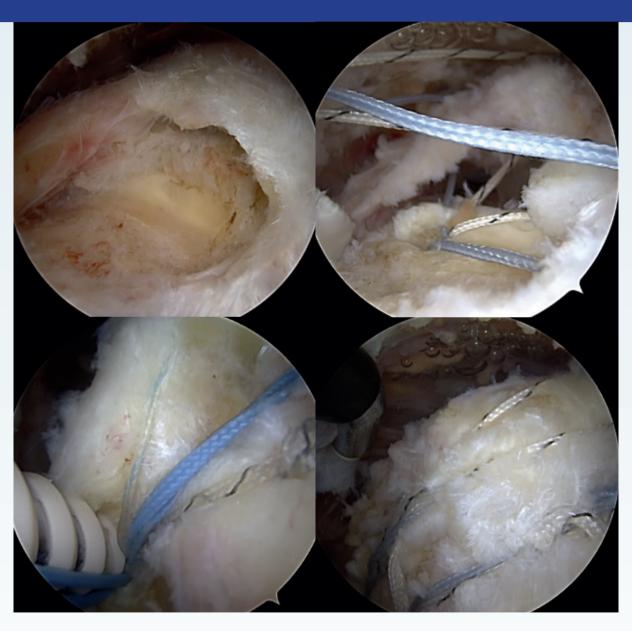
# Schulter-Rotatorenmanschette

AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette







www.aga-online.ch
find us in: facebook



# DEUTSCHES INSTITUT FÜR ZELL- UND GEWEBEERSATZ

Gemeinnützige Gesellschaft mbH

# Bei Rotatorenmanschettenruptur: Epiflex®

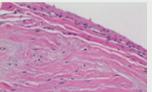
Die einzige in Deutschland als Arzneimittel zugelassene humane azelluläre Dermis. 1.2

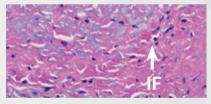
Für Patienten stellt eine massive Rotatorenmanschettenruptur (z. B. Grad IV nach Bateman) eine einschneidende Einschränkung der Beweglichkeit dar.

Die operative Augmentation mit Epiflex® kann die Beweglichkeit im Schultergelenk wiederherstellen und aufrechterhalten.

Epiflex® ist ein Transplantat aus humaner azellulärer Dermis (HADM) mit nativer Kollagenzusammensetzung und -struktur. Dieses Transplantat ist zellfrei³, eignet sich aufgrund seiner biologischen und biomechanischen Eigenschaften als Ersatz und/oder Verstärkung für insuffizientes oder verloren gegangenes Gewebe und bietet ideale Voraussetzungen für Zellmigration und Neoangiogenese.<sup>4,5</sup>







#### Augmentation der Rotatorenmanschette mit Epiflex®

Nach 1,5 Jahren zeigt die histologische Abbildung ein fortgeschrittenes Remodeling ohne klare Abgrenzung zwischen ortsständigem Gewebe und dem Transplantat. Deutlich sind die neu gebildeten Zellen zu erkennen.<sup>6</sup>

#### 8 Monate postoperativ

Mit Fibroblasten, Bindegewebe und Gefäßen durchsetztes Epiflex®7 Safety -Made in Germany



www.dizg.de

DIZG Deutsches Institut für Zell- und Gewebeersatz gGmbH

Köpenicker Straße 325 | D-12555 Berlin

Epiflex® ist ein Transplantat des DIZG.

BEZEICHNUNG DES ARZNEIMITTELS: Human-Haut, azellulär, gefriergetrocknet, DIZG Epiflex\*. ZUSAMMENSETZUNG: Anteile von zellfreiem humanen Bindegewebe aus Haut. ANWENDUNGS-GEBIETE: Zur Implantation. Temporärer Hautersatz bei thermischen Verletzungen, Ersatz für verloren gegangene oder insuffiziente Dermis und von Weichgewebe, z. B. in der Parodontologie. Weitere Einsatzmöglichkeiten in anderen operativen Fachdisziplinen sind denkbar. GEGENANZEIGEN: Die Anwendung in nekrotische Wirtslager ist kontraindiziert. Die Indikation ist bei Anwendung in minderdurchblutete oder infizierte Wirtslager wegen einer schlechteren Einheilungsrate streng zu stellen. NEBENWIRKUNGEN: Keine bekannt. STAND DER INFORMATION: 04.06.2019 VERKAUFSABGRENZUNG: Verschreibungspflichtig, Zul-Nr. 3003749.00.00

- 1. Gemäß § 21 AMG, Zul.-Nr. 3003749.00.00.
- $2.\ R\"{o}ssner\ E\ et\ al.\ Epiflex \ \ A\ new\ decellularised\ human\ skin\ tissue\ transplant:\ manufacture\ and\ properties.\ Cell\ Tissue\ Bank\ 12:\ 209-217,\ 2010.$
- 3. Data on file
- 4. Vitacolonna M et al. In vivo Quantification of the Effects of Radiation and Presence of Hair Follicle Pores on the Proliferation of Fibroblasts in an Acellular Human Dermis in a Dorsal Skinfold Chamber: Relevance for Tissue Reconstruction following Neoadjuvant Therapy. PLoS ONE 10: e0125689-12, 2015.
- 5. Mit freundlicher Genehmigung von Dr. W. Kunz, Neuhausen a. d. F.; PD Dr. H. König, Esslingen; Dr. R. Pruß, Esslingen; PD Dr. C. Weiler, Stuttgart.
- 6. ebd.

#### AGA-Themenheft "Schulter-Rotatorenmanschette"

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

Läsionen der Rotatorenmanschette stellen eine der häufigsten degenerativen Pathologien in der Schulter dar. Diese können je nach Ausmaß der Schädigung die Schulterfunktion im erheblichen Maße beeinträchtigen. Sie sind von hoher gesellschaftlicher Bedeutung, da sie gerade bei körperlichen Berufen zu lange Ausfallzeiten führen können.

Die richtige und optimale Therapie hat demnach eine wichtigen Stellenwert, da eine zu spät versorgte Rotatorenmanschettenruptur im Rahmen der Umbauvorgänge in Sehne und Muskel negative Auswirkungen auf die Erfolgschancen einer späteren operativen Rekonstruktion haben kann.

Im folgenden Themenheft möchten wir Ihnen eine aktuelle Übersicht über die Epidemiologie, Klassifikation und Diagnostik von Rupturen der Rotatorenmanschette aufzeigen. Wir versuchen darzustellen, welche Therapieoptionen und Argumente für eine konservative Behandlung sprechen und wann eine operative Therapie zu empfehlen ist.

Darüber hinaus wollen wir ihnen eine Übersicht der aktuellen operativen Therapieoptionen vorstellen, sowohl bei der einfachen Ruptur bis hin zu den gelenkerhaltenden Therapieoptionen bei Revisionen und nicht mehr rekonstruierbaren Massenrupturen

Die aktuellen Therapiekonzepte bezüglich der Nachbehandlung von operativ versorgten Rupturen der Rotatorenmanschette runden das Themenheft ab.

Wir wünschen Ihnen viel Freude mit dem Heft und hoffen, das Sie das ein oder andere in Ihrem klinischen Alltag verwenden können.

Ihre

Prof. Dr. Olaf Lorbach Priv.-Doz. Dr. Philipp Heuberer



#### Autoren



Dr. med. Eduard Buess

- » Praxis Shouldercare
- » Bern, Schweiz



Priv.-Doz. Dr. med. Mike Baums

- » Abteilung für Orthopädie , Unfallchirurgie und Sport Traumatologie, Katholisches Klinikum
- » Ruhrgebiet Nord, KKRN, St. Elisabeth-Krankenhaus, Dorsten



Priv.-Doz. Dr. med. Simon Euler

- » Praxisgemeinschaft Unfallchirurgie Unfallchirurgie und Orthopädie
- » Sanatorium Kettenbrücke der Barmherzigen Schwestern, Innsbruck, Österreich



Prof. Dr. med. Olaf Lorbach

- » Abteilung fpr Schulterchirurgie und Sporttraumatologie
- » Schön-Klinik Lorsch



Priv.-Doz. Dr. med. Michael Hackl

- » Schwerpunkt für Unfall-, Handund Ellenbogenchirurgie
- » Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
- » Uniklinik Köln



Priv.-Doz. Dr. med. Philipp Heuberer

- » Schulterzentrum Wien
- » Health Pi Medical Center
- » Orthocare Orthopädiepraxis Oberlaa



Priv.-Doz. Dr. med. Lucca Lacheta

- » Sektion Schulter- und Ellenbogenchirurgie
- » Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie (CMSC) Charité – Universitätsmedizin Berlin



Dr. med. Michael Manzke

- » Klinik für Arthroskopische Chirurgie, Sporttraumatologie und Sportmedizin
- » BG Unfallklinikum Duisburg



Priv.-Doz. Dr. med. Ralf Müller-Rath

- » Orthopädische Praxisklinik Neuss I Düsseldorf
- » Standort Neuss



Priv.-Doz. Dr. med. Jonas Pogorzelski

- » Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie
- » Klinikum rechts der Isar Technische Universität Münche



DDr. med. **Jakob Schanda** 

- » AUVA Traumazentrum Wien, Standort Meidling
- » Ludwig Boltzmann Institut für Experimentelle u. Klinische Traumatologie
- » Austrian Cluster for Tissue Regeneration



Prof. Dr. med. Benedikt Schliemann

- » Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
- » Universitätsklinikum Münster



Priv.-Doz. Dr. med. Marco Schneider

- » MVZ Praxisklinik Orthopädie Aachen
   » Sektion Gelenk- und Extremitäten-chirurgie, Uniklinik RWTH Aachen



Priv.-Doz. Dr. med. **Bastian Scheiderer** 

- » Abteilung und Poliklinik für
- Sportorthopädie

  » Klinikum rechts der Isar Technische Universität München



Prof. Dr. med. **Mathias Wellmann** 

» Orthoprofis, Hannover



Dr. med. **Barbara Wirth** 

- » Schulter- und Ellbogenchirurgie
- » Gelenkzentrum Zürich, Schweiz

## **Inhaltsverzeichnis**

Epide	miologie der Rotatorenmanschettenruptur	7
Diagn	ostik und Klassifikationen	
1. 2.	Anamnese und spezifische Untersuchung bei Pathologien der Rotatorenmanschette  Bildgebende Diagnostik und Klassifikationen von Rotatorenmanschettenrupturen (RMR)	
Thera	pie	
3.	Die Therapie der Rotatorenmanschettenruptur – operativ oder konservativ?	35
4.	Operative Therapie primärer Subscapularissehnen-Rupturen	39
5.	Operative Therapie posterosuperiorer Rupturen der Rotatorenmanschette	46
6.	Behandlungsalgorithmus bei Re-Ruptur	57
7.	Biologische Augmentation von Rotatorenmanschettenrekonstruktionen	64
Орега	ative Therapieoptionen bei irreparablen Rupturen der Rotatorenmanschette	
8.	Debridement und In-Space Ballon	70
9.	Partial repair – SCR (Allograft, Fascia lata, LBS)	72
10.	Latissimus dorsi Transfer und Lower Trapezius Transfer	81
Nacht	pehandlung	
11.	Nachbehandlung nach operativer Versorgung von Rupturen der Rotatorenmanschette	88

### Epidemiologie der Rotatorenmanschettenruptur (E. Buess, M. Hackl)

#### 1) Prävalenz: Körperspenderstudien vs Ultraschall

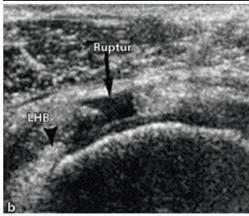
Ältere Arbeiten stützten sich in der Regel auf die Untersuchung von Körperspendern («cadaveric studies») und fanden dabei hohe Prävalenzen von 32 bis 63% für partielle und/oder komplette Rotatorenmanschetten (RM)-Läsionen [13]. Yamanaka & Fukuda fanden hingegen in einer Studie von 249 Körperspendern nur 7% komplette und 13% Partialrupturen des Supraspinatus [17]. Von Interesse ist hier die Unterteilung der Partialrupturen in bursaseitige (2.4%), artikuläre (3.6%) und intratendinöse (7.2%).

Neuere Arbeiten stützen sich auf die Arthroskopie als so genannten "Goldstandard", auf die MRT mit der exaktesten Bildgebung für Partialläsionen und Tendinopathien, vor allem aber auf die Sonografie als kostengünstige und nichtinvasive Methode, welche die Untersuchung großer Kollektive mittels Ultraschall (US) erlaubt und somit den wichtigsten Beitrag zur Erforschung der Epidemiologie liefert (■ Abb. 1a bis 1c). Aus der Fülle der Arbeiten seien vier herausgegriffen.

Yamaguchi et al. untersuchten 588 Patienten mit einseitigem Schulterschmerz sonografisch an beiden Schulter und fanden eine beidseits intakte RM bei 212. unilaterale RM-Läsionen (partiell und komplett) bei 199 und bilaterale bei 177 Personen [15]. Symptomatische Rupturen waren 30% größer als asymptomatische und Schmerzzunahme korrelierte mit Rupturvergrößerung. Patienten mit einer einseitigen Komplettruptur hatten mit einer Prävalenz von 36% eine solche auch auf der asymptomatischen Gegenseite. Dagegen hatten Patienten mit einem normalen US-Befund auf der schmerzhaften Seite in nur 0.5% eine Komplettruptur auf der anderen. Die Dicke der RM bei den intakten Schultern betrug sonografisch 4.7mm unabhängig von Alter, Geschlecht oder ob symptomatisch oder asymptomatisch. Zusammenfassend empfehlen die Autoren ein jährliches US-Monitoring für Patienten mit einer diagnostizierten RM-Ruptur, um eine Vergrößerung rechtzeitig zu erfassen.

Moosmayer et al. untersuchten mittels US 420 asymptomatische Freiwillige (behandelt wegen Meniskusproblem, Hallux etc.) in 3 gleich großen Alterskohorten von 50-59, 60-69 und 70-79 Jahren [10]. Die Prävalenz für asymptomatische Komplettrupturen war (aus unbekannten Gründen) mit





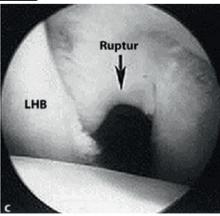


Abb. 1a bis 1c ▲ Sonografie der Rotatorenmanschette
a: normale RM sagittal (LHB, lange Bicepssehne; RC, Rotatoren-Manschette; B, verdickte Bursa) | b: Manschetten-Ruptur mit Beteiligung des
"anterior cable" | c: gleicher Befund wie b bei der Arthroskopie © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

insgesamt 7.6% wesentlich niedriger als in vergleichbaren Studien, auf die Altersgruppen aufgeteilt waren es 2.1% vs 5.7% vs 15%. Die Mehrzahl der Läsionen waren unter 3 cm groß und auf die Supraspinatussehne beschränkt.

Yamamoto et al. nutzten einen medizinischen Check-up für die Einwohner eines japanischen Dorfes zum Ultraschall-Screening der Schultern [16]. Bei 683 untersuchten Personen (1366 Schultern) war die Prävalenz einer kompletten RM-Läsion insgesamt 21,7%; beim Vorliegen von Symptomen war die Häufigkeit einer RM-Ruptur 36%, bei fehlenden Symptomen lediglich 17%. Die Häufigkeit war stark altersabhängig ( Abb. 2). Die Autoren identifizierten folgende Risikofaktoren für das Vorliegen einer RM-Ruptur: anamnestisch Angabe eines Traumas, dominanter Arm und Alter. Die Odds-Ratio für den Risikofaktor Trauma war 2,5.

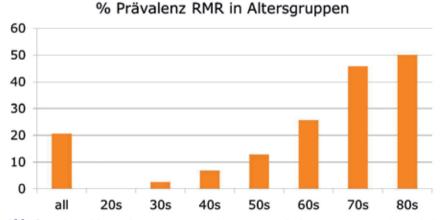
Schließlich sei der systematische Review von *Teunis* et al. besprochen [13]: 30 Studien mit insgesamt 6112 Schultern wurden selektioniert und die Häufigkeit von Abnormitäten (partielle oder komplette Läsionen) berechnet. Diagnostische Modalitäten waren die Arthrotomie, Arthroskopie, MRT und am häufigsten der US. Die Kollektive umfassten die 4 Gruppen: allgemeine Bevölkerung, asymptomatische Individuen, symptomatische Patienten und Patienten nach einer Luxation. Die festgestellte altersabhängige Zunahme von 9.7% bei unter 20-jährigen (nach Luxation resp. bei Sportlern) auf 62% bei über 80-jährigen legt gemäss den Autoren nahe, die Veränderungen der RM weniger als Verschleiss, sondern eher als inhärenten degenerativen Prozess, wie etwa das Ergrauen des Haares aufzufassen.

Zusammenfassend ist es heute erstmals möglich, dank der sonografischen Untersuchung größerer Populationen exakte Angaben über die Prävalenz von RM-Rupturen sowohl bei symptomatischen wie auch bei asymptomatischen Personen zu machen. Wie in den Körperspenderstudien divergieren die Zahlen auch in den US-basierten Untersuchungen ganz erheblich.

#### 2) Natürlicher Krankheitsverlauf ("Natural history")

Zum Studium des natürlichen Krankheitsverlaufs von degenerativen RM-Läsionen bieten sich Longitudinalstudien an, bei denen Patienten, welche eine einseitig schmerzhafte und auf der anderen Seite eine asymptomatische Läsion aufweisen, über einen längeren Zeitraum beobachtet werden [2, 5]. Meist wird untersucht, ob und in welchem Ausmass eine messbare Vergrösserung der Ruptur eintritt und ob und wann sich neue Schmerzen einstellen, d.h. eine zuvor asymptomatische Läsion symptomatisch wird.

Keener et al. haben 224 Personen über 5 Jahre beobachtet und alljährlich mit US untersucht [6]. Bei 49% aller Schultern wurde eine Vergrößerung der Läsion nach durchschnittlich 2,8 Jahren beobachtet. Die Wahrscheinlichkeit einer Vergrößerung war bei Komplettrupturen größer als bei partiellen (61% vs 44%). Ebenso war die Rupturvergrößerung mit dem Auftreten von Schmerzen assoziiert und trat an der dominanten Schulter häufiger auf.



**Abb. 2** ▲ Altersabhängigkeit von RM-Komplett-Rupturen [16] © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Eine andere Langzeitverlaufsstudie von *Moosmayer* et al. verfolgte 49 Patienten mit konservativ behandelten klein- bis mittelgroßen Rupturen über 9 Jahre mittels Sonografie und MRT [9]. 33 Patienten zeigten eine Vergrößerung von < 10mm, 16 Patienten eine solche von > 10mm. Eine Zunahme der fettigen Muskelinfiltration trat bei 41% auf. Sie folgern, dass meistens eine anatomische Verschlechterung der Situation auftritt, diese jedoch im Ausmaß oft moderat bleibt ( Abb. 3a und 3b).

Eine Metaanalyse von Chalmers et al. über die Auswirkungen eines RM-Repairs auf den Krankheitsverlauf mit 1583 Patienten aus 29 Studien verglich die "Repair" mit den "No-Repair" Gruppen [1]. Die "Repair" Gruppen zeigten wohl eine geringere finale Rupturgröße als die "No-Repair" Gruppen, jedoch fand sich kein Unterschied im Constant Score und die gleiche Wahrscheinlichkeit einer Re-Ruptur nach Repair wie für eine Rupturvergrößerung nach konservativer Therapie. Die Konklusion der Autoren lässt aufhorchen: Es bleibe bis heute ungewiss, ob ein RM-Repair den natürlichen Krankheitsverlauf bei degenerativer RM-Läsion überhaupt ändere.

In seinem Kommentar zu einer randomisierten Studie zum Thema operative vs konservative Therapie äussert sich *Yamaguchi* wie folgt: Ob eine operierte RM heile sei eben sehr stark altersabhängig, indem das Durchschnittsalter eines Patienten dessen Manschette heilt um die 53-55 Jahre liege, dasjenige eines Patienten, bei dem die Heilung nicht eintritt um 63-65 Jahre [14].

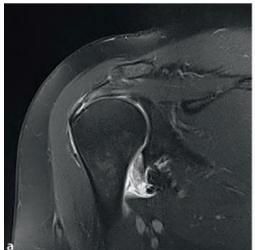
#### 3) Genetik

Ein systematischer Review von Dabija et al. resümiert 7 Studien, die sich mit genetischen und familiären Einflüssen auf die Entstehung einer atraumatischen RM-Ruptur befassen [3]. Es sei wahrscheinlich, dass die Ätiologie über Faktoren wie Überbeanspruchung und repetitives Microtrauma hinausgehe. Eine Studie konnte bei Geschwistern ein zweifach erhöhtes Risiko einer RM-Ruptur im US zeigen, im Vergleich zur Kontrollgruppe der

Ehepartner [4]. Das Risiko für Symptome war sogar 5-fach erhöht. Studien, welche Assoziationen bestimmter genetischer Haptotypen und SNP (Single Nucleotid Polyphormismen) mit einer RM-Pathologie aufzeigen, liegen vor, sind aber noch präliminär und erlauben keine Frühdiagnose von Risikopersonen.

