühungen, gelang es nicht, alle Patienten für die Nachuntersuchung zu erreichen. Dadurch verloren wir Patienten zur Nachbeobachtung, was das Risiko eines Selektionsbias birgt. Darüber hinaus war die Patientenkohorte, mit einem hohen Anteil an anterosuperioren RMR und einem relevanten Anteil an begleitenden LHB-Eingriffen, heterogen. Diese Heterogenität ist teilweise der Tatsache geschuldet, dass anteriore Supraspinatusrisse größtenteils mit einer

Verletzung des Pulley-Systems einhergehen. Daher ist es nicht ungewöhnlich, dass strukturelle Schäden an der LHB und der (kranialen) Subscapularissehne festgestellt werden, die teilweise eine gleichzeitige Operation erforderlich machen. Da bei nahezu allen unserer Patienten eine intraoperative Begleitprozedur an der LHB durchgeführt wurde, kann jedoch argumentiert werden, dass der Einfluss auf die Unterschiede der funktionellen und strukturellen Resultate in der traumatischen und atraumatischen Gruppe marginalisiert werden. Die Annahme dahinter ist, dass die intraoperativen Voraussetzungen der Patienten für die postoperative Phase in den Gruppen kaum Unterschiede aufwiesen.

Darüber hinaus könnten Patienten, die über traumatische Verletzungen berichteten, in Wirklichkeit an akut-auf-chronischen Verletzungen gelitten haben.

Ein weiterer Kritikpunkt könnte zudem sein, dass die Untersuchung und die angewandten Scores für die Studie nur einmalig nach frühestens 24 Monaten erhoben wurden und der Vergleich zum direkten prä- und postoperativen Zustand des Patienten allein durch die Anamnese durchgeführt wurde.

Außerdem muss berücksichtigt werden, dass signifikante Ergebnisse bei verschiedenen Vergleichen der beiden Gruppen möglicherweise aufgrund einer zu geringen Gruppengröße ausblieben. Leider standen vor allem für die Nachuntersuchung mittels MRT nicht alle Patienten der Kohorte zu Verfügung, was die Aussagekraft der Ergebnisse dieses wichtigen Teils der Studie herabsetzt.

7 Zusammenfassung

Rotatorenmanschettenrupturen sind im Alter mit einer hohen Prävalenz vergesellschaftet. Jedoch leiden auch junge Patienten oft an RMR. Der Anteil der traumatisch entstandenen RMR nimmt dabei bei niedrigerem Alter deutlich zu. Obwohl es bereits einzelne Studien gibt, die die Heilungsrate von RMR untersucht haben, ist weiterhin noch nicht gänzlich geklärt, ob die Ätiologie der RMR Einfluss auf die Heilungsrate und Funktionalität der Rotatorenmanschette in einer jungen Patientenkohorte hat. Das primäre Ziel dieser Arbeit war demnach mittels subjektiven und objektiven Untersuchungsinstrumenten zu eruieren, ob die Ätiologie einen Einfluss auf die Heilungsraten nach RMR hat. Um die subjektiven Ergebnisse quantifizieren zu können, kamen verschiedene Fragebögen zum Einsatz, unter anderem der Constant- und der ASES-Score. Für die objektive Evaluation wurden Beweglichkeits- und Kraftprüfung sowie die Magnetresonanztomographie durchgeführt. In dieser Studie wurden bewusst jüngere Patienten für das Follow-up ausgewählt, um den bereits erkannten und relevanten Faktor „Alter“ aus der Diskussion um die Rolle der Ätiologie innerhalb dieser Arbeit zu entfernen.

Wir stellten die Hypothese auf, dass die Rekonstruktion traumatischer RMR im Vergleich zur Reparatur nicht-traumatischer, degenerativer Rupturen zu besseren postoperativen Patientenberichten und höheren radiologischen Heilungsraten führen würde. Ein relevantes Nebenziel war des Weiteren zu erkennen, ob ein Zusammenhang zwischen den erhobenen radiologischen Resultaten und den klinischen bzw. subjektiven Befunden zu erwarten ist.

Dazu wurden alle Patienten, die operativ mit ≤ 50 Jahren an der Rotatorenmanschette, mindestens jedoch am SSP im Klinikum rechts der Isar in der Abteilung für Sportorthopädie im Zeitraum von 2006 bis 2018 mit arthroskopischen Rotatorenmanschettenrefixation ohne Begleitverletzung versorgt wurden, berücksichtigt. Das minimale postoperative Follow-up betrug dabei 24 Monate. Von den 57 eingeschlossenen Patienten konnten, nachdem 4 Patienten wegen Unmöglichkeit der Terminfindung ausgeschlossen wurden, 42 für die Studienteilnahme gewonnen werden (79%).

Das primäre Ergebnis dieser Studie war, dass die Ätiologie keinen Einfluss auf das postoperative Ergebnis und die Heilungsrate nach arthroskopischer Reparatur von (antero-)superioren Rotatorenmanschettenrissen bei Patienten unter 50 Jahren hatte. Weder innerhalb der subjektiven Untersuchungsinstrumenten (Scores, Anamnese, VAS) noch innerhalb der objektiven Untersuchungsinstrumente (Kraft, Beweglichkeit, MRT-Diagnostik) konnten signifikante Unterschiede zwischen Patienten mit traumatischen respektive atraumatischen RMR erkannt werden. Sekundär stellten wir fest, dass die Sehnenintegrität im MRT bei der Nachuntersuchung nicht prädiktiv für bessere postoperative Ergebnisse oder Abduktionskraft im Vergleich zur unverletzten Seite war.

Da durch einige Faktoren wie etwa die Rissgröße, die verzögerte Behandlung der traumatischen Gruppe und die relativ kleine Anzahl an Studienteilnehmern erwartete Unterschiede zwischen den ätiologischen Gruppen ausgeblieben sind bedarf es weitere Analysen, ob bei jungen Patienten mit traumatischen RMR nicht doch allgemein mit einem besseren Outcome zu rechnen ist.

8 Literaturverzeichnis

- Abechain, J. J. K., Godinho, G. G., Matsunaga, F. T., Netto, N. A., Daou, J. P., & Tamaoki, M. J. S. (2017). Functional outcomes of traumatic and non-traumatic rotator cuff tears after arthroscopic repair. *World J Orthop*, 8(8), 631-637. doi:10.5312/wjo.v8.i8.631
- Adler, R. S., Fealy, S., Rudzki, J. R., Kadrmas, W., Verma, N. N., Pearle, A., . . . Warren, R. F. (2008). Rotator cuff in asymptomatic volunteers: Contrast-enhanced US depiction of intratendinous and peritendinous vascularity. *Radiology*, 248(3), 954-961. doi:10.1148/radiol.2483071400
- Angeline, M. E., & Rodeo, S. A. (2012). Biologics in the management of rotator cuff surgery. *Clin Sports Med*, 31(4), 645-663. doi:10.1016/j.csm.2012.07.003
- Angst, F., Schwyzer, H. K., Aeschlimann, A., Simmen, B. R., & Goldhahn, J. (2011). Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and its short version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society standardized shoulder assessment form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire (SDQ), and Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI). *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 63 Suppl 11, S174-188. doi:10.1002/acr.20630
- Barry, J. J., Lansdown, D. A., Cheung, S., Feeley, B. T., & Benjamin, C. (2013). The relationship between tear severity, fatty infiltration, and muscle atrophy in the supraspinatus. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 22(1), 18-25. doi:10.1016/j.jse.2011.12.014
- Barth, J. R., Burkhart, S. S., & De Beer, J. F. (2006). The bear-hug test: a new and sensitive test for diagnosing a subscapularis tear. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 22(10), 1076-1084. doi:10.1016/j.arthro.2006.05.005
- Bartl, C., Salzmann, G. M., Seppel, G., Eichhorn, S., Holzapfel, K., Wortler, K., & Imhoff, A. B. (2011). Subscapularis function and structural integrity after arthroscopic repair of isolated subscapularis tears. *Am J Sports Med*, 39(6), 1255-1262. doi:10.1177/0363546510396317
- Bartsch, M., Greiner, S., Haas, N. P., & Scheibel, M. (2010). Diagnostic values of clinical tests for subscapularis lesions. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 18(12), 1712-1717. doi:10.1007/s00167-010-1109-1
- Bassett, R. W., & Cofield, R. H. (1983). ACUTE TEARS OF THE ROTATOR CUFF - THE TIMING OF SURGICAL REPAIR. *Clinical orthopaedics and*

related research(175), 18-24. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:A1983QP98700003