#### 4) Weitere Riskofaktoren

Rauchen ist ein häufig genannter Risikofaktor für die Entwicklung einer RM-Läsion. Da Nikotin ein potenter Vasokonstriktor ist, erscheint die Gewebehypoxie in der «kritischen Zone» innerhalb des Rotatorenbogens als plausible Hypothese. Es konnte gezeigt werden, dass Zigarettenrauchen nicht nur das Risiko der Entstehung einer RM-Ruptur vergrössert, sondern auch zu grösseren Rupturen und Heilungsverschlechterung nach einer Operation führt [12]. Die additive Rolle einer Hypercholesterinämie wird als weiterer Risikofaktor ins Spiel gebracht, indem man einen negativen Effekt der erhöhten Serum-Lipide auf die biome-



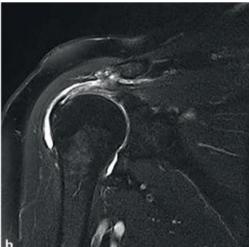


Abb. 3a und 3b ▲ Langsame Progression einer degenerativen Ruptur über einen 2-Jahresverlauf © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

chanischen Eigenschaften des Sehnengewebes postuliert.

Eine Studie mit einer großen Bevölkerungsgruppe in England von Yanik et al. suchte nach Risikofaktoren für das Eintreten einer RM-Operation über einen Zeitraum von 8 Jahren [18]. Die Kohorte umfasste über 400.000 Personen im Alter von 40-69 Jahren aus einer britischen Datenbank; die Datenerhebung erfolgte per Fragebogen. Diese Daten wurden mit Angaben der Spitäler in Bezug auf ICD-Codes über RM-Chirurgie korreliert. Die Auswertung belegt als Riskofaktoren für das Auftreten einer RM-Chirurgie das Alter, männliches Geschlecht und als beeinflussbare Faktoren hoher BMI und andauernd hohe berufliche Schulterbelastung. Höherer Sozialstatus und Rauchen inklusive Passivrauchen waren weitere relevante Risikofaktoren.

# 5) Debatte traumatische vs atraumatische Ruptur

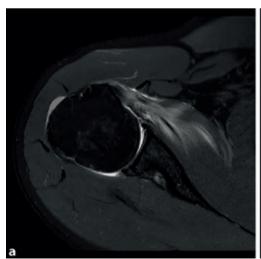
Wie im Abschnitt 2) resümiert, überwiegt in der epidemiologischen

Literatur bei weitem das Interesse an den verschiedenen Einflussfaktoren auf die «Naturgeschichte» der RM-Degeneration, welche auch als «Rotator cuff disease» bezeichnet wird. Währenddessen werden traumatische Faktoren oft nur nebenbei erwähnt. Dieses Thema hat jedoch - wie jedem Schulterchirurgen bekannt - große versicherungsmedizinische Bedeutung und die Abgrenzung erweist sich oft als schwierig.

Die Bildgebung gibt zwar Hinweise, aber oft keine handfesten Beweise. Loew et al haben die radiologischen Kriterien für akut-traumatische im Vergleich zu chronisch-degenerativen RM-Läsionen an einer Serie von 50 Patienten untersucht [7]. 25 davon (Gruppe A) hatten in den letzten 6 Wochen ein frisches Trauma und keine Schmerzen davor, die anderen 25 (Gruppe B) kein Trauma und Schmerzen seit längstens 12 Monaten. Es zeigte sich, dass im konventionellen Röntgen keine Unterschiede ausgemacht werden konnten. Hingegen diskriminierte die MRT wie folgt: Ein Ödem im betroffenen Muskel (Gruppe A zu B = 38 vs. 4 %) und eine

wellenförmige Sehne sog. "kinking" (64 vs. 32 %) sprachen klar für eine traumatische Genese (■ Abb. 4). Nicht überraschend zeigten die Patienten in Gruppe B mehr Muskelatrophien (29 vs. 60 %).

Nyffeler et al. stellen in einem soeben erschienenen Artikel die Frage: «Can a simple fall cause a rotator cuff tear?» [11]. Die Autoren haben nach einer Literatursuche zu den Stichworten «acute or traumatic rotator cuff tear» und «fall AND rotator cuff tear» 67 Artikel mit gegen 11 000 Schultern ausgewertet. Insgesamt wurden über 4000 Fälle, d.h. 37% einem Trauma zugeschrieben. Folgende Ursachen traten in absteigender Häufigkeit auf: Sturz, Luxation, Traktionsverletzung, Sportverletzung, Prellung, Verkehrsunfall, Festhalten an einem Geländer; in der Hälfte der Fälle war der Unfallmechanismus unklar. Regelmässig wird der Arm reflexartig benutzt, um den Kopf zu schützen. Manche Autoren betrachten einen einfachen Sturz als Bagatelltrauma, was aber unlogisch erscheint, treten doch die meisten Frakturen (z.B. Hüfte, Handgelenk, Clavicula etc,) bei

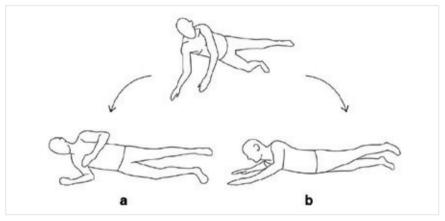




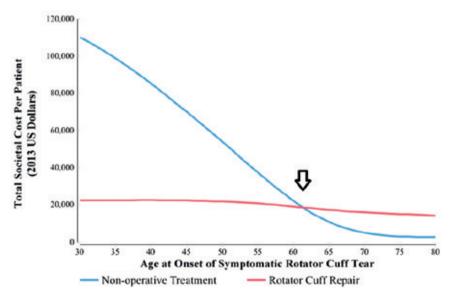
**Abb. 4** ▲ a: Traumatisches Muskelödem im Subscapularis | b: Abknicken («kinking») der Supraspinatussehne bei traumatischer Ruptur © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

einem einfachen Sturz auf. In Sturzsimulationen mit Testpuppen wurden Spitzenbelastungen vom 3-10-fachen des Körpergewichts auf die Schulter berechnet. Abb. 5 zeigt einen typischen Sturz mit Schutzreflex für das Gesicht, wobei in Situation a) die posterosuperiore und in b) die anterosuperiore RM gestresst werden. Die Autoren folgern, dass aufgrund klinischer Studien und biomechanischer Überlegungen ein

einfacher Sturz durchaus geeignet ist, eine RM-Ruptur bei Personen jeglichen Alters zu erzeugen. Die Kräfte, welche beim Versuch den Sturz abzufedern auftreten, übersteigen lokal die «tensile force» der Sehnenfasern und sind bei weitem ausreichend, eine partielle oder komplette RM-Ruptur zu verursachen.



**Abb.** 5 ▲ Unfallmechanismus bei Stürzen [11] a: Stress auf die posterosuperiore RM | b: Stress auf die anterosuperiore RM © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb.** 6 ▲ Gesamtgesellschaftliche Kosten der RM-Rekonstruktion in den USA [8] © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### 6) Gesundheitsökonomie

Die Bedeutung des Problems RM-Ruptur wird durch eine einfache Zahl illustriert: Alljährlich werden in den USA 250 000 (eine Viertelmillion!) Operationen an der RM durchgeführt – Tendenz steigend. In Westeuropa ist die Situation ähnlich. Die neuen Möglichkeiten des arthroskopischen Operierens mit ihren verbesserten Resultaten tragen dazu bei. Die Frage stellt sich nach der Evidenz: Lohnt sich der riesige Aufwand überhaupt für die Patienten und inwieweit sind die dadurch für die Gesellschaft entstehenden hohen Kosten gerechtfertigt?

Eine Studie von Mather et al. aus den USA versucht den gesundheitsökonomischen Wert der RM-Rekonstruktion zu berechnen und zu guantifizieren [8]. Es wurden sowohl die direkten Kosten einer operativen vs konservativen Behandlung, als auch indirekte Kosten, wie etwa Einkommensverlust oder Zahlungen wegen Arbeitsunfähigkeit in die Berechnung mit einbezogen und nach Altersgruppen aufgeschlüsselt. Das Resultat ( Abb. 6) zeigt, dass die operative Behandlung bis zum Alter 61 gesellschaftliche Netto-Ersparnisse produziert (z.B. 80 000 USD pro Fall für die Kohorte der 30-39jährigen), resp. Zusatzausgaben bei den mehr als 61jährigen (z.B. 12 000 USD bei den 70-79jährigen). Insgesamt wurden die gesellschaftlichen Kosteneinsparungen des RM-Repairs auf jährlich über 3 Milliarden geschätzt – eine eindrucksvolle Zahl zuhanden der Gesundheitspolitiker! Des Weiteren arbeitet die Studie mit dem QALY Begriff (= Quality Adjusted Life Year, übersetzt: qualitäts-adjustiertes Lebensjahr) und kommt zum Schluss, dass die Operation höhere QALYs für alle Patientengruppen produziere und für alle kosteneffektiv sei. Dies bedeutet jedoch keineswegs, dass alle Patienten operiert werden sollen!

#### Take Home Message

Die Behandlung der RM-Ruptur hat eine grosse sozioökonomische Bedeutung und steht daher im Fokus der politischen Entscheidungsträger. Der gesamtgesellschaftliche Nutzen ist nachgewiesen.

Die Sonografie erlaubt die Untersuchung grosser Kollektive und hat für asymptomatische Personen eine Prävalenz von 7-17% für Komplettrupturen gezeigt mit einer sehr starken Altersabhängigkeit. Bei symptomatischen Personen und bei Einschluss von Partialrupturen steigen diese Zahlen auf das doppelte. Der Ultraschall erlaubt ebenfalls Longitudinalstudien zum natürlichen Krankheitsverlauf degenerativer Läsionen. Es wird eine moderate Rupturvergrösserung über Jahre beobachtet, welche mit einer Schmerzzunahme korreliert und bei kompletten Rupturen wesentlich schneller verläuft als bei partiellen.

Genetische Einflüsse sind aufgrund des doppelt so hohen Risikos für Geschwister wahrscheinlich. Weitere bedeutsame Risikofaktoren sind: Hoher BMI, Rauchen, hohe berufliche Belastung und Trauma.

Die für den Schulterchirurgen bedeutsame traumatisch Ätiologie wird von der epidemiologischen Forschung vernachlässigt. Wir wissen aber, dass in rund 40% der Fälle ein Trauma involviert ist, und dass bei einem einfachen Sturz hohe Spitzenbelastungen auf die RM einwirken, welche bei weitem für eine Ruptur ausreichen.

#### Korrespondenzadresse:

**Priv.-Doz. Dr. med. Michael Hackl** siehe Seite 63

#### Literatur:

- [1] Chalmers PN, Ross H, Granger E, Presson AP, Zhang C, Tashjian RZ. The Effect of Rotator Cuff Repair on Natural History: A Systematic Review of Intermediate to Long-Term Outcomes. JB JS Open Access 2018;3(1):e0043. 10.2106/JBJS.OA.17.00043
- [2] Codding JL, Keener JD. Natural History of Degenerative Rotator Cuff Tears. Curr Rev Musculoskelet Med 2018;11(1):77-85. 10.1007/s12178-018-9461-8
- [3] Dabija DI, Gao C, Edwards TL, Kuhn JE, Jain NB. Genetic and familial predisposition to rotator cuff disease: a systematic review. J Shoulder Elbow Surg 2017;26(6):1103-1112. 10.1016/j.jse.2016.11.038
- [4] Harvie P, Ostlere SJ, Teh J, McNally EG, Clipsham K, Burston BJ, et al. Genetic influences in the aetiology of tears of the rotator cuff. Sibling risk of a full-thickness tear. J Bone Joint Surg Br 2004;86(5):696-700. 10.1302/0301-620x.86b5.14747
- [5] Hsu J, Keener JD. Natural History of Rotator Cuff Disease and Implications on Management. Oper Tech Orthop 2015;25(1):2-9. 10.1053/j.oto.2014.11.006
- [6] Keener JD, Galatz LM, Teefey SA, Middleton WD, Steger-May K, Stobbs-Cucchi G, et al. A prospective evaluation of survivorship of asymptomatic degenerative rotator cuff tears. J Bone Joint Surg Am 2015;97(2):89-98. 10.2106/JBJS.N.00099
- [7] Loew M, Magosch P, Lichtenberg S, Habermeyer P, Porschke F. How to discriminate between acute traumatic and chronic degenerative rotator cuff lesions: an analysis of specific criteria on radiography and magnetic resonance imaging. J Shoulder Elbow Surg 2015;24(11):1685-93. 10.1016/j. jse.2015.06.005
- [8] Mather RC, 3rd, Koenig L, Acevedo D, Dall TM, Gallo P, Romeo A, et al. The societal and economic value of rotator cuff repair. J Bone Joint Surg Am 2013;95(22):1993-2000. 10.2106/JBJS.L.01495
- [9] Moosmayer S, Gartner AV, Tariq R. The natural course of nonoperatively treated rotator cuff tears: an 8.8-year follow-up of tear anatomy and clinical outcome in 49 patients. J Shoulder Elbow Surg 2017;26(4):627-634. 10.1016/j.jse.2016.10.002
- [10] Moosmayer S, Smith HJ, Tariq R, Larmo A. Prevalence and characteristics of asymptomatic tears of the rotator cuff: an ultrasonographic and clinical study. J Bone Joint Surg Br 2009;91(2):196-200. 10.1302/0301-620X.91B2.21069

- [11] Nyffeler RW, Schenk N, Bissig P. Can a simple fall cause a rotator cuff tear? Literature review and biomechanical considerations. Int Orthop 2021;10.1007/s00264-021-05012-6
- [12] Tashjian RZ. Epidemiology, natural history, and indications for treatment of rotator cuff tears. Clin Sports Med 2012;31(4):589-604. 10.1016/j.csm.2012.07.001
- [13] Teunis T, Lubberts B, Reilly BT, Ring D. A systematic review and pooled analysis of the prevalence of rotator cuff disease with increasing age. J Shoulder Elbow Surg 2014;23(12):1913-1921. 10.1016/j. jse.2014.08.001
- [14] Yamaguchi K. Initial Nonoperative Care Is Reasonable for Older Patients: Commentary on an article by Juha Kukkonen, MD, PhD, et al.: "Treatment of Nontraumatic Rotator Cuff Tears. A Randomized Controlled Trial with Two Years of Clinical and Imaging Follow-up". J Bone Joint Surg Am 2015;97(21):e70. 10.2106/JBJS.O.00794
- [15] Yamaguchi K, Ditsios K, Middleton WD, Hildebolt CF, Galatz LM, Teefey SA. The demographic and morphological features of rotator cuff disease. A comparison of asymptomatic and symptomatic shoulders. J Bone Joint Surg Am 2006;88(8):1699-704. 10.2106/JBJS.E.00835
- [16] Yamamoto A, Takagishi K, Osawa T, Yanagawa T, Nakajima D, Shitara H, et al. Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. J Shoulder Elbow Surg 2010;19(1):116-20. 10.1016/j. jse.2009.04.006
- [17] Yamanaka K, Fukada H, Pathologic studies of the supraspinatus tendon with reference to incomplete partial thickness tear In: The Shoulder. Tokyo: Professional Postgraduate Services, Takagishi N, Editor. 1987. p. 220–224.
- [18] Yanik EL, Colditz GA, Wright RW, Saccone NL, Evanoff BA, Jain NB, et al. Risk factors for surgery due to rotator cuff disease in a population-based cohort. Bone Joint J 2020;102-B(3):352-359. 10.1302/0301-620X.102B3.BJJ-2019-0875.R1

# Advanced healing solutions

Heilungspotential neu definiert

# Smith-Nephew

REGENESORB<sup>o</sup> Material Innerhalb von 24 Monaten durch Knochen ersetzt.\*<sup>1,2</sup>





Resorption, gemessen mittels µCT, nach 6 und 18 Monaten.<sup>3</sup>



HEALICOIL<sup>o</sup>
KNOTLESS



HEALICOIL® REGENESORB



REGENETEN<sup>§</sup>
Bioinduktives Implantat

Weitere Infos auf smith-nephew.com.de



# 1. Anamnese und spezifische Untersuchung bei Pathologien der Rotatorenmanschette (M. Schneider)

#### 1. Anamnese

#### 1.1 Anamnese

Eine strukturierte Anamnese kann bei Patienten mit Schulterschmerzen wichtige Hinweise auf die zugrunde liegende Pathologie liefern und Therapiemaßnahmen maßgeblich beeinflussen. Ziel der Anamnese ist es, die Ursache der Einschränkungen und deren Dauer schnell zu erfassen und dadurch den Leidensdruck des Patienten abschätzen zu können. Die Anamnese muss dafür nicht übermäßig lang ausfallen, sondern sich auf spezifische Aspekte konzentrieren, welche beispielhaft erläutert werden:

#### Traumatische oder atraumatische Genese?

Die Frage nach einem stattgehabten Trauma oder auslösenden Ereignis stellt nicht selten die Eingangsfrage dar. Weitere Fragen zu Unfallfolgen schließen sich unmittelbar an. Bei positiver Traumaanamnese und passendem klinischen Befund können Untersuchung wie Sonographie, Röntgen oder Schnittbildgebung zeitnah empfohlen werden.

#### - Dauer der Beschwerden?

#### Schmerzcharakter? Nachtschmerzen?

Das Verständnis der Schmerzen ist essenziell für die Therapieentscheidung. Dabei wird zwischen Ruheund Belastungsschmerz unterschieden. Aus der Erfahrung liegen bei Rotatorenmanschettenläsionen sowie bei adhäsiver Kapsulitis häufig lageunabhängige Nachtschmerzen vor. Bei vielen anderen Schultererkrankung werden Nachtschmerzen zwar bejaht [12], diese aber meist "nur beim Liegen auf der Schulter" angegeben. Dabei ist der exakte Pa-

thomechanismus hinter den nächtlichen Schmerzen noch nicht abschließend geklärt [8, 11]. Auch der Hinweis auf ausstrahlende Schmerzen bzw. der Schmerzlokalisation kann wichtige Hinweise liefern (zB ob eher ein muskuläres oder ein zervicogenes Schmerzsyndrom vorliegt).

#### Einschränkungen im privaten / beruflichen Alltag?

Mit dem Wissen der körperlichen Einschränkung kann die Notwendigkeit von invasiven Maßnahmen abgeschätzt werden. Dabei sollte auch eine mögliche Arbeitsunfähigkeit und deren Dauer abgefragt und der sportliche Anspruch des Patienten eruiert werden.

#### - Bisherige Therapie?

Für die Entscheidung zwischen konservativer und operativer Therapie ist entscheidend, welche Maßnahmen bereits durchgeführt wurden. Die drei Säulen stellen dabei die orale Schmerztherapie, die Krankengymnastik sowie nicht-invasive bzw. invasive Maßnahmen wie Infiltrationen. Stoßwellentherapie etc. dar. In diesem Zusammenhang sollte sowohl die Dosierung und Dauer der Schmerzmittel als auch die bei der Krankengymnastik durchgeführten Techniken erfragt werden. Auch Voroperationen finden dabei Erwähnung.

#### Nebendiagnosen / Begleitpathologien?

Dabei sollten gängige Erkrankungen abgefragt werden, welche die weitere Therapie maßgeblich beeinflussen könnten (zB Diabetes mellitus, orale Antikoagulation, Fibomyalgie, HWS-Syndrom, Ellenbogenschmerzen etc.)

#### 2. Klinische Untersuchung

# 2.1 Schmerzlokalisation / Palpation

Zu Beginn der klinischen Untersuchung, die zumeist im Stand durchgeführt wird, dabei sollten sowohl die Schultern als auch Schulterblätter entkleidet sein und eine Untersuchung bei anliegender Kleidung unbedingt vermieden werden. Der Patient sollte dem Untersucher die Schmerzlokalisation möglichst präzise aufzeigen. Daran anschließend kann eine Palpation der gängigen Schmerzpunkte (Bizepssulcus, AC-Gelenk, Coracoid und Conjoint Tendon, Acromion und Spina scapulae, Tuberculum majus, dorsale Muskulatur mit möglichen Triggerpunkten) erfolgen, wobei zwischen "Provokation der bekannten Schmerzen" und "reinem Druckschmerz durch die Untersuchung" unterschieden werden sollte. Es bietet sich eine Untersuchung im Seitenvergleich an.