- Best, K. T., & Loiselle, A. E. (2019). Scleraxis lineage cells contribute to organized bridging tissue during tendon healing and identify a subpopulation of resident tendon cells. *Faseb j*, 33(7), 8578-8587. doi:10.1096/fj.201900130RR
- Bigliani, L. U., Morrison, D. S., & April, E. W. (1986). The morphology of the acromion and its relationship to rotator cuff tears. *Orthop trans*, 10: 228.
- Bjornsson, H. C., Norlin, R., Johansson, K., & Adolfsson, L. E. (2011). The influence of age, delay of repair, and tendon involvement in acute rotator cuff tears Structural and clinical outcomes after repair of 42 shoulders. *Acta Orthopaedica*, 82(2), 187-192. doi:10.3109/17453674.2011.566144
- Boileau, P., Brassart, N., Watkinson, D. J., Carles, M., Hatzidakis, A. M., & Krishnan, S. G. (2005). Arthroscopic repair of full-thickness tears of the supraspinatus: does the tendon really heal? *J Bone Joint Surg Am*, 87(6), 1229-1240. doi:10.2106/jbjs.D.02035
- Braune, C., von Eisenhart-Rothe, R., Welsch, F., Teufel, M., & Jaeger, A. (2003). Mid-term results and quantitative comparison of postoperative shoulder function in traumatic and non-traumatic rotator cuff tears. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 123(8), 419-424. doi:10.1007/s00402-003-0548-2
- Brunner U., S. M. (2010). Kapitel 4 - Klinische Untersuchung der Schulter. In *Schulterchirurgie* (Vol. 4, pp. 64-97). Munich: Urban & Fischer.
- Burkhart, S. S., & Brady, P. C. (2006). Arthroscopic subscapularis repair: Surgical tips and pearls A to Z. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 22(9), 1014-1027. doi:10.1016/j.arthro.2006.07.020
- Burns, J. P., & Snyder, S. J. (2008). Arthroscopic rotator cuff repair in patients younger than fifty years of age. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 17(1), 90-96. doi:10.1016/j.jse.2007.05.006
- Carpenter, J. E., Thomopoulos, S., Flanagan, C. L., DeBano, C. M., & Soslowsky, L. J. (1998). Rotator cuff defect healing: a biomechanical and histologic analysis in an animal model. *J Shoulder Elbow Surg*, 7(6), 599-605. doi:10.1016/s1058-2746(98)90007-6
- Chen, M., Xu, W., Dong, Q., Huang, Q., Xie, Z., & Mao, Y. (2013). Outcomes of single-row versus double-row arthroscopic rotator cuff repair: a systematic review and meta-analysis of current evidence. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 29(8), 1437-1449. doi:10.1016/j.arthro.2013.03.076
- CODMAN, E. A., & AKERSON, I. B. (1931). THE PATHOLOGY ASSOCIATED WITH RUPTURE OF THE SUPRASPINATUS TENDON. *Annals of Surgery*, 93(1), 348-359. Retrieved from

- Colvin, A. C., Egorova, N., Harrison, A. K., Moskowitz, A., & Flatow, E. L. (2012). National trends in rotator cuff repair. *J Bone Joint Surg Am*, *94*(3), 227-233. doi:10.2106/jbjs.J.00739
- Constant, C. R., Gerber, C., Emery, R. J. H., Sojbjerg, J. O., Gohlke, F., & Boileau, P. (2008). A review of the Constant score: modifications and guidelines for its use. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *17*(2), 355-361. doi:10.1016/j.jse.2007.06.022
- Constant, C. R., & Murley, A. H. (1987). A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clinical orthopaedics and related research*(214), 160-164. Retrieved from <Go to ISI>://MEDLINE:3791738
- Davis, D. L., Gilotra, M. N., Calderon, R., Roberts, A., & Hasan, S. A. (2021). Reliability of supraspinatus intramuscular fatty infiltration estimates on T1-weighted MRI in potential candidates for rotator cuff repair surgery: full-thickness tear versus high-grade partial-thickness tear. *Skeletal Radiology*, *50*(11), 2233-2243. doi:10.1007/s00256-021-03805-9
- de Jesus, J. O., Parker, L., Frangos, A. J., & Nazarian, L. N. (2009). Accuracy of MRI, MR arthrography, and ultrasound in the diagnosis of rotator cuff tears: a meta-analysis. *AJR Am J Roentgenol*, *192*(6), 1701-1707. doi:10.2214/ajr.08.1241
- DeFranco, M. J., Bershadsky, B., Ciccone, J., Yum, J.-K., & Iannotti, J. P. (2007). Functional outcome of arthroscopic rotator cuff repairs: A correlation of anatomic and clinical results. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *16*(6), 759-765. doi:10.1016/j.jse.2007.03.020
- Djerbi, I., Chammas, M., Mirous, M. P., Lazerges, C., & Coulet, B. (2015). Impact of cardiovascular risk factor on the prevalence and severity of symptomatic full-thickness rotator cuff tears. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, *101*(6, Supplement), S269-S273. doi:<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.06.011>
- Duncan, N. S., Booker, S. J., Gooding, B. W. T., Geoghegan, J., Wallace, W. A., & Manning, P. A. (2015). Surgery within 6 months of an acute rotator cuff tear significantly improves outcome. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *24*(12), 1876-1880. doi:10.1016/j.jse.2015.05.043
- Dwyer, T., Razmjou, H., & Holtby, R. (2015). Full-thickness rotator cuff tears in patients younger than 55 years: clinical outcome of arthroscopic repair in comparison with older patients. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, *23*(2), 508-513. doi:10.1007/s00167-014-3094-2
- Dyment, N. A., Liu, C. F., Kazemi, N., Aschbacher-Smith, L. E., Kenter, K., Breidenbach, A. P., . . . Butler, D. L. (2013). The paratenon contributes to scleraxis-expressing cells during patellar tendon healing. *PLoS One*, *8*(3), e59944. doi:10.1371/journal.pone.0059944

- Edwards, S. L., Lynch, T. S., Saltzman, M. D., Terry, M. A., & Nuber, G. W. (2011). Biologic and pharmacologic augmentation of rotator cuff repairs. *J Am Acad Orthop Surg*, 19(10), 583-589. doi:10.5435/00124635-201110000-00002
- El-Azab, H., Buchmann, S., Beitzel, K., Waldt, S., & Imhoff, A. B. (2010). Clinical and structural evaluation of arthroscopic double-row suture-bridge rotator cuff repair: early results of a novel technique. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 18(12), 1730-1737. doi:10.1007/s00167-010-1257-3
- ELLMAN, H. (1990). Diagnosis and Treatment of Incomplete Rotator Cuff Tears. *Clinical Orthopaedics and Related Research*®, 254, 64-74. Retrieved from https://journals.lww.com/clinorthop/Fulltext/1990/05000/Diagnosis_and_Treatment_of_Incomplete_Rotator_Cuff.10.aspx
- Fermont, A. J. M., Wolterbeek, N., Wessel, R. N., Baeyens, J.-P., & Bie, R. A. d. (2014). Prognostic Factors for Successful Recovery After Arthroscopic Rotator Cuff Repair: A Systematic Literature Review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 44(3), 153-163. doi:10.2519/jospt.2014.4832
- Feucht, M. J., Minzlaff, P., Aboalata, M., Rosenstiel, N., & Braun, S. (2013). Rotatorenmanschette. In A. B. Imhoff & M. J. Feucht (Eds.), *Atlas sportorthopädisch-sporttraumatologische Operationen* (pp. 25-52). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Feucht, M. J., Scheiderer, B., Braun, S., Dyrna, F., Minzlaff, P., Rosenstiel, N., & Aboalata, M. (2017). Subakromialraum, Rotatorenmanschette. In A. B. Imhoff & M. J. Feucht (Eds.), *Atlas sportorthopädisch-sporttraumatologische Operationen* (pp. 51-83). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Flaig, W., & Mäurer, J. (2002). *Effiziente Schulterbildgebung: ein Update für den klinischen Alltag*: Thieme.
- Flurin, P. H., Hardy, P., Abadie, P., Boileau, P., Collin, P., Deranlot, J., . . . Valenti, P. (2013). Arthroscopic repair of the rotator cuff: Prospective study of tendon healing after 70 years of age in 145 patients. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 99(8, Supplement), S379-S384. doi:<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2013.10.007>
- Fox, J. A., Noerdlinger, M. A., & Romeo, A. A. (2003). Arthroscopic Subscapularis Repair. *Techniques in Shoulder & Elbow Surgery*, 4(4), 154-168. Retrieved from https://journals.lww.com/shoulderelbowsurgery/Fulltext/2003/12000/Arthroscopic_Subscapularis_Repair.2.aspx
- Fuchs, B., Weishaupt, D., Zanetti, M., Hodler, J., & Gerber, C. (1999). Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: Assessment by computed

tomography versus magnetic resonance imaging. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 8(6), 599-605. doi:10.1016/s1058-2746(99)90097-6

- Galatz, L. M., Sandell, L. J., Rothermich, S. Y., Das, R., Mastny, A., Havlioglu, N., . . . Thomopoulos, S. (2006). Characteristics of the rat supraspinatus tendon during tendon-to-bone healing after acute injury. *J Orthop Res*, 24(3), 541-550. doi:10.1002/jor.20067
- Garving, C., Jakob, S., Bauer, I., Nadjar, R., & Brunner, U. H. (2017). Impingementsyndrom der Schulter. *Dtsch Arztebl International*, 114(45), 765-776. Retrieved from <https://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=194350>
- Gerber, C., Hersche, O., & Farron, A. (1996). Isolated rupture of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Am*, 78(7), 1015-1023. doi:10.2106/00004623-199607000-00005
- Gerber, C., & Krushell, R. J. (1991). Isolated rupture of the tendon of the subscapularis muscle. Clinical features in 16 cases. *J Bone Joint Surg Br*, 73(3), 389-394. doi:10.1302/0301-620x.73b3.1670434
- Goldhahn, J., Angst, F., Drerup, S., Pap, G., Simmen, B. R., & Mannion, A. F. (2008). Lessons learned during the cross-cultural adaptation of the American Shoulder and Elbow Surgeons shoulder form into German. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 17(2), 248-254. doi:10.1016/j.jse.2007.06.027
- Goutallier, D., Postel, J. M., Bernageau, J., Lavau, L., & Voisin, M. C. (1994). FATTY MUSCLE DEGENERATION IN CUFF RUPTURES - PREOPERATIVE AND POSTOPERATIVE EVALUATION BY CT SCAN. *Clinical orthopaedics and related research*(304), 78-83. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:A1994NX35200014
- Gulotta, L. V., & Rodeo, S. A. (2009). Growth Factors for Rotator Cuff Repair. *Clinics in Sports Medicine*, 28(1), 13-23. doi:10.1016/j.csm.2008.09.002
- Gumina, S., Di Giorgio, G., Bertino, A., Della Rocca, C., Sardella, B., & Postacchini, F. (2006). Inflammatory infiltrate of the edges of a torn rotator cuff. *International Orthopaedics*, 30(5), 371-374. doi:10.1007/s00264-006-0104-0
- Habermeyer P, L. S., Magosch P. (2010). *Schulterchirurgie*. 4.
- Habermeyer, P., Magosch, P., Pritsch, M., Scheibel, M. T., & Lichtenberg, S. (2004). Anterosuperior impingement of the shoulder as a result of pulley lesions: a prospective arthroscopic study. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 13(1), 5-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jse.2003.09.013>
- Habermeyer P., M. P., Lichtenberg S. . (2006). *Classifications and scores of the shoulder* (Vol. 1): Springer Berlin Heidelberg.