#### 2.2 Bewegungsumfang

Die Überprüfung der Bewegungsumfänge erfolgt nach Neutral-Null-Methode [5, 17]. Die Ausgangsposition oder Neutral-Null-Stellung ist dabei standardisiert ( Abb. 1a und 1b). Zunächst wird die aktive Beweglichkeit (Anteversion, Elevation, tiefe Außenrotation und Innenrotation mit Hilfe des Schürzengriffs) im Seitenvergleich erfasst und mit der entsprechenden Gradzahl angegeben. Daraufhin wird auch die passive Beweglichkeit überprüft, wobei dabei vor allem auch die glenohumerale Beweglichkeit mit Fixierung der Scapula im Codman Handgriff getestet werden sollte. Oftmals ergeben sich hier Einschränkungen, welche bei der aktiven Bewegungsprüfung übersehen werden können. Im Codman Handgriff sollten daher die glenohumerale Abduktion, die tiefe Außenrotation sowie die hohe Innenrotation ( Abb. 2) begutachtet werden.

#### 2.2.1 Kapselmuster nach Cyriax

Die Diagnose der adhäsiven Kapsulitis oder Frozen Shoulder wird anhand der klinischen Untersuchung gestellt. Bei reduzierter Beweglichkeit mit hartem Endgefühl spricht man von einem positivem Kapselmuster, welches sich durch die fibrotische Veränderung der Gelenkkapsel bedingt [4]. Nicht selten stellt sich am Ende der Bewegungsamplitude ein starker Schmerz ein, welcher allerdings vom Stadium der Erkrankung abhängig ist und variieren kann [16].

#### 2.2.2 Pseudoparalyse / Pseudoparese

Die beiden Begriffe sind in der internationalen Literatur zwar noch nicht endgültig definiert, beschrieben aber eine reduzierte aktive Schulterbeweglichkeit. Eine aktuelle Arbeit beschreibt die Pseudoparalyse als Unfähigkeit den Arm in der Scapulaebene auf mehr als 45° zu heben. Bei der Pseudoparese lässt sich ein Bewegungsumfang in der Scapulaebene zwischen >45° und <90° erreichen [6]. Patienten mit Pseudoparalyse weisen dabei weitaus häufiger Massenrupturen mit Beteiligung der Subscapularissehne und einen höheren Grad der Verfettung der Rotatorenmanschette auf [6]. Definitionsgemäß sollten die Begriffe nicht verwendet werden, wenn die Schulterbeweglichkeit ausschließlich schmerzbedingt eingeschränkt ist.

#### 2.3 Rotatorenmanschette

Im eigenen Vorgehen folgt nach Begutachtung des Bewegungsumfangs die Testung der Rotatorenmanschette, für die unzählige Tests existieren. Beispielhaft wird auf einige dieser Untersuchungsmöglichkeiten eingegangen:

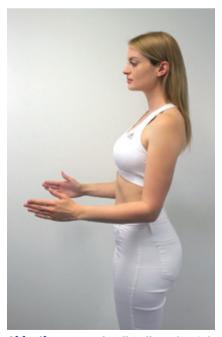
#### 2.3.1 Supraspinatussehne

#### Drop-Arm-Test oder Drop-Arm-Sign

Der betroffene Arm wird passiv auf 90° Abduktion geführt und der Patient aufgefordert, den Arm in dieser Stellung zu halten. Wenn die Position nicht aktiv gehalten werden kann und der Arm abfällt, wird der Test als positiv gewertet.



**Abb. 1a** ▲ Neutral-Null-Stellung für Anteversion (Flexion) und Abduktion (bzw. Elevation) © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 1b** ▲ Neutral-Null-Stellung für tiefe Außen- / Innenrotation © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 2** ▲ Prüfung der hohen Innenrotation im Codman-Handgriff © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### Jobe-Test (Variationen: Full-Can- und Empty-Can-Test)

Der Jobe-Test lässt sich in Full- und Empty-Can-Test unterteilen, wobei der Begriff "Jobe-Test" in der Regel als Synonym für den Full-Can-Test genutzt wird. Es bietet sich an den Test im Seitenvergleich durchzuführen. Dabei werden die Arme des Patienten in der Skapulaebene auf ca. 90° Abduktion gebracht (Skapulaebene = ca. 25-30° Horizontalflexion) während der Daumen jeweils gen Decke zeigt ( Abb. 3). Der Patient wird aufgefordert den Arm gegen einen vom Untersucher ausgeübten Widerstand nach kaudal in Richtung Decke zu drücken. Beim Empty-Can-Test zeigen die Daumen zum Boden, so dass eine Innenrotation im Oberarm durchgeführt wird ( Abb. 4). Hintergrund ist, dass dadurch eher die dorsalen Anteile der Rotatorenmanschette provoziert werden sollen. Bei Schmerzen wird der Test als positiv gewertet, wobei eine zusätzliche Erwähnung des Kraftgrads nach Janda [10] zur besseren Einschätzung beitragen kann, zB Full-Can-Test positiv (M4).

#### Starter-Test oder 0°-Abduktionstest

In der Akutsituation ist der Jobe-Test aufgrund von Schmerzen oftmals nicht durchführbar. Beim
genannten Test wird der Patient
aufgefordert, den in Neutralstellung befindlichen Arm gegen den
Widerstand des Untersuchers zu
abduzieren ( Abb. 5). Bei fehlender Kraft oder starken Schmerzen
kann dies für eine Schädigung der
Rotatorenmanschette sprechen,
wobei bei dieser Bewegung auch
der M. deltoideus und Teile des M.
serratus anterior beteiligt sind.

#### 2.3.2 Infraspinatusssehne

#### - Außenrotationstest / Patte Test

Beim Außenrotationstest soll der Patient die in 0° Abduktion und im Ellenbogengelenk 90° flektierten Arme (Neutralstellung für Rotation) gegen Widerstand nach außen drehen (■ Abb. 6). Zwar beteiligen sich sowohl der M. deltoideus als auch M. teres minor an der Außenrotation, allerdings können durch den Test provozierte Schmerzen lateral bzw. dorsolateral und ein Kraftdefizit für eine Läsion der

posterosuperioren Rotatorenmanschette sprechen. Um die Beteiligung der Außenrotation durch den M. deltoideus zu reduzieren, kann der Test bei 90° abduziertem Arm starten aus einer Neutralrotation wiederholt werden. In dieser Ausführung wird vom Patte Test gesprochen.

#### Außenrotations-Lag-Sign

Bei diesem Test wird der Arm des Patienten aus einer Neutralstellung (0° Abduktion, 90° Flexion im Ellenbogengelenk) passiv in die maximale Außenrotation gebracht und der Patient anschließend aufgefordert, diese Position zu halten ( Abb. 7a). Schnellt der Arm in Richtung Neutralstellung zurück, kann der Patient die Position also nicht halten, wird von einem positiven Außenrotations-Lag-Sign gesprochen ( Abb. 7b). Die Differenz zwischen maximaler passiver Außenrotation und der maximal aktiver Außenrotation wird in Grad angegeben. Ein Außenrotations-Lag-Sign von über 40° spricht dabei neben einer Verletzung der Infraspinatussehne auch für eine Beteiligung der Sehne des M. teres minor [3].



**Abb. 3**  $\blacktriangle$  Full-Can-Test © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

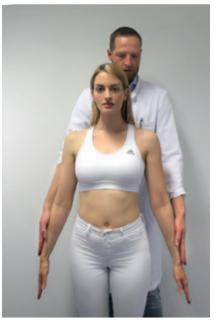


 ${f Abb. 4}$  ▲ Empty-Can-Test © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

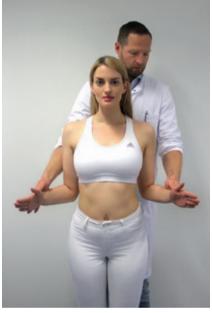
#### 2.3.3 Subscapularissehne

Verletzungen der Subscapularissehne sind aufgrund der Nähe zur Bizepsseh-

ne vor allem bei Pulleyläsionen oftmals schwierig von Pathologien / Instabilitäten der langen Bizepssehne zu unterscheiden.



**Abb. 5** ▲ Starter-Test oder 0°-Abduktionstest) © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb.** 6 ▲ Außenrotationstest © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### Lift-off-Test nach Gerber

Der Arm des Patienten wird auf den Rücken geführt, wobei der Handrücken den unteren Rücken kurz über dem Gesäß berührt. Nun soll der gesamte Arm vom Körper wegbewegt, also abgehoben werden ( Abb. 8). Der Test ist als positiv zu werten, wenn Schmerzen vorliegen bzw. der Arm nicht abgehoben werden kann. Mit Hilfe von Widerstand durch den Untersucher kann im Seitenvergleich eine Einschätzung der isometrischen Kraft, welche abermals nach Janda angegeben wird, erfolgen. Wichtig ist zu beachten, dass der Patient den gesamten Arm und nicht lediglich das Handgelenk gegen Widerstand vom Körper abhebt (■ Abb. 9).

#### Innenrotations-Lag-Sign

An den Lift-off-Test kann dieser Test angeschlossen werden. Dabei wird der Arm des Patienten aus der erwähnten Position vom Rücken passiv abgehoben und der Patient

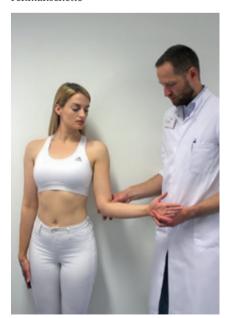


Abb. 7a ▲ Außenrotations-Lag-Sign: Ausgangsstellung mit maximaler passiver Außenrotation in 0° Abduktion © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

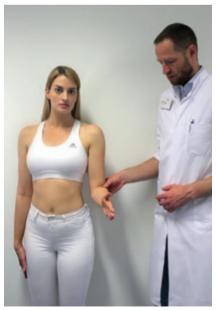


Abb. 7b ▲ Außenrotations-Lag-Sign: Positiver Befund bei fehlender Fähigkeit, den Arm in maximaler Außenrotation zu halten © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

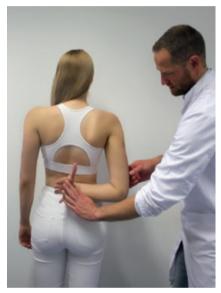


**Abb. 8** ▲ Lift-off-Test nach Gerber © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

aufgefordert, den Arm in der abgehobenen Position zu halten (
Abb. 10a). Ist dies nicht möglich und fällt der Arm zurück auf den Rücken (
Abb. 10b), liegt ein positives Innenrotations-Lag-Sign vor

- und ist verdächtig für eine Läsion der Subscapularissehne [9].
- Belly-Press-Test, modifizierter
   Belly-Press-Test
   Beim Belly-Press-Test sollen beiden

Hände auf Höhe des Bauchnabels fest auf den Bauch gepresst und die Ellenbogen in maximaler Innenrotation vorne vor dem Körper gehalten zu werden ( Abb. 11a). Der Test ist positiv, wenn der Ellen-



**Abb. 9** ▲ Fehlerhafte Ausführung des Lift-off-Test mit Kraftaufbau lediglich über Palmarflexion im Handgelenk © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 10a** ▲ Innenrotations-Lag-Sign: Passives Abheben des Armes vom Körper © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 10b** ▲ Innenrotations-Lag-Sign: Der vom Körper abgehobene Arm kann nicht gehalten werden, der Test ist positiv © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 11a** ▲ Negativer Belly-Press-Test: Beide Arme können in maximaler Innenrotation vor dem Körper gehalten werden © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 11b** ▲ Positiver Belly-Press-Test: Der rechte Arm kann nicht in maximale Innenrotation gebracht werden © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 12a** ▲ Modifizierter Belly-Press-Test nach Scheibel: Ausgangsstellung © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

bogen des betroffenen Armes nicht gehalten werden kann [7] ( Abb. 11b). In der modifizierten Version nach Scheibel werden die Ellenbogen zunächst am Körper gehalten ( Abb. 12a) und sollen dann aktiv nach vorne, also in Innenrotation geführt und die Handgelenke gestreckt werden ( Abb. 12b). Bei Funktionsstörung der Subscapularissehne ist die maximale Innenrotation im Seitenvergleich gehemmt bzw. die Hand lässt sich nicht extendierten und hebt sich unter Umständen vom Körper ab [18]. Beim Belly-Press-Test werden die oberen Anteile des M. subscapularis provoziert, wohingegen der Lift-off-Test eher die unteren Anteile anspricht [2].

#### Bear-Hug-Test

Bei diesem klinischen Test legt der Patient die Handfläche des betroffenen Armes auf die kontralaterale Schulter. Der Ellenbogen zeigt dabei nach vorne und steht optimalerweise horizontal parallel zum Boden. Der Untersucher legt seine Hand unter die des Patienten und übt einen Druck nach kranial, also von der Schulter weg (Außenrotationsbewegung), aus. Der Patient wird aufgefordert die Hand auf der Schulter zu belassen (Innenrotationsbewegung) [1] ( Abb. 13). Der Test wird als positiv gewertet, wenn der Patient beim Versuch die Hand auf der Schulter zu halten Schmerzen verspürt. Die addtive Angabe des Kraftgrads bietet sich an.

#### 2.4 Bizepssehne

Verletzungen der Rotatorenmanschette sind häufig mit Pathologien der langen Bizepssehne assoziiert [19-21]. Aus diesem Grunde ist eine präoperative Evaluation der langen Bizepssehne sinnvoll, um eine möglicherweise additiv notwendige Therapie der langen Bizepssehne einschätzen zu können. Primär erfolgt die Palpation der langen Bizepssehne im Sulcus intertubercularis humeri. Dabei sollte zum einen auf

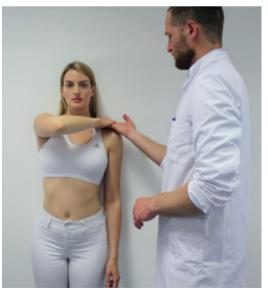
eine Untersuchung im Seitenvergleich geachtet und der Patient unbedingt befragt werden, ob es ein einfacher Druckschmerz ist oder im Alltag bekannte Schmerzen provoziert werden. Zusätzlich können weitere Funktionstests den Verdacht auf Pathologien der langen Bizepssehne erhärten:

#### - O'Brien Test (Active Compression Test)

Beim O'Brien Test wird die betroffene Schulter des Patienten mit gestrecktem Ellenbogengelenk auf 90° flektiert und ca. 15-20° horizontalflektiert. Anschließend erfolgt eine maximale Innenrotation des Oberrmes (Daumen sollte nach unten zeigen) ( Abb. 14a). Der Untersucher übt nun einen Druck von oben auf den Arm aus. Der Patient wird aufgefordert, den Arm gegen den Druck in Richtung Decke zu drücken bzw. zu halten. Die Untersuchung wird dann in Außenrotation (Daumen zeigt zur Decke) wiederholt ( Abb. 14b). Treten bei innenrotiertem Arm Schmerzen auf.



**Abb. 12b** ▲ Modifizierter Belly-Press-Test nach Scheibel: Endstellung © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 13** ▲ Bear-Hug-Test © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

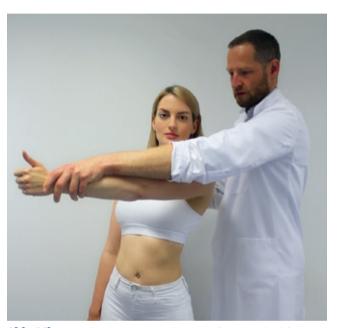
welche sich im Wiederholungstest in Außenrotation reduzieren oder sogar verschwinden, wird der Test als positiv gewertet [14]. Wichtig ist zu beachten, dass der Test aufgrund seiner Ähnlichkeit mit dem Cross-Body-Test auch das AC-Gelenk provoziert. Die Schmerzlokalisation spielt daher eine entscheidende Rolle und glenohumerale Schmerzen sollten von Schmerzen im AC-Gelenk differenziert werden.

#### Speed's Test / Palm-up-Test

Für den Speed-Test existieren verschiedene Beschreibungen daher wird er auch oft mit dem Palm-up-Test gleichgesetzt. Bei beiden Tests wird die Schulter auf 90° Flexion



**Abb. 14a** ▲ O'Brien Test: Testung in maximaler Innenrotation © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 14b ▲** O'Brien Test: Testung in Neutralrotation / Leichter Außenrotation © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 15**  $\blacktriangle$  Palm-up-Test © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 16**  $\blacktriangle$  Speed's-Test © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

und ca. 30° Horizontalflexion gebracht. Beim Palm-up-Test wird der Arm im Ellenbogen gestreckt und die Handinnenfläche zeigt in Richtung Decke ("palm up") (

Abb. 15). Der Untersucher übt nun einen Druck von oben auf den Arm aus während der Patient versuchen soll, den Arm in seiner Ausgangsposition zu halten. Beim Speed's-Test ist der Ellenbogen ca. 70-90° flektiert und der Untersucher versucht den Arm in eine Extension zu ziehen (

Abb. 16).

#### 2.5 "Impingementtests"

Bei der Bezeichnung "Impingement" sollte unbedingt auf die Unterscheidung zwischen "Outlet-Impingement" und "Non-Outlet Impingement" geachtet werden. Ein mechanisches Outlet-Impingement durch einen Acromionsporn ist nach eigener Erfahrung selten. Viel häufiger liegt ein funktionelles Non-Outlet Impingement durch eine Bursitis, eine verdickte tendinopathisch veränderte Supraspinatussehne oder einen Humeruskopfhochstand durch einen reduzierten skapulothorakalen Rhythmus bzw. schwache Rückenmuskulatur vor.

#### - Hawkins-Kennedy Test

Bei diesem Test wird der Arm des Patienten im Schulter- und Ellenbogengelenk jeweils 90° flektiert und maximal innenrotiert. Dadurch kommt es zu einer mechanischen Irritation des Weichteilgewebes zwischen Tuberculum minus bzw. Subscapularissehne und dem Ligamentum coracoacromiale / dem Akromion [22]. Der Test ist positiv, wenn bei der angesprochene Bewegung Schmerzen entstehen.

#### Neer-Test

Beim Neer-Test [13] wird die Skapula des Patienten mittels Codman-Handgriff fixiert und der innenrotierte Arm dann in forcierte Scaption (Elevation in der Skapulaebene) gebracht. Bei Schmerzen wird der Test als positiv gewertet. Im Vergleich zum Hawkins Test kommt es beim Neer-Test zu einem Kontakt zwischen Supraspinatussehne und dem korakoakromialen Bogen [22]. Eine Unterscheidung zwischen Outlet- und Non-Outlet-Impingement ist anhand der klinischen Tests nicht möglich.

## Painful arc (=schmerzhafter Bogen)

Der schmerzhafte Bogen weist eine geringe Spezifität und Sensitivität für die Feststellung eines Impingements auf [15]. Der neutralrotierte Arm des Patienten wird in der Skapulaebene aktiv in die maximale Elevation und wieder zurückgeführt. Bei Schmerzen zwischen 60° und 120° spricht man von einem positiven painful arc.

# 2.6 Erweiterte klinische Untersuchung

Behandlungsbedürftige Pathologien des AC-Gelenks sind selten, daher sollte sich die klinische Untersuchung nicht nur auf die Überprüfung eines Druckschmerz beschränken, sondern unbedingt spezifische Tests (zB Cross-Body-Adduktions- oder Resisted-AC-Joint-Extension-Test) inkludieren. Abhängig von der Anamnese können sich bei dem Verdacht additiver Pathologien natürlich auch weitere Tests anschließen.

## 2.7 Haltungsanalyse / Prüfung der Schulterblattstellung

Zum Abschluss der Untersuchung sollte immer eine kurze Prüfung von funktionellen Defiziten erfolgen. Dabei gehört die Einschätzung der Schulterprotraktion, einer möglichen Hyperkyphose der BWS und auch Instabilitäten im lumbosakralen Übergang, welche zu einer Verkürzung der ventralen Strukturen beitragen können. Auch die Evaluation einer Skapuladyskinesie kann immens wichtig sein, weil ventrale Schulterschmerzen nicht selten durch eine fehlende Stabilisierung des Schulterblatts ausgelöst werden. Auch die Prüfung eines glenohumeralen Innenrotationsdefizits mit Prüfung der dorsalen Kapselmobilität kann Aufschluss über funktionelle Einschränkungen geben. Auch der Scapular-Assistance-Test kann helfen funktionelle und strukturelle Genese von Schulterbeschwerden zu differenzieren.

#### Zusammenfassung und Take Home Message

Anamnese und klinische Untersuchung sind zentraler Bestandteil bei der Beurteilung von Patienten mit Schulterbeschwerden. Pathologien der Rotatorenmanschette lassen sich in den meisten Fällen gut abgrenzen. Die bildgebende Diagnostik stellt eine wichtige Ergänzung zu genannten Maßnahmen dar, ersetzt diese aber keinesfalls.