- Hamada, K., Fukuda, H., Mikasa, M., & Kobayashi, Y. (1990). Roentgenographic findings in massive rotator cuff tears. A long-term observation. *Clin Orthop Relat Res*(254), 92-96.
- Hantes, M. E., Karidakis, G. K., Vlychou, M., Varitimidis, S., Dailiana, Z., & Malizos, K. N. (2011). A comparison of early versus delayed repair of traumatic rotator cuff tears. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(10), 1766-1770. doi:10.1007/s00167-011-1396-1
- Hantes, M. E., Ono, Y., Raoulis, V. A., Doxariotis, N., Venouziou, A., Zibis, A., & Vlychou, M. (2018). Arthroscopic Single-Row Versus Double-Row Suture Bridge Technique for Rotator Cuff Tears in Patients Younger Than 55 Years: A Prospective Comparative Study. *American Journal of Sports Medicine*, 46(1), 116-121. doi:10.1177/0363546517728718
- Hashimoto, T., Nobuhara, K., & Hamada, T. (2003). Pathologic evidence of degeneration as a primary cause of rotator cuff tear. *Clin Orthop Relat Res*(415), 111-120. doi:10.1097/01.blo.0000092974.12414.22
- Hawi, N., Liodakis, E., Garving, C., Habermeyer, P., & Tauber, M. (2017). Pulley lesions in rotator cuff tears: prevalence, etiology, and concomitant pathologies. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 137(8), 1097-1105. doi:10.1007/s00402-017-2721-z
- Hedtmann, A., & Heers, G. (2007). Bildgebende Verfahren bei Rotatorenmanschettendefekten der Schulter. *Der Orthopäde*, 36(9), 796-809. doi:10.1007/s00132-007-1138-8
- Heuberer, P. R., Smolen, D., Pauzenberger, L., Plachel, F., Salem, S., Laky, B., . . . Anderl, W. (2017). Longitudinal Long-term Magnetic Resonance Imaging and Clinical Follow-up After Single-Row Arthroscopic Rotator Cuff Repair: Clinical Superiority of Structural Tendon Integrity. *The American journal of sports medicine*, 45(6), 1283-1288. doi:10.1177/0363546517689873
- Howell, K., Chien, C., Bell, R., Laudier, D., Tufa, S. F., Keene, D. R., . . . Huang, A. H. (2017). Novel Model of Tendon Regeneration Reveals Distinct Cell Mechanisms Underlying Regenerative and Fibrotic Tendon Healing. *Sci Rep*, 7, 45238. doi:10.1038/srep45238
- Hug, K., Gerhardt, C., Haneveld, H., & Scheibel, M. (2015). Arthroscopic knotless-anchor rotator cuff repair: a clinical and radiological evaluation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(9), 2628-2634. doi:10.1007/s00167-014-3026-1
- Hurschler, C., Wulker, N., Windhagen, H., Hellmers, N., & Plumhoff, P. (2004). Evaluation of the lag sign tests for external rotator function of the shoulder. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 13(3), 298-304. doi:10.1016/j.jse.2004.01.021
- Imhoff, A., Linke, R., Baumgartner, R., Ahrens, P., Bartl, C., Beitzel, K., . . . Wessinghage, T. (2010a). Impingement. In A. Imhoff, R. Linke, & R.

Baumgartner (Eds.), *Checkliste Orthopädie* (2. komplett überarbeitete und erweiterte Auflage ed.): Georg Thieme Verlag.

- Imhoff, A., Linke, R., Baumgartner, R., Ahrens, P., Bartl, C., Beitzel, K., . . . Wessinghage, T. (2010b). Ruptur der Rotatorenmanschette (RM-Ruptur). In A. Imhoff, R. Linke, & R. Baumgartner (Eds.), *Checkliste Orthopädie* (2. komplett überarbeitete und erweiterte Auflage ed.): Georg Thieme Verlag.
- Itoi, E., Kido, T., Sano, A., Urayama, M., & Sato, K. (1999). Which is more useful, the "full can test" or the "empty can test," in detecting the torn supraspinatus tendon? *American Journal of Sports Medicine*, 27(1), 65-68. doi:10.1177/03635465990270011901
- Jacobson, S. R., Speer, K. P., Moor, J. T., Janda, D. H., Saddemi, S. R., MacDonald, P. B., & Mallon, W. J. (1995). Reliability of radiographic assessment of acromial morphology. *J Shoulder Elbow Surg*, 4(6), 449-453. doi:10.1016/s1058-2746(05)80037-0
- Jain, N. B., Fan, R., Higgins, L. D., Kuhn, J. E., & Ayers, G. D. (2018). Does My Patient With Shoulder Pain Have a Rotator Cuff Tear? A Predictive Model From the ROW Cohort. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(7), 2325967118784897. doi:10.1177/2325967118784897
- Jensen, A. R., Cha, P. S., Devana, S. K., Ishmael, C., Di Pauli von Treuheim, T., D'Oro, A., . . . Petrigliano, F. A. (2017). Evaluation of the Trends, Concomitant Procedures, and Complications With Open and Arthroscopic Rotator Cuff Repairs in the Medicare Population. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 5(10), 2325967117731310. doi:10.1177/2325967117731310
- Jobe, F. W., & Moynes, D. R. (1982). DELINEATION OF DIAGNOSTIC-CRITERIA AND A REHABILITATION PROGRAM FOR ROTATOR CUFF INJURIES. *American Journal of Sports Medicine*, 10(6), 336-339. doi:10.1177/036354658201000602
- Khatri, C., Ahmed, I., Parsons, H., Smith, N. A., Lawrence, T. M., Modi, C. S., . . . Metcalfe, A. J. (2019). The Natural History of Full-Thickness Rotator Cuff Tears in Randomized Controlled Trials: A Systematic Review and Meta-analysis. *The American journal of sports medicine*, 47(7), 1734-1743. doi:10.1177/0363546518780694
- Kim, H. M., Dahiya, N., Teefey, S. A., Middleton, W. D., Stobbs, G., Steger-May, K., . . . Keener, J. D. (2010). Location and Initiation of Degenerative Rotator Cuff Tears An Analysis of Three Hundred and Sixty Shoulders. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 92A(5), 1088-1096. doi:10.2106/jbjs.I.00686
- Kim, S. J., Choi, Y. R., Jung, M., Lee, W., & Chun, Y. M. (2017). Arthroscopic Repair of Anterosuperior Massive Rotator Cuff Tears: Does Repair Integrity Affect Outcomes? *Am J Sports Med*, 45(8), 1762-1768. doi:10.1177/0363546517694028

- Kobayashi, M., Itoi, E., Minagawa, H., Miyakoshi, N., Takahashi, S., Tuoheti, Y., . . . Shimada, Y. (2006). Expression of growth factors in the early phase of supraspinatus tendon healing in rabbits. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 15(3), 371-377. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jse.2005.09.003>
- Kukkonen, J., Joukainen, A., Itala, A., & Aarimaa, V. (2013). Operatively treated traumatic versus non-traumatic rotator cuff ruptures: A registry study. *Upsala Journal of Medical Sciences*, 118(1), 29-34. doi:10.3109/03009734.2012.715597
- Kupsch, A. (2004). Entwicklung und Validierung zweier visueller Patientenfragebögen zur Selbsterfassung der Schulterfunktion.
- Lafosse, L., Jost, B., Reiland, Y., Audebert, S., Toussaint, B., & Gobezie, R. (2007). Structural integrity and clinical outcomes after arthroscopic repair of isolated subscapularis tears. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 89A(6), 1184-1193. doi:10.2106/jbjs.F.00007
- Lahteenmaki, H. E., Virolainen, P., Hiltunen, A., Heikkila, J., & Nelimarkka, O. I. (2006). Results of early operative treatment of rotator cuff tears with acute symptoms. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 15(2), 148-153. doi:10.1016/j.jse.2005.07.006
- Lazarides, A. L., Alentorn-Geli, E., Choi, J. H. J., Stuart, J. J., Lo, I. K. Y., Garrigues, G. E., & Taylor, D. C. (2015). Rotator cuff tears in young patients: a different disease than rotator cuff tears in elderly patients. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 24(11), 1834-1843. doi:10.1016/j.jse.2015.05.031
- Le, B. T. N., Wu, X. L., Lam, P. H., & Murrell, G. A. C. (2014). Factors predicting rotator cuff retears: an analysis of 1000 consecutive rotator cuff repairs. *The American journal of sports medicine*, 42(5), 1134-1142. doi:10.1177/0363546514525336
- Le, B. T. N., Wu, X. L., Lam, P. H., & Murrell, G. A. C. (2014). Factors Predicting Rotator Cuff Retears: An Analysis of 1000 Consecutive Rotator Cuff Repairs. *The American journal of sports medicine*, 42(5), 1134-1142. doi:10.1177/0363546514525336
- Lenza, M., Buchbinder, R., Takwoingi, Y., Johnston, R. V., Hanchard, N. C. A., & Faloppa, F. (2013). Magnetic resonance imaging, magnetic resonance arthrography and ultrasonography for assessing rotator cuff tears in people with shoulder pain for whom surgery is being considered. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(9), 138. doi:10.1002/14651858.CD009020.pub2
- Liem, D., Bartl, C., Lichtenberg, S., Magosch, P., & Habermeyer, P. (2007). Clinical outcome and tendon integrity of arthroscopic versus mini-open supraspinatus tendon repair: a magnetic resonance imaging-controlled matched-pair analysis. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 23(5), 514-521. doi:10.1016/j.arthro.2006.12.028

- Liem, D., & Brunner, U. (2017). S2e-Leitlinie „Rotatorenmanschette“. *Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC)*, Stand: 31.01.2017. Retrieved from <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/033-041.html>
- Lin, E. C., Mall, N. A., Dhawan, A., Sherman, S. L., McGill, K. C., Provencher, M. T., . . . Romeo, A. A. (2013). Arthroscopic Primary Rotator Cuff Repairs in Patients Aged Younger Than 45 Years. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 29(5), 811-817. doi:10.1016/j.arthro.2013.01.015
- Linke, R., & Imhoff, A. (2014). Prüfung der Rotatorenmanschette. In A. Imhoff, R. Linke, & R. Baumgartner (Eds.), *Checkliste Orthopädie* (3. vollständig überarbeitete Auflage ed.): Georg Thieme Verlag.
- Lippe, J., Spang, J. T., Leger, R. R., Arciero, R. A., Mazzocca, A. D., & Shea, K. P. (2012). Inter-Rater Agreement of the Goutallier, Patte, and Warner Classification Scores Using Preoperative Magnetic Resonance Imaging in Patients With Rotator Cuff Tears. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 28(2), 154-159. doi:10.1016/j.arthro.2011.07.016
- Liu, F. X., Dong, J. L., Shen, W. J., Kang, Q. L., Zhou, D. S., & Xiong, F. (2020). Detecting Rotator Cuff Tears: A Network Meta-analysis of 144 Diagnostic Studies. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(2), 26. doi:10.1177/2325967119900356
- Loew, M., Habermeyer, P., Wiedemann, E., Rickert, M., & Gohlke, F. (2000). Empfehlungen zu Diagnostik und Begutachtung der traumatischen Rotatorenmanschettenläsion. *Der Unfallchirurg*, 103(5), 417-426. doi:10.1007/s001130050560
- Lohr, J. F., & Uhthoff, H. K. (2007). Epidemiology and pathophysiology of rotator cuff tears. *Orthopade*, 36(9), 788-+. doi:10.1007/s00132-007-1146-8
- Longo, U. G., Berton, A., Papapietro, N., Maffulli, N., & Denaro, V. (2012). Epidemiology, Genetics and Biological Factors of Rotator Cuff Tears. In N. Maffulli (Ed.), *Rotator Cuff Tear* (Vol. 57, pp. 1-9). Basel: Karger.
- Lorbach, O., Bachelier, F., Veas, J., Kohn, D., & Pape, D. (2008). Cyclic loading of rotator cuff reconstructions: single-row repair with modified suture configurations versus double-row repair. *Am J Sports Med*, 36(8), 1504-1510. doi:10.1177/0363546508314424
- Lorbach, O., Trennheuser, C., Kieb, M., Efe, T., Kohn, D., & Anagnostakos, K. (2016). Reconstruction of 25 and 50 % subscapularis tears: a single anchor with a double-mattress suture is sufficient for the reconstruction. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 24(12), 3855-3862. doi:10.1007/s00167-015-3767-5
- Magosch, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Tauber, M., & Habermeyer, P. (2013). Die Klinische Untersuchung der Schulter. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 64(12), 372-379 doi. Retrieved from

- Malavolta, E. A., Assuncao, J. H., Gracitelli, M. E. C., Yen, T. K., Bordalo-Rodrigues, M., & Ferreira, A. A. (2019). Accuracy of magnetic resonance imaging (MRI) for subscapularis tear: a systematic review and meta-analysis of diagnostic studies. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 139(5), 659-667. doi:10.1007/s00402-018-3095-6
- Mall, N. A., Lee, A. S., Chahal, J., Sherman, S. L., Romeo, A. A., Verma, N. N., & Cole, B. J. (2013). An evidenced-based examination of the epidemiology and outcomes of traumatic rotator cuff tears. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 29(2), 366-376. doi:10.1016/j.arthro.2012.06.024
- Mehta, S., Gimbel, J. A., & Soslowsky, L. J. (2003). Etiologic and pathogenetic factors for rotator cuff tendinopathy. *Clinics in Sports Medicine*, 22(4), 791-812. doi:10.1016/S0278-5919(03)00012-7
- Meier, S. W., & Meier, J. D. (2006). The effect of double-row fixation on initial repair strength in rotator cuff repair: a biomechanical study. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 22(11), 1168-1173. doi:10.1016/j.arthro.2006.07.004
- Meislin, R. J., Sperling, J. W., & Stitik, T. P. (2005). Persistent shoulder pain: epidemiology, pathophysiology, and diagnosis. *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.)*, 34(12 Suppl), 5-9. Retrieved from <Go to ISI>://MEDLINE:16450690
- Meyer, D. C., Fucentese, S. F., Koller, B., & Gerber, C. (2004). Association of osteopenia of the humeral head with full-thickness rotator cuff tears. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 13(3), 333-337. doi:10.1016/j.jse.2003.12.016
- Millett, P. J., Warth, R. J., Dornan, G. J., Lee, J. T., & Spiegl, U. J. (2014). Clinical and structural outcomes after arthroscopic single-row versus double-row rotator cuff repair: a systematic review and meta-analysis of level I randomized clinical trials. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 23(4), 586-597. doi:10.1016/j.jse.2013.10.006
- Minns Lowe, C. J., Moser, J., & Barker, K. (2014). Living with a symptomatic rotator cuff tear 'bad days, bad nights': a qualitative study. *BMC Musculoskeletal Disord*, 15, 228. doi:10.1186/1471-2474-15-228
- Molloy, T., Wang, Y., & Murrell, G. (2003). The roles of growth factors in tendon and ligament healing. *Sports Med*, 33(5), 381-394. doi:10.2165/00007256-200333050-00004

- Nichols, A. E. C., Best, K. T., & Loiselle, A. E. (2019). The cellular basis of fibrotic tendon healing: challenges and opportunities. *Translational research : the journal of laboratory and clinical medicine*, 209, 156-168. doi:10.1016/j.trsl.2019.02.002
- Oh, L. S., Wolf, B. R., Hall, M. P., Levy, B. A., & Marx, R. G. (2007). Indications for rotator cuff repair: a systematic review. *Clinical orthopaedics and related research*, 455, 52-63. Retrieved from <Go to ISI>://MEDLINE:17179786
- Oh, L. S., Wolf, B. R., Hall, M. P., Levy, B. A., & Marx, R. G. (2007). Indications for Rotator Cuff Repair: A Systematic Review. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 455, 52-63. doi:10.1097/BLO.0b013e31802fc175
- OrthoRad. (2004). Schulter. Retrieved from http://www.idr.med.uni-erlangen.de/orthorad/arzt/schulter_arzt
- Paloneva, J., Lepola, V., Äärimaa, V., Joukainen, A., Ylinen, J., & Mattila, V. M. (2015). Increasing incidence of rotator cuff repairs--A nationwide registry study in Finland. *BMC Musculoskeletal Disord*, 16, 189. doi:10.1186/s12891-015-0639-6
- Parikh, N., Martinez, D. J., Winer, I., Costa, L., Dua, D., & Trueman, P. (2021). Direct and indirect economic burden associated with rotator cuff tears and repairs in the US. *Current Medical Research and Opinion*, 37(7), 1199-1211. doi:10.1080/03007995.2021.1918074
- Park, H. B., Yokota, A., Gill, H. S., El Rassi, G., & McFarland, E. G. (2005). Diagnostic accuracy of clinical tests for the different degrees of subacromial impingement syndrome. *J Bone Joint Surg Am*, 87(7), 1446-1455. doi:10.2106/jbjs.D.02335
- Park, M. C., ElAttrache, N. S., Tibone, J. E., Ahmad, C. S., Jun, B.-J., & Lee, T. Q. (2007). Part I: Footprint contact characteristics for a transosseous-equivalent rotator cuff repair technique compared with a double-row repair technique. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 16(4), 461-468. Retrieved from [https://neuro.unboundmedicine.com/medline/citation/17321161/Part I: Footprint contact characteristics for a transosseous equivalent rotator cuff repair technique compared with a double row repair technique](https://neuro.unboundmedicine.com/medline/citation/17321161/Part_I:_Footprint_contact_characteristics_for_a_transosseous_equivalent_rotator_cuff_repair_technique_compared_with_a_double_row_repair_technique_) _ [https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1058-2746\(06\)00316-8](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1058-2746(06)00316-8)
- Patte, D. (1990). CLASSIFICATION OF ROTATOR CUFF LESIONS. *Clinical orthopaedics and related research*(254), 81-86. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:A1990DB35400012
- Petersen, S. A., & Murphy, T. P. (2011). The timing of rotator cuff repair for the restoration of function. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 20(1), 62-68. doi:10.1016/j.jse.2010.04.045
- Pogorzelski, J., Erber, B., Themessl, A., Rupp, M.-C., Feucht, M. J., Imhoff, A. B., . . . Irger, M. (2021). Definition of the terms “acute” and “traumatic” in

rotator cuff injuries: a systematic review and call for standardization in nomenclature. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 141(1), 75-91. doi:10.1007/s00402-020-03656-4