#### **Korrespondenzadresse:**

Priv.-Doz. Dr. med. Marco Schneider MVZ Praxisklinik Orthopädie Aachen & Sektion Gelenk- und Extremitätenchirurgie Uniklinik RWTH Aachen Sanatoriumstraße 10, 52064 Aachen marco.schneider@orthopia.com

#### Literatur:

- [1] Barth JR, Burkhart SS, De Beer JF (2006) The bear-hug test: a new and sensitive test for diagnosing a subscapularis tear. Arthroscopy 22:1076-1084
- 2] Chao S, Thomas S, Yucha D, Kelly JDt, Driban J, Swanik K (2008) An electromyographic assessment of the "bear hug": an examination for the evaluation of the subscapularis muscle. Arthroscopy 24:1265-1270
- [3] Collin P, Treseder T, Denard PJ, Neyton L, Walch G, L\u00e4dermann A (2015) What is the Best Clinical Test for Assessment of the Teres Minor in Massive Rotator Cuff Tears? Clin Orthop Relat Res 473:2959-2966
- [4] Cyriax JH, Cyriax PJ. Cyriax's Illustrated Manual of Orthopedic Medicine. Vol 2nd Edition. London: Butterworth-Heinemann; 1993
- [5] Debrunner H. Gelenkmessung (Neutral-0-Methode), Längenmessung, Umfangmessung. Offizielles Organ der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen. Bern1971.
- [6] Ernstbrunner L, El Nashar R, Favre P, Bouaicha S, Wieser K, Gerber C (2021) Chronic Pseudoparalysis Needs to Be Distinguished From Pseudoparesis: A Structural and Biomechanical Analysis. Am J Sports Med 49:291-297
- [7] Gerber C, Hersche O, Farron A (1996) Isolated rupture of the subscapularis tendon. J Bone Joint Surg Am 78:1015-1023
- [8] Ha E, Lho YM, Seo HJ, Cho CH (2014) Melatonin Plays a Role as a Mediator of Nocturnal Pain in Patients with Shoulder Disorders. J Bone Joint Surg Am 96:e108
- [9] Hertel R, Ballmer FT, Lombert SM, Gerber C (1996) Lag signs in the diagnosis of rotator cuff rupture. J Shoulder Elbow Surg 5:307-313
- [10] Janda V. Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2009.
- [11] Kelley MJ, Shaffer MA, Kuhn JE, Michener LA, Seitz AL, Uhl TL, et al. (2013) Shoulder pain and mobility deficits: adhesive capsulitis. J Orthop Sports Phys Ther 43:A1-31
- [12] Mulligan EP, Brunette M, Shirley Z, Khazzam M (2015) Sleep quality and nocturnal pain in patients with shoulder disorders. J Shoulder Elbow Surg 24:1452-1457
- [13] Neer CS, 2nd (1983) Impingement lesions. Clin Orthop Relat Res 70-77

- [14] O'Brien SJ, Pagnani MJ, Fealy S, McGlynn SR, Wilson JB (1998) The active compression test: a new and effective test for diagnosing labral tears and acromioclavicular joint abnormality. Am J Sports Med 26:610-613
- [15] Park HB, Yokota A, Gill HS, El Rassi G, McFarland EG (2005) Diagnostic accuracy of clinical tests for the different degrees of subacromial impingement syndrome. J Bone Joint Surg Am 87:1446-1455
- [16] Reeves B (1975) The natural history of the frozen shoulder syndrome. Scand J Rheumatol 4:193-196
- [17] Ryf C, Weymann A (1995) The neutral zero method — A principle of measuring joint function. Injury 26:1-11
- [18] Scheibel M, Tsynman A, Magosch P, Schroeder RJ, Habermeyer P (2006) Postoperative subscapularis muscle insufficiency after primary and revision open shoulder stabilization. Am J Sports Med 34:1586-1593
- [19] Virk MS, Cole BJ (2016) Proximal Biceps Tendon and Rotator Cuff Tears. Clin Sports Med 35:153-161
- [20] Walch G, Edwards TB, Boulahia A, Nove-Josserand L, Neyton L, Szabo I (2005) Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: clinical and radiographic results of 307 cases. J Shoulder Elbow Surg 14:238-246
- [21] Walch G, Nove-Josserand L, Boileau P, Levigne C (1998) Subluxations and dislocations of the tendon of the long head of the biceps. J Shoulder Elbow Surg 7:100-108
- [22] Yamamoto N, Muraki T, Sperling JW, Steinmann SP, Itoi E, Cofield RH, et al. (2009) Impingement mechanisms of the Neer and Hawkins signs. J Shoulder Elbow Surg 18:942-947

# 2. Bildgebende Diagnostik und Klassifikationen von Rotatorenmanschettenrupturen (RMR) (M. Manzke)

#### A. Röntgendiagnostik

Die nativradiologische Röntgenuntersuchung der Schulter in mindestens 2 Ebenen stellt ein erstes Basisdiagnostikum bei dem Verdacht auf eine RMR dar. Es können umgebende Begleitpathologien wie Frakturen, Tumoren oder degenerative Veränderungen im Glenohumeral- und Akromioklavikulargelenk identifiziert werden. Auch Kalkablagerungen im Bereich der Sehnen lassen sich im Röntgen gut beurteilen.

True a.p. nach Grashey: Der Zentralstrahl ist 30° zur Sagittalebene nach medial verkippt und 10-15° nach kaudal auf die Korakoidspitze geneigt. Die

Aufnahme erfolgt im Sitzen oder Stehen bei nicht aufgelegtem Arm. Der Gelenkspalt sollte in dieser Aufnahme frei einzusehen sein. Indirekte Hinweise können auf eine RMR hindeuten. Die akromiohumerale Distanz (AHD) und die Kopf-Hals-Linie nach Bandi [8] helfen bei der Beurteilung einer vertikalen Zentrierung des Humeruskopfes. Eine Reduktion der AHD von < 7mm, eine Mehrsklerosierung im Bereich der Unterkante des Akromions und subperiostale Zysten im Bereich des Tuberkulum majus sind Zeichen einer fortgeschrittenen RMR [25]. Die Hamada Klassifikation [25] unterteilt fünf verschiedene Stadien der Rotatorenmanschetten-Defektarthropathie (**Tab.** 1).

Verschiedene Autoren [13] weisen darauf hin, dass Hamada Grad 1 und 2 eher mittels gelenkrekonstruktivenund Grad 4 und 5 mit gelenkersetzenden Operationsverfahren behandelt werden.

Die laterale Ausdehnung des Akromions kann durch den von Nyffeler eingeführten Akromion-Index (AI) beschrieben werden [46]. Dieser ist der Ouotient aus dem Abstand der Glenoidebene zur lateralen Akromionbegrenzung und dem Abstand der Glenoidebene zur lateralen Begrenzung des Tuberkulum majus ( Abb. 1b). Nyffeler konnte in seiner Arbeit bei Patienten mit einer RMR einen größeren AI (0.73) nachweisen als bei den Patienten ohne RMR (0.60). Der laterale Akromionwinkel (LAA) nach Banas [7] beschreibt den Winkel zwischen Akromionunterfläche und Glenoidebene im MRT. Die Anwendbarkeit des Winkels im a.p. Röntgenbild konnte im Verlauf bestätigt werden (■ Abb. 1c) [5, 6]. Es konnte gezeigt werden, dass ein LAA von < 70° vermehrt mit RMR vergemeinschaftet ist [6]. Der critical shoulder angle (CSA) ist der Winkel zwischen der Glenoidebene und der Verbindung des inferioren Glenoidpols

Tabelle 1: Hamada [25] Klassifikation		
Grad I	Akromiohumerale Distanz > 5mm	
Grad II	Akromiohumerale Distanz ≤ 5mm	
Grad III	Zusätzliche Mehrsklerosierung des Akromions	
Grad IV	Zusätzliche glenohumerale Gelenkspaltverschmälerung	
Grad V	Zusätzlicher Kollans des Humeruskopfes	

Tab. 1 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

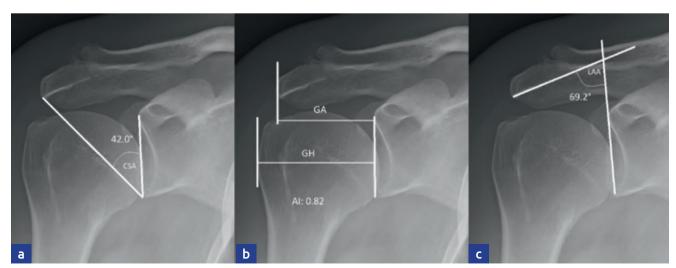


Abb. 1a bis 1c ▲ 60 Jährige Patientin mit RM-Re-Ruptur. a: CSA: 42°; b: AI: 0.82; c: LAA: 69,2° © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

und des lateralen Ende des Akromions (**Abb. 1a**) [43]. Normwerte liegen in einem Bereich von ca. 30° - 35°. Ein CSA von mehr als 35° kann vermehrt mit degenerativen RMR [38, 44, 50] und ein CSA unter 30° mit glenohumeraler Arthrose einhergehen [27, 50]. (**Tab. 2**)

Outlet-view: Bei 60° eingedrehtem Oberkörper wird die Skapula tangential getroffen. Der Zentralstrahl ist ca. 10° Richtung AC-Gelenk geneigt. Diese Aufnahme bietet einen guten Blick unter den korakoakromialen Bogen und bildet subakromiale Sporne und Osteophyten des AC-Gelenkes ab.

Anhand der Krümmung nach Bigliani lassen sich drei Akromiontypen beschreiben, ein flacher (1), ein bogenförmiger (2) und ein hakenförmiger (3) Typ. Einige Studien zeigten jedoch eine niedrige Interobserver-Reliabilität [12, 26, 28, 61]. Der Zusammenhang der Akromionmorphologie nach Bigliani und

transmuralen RMR scheint bei uneinheitlichen Ergebnissen in der Literatur eher fraglich [6, 40, 45, 47].

Im Verlauf beschrieben Bigliani et al. und Kitay et al. den Akromionslope [10, 32]. Dabei wird eine Linie vom antero- und posteroinferioren Ende des Akromions jeweils durch den unteren Mittelpunkt des Akromions gezogen (■ Abb. 2). Der anteriore Winkel zwischen diesen beiden Linien beschreibt den Akromionslope, welcher bei > 43° als prädiktiver Faktor für das Vorliegen einer RMR bestätigt werden konnte [6].

Axiale Aufnahme: Der Arm ist möglichst weit abduziert und der Zentralstrahl verläuft kraniokaudal auf den Gelenkspalt. Die axiale Aufnahme eignet sich zur Beurteilung der horizontalen Zentrierung des Humeruskopfes und zur Diagnostik eines Os akromiale, welches bei 6-8% der Patienten zu beobachten ist [11, 58, 59].

#### B. Magnetresonanztomographie (MRT)

#### 1. RMR-Muster

#### **Partialrupturen**

Die Sensitivität der MRT Untersuchung zur Diagnostik von Partialrupturen der Rotatorenmanschette beträgt 35 -74% [4, 37, 51]. Die MR-Arthrographie (MRA) weist eine Sensitivität von 81-84% auf [41, 51, 57]. Jedoch scheinen geringgradige artikularseitige Partialrupturen (Ellman 1) auch in der MRA eine hohe Rate an falsch positiven und negativen Diagnosen hervorzubringen [57]. Lee et al. [35] konnten in einer modifizierten MRA-Technik mit dem Arm in ABER-Position bei 16 Patienten mit Partialrupturen der posterosuperioren Rotatorenmanschette die horizontale Risskomponente zu 100% nachweisen. Ellman et al. [21] klassifiziert neben der Lokalisation auch das Ausmaß der Partialläsion ( Tab. 3).

#### Tabelle 2: Akromion-/Skapula Morphologie

	Risiko für RMR ab
CSA (kritischer Schulterwinkel)	> 35°
AI (Akromion Index)	> 0.7
LAA (lateraler Akromionwinkel)	< 70°
Akromionslope (AS)	> 43°

Tab. 2 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



Abb. 2 ▲ Akromionslope (AS) © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### Supra- und Infraspinatussehnen-Rupturen (posterosuperiore Rupturen)

Die MRT-Untersuchung weist eine Sensitivität von > 90% und Spezifität von > 93% bei der Diagnostik von transmuralen RMR auf. Die Größe der RMR in Zentimeter entlang des Sehnenansatzes kann nach der Klassifikation von Bayne and Bateman [9] bestimmt werden (■ Tab. 4).

Davidson und Burkhart beschrieben eine geometrische Klassifikation von posterosuperioren RMR. Diese kann sowohl präoperativ mittels MRT als auch intraoperativ arthroskopisch angewandt werden. Es werden vier verschiedene Rupturformen beschrieben: Halbmond-, U-, L- und reverse-Lförmig. Je nach Rupturform schlagen die Autoren unterschiedliche Rekonstruktionstechniken vor [20]. Um mittels MRT z.B. eine L-förmige Rupturkonfiguration zu erkennen, sollte die RMR in mehreren Ebenen evaluiert werden (z.B. Koronar, axial und parasagittal).

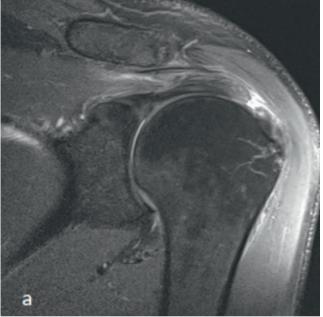
Tabelle 3:
Klassifikation von Partialläsionen nach Ellman [21]

Grad 0	Normalbefund
Grad I	< 1/4 des Sehnendurchmessers oder <3 mm
Grad II	< 1/2 des Sehnendurchmessers oder 3-6 mm
Grad III	> 6mm
A	Artikularseitig
В	Bursaseitig
С	Interstitiell

Tab. 3 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Tabelle 4: Klassifikation nach Bayne und Bateman [9]		
Grad I	< 1cm	
Grad II	1-3cm	
Grad III	3-5cm	
Grad IV	> 5cm	

**Tab.** 4 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette





**Abb. 3a** und **3b** ▲ Transmurale posterosuperiore RMR in 2 Ebenen. a: koronare Ebene. b: parasagittale Ebene. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

## Subscapularissehnen-Rupturen (anteriore Rupturen)

Die MRT-morphologische Diagnostik von Rupturen der Subscapularissehne ist der von posterosuperioren RMR unterlegen [34]. Verschiedene Autoren konnten eine Sensitivität von ca. 36-40% mit einer Spezifität von 100% zeigen [2, 22, 36]. Die Sensitivität ist bei Rupturen von > 50% der Sehne erhöht. Durch ein systematisches mehrstufiges Vorgehen bei der Durchsicht der MRT-Bildgebung konnte die Sensitivität

deutlich erhöht werden. Adams et al. [1] beschrieben ein vierstufiges Vorgehen: 1. Vorhandensein einer Ruptur in der axialen Schicht, 2. Subluxation der langen Bizepssehne in der axialen Schicht, 3. Atrophie des M. subscapularis in den sagittalen Schichten und 4. Sehnenabriss im Bereich des Tuberkulum minus in den sagittalen Schichten. Wenn 2 der 4 Punkte zutrafen, gingen die Autoren von einer Ruptur der Subscapularissehne aus. Mit diesem Vorgehen konnte eine Sensitivität von 73% und Spezifität von 94% erreicht

werden. Khil et al. [30] beschreiben in der MRA eine Sensitivität von 71% bzw. 87% und eine Spezifität von 97% bzw. 98% mit guter Intra- und Interobserver-Reliabilität. Pfirrmann et al. [49] konnten in der MRA bei Betrachtung der axialen und parasagittalen Schichten eine Sensitivität von >90% und Spezifität von ca. 80% aufzeigen.

Die Klassifikationen nach Lafosse [33] beschreibt das Ausmaß der Ruptur, die Zentrierung des Humeruskopfes und die Muskelqualität ( Tab. 5).

Tabelle 5:
Klassifikation von Subscapularissehnenrupturen nach Lafosse [33]

Grad I	Partialläsion des oberen Drittels
Grad II	Komplette Läsion des oberen Drittels
Grad III	Komplette Läsion der oberen zwei Drittel
Grad IV	Komplette Läsion mit zentriertem Humeruskopf und fettiger Degeneration kleiner oder gleich Goutallier Stadium III
Grad V	Komplette Läsion mit dezentriertem Humeruskopf und fettiger Degeneration größer oder gleich Goutallier Stadium III

Tab. 5 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

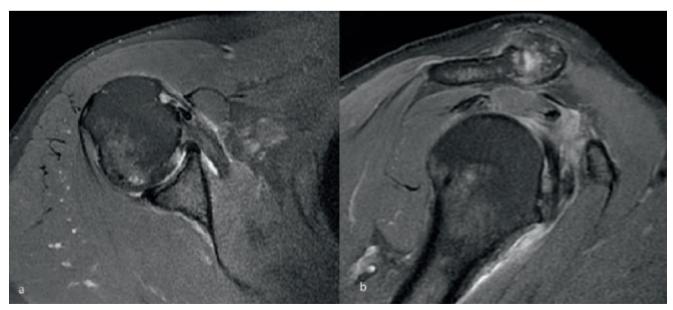


Abb. 4a und 4b ▲ Teilruptur der Subscapularissehne mit Luxation der langen Bizepssehne nach medial. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### Sehnenbeteiligung

Collin et al. [17] beschreiben den Zusammenhang zwischen der Sehnenbeteiligung von chronischen RMR und der Schulterbeweglichkeit. Die Rotatorenmanschette wird in fünf Komponenten unterteilt: Supraspinatus, oberer Subscapularis, unterer Subscapularis, Infraspinatus und Teres minor. RMR werden je nach Beteiligung der fünf Komponenten klassifiziert (

Abb. 5). Die Autoren konnten beobachten, dass wenn drei Komponenten

betroffen waren, die aktive Elevation signifikant erniedrigt war. Eine Pseudoparalyse war in 80% der Patienten mit Beteiligung des Supraspinatus und des gesamten Subscapularis sowie in 45% bei Beteiligung des Infraspinatus, Supraspinatus und des oberen Subscapularis vorhanden.

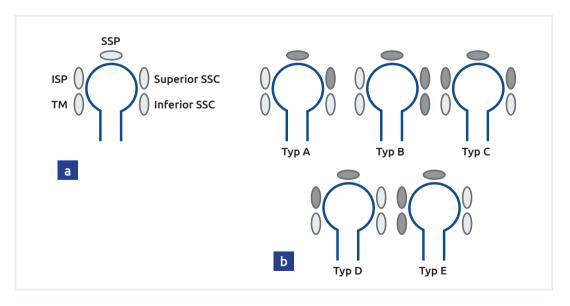
## 2. Sehnenretraktion und Delamination

Die Klassifikation nach Patte [48] beschreibt drei Grade der Sehnenretraktion in der Frontalebene (**Tab. 6**).

Bei der Diagnostik der Retraktion sollte auch auf eine Delaminierung der Rotatorenmanschette geachtet werden. Man unterscheidet ein bursaseitiges und artikularseitiges Blatt der Supra-/ oder Infraspinatussehne. Choo et al. [15] beschrieben eine MRT-basierte

Tabelle 6: Sehnenretraktion nach Patte		
Grad I	proximaler Sehnenstumpf zwischen Tuberculum majus und Apex humeri	
Grad II	proximaler Sehnenstumpf zwischen Apex und Glenoidrand	
Grad III	proximaler Sehnenstumpf auf Höhe des Glenoids oder dahinter	

**Tab.** 6 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb.** 5 ▲ Klassifikation der Sehnenbeteiligung von RMR (nach Collin [17]): Typ A: Supraspinatus und oberer Subscapularis; Typ B: Supraspinatus und gesamter Subscapularis; Typ C: Supraspinatus, oberer Subscapularis und Infraspinatus; Typ D: Supraspinatus und Infraspinatus und Typ E: Supraspinatus, Infraspinatus und Teres minor. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Klassifikation, welche zwischen vollständigen (1) oder partiellen (2) delaminierten RMR unterscheidet (■ Tab. 7, ■ Abb. 6)

#### 3. Muskel- und Sehnenqualität

Die Qualität der Muskulatur wird anhand des Grades der Muskelbauchverfettung beschrieben. Die initial durch Goutallier [24] im CT beschriebene Klassifikation wurde im Verlauf durch Fuchs auf das MRT übertragen ( Tab.

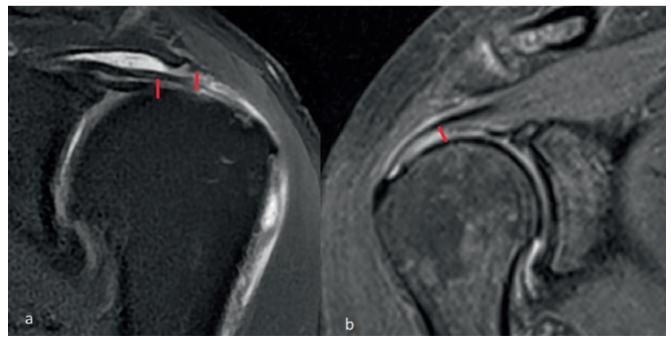
8) [23]. Der Grad der Muskelverfettung ist ein wichtiger prognostischer Faktor. Zanetti et al. beschrieben eine Tangente, die einfach und zuverlässig eine Aussage über die Atrophie des Supraspinatusmuskels erlaubt [60]. Die Tangente wird in der lateralsten parasagittalen Schicht, in welcher die Spina skapulae mit dem Skapulakörper in Kontakt trifft, zwischen der oberen Grenze des Korakoids und der Spina skapulae eingezeichnet. Ein normales (negatives) Tangentenzeichen ist vorhanden, wenn der Muskel der Supra-

spinatussehne über die Tangente ragt. Ein positives Tangentenzeichen liegt vor, wenn der Muskelbauch die Tangente nicht überragt und ist für eine RM-Rekonstruktion prognostisch ungünstig [31].