- Reilly, P., Macleod, I., Macfarlane, R., Windley, J., & Emery, R. J. H. (2006). Dead men and radiologists don't lie: a review of cadaveric and radiological studies of rotator cuff tear prevalence. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 88(2), 116-121. Retrieved from <Go to ISI>://MEDLINE:16551396
- Richards, R. R., An, K. N., Bigliani, L. U., Friedman, R. J., Gartsman, G. M., Gristina, A. G., . . . Zuckerman, J. D. (1994). A standardized method for the assessment of shoulder function. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 3(6), 347-352. doi:10.1016/s1058-2746(09)80019-0
- Rose, T., & Loos, F. M. (2017). Rotatorenmanschettenläsionen und posterosuperiores Impingement. *Arthroskopie*, 30(3), 223-228. doi:10.1007/s00142-017-0125-2
- Samilson, R. L., & Prieto, V. (1983). Dislocation arthropathy of the shoulder. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 65(4), 456-460. doi:10.2106/00004623-198365040-00005
- Sandrey, M. (2003). Acute and Chronic Tendon Injuries: Factors Affecting the Healing Response and Treatment. *Journal of Sport Rehabilitation*, 12, 70-91. doi:10.1123/jsr.12.1.70
- Saridakis, P., & Jones, G. (2010). Outcomes of Single-Row and Double-Row Arthroscopic Rotator Cuff Repair: A Systematic Review. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 92A(3), 732-742. doi:10.2106/jbjs.I.01295
- Scheibel, M. (2010). Kapitel 3 - Pathologie und Pathomechanik des Subakromialraums und der Rotatorenmanschette (inkl. lange Bizepssehne). In L. S. Habermeyer P, Magosch P (Ed.), *Schulterchirurgie (Vierte Ausgabe)* (pp. 39-61). Munich: Urban & Fischer.
- Scheibel, M., Tsynman, A., Magosch, P., Schroeder, R. J., & Habermeyer, P. (2006). Postoperative subscapularis muscle insufficiency after primary and revision open shoulder stabilization. *Am J Sports Med*, 34(10), 1586-1593. doi:10.1177/0363546506288852
- Sher, J. S., Uribe, J. W., Posada, A., Murphy, B. J., & Zlatkin, M. B. (1995). ABNORMAL FINDINGS ON MAGNETIC-RESONANCE IMAGES OF ASYMPTOMATIC SHOULDERS. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 77A(1), 10-15. doi:10.2106/00004623-199501000-00002
- Slabaugh, M. A., Nho, S. J., Grumet, R. C., Wilson, J. B., Seroyer, S. T., Frank, R. M., . . . Verma, N. N. (2010). Does the Literature Confirm Superior Clinical Results in Radiographically Healed Rotator Cuffs After Rotator

Cuff Repair? *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 26(3), 393-403. doi:10.1016/j.arthro.2009.07.023

- Sørensen, A. K. B., Bak, K., Krarup, A. L., Thune, C. H., Nygaard, M., Jørgensen, U., . . . Torp-Pedersen, S. (2007). Acute rotator cuff tear: Do we miss the early diagnosis? A prospective study showing a high incidence of rotator cuff tears after shoulder trauma. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 16(2), 174-180. doi:10.1016/j.jse.2006.06.010
- Spross, C., Behrens, G., Dietrich, T. J., Olaf Kim, C.-H., Puskás, G. J., Zdravkovic, V., & Jost, B. (2019). Early Arthroscopic Repair of Acute Traumatic Massive Rotator Cuff Tears Leads to Reliable Reversal of Pseudoparesis: Clinical and Radiographic Outcome. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 35(2), 343-350. doi:10.1016/j.arthro.2018.08.048
- Sugaya, H., Maeda, K., Matsuki, K., & Moriishi, J. (2007). Repair integrity and functional outcome after arthroscopic double-row rotator cuff repair. A prospective outcome study. *J Bone Joint Surg Am*, 89(5), 953-960. doi:10.2106/jbjs.F.00512
- Tan, M., Lam, P. H., Le, B. T. N., & Murrell, G. A. C. (2016). Trauma versus no trauma: an analysis of the effect of tear mechanism on tendon healing in 1300 consecutive patients after arthroscopic rotator cuff repair. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 25(1), 12-21. doi:10.1016/j.jse.2015.06.023
- Tashjian, R. Z. (2012). Epidemiology, natural history, and indications for treatment of rotator cuff tears. *Clin Sports Med*, 31(4), 589-604. doi:10.1016/j.csm.2012.07.001
- Tashjian, R. Z., Hollins, A. M., Kim, H.-M., Teefey, S. A., Middleton, W. D., Steger-May, K., . . . Yamaguchi, K. (2010). Factors Affecting Healing Rates after Arthroscopic Double-Row Rotator Cuff Repair. *The American journal of sports medicine*, 38(12), 2435-2442. doi:10.1177/0363546510382835
- Taylor, S. H., Al-Youha, S., Van Agtmael, T., Lu, Y., Wong, J., McGrouther, D. A., & Kadler, K. E. (2011). Tendon Is Covered by a Basement Membrane Epithelium That Is Required for Cell Retention and the Prevention of Adhesion Formation. *PLoS One*, 6(1), e16337. doi:10.1371/journal.pone.0016337
- Tempelhof, S., Rupp, S., & Seil, R. (1999). Age-related prevalence of rotator cuff tears in asymptomatic shoulders. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 8(4), 296-299. doi:10.1016/s1058-2746(99)90148-9
- Thomazeau, H., Rolland, Y., Lucas, C., Duval, J. M., & Langlais, F. (1996). Atrophy of the supraspinatus belly - Assessment by MRI in 55 patients with rotator cuff pathology. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 67(3), 264-268. doi:10.3109/17453679608994685

- Tidball, J. G., Salem, G., & Zernicke, R. (1993). Site and mechanical conditions for failure of skeletal muscle in experimental strain injuries. *J Appl Physiol* (1985), 74(3), 1280-1286. doi:10.1152/jappl.1993.74.3.1280
- Vahlensieck, M., Träber, F., & Gieseke, J. (2014). Relevante Magnetresonanstechniken. In M. Vahlensieck & M. Reiser (Eds.), *MRT des Bewegungsapparats* (4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage ed.): Georg Thieme Verlag.
- Voleti, P. B., Buckley, M. R., & Soslowky, L. J. (2012). Tendon healing: repair and regeneration. *Annu Rev Biomed Eng*, 14, 47-71. doi:10.1146/annurev-bioeng-071811-150122
- Willinger, L., Lacheta, L., Beitzel, K., Buchmann, S., Woertler, K., Imhoff, A. B., & Scheiderer, B. (2018). Clinical Outcomes, Tendon Integrity, and Shoulder Strength After Revision Rotator Cuff Reconstruction A Minimum 2 Years' Follow-up. *American Journal of Sports Medicine*, 46(11), 2700-2706. doi:10.1177/0363546518786006
- Willinger, L., Lacheta, L., Beitzel, K., Buchmann, S., Woertler, K., Imhoff, A. B., & Scheiderer, B. (2018). Clinical Outcomes, Tendon Integrity, and Shoulder Strength After Revision Rotator Cuff Reconstruction: A Minimum 2 Years' Follow-up. *The American journal of sports medicine*, 46(11), 2700-2706. doi:10.1177/0363546518786006
- Wong, J. K., Lui, Y. H., Kapacee, Z., Kadler, K. E., Ferguson, M. W., & McGrouther, D. A. (2009). The cellular biology of flexor tendon adhesion formation: an old problem in a new paradigm. *Am J Pathol*, 175(5), 1938-1951. doi:10.2353/ajpath.2009.090380
- Wu, X. L., Briggs, L., & Murrell, G. A. C. (2012). Intraoperative Determinants of Rotator Cuff Repair Integrity An Analysis of 500 Consecutive Repairs. *American Journal of Sports Medicine*, 40(12), 2771-2776. doi:10.1177/0363546512462677
- Wu, X. L., Briggs, L., & Murrell, G. A. C. (2012). Intraoperative Determinants of Rotator Cuff Repair Integrity:An Analysis of 500 Consecutive Repairs. *The American journal of sports medicine*, 40(12), 2771-2776. doi:10.1177/0363546512462677
- Würgler-Hauri, C. C., Dourte, L. M., Baradet, T. C., Williams, G. R., & Soslowky, L. J. (2007). Temporal expression of 8 growth factors in tendon-to-bone healing in a rat supraspinatus model. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 16(5), S198-S203. doi:10.1016/j.jse.2007.04.003
- Yamaguchi, K., Ditsios, K., Middleton, W. D., Hildebolt, C. F., Galatz, L. M., & Teefey, S. A. (2006). The demographic and morphological features of rotator cuff disease - A comparison of asymptomatic and symptomatic shoulders. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 88A(8), 1699-1704. doi:10.2106/jbjs.E.00835

- Yamamoto, A., Takagishi, K., Osawa, T., Yanagawa, T., Nakajima, D., Shitara, H., & Kobayashi, T. (2010). Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 19(1), 116-120. doi:10.1016/j.jse.2009.04.006
- Zuckerman, J. D., Kummer, F. J., Cuomo, F., & Greller, M. (1997). Interobserver reliability of acromial morphology classification: An anatomic study. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 6(3), 286-287. doi:10.1016/s1058-2746(97)90017-3
- Zumstein, M. A., Lädermann, A., Raniga, S., & Schär, M. O. (2017). The biology of rotator cuff healing. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 103(1, Supplement), S1-S10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.11.003>

9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Morphologische Akromiontypen nach Bigliani und Morrison, Typ I: flach, Typ II: gebogen, Typ III: hakenförmig (Bigliani et al., 1986; Imhoff et al., 2010a).....	24
Abbildung 2: Schnittführung im MRT, hier transversaler (axialer) Schnitt durch das Schultergelenk (Fox, Noerdlinger, & Romeo, 2003; Vahlensieck, Träber, & Gieseke, 2014)	24
Abbildung 3: Illustration einreihigen (links) und zweireihigen (rechts) Nahttechnik zur Rekonstruktion von Rupturen der Rotatorenmanschette (Meier & Meier, 2006)	29
Abbildung 4: Illustration der OP-Technik für die Rotatorenmanschettenrekonstruktion; Links: Double-row mit SpeedBridge-Technik an Musculus Supraspinatus: zweite Fadenankerreihe lateral der Insertionszone; Rechts: Double-row mit SpeedBridge-Technik des Musculus Subscapularis (M. J. Feucht et al., 2017; Fox et al., 2003)	29
Abbildung 5: Testung der passiven Beweglichkeit in Abduktion mit dem Codmann-Handgriff	37
Abbildung 6: Testung der passiven Beweglichkeit in Außenrotation (links) und Innenrotation (rechts).....	37