Thomazeau et al. [56] beschrieben die Muskelatrophie des M. supraspinatus im MRT. Es wird in den parasagittalen Schichten ein Quotient aus der Fläche der Fossa supraspinata und dem Muskelbauch des M. supraspinatus gebildet ( Tab. 9).

Tabelle 7: Delamination nach Choo et al. [15]		
	1a	Retraktion gelenkseitiges > bursaseitiges Blatt
Vollständige RMR (1)	1b	Retraktion bursaseitiges > gelenkseitiges Blatt
	1c	Retraktion bursaseitiges = gelenkseitiges Blatt
	2a	Gelenkseitiges Blatt retrahiert, bursaseitige Blatt am Footprint ansetzend
Partielle RMR (2)	2b	Bursaseitiges Blatt retrahiert, gelenkseitiges Blatt am Footprint ansetzend
	2c	Interstitiell, Retraktion zwischen den beiden Blättern

Tab. 7 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



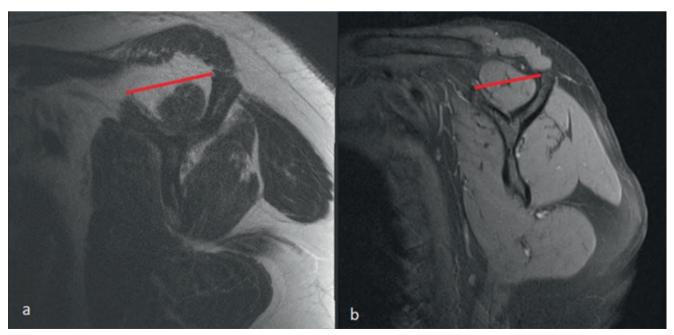
**Abb. 6a** und **6b** ▲ Transmurale Ruptur mit vermehrter Retraktion des gelenkseitigen Blattes (n. Choo 1a, n. Patte 2). b: Gelenkseitig retrahierte Partialruptur mit intaktem bursaseitigen Blatt (n. Choo 2a). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Tabelle 8: Fettige Infiltration nach Goutallier (CT) und Fuchs (MRT)		
Grad I	geringe Verfettung	
Grad II	weniger muskuläre Verfettung als Muskelmasse	
Grad III	fettige Degeneration mit Muskelmasse identisch	
Grad IV	vermehrte fettige Degeneration im Vergleich zur Muskelmasse	

**Tab. 8** ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Tabelle 9: Muskelatrophie des M. supraspinatus nach Thomazeau		
Grad I	normaler oder nur gering atrophierter Muskel, bei dem das Verhältnis zwischen Muskel und Fossa supraspinata zwischen 1,00 und 0,60 liegt	
Grad II	mäßige Atrophie, das Verhältnis Muskel zu Fossa supraspinata liegt zwischen 0,60 und 0,40	
Grad III	schwere Atrophie, das Verhältnis Muskel zu Fossa supraspinata liegt < 0,40	

**Tab.** 9 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb.** 7a und 7b ▲ a: Tangentenzeichen positiv, b: Tangentenzeichen negativ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

## 4. Traumatische vs. degenerative RMR

Zu den verletzungstypischen MRT-Befunden einer RMR zählen eine aufgewellte Sehne (sog. kinking) und ein verbliebender ansatznaher Sehnenstumpf [39]. Eine aufgewellte Sehne spricht für eine Elastizität und ein verbliebender Sehnenstumpf ist bei degenerativen Rupturen aufgrund von Abrieb meist nicht vorhanden. Verletzungen des muskulotendinösen Überganges sowie Signalanreicherungen/Ödeme im Bereich der Muskelbäuche sprechen für ein frisches traumatisches Ereignis. Einblutungen im Bereich des M. deltoideus, Knochenenödeme des Hume-

ruskopfes und ein glenohumeraler Gelenkerguss sind Begleiterscheinungen einer frischen RMR.

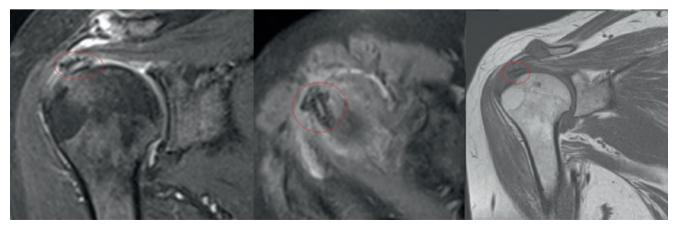
Degenerative Rupturen zeichnen sich durch eine fortschreitende Retraktion und fettige Infiltration der Muskelbäuche aus. Melis et al. berichten von einer mittelgradigen fettigen Degeneration ca. drei Jahre nach Supraspinatussehnenruptur und ca. 2,5 Jahre nach Infraspinatus- bzw. Subscapularissehnenruptur [42]. Bis zu einer schweren fettigen Infiltration beträgt, laut Autoren, der Zeitraum fünf Jahre für den Supraspinatus, vier Jahre für den Infraspinatus bzw. drei Jahre für den Subscapularis [42]. Die Größe der Rup-

tur und das Patientenalter haben einen zusätzlichen Einfluss auf die fettige Infiltration. Bei großen traumatischen RMR kann die Verfettung der Muskulatur deutlich schneller eintreten.

Weitere MRT-morphologische Zeichen für degenerative RMR sind eine posteriore Lokalisation am Übergang von Supra- zu Infraspinatus, Tendinopathien in t1-gewichteren Sequenzen sowie intraossäre und -muskuläre Zysten.

Tabelle 10: Klassifikation von RM-Re-Rupturen nach Sugaya [55]	
Grad I	Intakte RM mit suffizienter Sehnendicke
Grad II	Suffiziente Sehnendicke mit partieller Mehranreicherung in den T2 und pd gewichteten Schichten
Grad III	keine Diskontinuität, verminderte Sehnendicke (<50%) mit Mehranreicherung im MRT
Grad IV	Präsenz einer kleinen Diskontinuität in 1-2 Schichten der Sehne
Grad V	Präsenz einer großen Diskontinuität in mehr als 2 Schichten der Sehne

**Tab. 10 ▲** © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 8** ▲ Vier Monate nach RM-Rekonstruktion zeigt sich bei persistierenden Schmerzen ein dislozierter Nahtanker. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### 5. MRT nach Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion

Die MRT-Untersuchung kann Informationen über die Integrität der Sehne, die Größe und Lokalisation der Re-Ruptur (z.B. medial cuff failure), Hardwarekomplikationen und schmerzhafte Begleitpathologien erbringen. Die MRT-Interpretation nach RM-Rekonstruktion ist jedoch erschwert [29]. Postoperativ zeigen die Sehnen ein erhöhtes Signal, welches innerhalb des ersten postoperativen Jahres nicht mit dem klinischen Outcome korreliert [19]. Spielmann et al. konnten zeigen, dass nur 10% der asymptomatischen Patienten nach RM-Naht eine normale Sehnendarstellung im MRT aufwiesen [54].

Die Klassifikation von RM-Re-Rupturen nach Sugaya [55] konnte eine gute Reliabilität zeigen (**Tab. 10**, **Abb. 9**) [52].

#### C. Sonographie

Die Sonographie bietet eine schnelle und kostengünstige Diagnostikmöglichkeit von RMR. Es erfolgt eine dynamische Untersuchung in sechs Standardebenen (ventrale-, superolaterale-, und dorsale Region je im Transversal- und Longitudinalschnitt). Diese können bei speziellen Fragestellungen durch weitere Ebenen ergänzt werden. Beigleitpathologien wie z.B. Instabilitäten der langen Bizepssehne bei Verletzungen der Pulley-Strukturen können mit hoher Genauigkeit dargestellt werden [3].

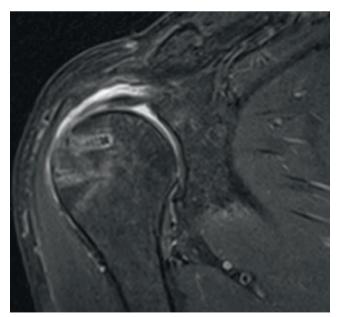
Roy et al. [51] ermittelten in einem systematischen Review eine Sensitivität von 91% und Spezifität von 93% der Sonographie bei der Diagnostik von transmuralen RMR. Es zeigte sich kein Unterschied zum MRT oder Arthro-MRT.

Bei Partialrupturen waren die Sensitivität und Spezifität der Sonographie niedriger (67% bzw. 91%), lagen jedoch ebenfalls im Bereich des MRT. In einem Review von Smith et al. [53] wurde eine Sensitivität von 96% und Spezifität von 93% für transmurale RMR und 84% bzw. 89 % für Partialrupturen berichtet.

Die Sonographie konnte sich in verschiedenen Arbeiten bei der Beurteilung von RM-Re-Rupturen als nützlich erweisen. Collin et al. [18] zeigten eine Sensitivität der Ultraschalluntersuchung von 80% und Spezifität von 98%, wenn das MRT als Referenz verwendet wurde. Codsi et al. [16] ermittelten eine Übereinstimmung der Ergebnisse von MRT und Ultraschallbefunden von 92% bei der Beurteilung von 113 Suturebridge-Rekonstruktionen.

#### D. Computertomographie

Bei der Diagnostik von RMR spielt die Computertomographie eine untergeordnete Rolle. Dies ist mit der vermehrten Strahlenbelastung und der guten Verfügbarkeit der MRT-Untersuchung zu erklären. Eine Arthro-CT-Untersuchung wird im Alltag meist bei vorliegender Kontraindikation zur MRT-Untersuchung (z.B. Herzschrittmacher, Cochleaimplantat) durchgeführt. Es können Informationen über Rupturmuster, Retraktion und fettige Atrophie gewonnen werden. Die Arthro-CT Untersuchung weist bei der Diagnostik von RMR der Supra- und Infraspinatussehne eine Sensitivität von >90% und bei der Subscapularissehne von etwa 64% auf [14].



**Abb. 9** ▲ Sechs Monate nach Suture-Bridge Rekonstruktion. Es zeigt sich eine durchgängige Sehne mit jedoch verminderter Sehnendicke (Sugaya Grad 3). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### Take Home Message

Als Basisdiagnostikum einer RMR sollte eine Röntgenuntersuchung in mindestens 2 Ebenen erfolgen. Hier können Informationen über Begleitpathologien, vertikale Zentrierung und degenerative Veränderungen des Gelenkes gewonnen werden. Goldstandard für eine differenzierte Beurteilung von RMR ist die MRT-Untersuchung. Für eine Therapieentscheidung können mittels MRT Informationen über Rupturgröße und -form, Sehnenbeteiligung, Sehnenretraktion und -delamination, Muskelqualität sowie Rupturalter erhoben werden. Die Sonographie ist eine kostenarme, gut zugängliche Untersuchungsmöglichkeit, die beim geübten Untersucher eine dem MRT ähnliche Sensitivität und Spezifität bei der Diagnostik von transmuralen RMR erreichen kann.

#### Korrespondenzadresse:

#### Dr. med. Michael Manzke

Klinik für Arthroskopische Chirurgie, Sporttraumatologie und Sportmedizin Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Duisburg Großenbaumer Allee 250 47249 Duisburg

#### Literatur:

- [1] Adams, C.R., et al., A systematic approach for diagnosing subscapularis tendon tears with preoperative magnetic resonance imaging scans. Arthroscopy, 2012. 28(11): p. 1592-600.
- [2] Adams, C.R., J.D. Schoolfield, and S.S. Burkhart, Accuracy of preoperative magnetic resonance imaging in predicting a subscapularis tendon tear based on arthroscopy. Arthroscopy, 2010. 26(11): p. 1427-33.
- [3] Armstrong, A., et al., The efficacy of ultrasound in the diagnosis of long head of the biceps tendon pathology. J Shoulder Elbow Surg, 2006. 15(1): p. 7-11.
- [4] Balich, S.M., et al., MR imaging of the rotator cuff tendon: interobserver agreement and analysis of interpretive errors. Radiology, 1997. 204(1): p. 191-4.
- [5] Balke, M., et al., Differences in acromial morphology of shoulders in patients with degenerative and traumatic supraspinatus tendon tears. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016. 24(7): p. 2200-5.
- [6] Balke, M., et al., Correlation of acromial morphology with impingement syndrome and rotator cuff tears. Acta Orthop, 2013. 84(2): p. 178-83.
- [7] Banas, M.P., R.J. Miller, and S. Totterman, Relationship between the lateral acromion angle and rotator cuff disease. J Shoulder Elbow Surg, 1995. 4(6): p. 454-61.
- [8] Bandi, W., [Lesions of the rotator cuff]. Helv Chir Acta, 1982. 48(5): p. 537-49.
- [9] Bayne, O., Bateman, J., Long-term results of surgical repair of full-thickness rotator cuff tears. In: Surgery of the Shoulder. Philadelphia, Pa: CV Mosby; 1984:167–171., 1984.
- [10] Bigliani, L.U., et al., The relationship of acromial architecture to rotator cuff disease. Clin Sports Med, 1991. 10(4): p. 823-38.
- [11] Boehm, T.D., et al., Rotator cuff tears associated with os acromiale. Acta Orthop, 2005. 76(2): p. 241-4.
- [12] Bright, A.S., et al., Reliability of radiographic evaluation for acromial morphology. Skeletal Radiol, 1997. 26(12): p. 718-21.
- [13] Brolin, T.J., G.F. Updegrove, and J.G. Horneff, Classifications in Brief: Hamada Classification of Massive Rotator Cuff Tears. Clin Orthop Relat Res, 2017. 475(11): p. 2819-2823.

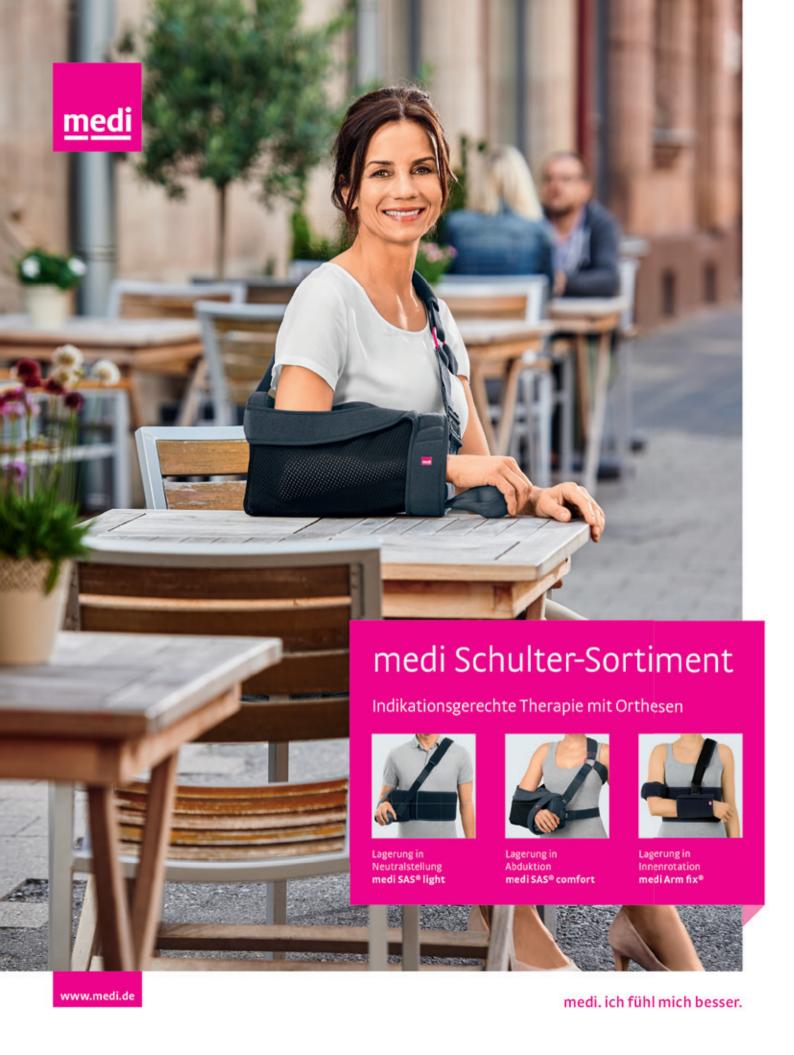
- [14] Charousset, C., et al., Accuracy of CT arthrography in the assessment of tears of the rotator cuff. J Bone Joint Surg Br, 2005. 87(6): p. 824-8.
- [15] Choo, H.J., et al., Delaminated tears of the rotator cuff: prevalence, characteristics, and diagnostic accuracy using indirect MR arthrography. AJR Am J Roentgenol, 2015. 204(2): p. 360-6.
- [16] Codsi, M.J., et al., Assessment of rotator cuff repair integrity using ultrasound and magnetic resonance imaging in a multicenter study. J Shoulder Elbow Surg, 2014. 23(10): p. 1468-72.
- [17] Collin, P., et al., Relationship between massive chronic rotator cuff tear pattern and loss of active shoulder range of motion. J Shoulder Elbow Surg, 2014. 23(8): p. 1195-202.
- [18] Collin, P., et al., Evaluating postoperative rotator cuff healing: Prospective comparison of MRI and ultrasound. Orthop Traumatol Surg Res, 2015. 101(6 Suppl): p. S265-8.
- [19] Crim, J., et al., Temporal evolution of MRI findings after arthroscopic rotator cuff repair. AJR Am J Roentgenol, 2010. 195(6): p. 1361-6.
- [20] Davidson, J. and S.S. Burkhart, The geometric classification of rotator cuff tears: a system linking tear pattern to treatment and prognosis. Arthroscopy, 2010. 26(3): p. 417-24.
- [21] Ellman, H., Diagnosis and treatment of incomplete rotator cuff tears. Clin Orthop Relat Res, 1990(254): p. 64-74.
- [22] Foad, A. and C.A. Wijdicks, The accuracy of magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrogram versus arthroscopy in the diagnosis of subscapularis tendon injury. Arthroscopy, 2012. 28(5): p. 636-41.
- [23] Fuchs, B., et al., Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging. J Shoulder Elbow Surg, 1999. 8(6): p. 599-605.
- [24] Goutallier, D., et al., Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. Clin Orthop Relat Res, 1994(304): p. 78-83.
- [25] Hamada, K., et al., Roentgenographic findings in massive rotator cuff tears. A longterm observation. Clin Orthop Relat Res, 1990(254): p. 92-6.
- [26] Hamid, N., et al., Relationship of radiographic acromial characteristics and rotator

- cuff disease: a prospective investigation of clinical, radiographic, and sonographic findings. J Shoulder Elbow Surg, 2012. 21(10): p. 1289-98.
- [27] Heuberer, P.R., et al., Critical shoulder angle combined with age predict five shoulder pathologies: a retrospective analysis of 1000 cases. BMC Musculoskelet Disord, 2017. 18(1): p. 259.
- [28] Jacobson, S.R., et al., Reliability of radiographic assessment of acromial morphology. J Shoulder Elbow Surg, 1995. 4(6): p. 449-53.
- [29] Khazzam, M., et al., Magnetic resonance imaging identification of rotator cuff retears after repair: interobserver and intraobserver agreement. Am J Sports Med, 2012. 40(8): p. 1722-7.
- [30] Khil, E.K., et al., Subscapularis (SSC) tendon tears: diagnostic performance and reliability of magnetic resonance arthrography (MRA) with arthroscopic correlation and comparison with clinical tests. Skeletal Radiol, 2021.
- [31] Kissenberth, M.J., et al., A positive tangent sign predicts the repairability of rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg, 2014. 23(7): p. 1023-7.
- [32] Kitay, G.S., et al., Roentgenographic assessment of acromial morphologic condition in rotator cuff impingement syndrome. J Shoulder Elbow Surg, 1995. 4(6): p. 441-8.
- [33] Lafosse, L., et al., Structural integrity and clinical outcomes after arthroscopic repair of isolated subscapularis tears. J Bone Joint Surg Am, 2007. 89(6): p. 1184-93.
- [34] Lee, J., D.R. Shukla, and J. Sanchez-Sotelo, Subscapularis tears: hidden and forgotten no more. JSES Open Access, 2018. 2(1): p. 74-83.
- [35] Lee, S.Y. and J.K. Lee, Horizontal component of partial-thickness tears of rotator cuff: imaging characteristics and comparison of ABER view with oblique coronal view at MR arthrography initial results. Radiology, 2002. 224(2): p. 470-6.
- [36] Lenz, R., et al., Subscapularis Tendon Tears

  Usefulness of Written MRI Reports for
  Guiding Patient Referral to Shoulder Specialists. Rofo, 2021.
- [37] Lenza, M., et al., 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 Syst Rev, 2013(9): p. CD009020.

- [38] Li, X., et al., Relationship Between the Critical Shoulder Angle and Shoulder Disease. JBJS Rev, 2018. 6(8): p. e1.
- [39] Loew, M., et al., How to discriminate between acute traumatic and chronic degenerative rotator cuff lesions: an analysis of specific criteria on radiography and magnetic resonance imaging. J Shoulder Elbow Surg, 2015. 24(11): p. 1685-93.
- [40] McLean, A. and F. Taylor, Classifications in Brief: Bigliani Classification of Acromial Morphology. Clin Orthop Relat Res, 2019. 477(8): p. 1958-1961.
- [41] Meister, K., et al., MR arthrography of partial thickness tears of the undersurface of the rotator cuff: an arthroscopic correlation. Skeletal Radiol, 2004. 33(3): p. 136-41.
- [42] Melis, B., C. Nemoz, and G. Walch, Muscle fatty infiltration in rotator cuff tears: descriptive analysis of 1688 cases. Orthop Traumatol Surg Res, 2009. 95(5): p. 319-24.
- [43] Moor, B.K., et al., Is there an association between the individual anatomy of the scapula and the development of rotator cuff tears or osteoarthritis of the glenohumeral joint?: A radiological study of the critical shoulder angle. Bone Joint J, 2013. 95-B(7): p. 935-41.
- [44] Moor, B.K., et al., Relationship of individual scapular anatomy and degenerative rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg, 2014. 23(4): p. 536-41.
- [45] Morelli, K.M., et al., Acromion morphology and prevalence of rotator cuff tear: A systematic review and meta-analysis. Clin Anat, 2019. 32(1): p. 122-130.
- [46] Nyffeler, R.W., et al., Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears. J Bone Joint Surg Am, 2006. 88(4): p. 800-5.
- [47] Pandey, V., et al., Does scapular morphology affect the integrity of the rotator cuff? J Shoulder Elbow Surg, 2016. 25(3): p. 413-21.
- [48] Patte, D., Classification of rotator cuff lesions. Clin Orthop Relat Res, 1990(254): p. 81-6
- [49] Pfirrmann, C.W., et al., Subscapularis tendon tears: detection and grading at MR arthrography. Radiology, 1999. 213(3): p. 709-14.
- [50] Rose-Reneau, Z., et al., The Critical Shoulder Angle as a Diagnostic Measure for Osteoarthritis and Rotator Cuff Pathology. Cureus, 2020. 12(11): p. e11447.

- [51] Roy, J.S., et al., Diagnostic accuracy of ultrasonography, MRI and MR arthrography in the characterisation of rotator cuff disorders: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med, 2015. 49(20): p. 1316-28.
- [52] Saccomanno, M.F., et al., Magnetic resonance imaging criteria for the assessment of the rotator cuff after repair: a systematic review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2015. 23(2): p. 423-42.
- [53] Smith, T.O., et al., Diagnostic accuracy of ultrasound for rotator cuff tears in adults: a systematic review and meta-analysis. Clin Radiol, 2011. 66(11): p. 1036-48.
- [54] Spielmann, A.L., et al., Shoulder after rotator cuff repair: MR imaging findings in asymptomatic individuals--initial experience. Radiology, 1999. 213(3): p. 705-8.
- [55] Sugaya, H., et al., Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dualrow fixation. Arthroscopy, 2005. 21(11): p. 1307-16.
- [56] Thomazeau, H., et al., Atrophy of the supraspinatus belly. Assessment by MRI in 55 patients with rotator cuff pathology. Acta Orthop Scand, 1996. 67(3): p. 264-8.
- [57] Waldt, S., et al., Rotator cuff tears: assessment with MR arthrography in 275 patients with arthroscopic correlation. Eur Radiol, 2007. 17(2): p. 491-8.
- [58] Yammine, K., The prevalence of Os acromiale: a systematic review and meta-analysis. Clin Anat, 2014. 27(4): p. 610-21.
- [59] You, T., et al., Os Acromiale: Reviews and Current Perspectives. Orthop Surg, 2019. 11(5): p. 738-744.
- [60] Zanetti, M., C. Gerber, and J. Hodler, Quantitative assessment of the muscles of the rotator cuff with magnetic resonance imaging. Invest Radiol, 1998. 33(3): p. 163-70.
- [61] Zuckerman, J.D., et al., Interobserver reliability of acromial morphology classification: an anatomic study. J Shoulder Elbow Surg, 1997. 6(3): p. 286-7.



# 3. Die Therapie der Rotatorenmanschettenruptur – operativ oder konservativ? (B. Wirth, R. Müller-Rath)

#### **Einleitung**

Der klinische Verlauf einer degenerativen Läsion der Rotatorenmanschette ist außerordentlich variabel und reicht von gelegentlichen Schmerzen bis hin zur Pseudoparalyse mit weitgehendem Verlust der aktiven Armhebefunktion. Mit steigendem Alter ist auch mit einer zunehmenden Anzahl von asymptomatischen Schäden zu rechnen [1]. Das Ausmaß der klinischen Beschwerden steht zumeist in Zusammenhang mit der Rissgröße [1]. Dennoch finden sich Verläufe, die von dieser Systematik abweichen mit Patienten, die trotz ausgedehnter Ruptur eine gute Funktion aufweisen und vergleichsweise wenig Beschwerden haben. Auch im zeitlichen Verlauf können die Beschwerden wechselhaft zwischen Phasen der Verschlimmerung und der Besserung verlaufen [2]. Zusätzliche Beschwerden können durch eine begleitende Arthrose des AC-Gelenkes oder Schäden der langen Bizepssehne bedingt sein.

Die Wahl der geeigneten Therapie bei der Behandlung einer Rotatorenmanschettenläsion muss insofern vor dem Hintergrund der individuellen Einschränkungen und der Wünsche des Patienten formuliert werden. Prinzipiell zielt die Therapie der Rotatorenmanschettenläsion darauf ab, Schmerzen zu lindern, Kraft zu verbessern und eine Vergrößerung des Sehnenschadens zu vermeiden.

Während bei traumatischen Rupturen der Rotatorenmanschette eine operative Therapie in der Regel indiziert ist, stellt bei degenerativen Läsionen die Auswahl und das Timing der richtigen Therapie (abwartendes Verhalten, nicht operative Therapie, operative Therapie) für den behandelnden Arzt aufgrund der Wechselhaftigkeit der

Symptome eine große Herausforderung dar.

#### Der unbehandelte Spontanverlauf

Die unbehandelte Ruptur der Supraspinatussehne kann nicht heilen. In über 50% der Fälle entsteht eine Vergrößerung der Ruptur und in 24% eine zunehmende Verfettung. Hiervon sind insbesondere Patienten über 60 J. betroffen. Liegt zum Zeitpunkt der Erstdiagnose bereits eine Verfettung der Muskulatur vor, so steigt das Risiko einer Rupturgrößen-Zunahme noch weiter an [3, 4].

Es wird angenommen, dass insbesondere Rupturen, die den anterioren Anteil der Supraspinatussehne umfassen (Unterbrechung des sogenannten Rotatorenkabels), eine schnellere Degeneration und Retraktion als die restlichen Anteile der Rotatorenmanschette entwickeln [4, 5].

Außerdem neigen Risse, welche zum Zeitpunkt der Erstdiagnose bereits größer als 1-1,5cm sind, zur beschleunigten Risszunahme [6].

Es kann also bei einem abwartenden Vorgehen die Situation entstehen, dass aus einem zuvor weitgehend asymptomatischen jedoch reparablen ein symptomatischer, aber irreparabler Defekt wird [7]. Aus diesem Grund wird bei Verzicht auf eine operative Rekonstruktion dazu geraten, den Rupturverlauf bildgebend zu kontrollieren. Dieses sollte vor allem bei jüngeren, aktiven Patienten geschehen [8]. Auch eine Schmerzzunahme wird als Indikator für eine negative Progression gewertet [6].

# Nicht operative Therapie Abwartendes Verhalten

Ein nicht unerheblicher Anteil von degenerativen Rotatorenmanschettenschäden verursacht keine oder so geringe Symptome, dass die Lebensqualität des Patienten nicht wesentlich eingeschränkt ist. In dieser Situation ist ein abwartendes Verhalten indiziert. Eine OP-Indikation besteht in aller Regel nicht. Der Patient ist über den Spontanverlauf und die damit verbundene Gefahr der Größenprogredienz aufzuklären. Soweit uns bekannt ist, gibt es keine vergleichenden Untersuchungen über die Wirksamkeit einer nicht operativen (konservativen) Therapie bei asymptomatischen Rotatorenmanschettenläsionen. Diese könnten allenfalls das Therapieziel verfolgen, den o.g. Spontanverlauf positiv zu beeinflussen. Derartige Daten fehlen, insofern ist eine konservative Therapie in dieser Situation nicht zu empfehlen.

#### Konservative Therapie

Bei einer symptomatischen degenerativen Rotatorenmanschettenläsion kommen neben allgemeinen Maßnahmen zur Analgesie physiotherapeutische Behandlungen und Injektionen in Betracht.

#### Physiotherapie

Das Kernelement der nicht-operativen Therapie von symptomatischen degenerativen Rotatorenmanschettenläsionen stellt die Physiotherapie dar. Bis heute gibt es jedoch keine randomisierte kontrollierte Studie (RCT), welche den Nutzen der Physiotherapie im Vergleich zu einem abwartenden Verhalten (keine Therapie) oder einer an-

deren nicht operativen Therapieform untersucht hat. Es finden sich eine Reihe von mono- und multizentrischen klinischen Beobachtungsstudien und Fallstudien, welche unterschiedliche Physiotherapieregime allein oder in Kombination mit anderen konservativen Therapieformen untersucht haben.

Trotz des geringen Evidenzlevels und der Unklarheit bezüglich des Timings und des Inhaltes einer physiotherapeutischen Behandlung, wird sie im Sinne eines Expertenkonsensus häufig als erste Behandlungsstufe empfohlen [9].

Die Physiotherapie umfasst insbesondere detonisierende Massnahmen, Kräftigung der Rest-Manschette, die Verbesserung der skapulo-thorakalen Koordination, die Rumpfkräftigung und eine Haltungsschulung.

Physiotherapeutische Maßnahmen können sowohl in einer selbst angeleiteten Eigentherapie als auch im Rahmen einer institutionellen Behandlung erfolgen. Eine RCT zeigte mit beiden Ansätzen gleiche Ergebnisse [10].

Auch bei sogenannt irreparablen Läsionen der Rotatorenmanschette können durch Physiotherapie gute Ergebnisse erreicht werden [11].

#### Injektionsbehandlung

In zwei RCTs führen sowohl die subakromiale Injektion von Corticosteroiden als auch von autologem plateletrich plasma (PRP) zu einer Beschwerdelinderung. Bezüglich der Wirkdauer fanden sich teils widersprüchliche Ergebnisse [12, 13]. Jedoch stellt PRP eine Alternative dar für Patienten, die keine Steroidbehandlungen wünschen oder

aus anderen Gründen nicht dafür qualifizieren.

Neben dem Infektionsrisiko zeigen einige Studien, dass Cortisoninjektionen dosisabhängig das Risiko für ein Nahtversagen einer nachfolgenden operativen Sehnenrekonstruktion erhöhten. Es wird empfohlen, vor einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion ein Intervall von 6 Monaten zur letzten Cortisoninjektion einzuhalten [14, 15].

#### **Operative Therapie**

Die operative Rekonstruktion der Rotatorenmanschette stellt die einzige Möglichkeit dar, die Integrität der Sehnen-Knochen-Verbindung wiederherzustellen. Sie kommt bei symptomatischen Läsionen in Betracht. Es liegen mittlerweile 5 RCT vor, in denen eine Sehnenrekonstruktion mit Physiotherapie vergleichen wurde. 3 dieser RCT stammen aus der Arbeitsgruppe um Moosmayer et al. und berichten über Ergebnisse nach 2 Jahren, 5 Jahren und 10 Jahren aus denselben Kohorten. Insbesondere die 10-jahres Studie ist außerordentlich beachtenswert, da derartig lange Verläufe von RCT mit einem Follow-up von über 97% in der Orthopädie sehr selten sind [16-18].

Die operative Behandlung zeigte sich gegenüber der Physiotherapie in sämtlichen Studien überlegen, insbesondere für den Outcome-Parameter Schmerz.

Die Autoren dieses Artikels haben hierzu ein systematisches Review erstellt. Diese Analyse zeigte einen mean difference des Constant und Murley Scores (CMS) von 6.2 Punkten (95% confidence interval, 2.6; 9.7, P<0.001) zu Gunsten der operativen behandelten Gruppen. Der Visual analog scale pain score (VAS) verbesserte sich bei den operierten Patienten ebenfalls deutlicher mit einem mean difference von – 1.4 (95% confidence interval -2.1; -0.8, P<0.001).

(**Tab.** 1)

Zu berücksichtigen ist hierbei, dass in den genannten Studien ausschließlich single row Techniken und transossäre Fixationen eingeschlossen wurden. Dies kann Einfluss auf die Rerupturrate haben. Im Kollektiv von Moosmayer et al. zeigte sich eine Rerupturrate von 34% [17]. Bei Lambers Heerspink et al. [19] betrug die Rerupturrate sogar 73,7%. In der differenzierten Untersuchung der Subgruppen mit und ohne Reruptur zeigte sich bei Lambers Heerspink et al., dass die Patienten mit postoperativ intakter Rotatorenmanschette ein signifikant besseres Ergebnis im CMS (88,5 Punkte bei intakter Rotatorenmanschette vs. 73,2 Punkte bei Reruptur), weniger Schmerzen (VAS 1,4cm vs. 3,0cm) und einen geringeren Wert auf der VAS für Einschränkungen (1,6cm vs. 3,0cm) aufwiesen als die konservativ therapierten. Patienten mit Reruptur wiesen gegenüber dem präoperativen Zeitpunkt eine Verbesserung auf und waren im Ergebnis in den oben genannten Faktoren vergleichbar mit den konservativ therapierten Patienten oder besser (CMS 73,2 Punkte bei Reruptur vs. 75,6 Punkte bei konservativer Therapie; Schmerzen 3 cm bei Reruptur vs. 3 cm bei konservativer Therapie auf VAS 0-10; Einschränkungen 3cm bei Reruptur vs. 3,3 cm bei konservativer Therapie auf VAS 0-10) [19]. Bei Moosmayer et al. zeigte sich nach 10 Jahren ebenfalls ein besserer CMS bei den intakten Repairs verglichen mit den rerupturierten mit einem Inter-Gruppen Unterschied von 6 Punkten (95% CI, 0.2 bis 11.8 Punkte; p = 0.04) [18].

## Zusammenfassend bringt der Vergleich zwischen Sehnennaht und Physiotherapie folgende Ergebnisse:

- Die klinischen Ergebnisse nach Sehnennaht sind der Physiotherapie insbesondere im langfristigen follow-up überlegen
- 2. Auch Patienten mit einem Heilungsversagen/Reruptur profitieren von der Operation aufgrund

der Verbesserung im Vergleich zum Ausgangsstatus und erreichen im Mittel ein Ergebnis, welches mindestens dem einer konservativen Behandlung entspricht [6].

3. Die nicht operative Behandlung birgt das substanzielle Risiko der Rissvergrößerung und zunehmender Verfettung bis hier zu Irreparabilität

#### **Korrespondenzadresse:**

Priv.-Doz. Dr. med. Ralf Müller-Rath
Orthopädische Praxisklinik Neuss I
Düsseldorf
Standort Neuss
Breite Str. 96
41460 Neuss
mueller-rath@opnd-neuss.de

Tabelle 1: Übersicht über	Patienten und Method	en der RCT Physiothera	nie vs. Rekonstruktion
Tabelle 1. Obel Sicili ubel	i alienten unu metnou	en dei Kei involutiera	DIE VS. NEKUHSH UKHUH

	Moosmayer 2014	Lambers Heerspink 2015	Kukkonen 2014
Patientenanzahl	103	55	167
Alter (Jahre)	60	60	60
Verfettung (Goutailler-Klassifikation)	<3		<3 (3 (<10%))
Retraktion (mm)	9,8-15,6	18-25	9,6
Outcome-Instrument	CMS, ASES, SF-36, VAS	CMS, DSST, VAS	CMS
Operation I	N=52 Single row 9 x mini-offen 42 offen, transossäre Deltarefixation, Rotatorenrekonstruktion transossär, implantatlos	N=20 Single row Mini-offen Transossäre Deltarefixation Rotatorenrekonstruktion mittels Fadenanker	N= 55 Single row Arthroskopisch Rotatorenrekonstruktion mittels Fadenanker
Operation II			N=57 Akromioplastik, ggf. ACG-Plastik, ggf. Bizepstenotomie +KG
Nachbehandlung	Schlinge 6 Wochen Passiv 6 Wochen	Schlinge 6 Wochen Passiv 6 Wochen	Schlinge 3 Wochen Passiv 3 Wochen
Konservative Gruppe	N= 51 KG, 12 Wochen	N= 25 KG, 12 Wochen 1-3 Cortisoninjektion ggf. NSAR	N=55 KG, 12 Wochen
Crossover	27 Patienten	3 Patienten	5 Patienten
Follow up	10 Jahre	1 Jahr	1 Jahr

Tab. 1 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

- [1] Yamaguchi, K., et al., Natural history of asymptomatic rotator cuff tears: a longitudinal analysis of asymptomatic tears detected sonographically. J Shoulder Elbow Surg, 2001. 10(3): p. 199-203.
- [2] Moosmayer, S., et al., The natural history of asymptomatic rotator cuff tears: a threeyear follow-up of fifty cases. J Bone Joint Surg Am, 2013. 95(14): p. 1249-55.
- [3] Maman, E., et al., Outcome of nonoperative treatment of symptomatic rotator cuff tears monitored by magnetic resonance imaging. J Bone Joint Surg Am, 2009. 91(8): p. 1898-906.
- [4] Hebert-Davies, J., et al., Progression of Fatty Muscle Degeneration in Atraumatic Rotator Cuff Tears. J Bone Joint Surg Am, 2017. 99(10): p. 832-839.
- [5] Namdari, S., et al., Characteristics of small to medium-sized rotator cuff tears with and without disruption of the anterior supraspinatus tendon. J Shoulder Elbow Surg, 2014. 23(1): p. 20-7.
- [6] Tashjian, R.Z., Epidemiology, natural history, and indications for treatment of rotator cuff tears. Clin Sports Med, 2012. 31(4): p. 589-604.
- [7] Zingg, P.O., et al., Clinical and structural outcomes of nonoperative management of massive rotator cuff tears. J Bone Joint Surg Am, 2007. 89(9): p. 1928-34.
- [8] Safran, O., et al., Natural history of nonoperatively treated symptomatic rotator cuff tears in patients 60 years old or younger. Am J Sports Med, 2011. 39(4): p. 710-4.
- [9] Ainsworth, R. and J.S. Lewis, Exercise therapy for the conservative management of full thickness tears of the rotator cuff: a systematic review. Br J Sports Med, 2007. 41(4): p. 200-10.
- [10] Krischak, G., et al., A prospective randomized controlled trial comparing occupational therapy with home-based exercises in conservative treatment of rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg, 2013. 22(9): p. 1173-9.
- [11] Christensen, B.H., et al., Enhanced function and quality of life following 5 months of exercise therapy for patients with irreparable rotator cuff tears an intervention study. BMC Musculoskelet Disord, 2016. 17: p. 252.

- [12] Sari, A. and A. Eroglu, Comparison of ultrasound-guided platelet-rich plasma, prolotherapy, and corticosteroid injections in rotator cuff lesions. J Back Musculoskelet Rehabil, 2020. 33(3): p. 387-396.
- [13] Shams, A., et al., Subacromial injection of autologous platelet-rich plasma versus corticosteroid for the treatment of symptomatic partial rotator cuff tears. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2016. 26(8): p. 837-842.
- [14] Forsythe, B., et al., The Timing of Injections Prior to Arthroscopic Rotator Cuff Repair Impacts the Risk of Surgical Site Infection. J Bone Joint Surg Am, 2019. 101(8): p. 682-687.
- [15] Puzzitiello, R.N., et al., Adverse Impact of Corticosteroids on Rotator Cuff Tendon Health and Repair: A Systematic Review of Basic Science Studies. Arthrosc Sports Med Rehabil, 2020. 2(2): p. e161-e169.
- [16] Moosmayer, S., Comparison between surgery and physiotherapy in the treatment of small and medium-sized tears of the rota- tor cuff. J Bone Joint Surg Br. 2010 Jan;92(1):83-91.
- [17] Moosmayer, S., et al., Tendon repair compared with physiotherapy in the treatment of rotator cuff tears: a randomized controlled study in 103 cases with a five-year follow-up. J Bone Joint Surg Am, 2014. 96(18): p. 1504-14.
- [18] Moosmayer, S., et al., At a 10-Year Followup, Tendon Repair Is Superior to Physiotherapy in the Treatment of Small and Medium-Sized Rotator Cuff Tears. J Bone Joint Surg Am, 2019. 101(12): p. 1050-1060.
- [19] Lambers Heerspink, F.O., et al., Comparing surgical repair with conservative treatment for degenerative rotator cuff tears: a randomized controlled trial. J Shoulder Elbow Surg, 2015. 24(8): p. 1274-81.