Abbildung 7: Testung der passiven Beweglichkeit in Retroversion/Extension (links) und der Anteversion/Flexion (rechts) mit Codmann-Handgriff	38
Abbildung 8: Starter-Test, Widerstand gegen Abduktion in 0°-Stellung	39
Abbildung 9: Jobe-Test (empty-can-Test) in Abduktion und horizontaler Adduktion.....	40
Abbildung 10: Lift-off- und Lift-up-Zeichen.....	42
Abbildung 11: Belly-Press-Zeichen.....	42
Abbildung 12: Links: Krafttest für die Außenrotation (ARO) in 0°-Stellung; Rechts: ARO-Lag-Sign	43
Abbildung 13: Krafttest für die Außenrotation in 90° Abduktion	43
Abbildung 14: Krafttestung der Abduktion (Musculus Supraspinatus).....	45
Abbildung 15: Krafttestung der Außenrotation (Musculi Infraspinatus und Teres minor).....	46
Abbildung 16: Krafttestung der Innenrotation (Musculus Subscapularis).....	46
Abbildung 17: Klassifikation nach Patte, 1=Stadium I, 2=Stadium 2, 3=Stadium 3 (Fox et al., 2003; Patte, 1990)	48
Abbildung 18: Einteilung der Subscapularis-Ruptur nach Fox&Romeo..... (Fox et al., 2003; Habermeyer P, 2010).....	51
Abbildung 19: MRT des Musculus Supraspinatus in schrägkoronarer Ebene in T2; Links: Sugaya Grad 1; Rechts Sugaya Grad 5.....	51

Abbildung 20: MRT in T2, Darstellung des Musculus Subscapularis in axialer Ebene; Links: Sugaya Grad 1; Rechts: Sugaya Grad 4	52
Abbildung 21: Flowchart Patientenrekrutierung.....	54
Abbildung 22: Alter bei OP nach Verletzungsmechanismus unterteilt.....	56
Abbildung 23: Mittelwerte der VAS (visuelle Analogskala) mit 95%-CI, abhängig vom Verletzungsmechanismus.....	59
Abbildung 24: Mittelwerte mit 95%-CI von Constant- und ASES-Score	60
Abbildung 25: Mittelwerte der Beweglichkeit mit 95%-CI; affected=betroffen, unaffected=nicht betroffen	62
Abbildung 26: Mittelwerte der Beweglichkeit mit 95%-CI für Flexion, Abduktion und Außenrotation in Abhängigkeit zum Verletzungsmechanismus; affected=betroffen, unaffected=nicht betroffen	63
Abbildung 27: Mittelwerte der Kraftmessung mit 95%-CI; betroffene und nicht betroffene Seite (Y-Achse= Kraft in N); affected=betroffen, unaffected=nicht betroffen.....	65
Abbildung 28: Mittelwerte der Kraftmessung mit 95%-CI (Y-Achse= Kraft in N); affected=betroffen, unaffected=nicht betroffen	65

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien.....	19
Tabelle 2: Nachbehandlungsschema bei Supraspinatus-Sehnen-Rekonstruktion	30
Tabelle 3: Nachbehandlungsschema bei zusätzlicher Subscapularis-Sehnen- Rekonstruktion.....	30
Tabelle 4: Werte für Innenrotation	36
Tabelle 5: Kraftgrade	44
Tabelle 6: Klassifikation nach Goutallier (Goutallier et al., 1994)	49
Tabelle 7: Klassifikation nach Thomazeau, Verhältnis jeweils Muskel/Fossa supraspinata (Thomazeau et al., 1996).....	49
Tabelle 8: MRT-Einteilung von Rotatorenmanschettenrerupturen nach Sugaya (Sugaya, Maeda, Matsuki, & Moriishi, 2005).....	50
Tabelle 9: Klassifikation nach Fox&Romeo (Fox et al., 2003)	50
Tabelle 10: Demographische Daten der Patientenparameter.....	57
Tabelle 11: Anzahl innerhalb der Funktionalitätskategorien abhängig vom Verletzungsmechanismus.....	59
Tabelle 12: Glenohumerale Beweglichkeit auf der betroffenen Seite abhängig vom Verletzungsmechanismus.....	62

Tabelle 13: Zusammenhang von Ergebnissen der klinischen Testung mit der Rerupturrate im MRT	64
Tabelle 14: Kraft-Tests der RM in Newton.....	64
Tabelle 15: Präoperative Ruptur-Formation.....	66
Tabelle 16: Postoperative MRT-Befunde gemäß Sugaya-Klassifikation	67
Tabelle 17: Statistik abhängig von Sehnenstatus	68

10 Anhang

Anhang 1: Einladung, Einverständniserklärung.....	111
Anhang 2: Allgemeiner Fragebogen.....	117
Anhang 3: Auswertungsbogen Constant-Score.....	120
Anhang 4: Auswertungsbogen ASES-Score.....	125

Anhang 1: Einladung, Einverständniserklärung

Formblatt

Studienprotokoll Nr. 17/19S



Patienteninformation/ Einverständniserklärung

Patienten-Informationsblatt zur klinischen und radiologischen Evaluation nach arthroskopischer Rotatorenmanschettenrekonstruktion

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr,

wir möchten Sie bitten an der Studie „Funktionelles Outcome und Heilungsrate nach arthroskopischer Rotatorenmanschettenrekonstruktion bei jungen Patienten“ teilzunehmen. Als Universitätsklinikum widmen wir uns nicht nur der Versorgung von Patienten, sondern auch der experimentellen und klinischen Forschung. Im Folgenden möchten wir Ihnen Ziel und Umfang der Studie erklären.

Ziel der Studie

Der derzeitige Wissensstand über postoperative Verläufe nach Rotatorenmanschettenrekonstruktionen basiert weitgehend auf Nachuntersuchungen älterer Patienten, da diese häufiger von entsprechenden Verletzungen betroffen sind. Da junge Patienten aber auf Grund ihres hohen funktionellen Anspruchs ein besonderes Patientengut darstellen, möchten wir im Rahmen dieser Studie zusätzlich Erkenntnisse über die Verläufe dieser Patienten gewinnen.

Innerhalb der Studie werden daher Patientinnen und Patienten nachuntersucht und befragt, die wie Sie aufgrund einer Rotatorenmanschettenläsion bei uns in der Abteilung operativ behandelt worden sind. Die Nachuntersuchung dient der Evaluation Ihrer Zufriedenheit, der Untersuchung Ihrer Schulterfunktion sowie der Beurteilung der Integrität Ihrer Rotatorenmanschette. Wir erhoffen uns aus den gewonnenen Daten richtungsweisende Erkenntnisse für die zukünftige Versorgung von jungen Patienten mit Verletzungen der Rotatorenmanschette ableiten zu können.

Umfang der Studie

Nach erfolgter Operation (mindestens 12 Monate postoperativ) führen wir eine klinische Untersuchung Ihres Schultergelenks durch. Die Nachuntersuchung bietet Ihnen dabei die Möglichkeit, ihr Schultergelenk nochmals professionell untersuchen zu lassen. Hierbei werden Ihre Bewegungsausmaße und Ihr Empfinden bezüglich des betroffenen Schultergelenks genauestens dokumentiert und eine Kraftmessung durchgeführt (siehe Schulter-Fragebögen). Zudem erfolgt eine MRT-Untersuchung des betroffenen Schultergelenks zur Dokumentation des operativen Ergebnisses und zur Evaluation der Intaktheit der Sehnen und Muskeln sowie des Gelenks. Dies hat für Sie keine zusätzliche Strahlenbelastung zur Folge.

Datenerhebung und Verarbeitung

In dieser Studie ist Alexander Themessl für die Datenverarbeitung verantwortlich.

Im Rahmen der Studie werden Ihre Daten (wie zum Beispiel Name, Anschrift und sensible personenbezogene Gesundheitsdaten) pseudonymisiert, das heißt ohne konkrete Namensnennung aufgezeichnet. Eine Zuordnung ist nur über eine beim Studienarzt hinterlegte Identifikationsliste möglich. Die im Rahmen der Studie erhobenen Daten werden von einem elektronischen Datensystem erfasst und statistisch ausgewertet. Nach Beendigung der Studie werden alle Daten nach den derzeit gültigen Vorschriften entsprechend gespeichert und archiviert.

Die Bearbeitung der erhobenen Daten erfolgt in Verantwortung der Abteilung für Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, Ismaninger Straße 22, 81675 München. Sie haben das Recht, Einsicht in Ihre Daten zu nehmen, die während der Studie erhoben werden. Sollten Sie dabei Fehler in Ihren Daten feststellen, so haben Sie das Recht, diese durch den Studienarzt korrigieren zu lassen.

Seite 1 von 6

Formblatt

Studienprotokoll Nr. 17/19S



Ihre Daten werden über einen Zeitraum von 10 Jahren in einem sicheren System gespeichert und im Anschluss gelöscht, sofern gesetzliche Gründe nicht eine längere Speicherung vorschreiben. Die Teilnahme an dem Forschungsvorhaben ist freiwillig. Sie können jederzeit und ohne Angabe von Gründen ihr Einverständnis zur Teilnahme zurücknehmen.

Sie haben das Recht, Auskunft über die Sie betreffenden Daten zu erhalten, auch in Form einer unentgeltlichen Kopie. Darüber hinaus können Sie die Berichtigung oder Löschung Ihrer Daten verlangen. Wenden Sie sich in diesen Fällen an:

Alexander Themessl
Assistenzarzt
Abteilung für Sportorthopädie
Klinikum rechts der Isar
Tel.: 089/4140/7842

Im Falle einer Beschwerde wenden Sie sich an:

Behördlicher Datenschutzbeauftragter
Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München
Ismaninger Str. 22
81675 München
E-Mail: datenschutz@mri.tum.de

oder an:

Bayerischer Landesbeauftragten für den Datenschutz
Postanschrift: Postfach 22 12 19, 80502 München
Hausanschrift: Wagnmüllerstr. 1, 80538 München
E-Mail: poststelle@datenschutz-bayern.de

Aufwandsentschädigung

Eine Aufwandsentschädigung wird Ihnen für Ihre Teilnahme an der Untersuchung nicht gezahlt. Es entstehen Ihnen jedoch auch keinerlei zusätzliche Kosten durch die Teilnahme an der Studie.