## 4. Operative Therapie primärer Subscapularissehnenrupturen

(M. Wellmann)

## **Einleitung**

Traumatische Verletzungen der Subscapularissehne betreffen primär Patienten zwischen dem 40. und 50. Lebensjahr. Typische Verletzungsmechanismen sind eine traumatische Erstluxation der Schulter in diesem Alter oder ein forciertes Aussenrotationstrauma.

Bei beiden Verletzungsmechanismen kommt es zu einer exzentrischen Belastung der reflektorisch angespannten Sehne, was meist zum Abriss der Sehne vom Tuberculum minus führt. Seltener kommt es zu einem Ausriss des Tub. minus oder zu einem intratendinösen Riss der Sehne. Entsprechend der Klassifikationen wird davon ausgegangen, dass die Sehnenruptur mit zunehmendem Schweregrad von

kranial nach kaudal fortschreitet. Allerdings sind mittlerweile auch isolierte Rupturen des inferioren Sehnenanteils beschrieben. Charakteristisch ist die begleitende Instabilität der langen Bizepssehne, die sich meist mediale Luxation (LBS) präsentiert.

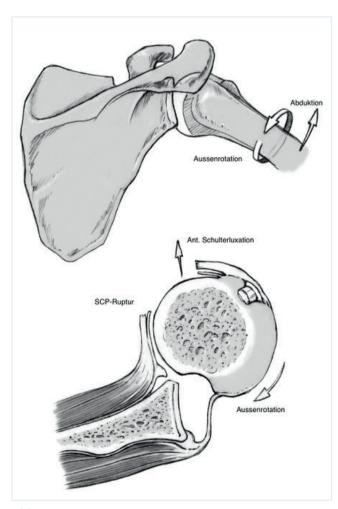
Aufgrund der hohen Retraktionstendenz der SCP-Sehne muss eine zeitnahe Diagnose und operative Therapie angestrebt werden.

Die Heilungsergebnisse sowohl für die arthroskopische als auch die offene Sehnenrefixation sind sehr gut. Der postoperative Verbleib einer Innenrotationsschwäche in ca. 20% der Patienten lässt sich zumeist auf eine bereits zum OP-Zeitpunkt eingetretene Atrophie der Muskulatur zurückführen.

## **Einleitung**

Subscapularissehnenrupturen haben im Vergleich zu den häufigeren Supraspinatussehnenrupturen in der überwiegenden Zahl der Fälle eine traumatische Ursache. Typisch ist das Patientenalter zwischen dem 40. und 50. Lebensjahr [2, 10]. Zwei potentielle Unfallmechanismen sind hierbei dominant: Das "Aussenrotationstrauma" bei fixierter Hand und traumatische anteriore Erstluxation der Schulter in höherem Lebensalter. Aufgrund der hohen Retraktionstendenz der Sehne ist die Diagnosestellung und die Refixation der Sehne als zeitkritisch zu bewerten.

Die typischen Unfallmechanismen beinhalten jeweils eine exzentrische Belastung der Sehne bei gleichzeitiger, reflektorischer Kontraktion des Muskels. Bei der Schulterluxation erfolgt die exzentrische Belastung durch Dehnung über die Kurvatur des nach anterior luxierten Humeruskopfes ( Abb. 1). Beispielhafte Szenarien des "Aussen-



**Abb. 1** ▲ Typischer Unfallmechanismus mit traumatischer anteriorer Schulterluxation in Aussenrotation des Armes und leichter Abduktion. Durch die exzentrische Dehnung der Sehne über den luxierten Humeruskopf kommt es bei gleichzeitiger reflektorischer Anspannung des Muskels zur Sehnenruptur. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

rotationstraumas" sind der Sturz vom Gerüst nach vorn mit dem Versuch, den Fall durch Festhalten abzufangen, ein Treppensturz mit der Hand am Geländer, ein stehender Fahrgast bei abrupter Bremsung des Fahrzeugs in Bus oder Bahn [9].

Die o.g. Unfallmechanismen werden in der Zusammenhangs-Begutachtung der Sehnenruptur als geeignete Unfallmechanismen anerkannt[8, 9]. Darüberhinaus wird eine höhergradige Subscapularissehnen-Verletzung selbst häufig als Indikator für eine traumatische Verursachung angesehen [12, 14].

Da die isolierte Ruptur der Subscapularissehne bezüglich der aktiven Armabduktion – und Anteversion häufig gut kompensiert ist (**Abb.** 2), besteht eine Gefahr darin, die Verletzung bei der Erstuntersuchung zu übersehen. Bei entsprechendem Unfallmechanismus und korrespondierender Schmerzsymptomatik ist daher eine gezielte klinische Untersuchung der Subscapularis-Funktion obligat. Sollte hier eine Innenrotationsschwäche oder einer schmerzreflektorische Hemmung vorliegen (**Abb.** 2), empfiehlt es sich eine MRT-Diagnostik oder mindestens eine sonographische Abklärung umgehend anzuschließen.

Falls sich der klinische Verdacht einer SCP-Ruptur radiologisch bestätigt, sollte die operative Therapie optimalerweise in einem Intervall von 6 Wochen nach dem Unfall durchgeführt werden. Meist handelt es sich bei den traumatischen Verletzungen um Rupturen ≥ Lafosse 2° (■ Tab. 1). Diese zeichnen sich im MRT neben der eigentlichen Sehnenruptur häufig durch eine mediale Luxation bzw. Subluxation der langen Bizepssehne aus. Der Verlauf der langen Bizepssehne sollte daher als hinweisgebend immer mitbeurteilt werden (■ Abb. 3).

Die bisher etablierten Klassifikationen gehen von einem Fortschreiten der Sehnenläsion von kranial nach kaudal mit zunehmendem Schweregrad aus [7]. Dies bedeutet idealtypisch, dass als Initialläsion jedweder SCP-Ruptur

Tabelle 1: Einteilung der Subscapularissehnenläsionen nach Lafosse[7]		
Typ 1	Artikularseitige Partialläsion des oberen Sehnendrittels	
Typ 2	Komplette Läsion des oberen Sehnendrittels	
Тур 3	Komplette Läsion der oberen 2/3 der Sehne	
Typ 4	Vollständige Ruptur der Sehne mit zentriertem Humeruskopf und fettiger Infiltration des Muskels ≤3° (reparable Rupturen)	
Тур 5	Vollständige Ruptur der Sehne mit Dezentrierung des Humeruskopfes und fettiger Infiltration des Muskels ≥3° (nicht primär reparable Rupturen)	

**Tab. 1** ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

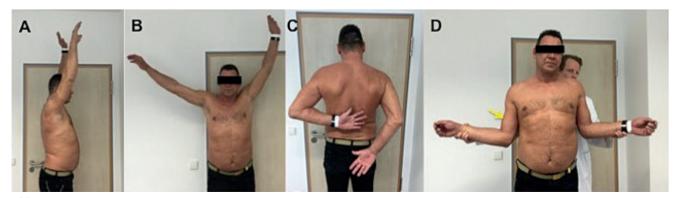


Abb. 2 ▲ Typischer Untersuchungsbefund bei einem 49-jährigem Patienten mit traumatischer SCP-Läsion (rechts). A) Gut kompensierte aktive Anteversion. B) Im Seitenvergleich mittelgradig reduzierte aktive Abduktion. C) Im Seitenvergleich deutlich reduzierte aktive Innenrotation mit positivem Lift-Off-Test. D) Im Seitenvergleich auf 90° vermehrte passive Aussenrotation (linke Seite 50°). Distalisierung des Bizepsmuskelbauchs (Pfeil) im Sinne einer moderaten Popeye-Deformität bei medialer Luxation der langen Bizepssehne. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

immer eine Verletzung des oberen Sehnendrittels angenommen wird. Aktuelle Studien zeigen allerdings das vereinzelt auch isolierte Sehnenverletzungen des unteren und mittleren Sehnendrittels vorkommen [1, 11].

Der knöcherne Ansatz der Sehne am Tuberculum minus besitzt eine rautenförmige Form und verjüngt sich nach kaudal. Die kraniokaudale Ausdehnung beträgt durchschnittlich 40 mm bei einer mediolateralen Ausdehnung von durchschnittlich 16-20 mm [3, 5, 13]. Dabei sind die oberen 2/3 des Sehnenansatzes tendinös und das untere 1/3 des Ansatzes zunehmend muskulär. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass sich maximal die oberen 25 mm des Sehnenansatzes bei arthroskopischer Betrachtung von intraartikulär einsehen lassen. Insbesondere bei ausdehnten Komplettrupturen der

SCP-Sehne (≥Lafosse Typ 3) lässt sich diese arthroskopisch von intraartikulär schlecht vollständig visualisieren.

In diesen Fällen sollte die Darstellung der Refixation entweder arthroskopisch über eine anterolaterales Portal (extrartikulär) oder wahlweise über einen offenen Zugang erfolgen. ( Tab. 1)

## Therapie

Die traumatischen Verletzungen der SCP-Sehne liegen zumeist als Läsionstyp Lafosse 3-4 vor und betreffen damit mindestens die oberen 2/3 des Sehnenansatzes.

Bei diesen Läsion hat ein "konservatives Antherapieren" aufgrund der Bedeutung des Muskels als dynamischer Stabilisator der Schulter keine Aussicht auf Erfolg und sollte daher unterbleiben [4].

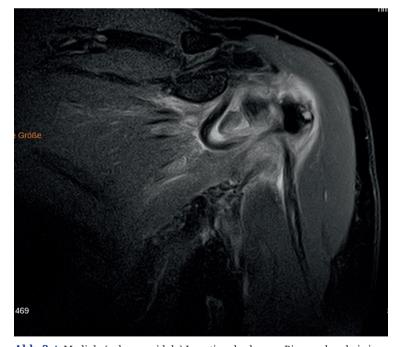
Auch wenn keine Studien vorliegen, die den Vorteil der umgehenden Versorgung (innerhalb von 6 Wochen) der traumatischen SCP-Ruptur im Vergleich zur verzögerten Versorgung beweisen, ergibt sich dieser Zusammenhang aus der klinischen Routine eindeutig. Ursache hierfür ist die hohe Retraktionstendenz der SCP-Sehne.

Eine Ausnahme von diesem zeitkritischen Vorgehen stellen die bereits chronifizierten SCP-Rupturen (Lafosse Typ 5) dar, die in Abhängigkeit vom Gelenkbefund ohne Zeitdruck mittels Musketransfer-Transfer (Pectoralis oder ggf. Latissimus dorsi) oder mittels inverser Schulterprothese behandelt werden können.

Die Entscheidung für ein arthroskopisches oder offenes Vorgehen der SCP-Refixation obliegt anhand der verfügbaren Literatur der Präferenz des Operateurs, da beide Vorgehensweisen equivalente klinische Ergebnisse aufweisen [10]. Häufig wird eine arthroskopische Inspektion der Schulter und dann in Abhängigkeit von der Läsionstiefe der SCP-Ruptur eine Konversion zum offenen Vorgehen praktiziert.

Beiden Techniken gemeinsam ist die initiale Versorung der langen Bizepssehne (LBS) zur Behebung der medialen Instabilität (■ Abb. 4, Abb. 5). Die LBS-Tenodese wird typischerweise in arthroskopischer Technik am Sulcuseingang oder in offener Technik subpectoral durchgeführt.

Bei großen SCP-Rupturen erweist sich das Fehlen der gewohnten anterioren Schulterkulisse dabei zunächst als ungewohnt. An Stelle der eigentlichen Subscapularissehne findet sich häufig eine kontinuierlich zum Humerus



**Abb. 3** ▲ Mediale (subcoracoidale) Luxation der langen Bizepssehne bei einer traumatischen SCP-Läsion der Ausdehnung Lafosse Typ 3. Das inferiore Drittel des Sehnenansatzes ist noch intakt. In diesem Bereich liegt die Bizepssehne wieder regulär im Sulcus bizipitalis. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

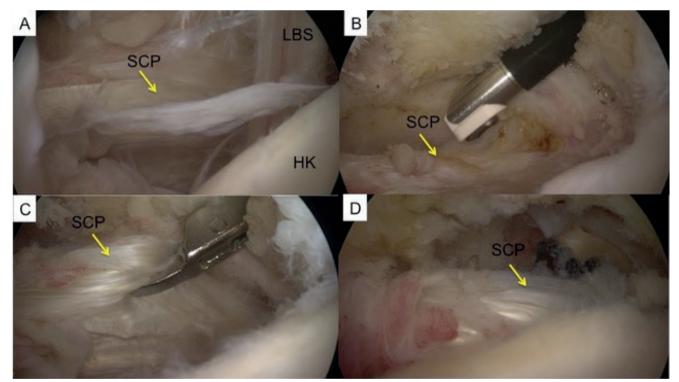
reichende fibröse Narbenplatte. Die kann für den unerfahrenen Operateur dem Verlauf der Subscapularis-Sehne ähneln und zunächst Zweifel an der korrekten Diagnose wecken. Dies ist insbesondere bei subakuten Rupturen der Fall, wenn der eigentliche SCP-Sehnenstumpf nach medial retrahiert und zunächst nicht sichtbar oder in der vorderen Kapsel vernarbt ist ( Abb. 4).

Für die Sicherung des Befundes ist dann die Betrachtung des Tuberculum minus durch Einstellung der optimalen Armposition (Anteversion und Horizontaladduktion) entscheidend. Bei freiliegendem footprint erschließt sich das Ausmaß der SCP-Läsion häufig durch eine Probereposition mittels Gewebefaßzange ( Abb. 4C, Abb.

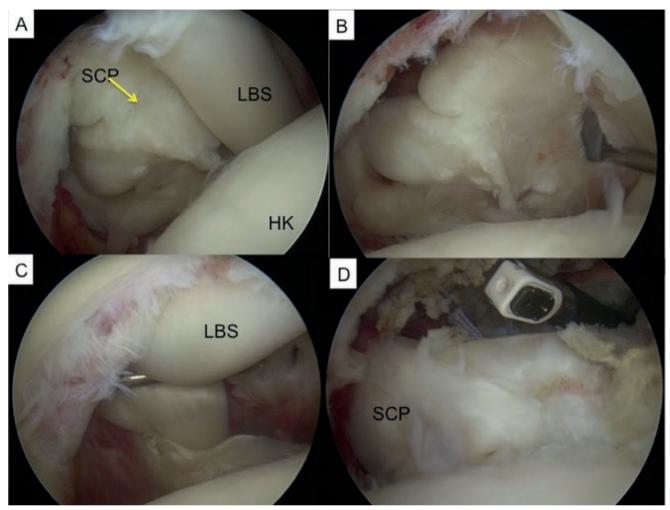
6A). Ziel des Repositionsvorgangs ist dabei die Wiederherstellung des tubulären Sehnenoberrrandes ( Abb. 6C). Ist der Sehnenoberrand identifiziert, gelingt unter Traktion der Sehne von lateral auch das "Herauspräparieren" aus der umgebenden Narbengewebe. Hierbei sollte zur technischen Erleichterung das folgenden Fadenmanagements das Rotatorenintervall komplett kapsulektomiert werden. Auch die Darstellung der conjoint tendons und der Coracoid-Unterfläche ist zur Orientierung sinnvoll.

Beim arthroskopischen Vorgehen ist eine Optik-Position im anterolateralen Portal für die Mobilisation der SCP-Sehne im subcoracoidalen Raum anzuraten. Auch das Platzieren eines Traktionsfadens für die Mobilisation der Sehne empfiehlt sich ( Abb. 6B). Bei vollständigen Rupturen (Lafosse 4) ist ein Traktionsfaden im Oberrand der Sehne und ein Traktionsfaden im Unterrand der Sehne sinnvoll.

Bei weit retrahierten Rupturen empfiehlt sich zusätzlich die arthroskopische Darstellung des N. axillaris zur Definition der Sicherheitsgrenzen für das Sehnenrelease. Die Darstellung des N. axillaris erfolgt durch mediales Eröffnen der Bursa subcoracoidea. Im angrenzenden Fettgewebe des Plexus lässt sich der Nerv dann relativ leicht darstellen. Ein agressives inferiores Freipräparieren der SCP-Sehne ohne Darstellung des N. axillaris muss vermieden werden. Eine Verbesserung



**Abb.** 4A bis 4D ▲ A) Intraartikuläre Luxation der langen Bizepssehne (LBS) bei medialer Pulley-Läsion und Läsion der Subscapularissehne (SCP), Humeruskopf (HK). Der kraniale, artikularseitige Anteil der Subscapularissehne ist vom footprint gelöst und mit der anterioren Kapsel vernarbt. B) Trennung der SCP-Sehne von der anterioren Kapsel. C) Repositionsversuch. D) Befund nach arthroskopischer SCP-Refixation. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb.** 5A bis 5D ▲ A) Traumatische Lafosse 3°-Läsion mit medialer Luxation der langen Bizepssehne. Das Rotatorenintervall ist initial durch Sehnengewebe und die lange Bizepssehne verlegt. B) Darstellung des Befundes nach Reposition der Bizepssehne. C) Demonstration der medialen Luxationsrichtung der Bizepssehne. D) Befund nach arthroskopischer SCP-Refixation mit Wiederherstellung des tubulären Sehnenoberrandes.© 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



Abb. 6A bis 6C ▲ A) Komma-Zeichen (mediale Bizepsschlinge mit Fasszange gefaßt) bei Lafosse III°-Läsion. B) Platzierung eines Zugfadens zur kontrollierten Sehnenmobilisation- und Reposition. C) Befund nach arthroskopischer SCP-Refixation. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

der Sicht durch Vergrösserung des Abstands zwischen Humerus und Coracoid gelingt durch die Ausführung einer posterioren Schubladenposition ("posterior lever push") durch den Assistenten.

Die eigentliche Naht der Sehne kann dann in Abhängigkeit von der Tiefe der Läsion weiter mit Blick von anterolateral (≥ Lafosse 3) oder wieder mit Blick über das posteriore Standardportal (Lafosse Typ 1 und 2) erfolgen. Da sich der knöcherne Ansatz am Tuberculum minus in kranio-kaudaler Richtung über bis zu 40mm erstreckt ist, die Verwendung von mindestens zwei doppelt beladenen Nahtankern bei Läsionen ≥ Lafosse 3° zu empfehlen. Da der subcoraoidale Arbeitsraum nicht so übersichtlich und klar begrenzt ist wie der Subacromialraum bei der Versorgung von SSP-Rupturen, empfiehlt sich für das Fadenmanagement und das eigentliche Knoten die Verwendung einer Arbeitskanüle und ggf. das etappenweise Vorgehen (erst Knoten des unteren Nahtankers, dann Durchstechen der Fäden des oberen Nahtankers, um das Arbeitsfeld übersichtlich zu halten).

Bei der Refixation wird der Erhalt des nach medial retrahierten Pulley-Anteils als weichteilige Verbindung zwischen SCP- und SSP-Sehne häufig propagiert. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil einer "anatomischen Repositionshilfe", wenngleich die Hauptaufgabe des Pulleys in der Stabilisierung der LBS besteht, die nach Durchführung der Tenodese bzw. Tenotomie nicht mehr erforderlich ist. Studienergebnisse zeigen nun auch, dass der Erhalt der medialen Intervall-Strukturen im Rahmen der Rekonstruktion keine signifikanten Vorteile bietet[6]. Wir empfehlen daher, den Pulley-Zügel bei der arthroskopischen Rekonstruktion nur dann zu erhalten, wenn er keine Sichtbehinderung verursacht.

#### Fazit für die Praxis

- Tiefreichende SCP-Rupturen sind im Gegensatz zu den SSP-Rupturen überwiegend traumatisch verursacht. Typische Mechanismen sind die Schultererstluxation des >40 jährigen Patienten und das "Aussenrotationstrauma".
- Die klinische Untersuchung der SCP-Funktion (aktive Innenrotation, Lift-off, passive Aussenrotation) ist bei der Erstuntersuchung des Patienten obligat.
- Die operative ist als zeitkritisch einzustufen aufgrund der hohen Retraktionstendenz der Sehne.
- Arthroskopische Diagnosehilfen sind das nach medial retrahierte Bizepspulley (Komma-Zeichen), die Luxation der langen Bizepssehne, die Darstellung des freiliegenden Tuberculum minus (in Antversion und Adduktion des Armes) und die Repositionprobe des tubulären SCP-Sehnenoberrandes.
- Die operative Vorgehensweise richtet sich nach der Tiefe der Läsion.
   Rupturen, die mehr als die oberen 2/3 der Sehne umfassen, sollten arthroskopisch von extraartikulär oder alternativ offen operiert werden.