Probanden-/Patientenversicherung

Eine Probandenversicherung besteht für die vorliegende Studie nicht. Auch besteht keine Versicherung für Zwischenfälle, die Ihnen auf dem Weg zur Untersuchung oder nach dem Ende der Untersuchung auf Ihrem Rückweg widerfahren.

Mögliche Gründe für ein vorzeitiges Studienende

Für den Fall, dass sich während der laufenden Studie Erkrankungen oder Zustände zeigen, wegen derer Sie von vornherein nicht in die Studie hätten eingeschlossen werden dürfen, sehen wir uns gezwungen, die weitere Teilnahme abzusagen. Wenn Sie den Wunsch äußern, können Sie die Studie selbstverständlich zu jedem von Ihnen gewünschten Zeitpunkt vorzeitig beenden ohne dass Ihnen in irgendeiner Form ein Nachteil entstehen würde.

Weitere Fragen

Wenden Sie sich an uns, wenn Sie noch Zweifel oder Fragen haben.

Mit freundlichen Grüßen

Alexander Themessl

Assistenzarzt und Studienleiter

Timon Wagner

Doktorand

Klinikum rechts der Isar, Abteilung für Sportorthopädie,

Ismaninger Straße 22, 81675 München

Email: a.themessl@tum.de ; timon.wagner@tum.de;

Tel: 089-4140- 7840

Einwilligungserklärung

Ich habe die Probandeninformation gelesen und Ziel, Ablauf und Durchführung der Studie verstanden. Ich wurde mündlich über Wesen, Bedeutung, Tragweite und Risiken der geplanten Studienteilnahme informiert. Mir wurde ausreichend Gelegenheit gegeben, alle offenen Fragen mit meinem Studienarzt zu klären. Ich habe jederzeit das Recht, weitere Informationen zur Studie zu erfragen.

Ich erkläre mich freiwillig bereit, an der Studie teilzunehmen.

Ich bestätige, vollständige und wahrheitsgemäße Angaben zu meiner Krankengeschichte, meinem Gesundheitszustand sowie weiteren Fragen im Zusammenhang mit der Studie gemacht zu haben.

Ich habe jederzeit das Recht, ohne Angabe von Gründen von der Studie zurückzutreten, ohne dass für mich Nachteile daraus entstehen.

Ich wurde darüber informiert, dass meine Daten in pseudonymisierter Form gespeichert und analysiert werden. Einwilligungserklärung zum Datenschutz:

EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG ZUM DATENSCHUTZ

Bei wissenschaftlichen Studien werden persönliche Daten und medizinische Befunde über Sie erhoben. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser studienbezogenen Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor Teilnahme an der Studie die folgende freiwillige Einwilligung voraus:

1. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie erhobene Daten/Krankheitsdaten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern und in pseudonymisierter Form aufgezeichnet und ohne Namensnennung weitergegeben werden an:

den Leiter der Studie:

Alexander Themessl, Abt. f. Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, Ismaninger Straße 22, 81675 München

Dr. med. Jonas Pogorzelski, Abt. f. Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, Ismaninger Straße 22, 81675 München

2. Außerdem erkläre ich mich damit einverstanden, dass ein autorisierter und zur Verschwiegenheit verpflichteter Beauftragter des Studienleiters/ ein Vertreter der zuständigen Ethikkommission in meine beim Studienarzt vorhandenen personenbezogenen Daten Einsicht nimmt / nehmen kann, soweit dies für die Überprüfung der Studie notwendig ist. Für diese Maßnahmen entbinde ich den Studienarzt von der ärztlichen Schweigepflicht.

3. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an der klinischen Prüfung beenden kann. Im Fall eines solchen Widerrufs meiner Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die bis zu diesem Zeitpunkt gespeicherten Daten ohne Namensnennung weiterhin verwendet werden dürfen, um sicherzustellen, dass meine schutzwürdigen Interessen nicht beeinträchtigt werden.

4. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Daten nach Beendigung oder Abbruch der Prüfung mindestens zehn Jahre aufbewahrt werden. Danach werden meine personenbezogenen Daten gelöscht, soweit nicht gesetzliche, satzungsmäßige oder vertragliche Aufbewahrungsfristen entgegenstehen.

5. Ich bin über folgende Regelung informiert: Falls ich meine Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, widerrufe, müssen alle Stellen, die meine personenbezogenen Daten, insbesondere Gesundheitsdaten gespeichert haben, unverzüglich prüfen, inwieweit die gespeicherten Daten für die in Nr. 3 genannten Zwecke noch erforderlich sind. Nicht mehr benötigte Daten sind unverzüglich zu löschen.

„Ich bin damit einverstanden, dass meine im Rahmen der klinischen Studie erhobenen Daten, insbesondere Krankheitsdaten,

- **aufgezeichnet werden**
- **in pseudonymisierter (verschlüsselter) Form gespeichert werden**

- **als personenbezogene Daten durch Beauftragte der vorgenannten Behörden beim Studienarzt eingesehen werden können; dabei wird die ordnungsgemäße Durchführung der klinischen Studie überprüft. Es wird mir versichert, dass beim Umgang mit den Daten die Grundsätze des Datenschutzes beachtet werden.“**

Ich habe die vollständige Probandeninformation zur Studie sowie ein unterschriebenes Exemplar dieser Einwilligungserklärung erhalten.

Vor- und Nachname des Studienteilnehmers

Ort und Datum (persönlich auszufüllen) Unterschrift des Studienteilnehmers

Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich diesem Probanden Natur, Ziel und mögliche Komplikationen dieser Studie erklärt habe, und dass ich ihm eine Kopie dieser Einwilligungserklärung ausgehändigt habe. Nach körperlicher und psychischer Verfassung war der Proband in der Lage, Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie einzusehen und seinen Willen hiernach zu bestimmen.

Vor- und Nachname des Studienarztes

Ort und Datum (persönlich auszufüllen) Unterschrift des Studienarztes

Anhang 2: Versendeter Fragebogen

Allgemeine Daten

Name _____

Vorname _____

Telefon _____

Email _____

Adresse _____

Geb. Datum _____

Alter

Größe

Gewicht

Vorgeschichte

Rauchen Sie (Anzahl pro Tag)?

nein < 5 Zig 10-20 Zig > 20 Zig

Haben Sie medikamentenpflichtige Vorerkrankungen?

Ja Nein

Wenn ja, welche?

Wurden Sie bereits vor der OP in unserer Abteilung an Ihrer betroffenen Schulter operiert?

Ja Nein

Wenn ja, wann (Datum) und was wurde durchgeführt?

Wurden Sie nach der OP in unserer Abteilung an Ihrer betroffenen Schulter operiert?

Ja Nein

Wenn ja, wann (Datum) und was wurde durchgeführt?

Allgemeine Fragen

Haben Sie aktuell Schmerzen an der Schulter?

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

Nehmen Sie derzeit Schmerzmedikamente wegen der Schulter?

Ja, regelmäßig Ja, bei Bedarf Nein

Wie schätzen Sie ihre Funktionalität im Alltag im Vergleich zu vor der Schulterverletzung ein?

gleich reduziert höher

Haben Sie evtl. Sport / Rehabilitationstraining auf Grund der Schulterschmerzen aufgegeben oder reduziert?

Nein Reduziert Aufgegeben

Wenn Sie Sport treiben / Rehabilitationstraining machen, müssen Sie dann zur Durchführung Schmerzmedikamente nehmen?

Ja, regelmäßig Ja, bei Bedarf Nein

Welche Art von Sport haben Sie vor der Verletzung regelmäßig praktiziert?

Wurf/Schlagsportarten Wassersportarten (z.B. Schwimmen) Lauf/Radsport

Auf welchem Leistungsniveau haben Sie den Sport praktiziert?

Hobby (1-2x/Woche) Wettkampf (3-4x/Woche) Leistungssport (> 4/Woche)

Wie schätzen Sie ihre Funktionalität in Ihrem Sport im Vergleich zu vor der Schulterverletzung ein?

gleich reduziert höher

Welche Art von Tätigkeit haben Sie vor der Verletzung (hauptberuflich) ausgeführt?

sitzend körperlich

Wie schätzen Sie ihre Funktionalität im Beruf im Vergleich zu vor der Schulterverletzung ein?

gleich reduziert/Arbeitsplatzwechsel verbessert

II. Alltagsaktivität:

A) Arbeitsfähigkeit:

Ich bin ...

- berufstätig, als: _____
- Hausfrau/-mann
- Rentner/in

Bitte kreuzen Sie an inwieweit Sie Ihrem Beruf (falls nicht berufstätig, sonstige Hauptbeschäftigung des täglichen Lebens) zur Zeit nachgehen können:

- ich kann momentan nicht arbeiten
- ich bin bei der Arbeit weitgehend eingeschränkt (max. Arbeitsleistung 25%)
- ich bin bei der Arbeit deutlich eingeschränkt (max. Arbeitsleistung 50%)
- ich habe nur eine leichte Arbeitseinschränkung (zu 75% arbeitsfähig)
- ich bin voll Arbeitsfähig (Arbeitsfähigkeit 100%)

Falls ja, was ist der Grund für die berufliche Einschränkung?

- die erkrankte Schulter
- andere Ursachen: _____

B) Sportfähigkeit/Freizeitaktivität:

Ich kann momentan aufgrund meiner Schulterbeschwerden meinen gewohnten Sport- und Freizeitaktivitäten wie folgt nachgehen:

- gar nicht
- nur stark eingeschränkt
- mit deutlichen Einschränkungen
- mit leichten Einschränkungen
- uneingeschränkt

C) Schlaf:

Wie gut können Sie in letzter Zeit aufgrund Ihrer Schulterbeschwerden schlafen?

- sehr starke Schlafprobleme (normaler Schlaf ohne Schlaf-/Schmerzmittel unmöglich)
- Erwachen mit Wiedereinschlafen
- ungestörter Schlaf möglich

D) Aktivitäten des täglichen Lebens:

Ich kann mit dem betroffenen Arm ohne Schmerzen Arbeiten bis auf ...
(mehrere Antworten möglich)

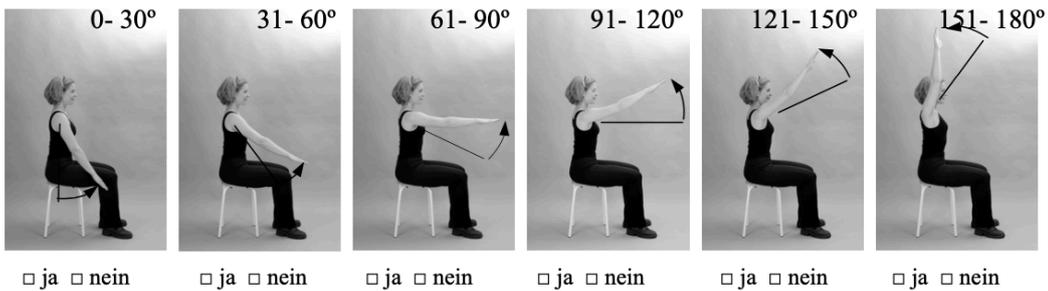
- ...Höhe der Gürtellinie ausführen (z.B. meine Hose zuknöpfen)
- ...Höhe des unteren Brustkorbes ausführen (z.B. ein Hemd von unten bis zur Brust zuknöpfen)
- ...Halshöhe ausführen (z.B. den obersten Hemdknopf schließen)
- ...Scheitelhöhe ausführen (z.B. meine Haare kämmen)
- ...über Kopfhöhe ausführen (z.B. etwas aus einem Regal über Kopfhöhe nehmen)

III. Beweglichkeit

- Setzen Sie sich auf einen Stuhl und lassen Sie ihren betroffenen Arm **gestreckt seitlich herunterhängen**. Versuchen Sie nun die folgenden Bewegungen **wie auf den Photoserien** auszuführen. Verwenden sie dabei bei Gelegenheit einen Spiegel.
- Bitte kreuzen Sie unter jedem Bild an, ob Sie den Arm bis auf diese Höhe **schmerzfrei** anheben können oder nicht.
- Achten Sie darauf dabei den **Rücken gerade** zu halten, den **Arm durchzustrecken** und **keine Ausgleichsbewegungen** mit dem Oberkörper zu machen!

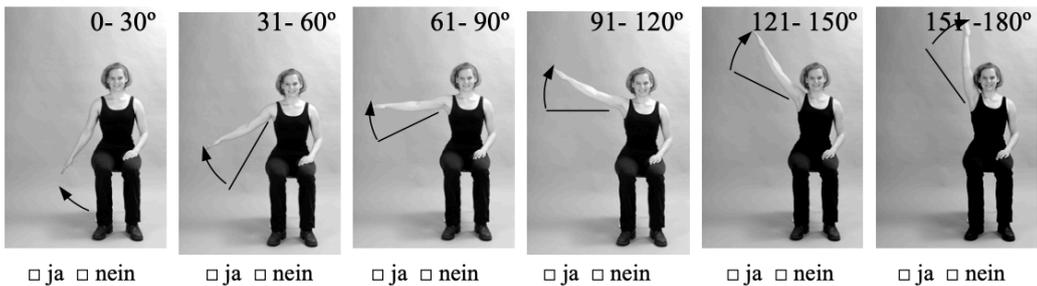
A) Flexion:

Den **gestreckten Arm gerade nach vorne** anheben:



B) Abduktion:

Den **gestreckten Arm zur Seite** anheben:



C) Außenrotation:

Versuchen Sie, die folgenden Bewegungen wie auf dem Foto auszuführen und geben Sie jeweils an, ob es Ihnen **schmerzf**rei möglich ist:

Hand **auf dem Kopf**,
Ellenbogen zeigt nach **vorne**



Dies ist mir möglich: ja nein

lassen Sie weiterhin die Hand **auf dem Kopf** und **drehen Sie nun den Ellenbogen zur Seite**



ja nein

Hand **am Hinterkopf**
Ellenbogen zeigt nach **vorne**



Dies ist mir möglich: ja nein

drehen Sie nun wieder den **Ellenbogen zur Seite** während die Hand **am Hinterkopf** bleibt



ja nein

Können Sie Ihren betroffenen Arm uneingeschränkt und **schmerzf**rei über dem Kopf bewegen (z.B. eine Glühbirne über dem Kopf einschrauben, oder ein Buch aus einem hohen Regal holen) ?

ja nein

D) Innenrotation:

Kreuzen Sie an, wie hoch Sie den **Handrücken**, Ihrer betroffenen Seite, **schmerzf**rei am Körper bewegen können:



Handrücken zum **seitlichen Oberschenkel**

ja nein



Handrücken zum **Gesäß**

ja nein



Handrücken zum **Steißbein**

ja nein



Handrücken zur **Gürtellinie**

ja nein



Handrücken zur **oberen Taille**

ja nein



Handrücken auf **Schulterblatthöhe**

ja nein

IV. Kraft

Bitte versuchen Sie, die folgende Messung besonders gewissenhaft auszuführen.

Zur Messung der Schulterkraft richten Sie sich eine stabile Tasche (z.B. eine Stoff-Einkaufstasche) und mehrere Gegenstände bekannten Gewichtes (z.B. Gewichte, Saft-/Milchpackungen (1 Liter = 1 kg), o.ä.).

Setzen Sie sich nun auf einen Stuhl und versuchen Sie, die entsprechend gefüllte Tasche wie auf dem Foto für fünf Sekunden anzuheben.

Achten Sie darauf, den Rücken gerade zu halten und keine Ausgleichbewegungen zu machen!

Wichtig:
Arm durchgestreckt!
Handrücken nach oben!
bis zur Waagerechten



Der Arm sollte zur Seite und leicht nach vorne (ca.20°) zeigen.
Wie hier in der Ansicht von oben dargestellt:



Falls Sie den Arm auch ohne Gewicht nicht bis zur Waagerechten seitlich anheben können, heben Sie das Gewicht, soweit es Ihr Bewegungsumfang zulässt, und markieren Sie die Höhe mit einem Strich auf dem Foto.

Wie viele kg können Sie so fünf Sekunden lang anheben? _____, ____ kg

Vielen Dank!

Bemerkungen:

Anhang 4: Auswertungsbogen ASES-Score



Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie
der Technischen Universität München
Leitung: Univ.-Prof. Dr. A. B. Imhoff



Schulterfragebogen Schulter-Funktions-Beurteilung *American shoulder and elbow surgeons (ASES) - Fragebogen*

Name: _____ Vorname: _____ Geb.-Datum: _____
Geschlecht: m, w

Gewohnte Arbeit?

Gewohnte Sport/Freizeit-Aktivität?

--	--

Haben Sie nachts Schmerzen in der Schulter?

Ja Nein

Nehmen Sie Schmerzmittel ein (Aspirin, Paracetamol etc.)?

Ja Nein

Nehmen Sie starke Schmerzmittel ein (Codein oder stärker)?

Ja Nein

Wieviele Tabletten nehmen Sie jeden Tag ein (durchschnittlich)?

--

Wie stark sind die Schmerzen HEUTE?

O 10 O 9 O 8 O 7 O 6 O 5 O 4 O 3 O 2 O 1
10 = stärkste vorstellbare Schmerzen 1 = kein Schmerz

Kreisen Sie bitte die Nummer ein, die am besten Ihre Fähigkeit beschreibt, die folgenden

Aktivitäten auszuführen:

0 = unfähig ; 1 = fällt schwer ; 2 = etwas schwierig ; 3 = nicht schwer

AKTIVITÄT	EINSCHÄTZUNG
1. Eine Jacke anziehen	0 1 2 3
2. Auf der schmerzhaften oder betroffenen Seite schlafen	0 1 2 3
3. Den Rücken waschen/ den BH am Rücken schließen	0 1 2 3
4. Intimhygiene	0 1 2 3
5. Haare kämmen	0 1 2 3
6. Ein hohes Regal erreichen	0 1 2 3
7. 4,5 kg über Schulterniveau heben	0 1 2 3
8. Einen Ball werfen (Überhand)	0 1 2 3
9. Gewohnte Arbeiten erledigen	0 1 2 3
10. Gewohnten Sport ausüben	0 1 2 3

11 Danksagung

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

Größter Dank gilt meiner Frau für ihre immerwährende Hilfe und Unterstützung. Weiterhin danke ich meiner Familie und insbesondere meinen Eltern für ihre ausnahmslose Unterstützung.

Außerdem danke ich meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Andreas B. Imhoff, der es mir ermöglichte, diese Arbeit durchzuführen.

Für die Begleitung, ununterbrochene Unterstützung und stetes konstruktives Feedback in Vorbereitung, Durchführung und Verfassung der Dissertation bedanke ich mich herzlich bei meinem Mentor Herrn PD Dr. med. Jonas Pogorzelski und bei Herrn Dr. med. Alexander Themessl.

Weiterhin gilt mein Dank sowohl dem Personal der Ambulanz der Abteilung für Sportorthopädie im Klinikums Rechts der Isar als auch dem Personal der radiologischen Abteilung für die unkomplizierte Unterstützung bei der Datenerhebung und den klinischen Nachuntersuchungen.