#### Korrespondenzadresse:

#### Prof. Dr. med. Mathias Wellmann

Orthoprofis Luisenstr. 10-11 30159 Hannover

mail: wellmann@orthoprofis.de

Tel.: 0511/8998800

- [1] Achtnich A, Braun S, Imhoff AB, Martetschläger F (2015) Isolated lesions of the lower subscapularis tendon: diagnosis and management. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA
- [2] Bartl C, Salzmann GM, Seppel G, Eichhorn S, Holzapfel K, Wörtler K, Imhoff AB (2011) Subscapularis function and structural integrity after arthroscopic repair of isolated subscapularis tears. Am J Sports Med 39:1255–1262
- [3] Curtis AS, Burbank KM, Tierney JJ, Scheller AD, Curran AR (2006) The insertional footprint of the rotator cuff: an anatomic study. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc 22:609.e1
- [4] Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P, Baierle T (Eds.) (2010) Schulterchirurgie: [mit dem Plus im Web; Zugangscode im Buch]. Elsevier, Urban & Fischer, München
- [5] Ide J, Tokiyoshi A, Hirose J, Mizuta H (2008) An anatomic study of the subscapularis insertion to the humerus: the subscapularis footprint. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc 24:749–753
- [6] Kim S-J, Jung M, Lee J-H, Kim C, Chun Y-M (2014) Arthroscopic repair of anterosuperior rotator cuff tears: in-continuity technique vs. disruption of subscapularissupraspinatus tear margin: comparison of clinical outcomes and structural integrity between the two techniques. J Bone Joint Surg Am 96:2056–2061
- [7] Lafosse L, Jost B, Reiland Y, Audebert S, Toussaint B, Gobezie R (2007) Structural integrity and clinical outcomes after arthroscopic repair of isolated subscapularis tears. J Bone Joint Surg Am 89:1184–1193
- [8] Loew M (2000) [Traumatic development of rotator cuff lesion. Scientific principles and consequences for expert assessment]. Orthopade 29:881–887
- [9] Loew M, Habermeyer P, Wiedemann E, Rickert M, Gohlke F (2000) [Recommendations for diagnosis and expert assessment of traumatic rotator cuff lesions]. Unfallchirurg 103:417–426

- [10] Mall NA, Chahal J, Heard WM, Bach BR, Bush-Joseph CA, Romeo AA, Verma NN (2012) Outcomes of arthroscopic and open surgical repair of isolated subscapularis tendon tears. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc 28:1306–1314
- [11] Neyton L, Daggett M, Kruse K, Walch G (2016) The Hidden Lesion of the Subscapularis: Arthroscopically Revisited. Arthrosc Tech 5:e877–e881
- [12] Weiser L, Assheuer J, Schulitz KP, Castro WHM (2012) [Magnetic resonance imaging criteria for the differentiation of traumatic and non-traumatic rotator cuff tears]. Versicherungsmedizin 64:122–126
- [13] Yoo JC, Rhee YG, Shin SJ, Park YB, McGarry MH, Jun BJ, Lee TQ (2015) Subscapularis tendon tear classification based on 3-dimensional anatomic footprint: a cadaveric and prospective clinical observational study. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc 31:19–28
- [14] Zanetti M, Weishaupt D, Jost B, Gerber C, Hodler J (1999) MR imaging for traumatic tears of the rotator cuff: high prevalence of greater tuberosity fractures and subscapularis tendon tears. AJR Am J Roentgenol 172:463–467



# 5. Operative Therapie posterosuperiorer Rupturen der Rotatorenmanschette (J. Schanda, Ph. Heuberer)

Bereits im Jahr 1911 berichtete Ernest Amory Codman über die ersten zwei erfolgreich durchgeführten Rekonstruktionen kompletter Rupturen der Supraspinatussehne [25, 26]. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Operationstechniken sowie innovative Materialien zur Behandlung Rotatorenmanschettenrupturen entwickelt [5, 13, 28, 50, 52, 82, 137]. Kürzlich berichteten Moosmayer et al. in einer randomisiert kontrollierten Langzeitstudie über signifikant bessere klinische Ergebnisse nach primär operativer Versorgung kleiner bis mittlerer Rotatorenmanschettenrupturen verglichen mit einer konservativen Therapie [104]. Die begleitende fettige Infiltration der Muskulatur bei chronischen Rotatorenmanschettenrupturen stellt einen irreversiblen und typischerweise fortschreitenden Prozess dar, der durch die operative Versorgung gestoppt werden kann [24, 46, 48, 49, 55, 97, 160]. Eine verzögerte Rotatorenmanschettenrekonstruktion ist daher mit verminderten biomechanischen Eigenschaften und einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Re-Rupturen verbunden [17, 148]. Klinische und radiologische Langzeitergebnisse nach offenen chirurgischen Eingriffen [11, 29, 30, 104, 110, 152], "mini-open" Techniken [100, 104, 132] und arthroskopischen Verfahren [29, 32, 64, 95, 123, 124, 144] bei Rotatorenmanschettenrupturen zeigen gute bis sehr gute Ergebnisse. In Bezug auf Schmerzreduktion, funktionelle Verbesserung der Schulterbeweglichkeit sowie Verbesserung der Lebensqualität erzielen neuartige arthroskopische Operationstechniken vergleichbare Ergebnisse wie offene oder "mini-open" Verfahren [69, 107, 134, 136, 137]. Darüber hinaus sind die Komplikationsraten bei arthroskopischen Operationsverfahren niedriger [64, 126, 134, 144], weshalb arthroskopische Techniken heutzutage

als Goldstandard für die Rekonstruktion von Rotatorenmanschettenrupturen gelten [36, 45, 126, 144].

## Heilungsraten nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion

Die Heilungsraten nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion schwanken je nach Operationstechnik zwischen 25% und 87% [38, 39, 88, 145]. Im Jahr 2004 beschrieben Galatz et al. Re-Rupturraten von 94% nach vollständig arthroskopisch rekonstruierten großen Rotatorenmanschettenrupturen [41]. Miller et al. berichteten 2011 noch über eine Re-Rupturrate von 41% nach Rekonstruktion von großen Rupturen [99]. In der neueren Literatur werden Re-Rupturraten von 21% bis 26% innerhalb des ersten Jahres nach operativer Versorgung angegeben [56].

Die Heilung der Sehne hängt von verschiedenen Faktoren ab. Zu den unbeeinflussbaren Faktoren zählen Alter [24, 93, 114, 122, 131, 138, 156], Aktivitätsniveau [24, 74, 77, 80, 138], Händigkeit [24, 72, 74, 114], initiale Größe und Stadium der Ruptur [12, 24, 72, 80, 91, 93, 105] sowie Grad der fettigen Infiltration der Muskulatur [24, 80, 93]. Zusätzlich beeinflussen patientenbezogene und umweltbedingte Faktoren die zelluläre Regeneration der Enthese: Diabetes mellitus [10, 20, 89, 114], arterielle Hypertonie [114], Hyperlipidämie [1, 16, 31, 33, 34, 44, 89, 114, 149, 150, 158], Adipositas [114], Vitamin D-Mangel [6, 113], Rauchen [8, 42, 115] oder zusätzliche Medikamentengabe (z.B. nicht-steroidale Antirheumatika und Kortikosteroide) [19, 27, 94, 98] beeinträchtigen die Sehnen-Knochen-Heilung.

Die Heilung der Rotatorenmanschette hängt allerdings auch von beeinflussbaren Faktoren wie der chirurgischen Technik ab, die Auswirkungen auf die Spannung der Rekonstruktion [40, 47, 61, 92, 154], die Kontaktfläche der Sehne an der knöchernen Insertion [40, 61, 92, 121], die Festigkeit der Rekonstruktion [40, 61, 92, 154] und die Vaskularisierung der Sehne [22, 43, 78] hat. Rezente Studien zeigten, dass unter Berücksichtigung der spezifischen Rupturform und -morphologie die ReRupturraten mithilfe moderner Rekonstruktionstechniken in Kurzzeitstudien auf 6% gesenkt werden können [61, 129]

## Initiale Rupturgröße als entscheidender Faktor für das Ergebnis

Eine Korrelation zwischen initialer Rupturgröße und Integrität der Rotatorenmanschette konnte in Kurz- und Langzeitstudien nachgewiesen werden [68, 84, 85, 127]. Bei initial großen Rupturen ist das Risiko einer Re-Ruptur der Supraspinatussehne im Vergleich zu kleinen Läsionen mehr als doppelt so hoch [127]. Auch entwickelten Patienten mit einer Re-Ruptur in über 20% eine ausgeprägte Glenohumeralarthrose [127]. Nach durchschnittlich zehn Jahren liegt die Rate der Glenohumeralarthrose bei initial kleinen Rupturen bei 1,6% verglichen mit 23,7% bei großen Rupturen [127]. Allerdings kommt es auch nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion – abhängig von der initialen Größe der Ruptur - in 20% bis 60% zu degenerativen Gelenksveränderungen [3, 49].

## Die Delaminierung der Rotatorenmanschette als biomechanisch wesentlicher Faktor

Während die Enthese der Rotatorenmanschette aus fünf mikroskopischen Schichten besteht [23, 143], können makroskopisch nur zwei Schichten identifiziert werden, die für eine chirurgische Rotatorenmanschettenrekonstruktion entscheidend sind: Eine flexiblere oberflächliche Sehnenschicht bedeckt die tiefer liegende und weniger bewegliche kapsuloligamentäre Schicht, die der superioren Gelenkkapsel des Glenohumeralgelenks entspricht [102, 111]. Die Delaminierung der Rotatorenmanschette bezeichnet eine horizontale Spaltung des Sehnengewebes, die vor allem bei chronischen posterosuperioren Rupturen vorkommt [90]. Obwohl das Vorliegen einer Delaminierung der Rotatorenmanschette als negativer prädiktiver Faktor gilt [12], wurde deren klinische Relevanz lange Zeit unterschätzt, da eine Delaminierung in früheren Studien bei nur 50% der Rotatorenmanschettenrupturen beschrieben wurde [12, 142]. Rezente Arbeiten beschreiben hingegen eine Prävalenz der Delaminierung der Rotatorenmanschette von 88%, wobei die Delaminierung nur dann definitiv erkannt werden kann, wenn das Arthroskop über ein laterales Portal eingebracht wird und somit das Ausmaß der Ruptur von sagittal sichtbar wird [53]. Die delaminierten Sehnenschichten sind üblicherweise nach posteromedial retrahiert [18, 51], weshalb deren Identifizierung über ein posteriores Arthroskopieportal erschwert ist [53].

Bei der Rotatorenmanschettenrekonstruktion ist die Wiederherstellung der makroskopisch zwei-geschichteten Rotatorenmanschette entscheidend, um eine optimale Heilung zu gewährleisten und das Risiko einer Re-Ruptur zu senken ( Abb. 1) [61, 62, 79, 81, 121]. Die kapsuloligamentäre Sehnenschicht ist von besonderer biomechanischer Bedeutung für die Stabilität im Glenohumeralgelenk, da dieses tiefer liegende Sehnenblatt der proximalen Migration des Humeruskopfs entgegenwirkt [2, 67]. Diese kapsuloligamentäre Sehnenschicht ist üblicherweise weiter retrahiert als die oberflächliche Sehnenschicht, lässt sich jedoch durch Zug in anterolateraler Richtung einfach zur knöchernen Insertionsstelle der Sehne reponieren [18].

Es ist daher von zentraler Bedeutung, die Konfiguration der Ruptur intraoperativ genau darzustellen, um die Nähte möglichst medial des Rotatorenkabels zu setzen, um sowohl die tiefe als auch die oberflächliche Sehnenschicht zu fassen, wodurch eine biomechanisch stabile Rekonstruktion erreicht und das Risiko einer Re-Ruptur verringert werden kann [62, 79, 108, 154].

## Strukturelle Sehnenintegrität nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion

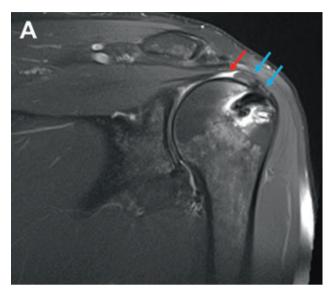
In einer Meta-Analyse aus 29 Arbeiten konnten Yang et al. zeigen, dass Patienten mit einer Re-Ruptur nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion signifikant schlechtere Ergebnisse im Constant Score, University of California, Los Angeles (UCLA) shoulder score, American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) score sowie eine geringere Abduktionskraft aufweisen [157]. Jedoch berichten Patienten auch nach einer Re-Ruptur nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion über eine zufriedenstellende Schmerzlinderung [54, 157]. Die Kraft als bevorzugtes

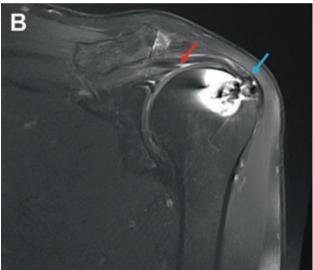
klinisches Ergebnis gegenüber der Schmerzlinderung ist allerdings bei Patienten mit intakter Rotatorenmanschettenrekonstruktion zuverlässiger wiederhergestellt als bei Patienten mit einer Reruptur [86].

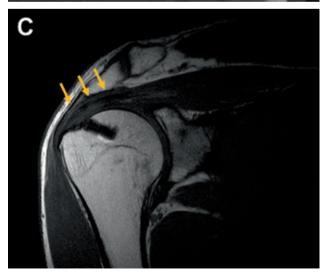
## Einreihig, doppelreihig oder transossäres Äquivalent?

Die Rotatorenmanschettenrekonstruktion kann grundsätzlich einreihig, doppelreihig oder als transossäres Äquivalent durchgeführt werden.

Einreihige Rekonstruktionen zeigen zwar allgemein gute klinische Ergebnisse, jedoch wird ein hohes Einheilungsversagen, insbesondere bei initial großen Rupturen, beschrieben [41]. Um dieser hohen Versagensrate entgegenzuwirken, wurden doppelreihige Techniken zur Verbesserung der Stabilität und der Langlebigkeit der Rekonstruktion entwickelt. Durch doppelreihige Rekonstruktionen mit Verwendung mehrerer Fixationspunkte wird eine Wiederherstellung der Sehneninsertion am Knochen von bis zu 100% ermöglicht; gleichzeitig werden Kontaktfläche und Anpressdruck der Sehne gleichmäßiger über die knöcherne Insertionsstelle verteilt, wodurch die maximale Festigkeit und Steifigkeit der Rekonstruktion erhöht und die Spaltbildung zwischen Sehne und Knochen unter zyklischer Belastung verringert wird [76, 96, 117, 153]. Klassische doppelreihige Rotatorenmanschettenrekonstruktionen mit vier Fixationspunkten wurden in weiterer Folge durch transossäre Äquivalente ersetzt, welche die mediale und die laterale Reihe miteinander verbinden, um die Kontaktfläche an der knöchernen Insertion und somit die Festigkeit der Rekonstruktion zu erhöhen [116, 117, 119, 153]. Während biomechani-







sche Studien einen eindeutigen Vorteil transossärer Äquivalente gegenüber einreihigen und doppelreihigen Rekonstruktionen zeigen [76, 96, 116, 117, 119, 153], wird die klinische Relevanz kontroverser diskutiert [73, 101, 125, 130, 137, 141, 155, 159]. In einer aktuellen Übersichtsarbeit aus 2019 zeigten die qualitativ hochwertigsten Studien mit dem höchsten Evidenzgrad die Überlegenheit einer doppelreihigen Rekonstruktion betreffend Sehnenheilung und klinischer Ergebnisse [66].

## Knotenlose oder geknotete mediale Reihe?

In letzter Zeit hat sich die Diskussion darauf konzentriert, die optimale Technik für transossäre Äquivalente zu finden: Sollen Knoten in der medialen Ankerreihe gesetzt werden oder ist eine knotenlose Konfiguration zu bevorzugen? Biomechanische Studien zeigten, dass eine zusätzliche Fixierung mittels medialer Knoten die primäre Festigkeit der Rekonstruktion und die maximale Ausrisskraft erhöht, gleichzeitig die Lückenbildung zwischen Sehne und Knochen verringert [5, 15, 109, 120]. In-vivo Untersuchungen haben allerdings nahegelegt, dass eine zusätzliche Verknotung der me-

**Abb.** 1A bis 1C (A) Magnetresonanztomographie (T2-gewichtet) einer linken Schulter mit einer "medial cuff failure" nach doppelreihiger Rotatorenmanschettenrekonstruktion. Der Ansatz der Supraspinatussehne an der knöchernen Insertionsstelle am Oberarmkopf ist gut erkennbar (blaue Pfeile), die Re-Ruptur medial der medialen Ankerreihe mit Sehnenretraktion ist mit dem roten Pfeil eingezeichnet. Im Bereich des Oberarmkopfs sind Artefakte und Flüssigkeitsansammlungen um die Fadenanker erkennbar. (B) Magnetresonanztomographie (T2-gewichtet) einer linken Schulter nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion. Die oberflächliche Schicht der Supraspinatussehne ist gut erkennbar an der knöchernen Insertion refixiert (blauer Pfeil), die tiefer liegende Schicht der Supraspinatussehne wurde nicht mitgefasst und ist medial bis auf Höhe des Glenoids retrahiert (roter Pfeil). Im Bereich des Oberarmkopfs sind Artefakte und Flüssigkeitsansammlungen um die Fadenanker erkennbar. (C) Magnetresonanztomographie (T1-gewichtet) einer rechten Schulter nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion mittels "double-layer cinch bridge". Die Supraspinatussehne ist zur Gänze an der knöchernen Insertion refixiert (gelbe Pfeile). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

dialen Ankerreihe zu einer Strangulation der lateralen Mikrozirkulation an der Sehne führt, was das Risiko einer Re-Ruptur erhöht [21, 22]. Aufgrund dessen hat sich zuletzt das Konzept knotenloser transossärer Äguivalente durchgesetzt. Um die Gefäßversorgung der Sehne nicht zu kompromittieren und somit einer Re-Ruptur an typischer Stelle medial der medialen Ankerreihe, der sogenannten "medial cuff failure", entgegenzuwirken (■ **Abb. 1**) [7, 21, 71, 83]. Allerdings ist die Datenlage auch hier kontrovers: Zwei aktuelle systematische Übersichtsarbeiten berichten über Re-Rupturraten zwischen 0% und 48% ohne Unterschied der Fixationsmethode der medialen Reihe [37, 83]. Ein weiteres Problem bei medial verknoteten transossären Äguivalenten sind Rupturen im Bereich des myotendinösen Übergangs, das sogenannte Typ-2 Versagen. Die Inzidenz von Typ-2 Re-Rupturen wird bei einreihigen Rekonstruktionen mit 24%, bei doppelreihigen Rekonstruktionen mit 43%, bei medialen Verknotungen mit 62% und bei knotenlosen Rekonstruktionen mit 38% angegeben werden [9], was allerdings in einer rezenten systematischen Übersichtsarbeit nicht bestätigt werden konnte [83]. Die Validität dieser systematischen Übersichtsarbeiten ist jedoch durch die Heterogenität und unterschiedliche Qualität der eingeschlossenen Studien bezüglich Nachbeobachtungszeitraum, Studiendesign und -aufbau sowie unterschiedliche Definitionen des Begriffs der Re-Ruptur erheblich eingeschränkt [37, 83].

## Das transossäre Äquivalent bei delaminierten Rotatorenmanschettenrupturen

Bei chronisch degenerativen Veränderungen und damit verbundenem geschwächtem Gewebe können die verbesserten biomechanischen Eigenschaften medial verknoteter transossärer Äquivalente von Vorteil sein [92]. Jedoch könnte die Erhaltung der Mikrozirkulation an der Rotatorenmanschette durch die Verwendung knotenloser transossärer Äquivalente bei chronischen Rupturen eine biologisch aktivere Umgebung für die Sehnen-Knochen-Heilung schaffen [21, 22]. Es scheint daher essentiell, ein Gleichgewicht zwischen struktureller Festigkeit, Sehnenperfusion und Bereitstellung der bestmöglichen biologischen Umgebung für die Heilung zu finden [61].

Während bisher der Fokus bei den Rekonstruktionstechniken hauptsächlich auf der Wiederbefestigung der retrahierten Sehne an der knöchernen Insertion sowie der Wiederherstellung der maximalen Kontaktfläche zwischen Sehne und Knochen lag, konnte in jüngster Zeit gezeigt werden, dass die Darstellung und Refixierung beider makroskopisch delaminierter Sehnenschichten entscheidend für die strukturelle Integrität ist [62, 79]. Moderne Techniken konzentrieren sich daher auf die individuelle Rekonstruktion sowohl der tiefen als auch der oberflächlichen Sehnenschicht [57, 58, 63, 106, 146]. Kim et al. verglichen die Resultate delaminierter Rotatorenmanschettenrupturen nach zweischichtigen doppelreihigen Rekonstruktionen mit konventionellen "en-masse" Rekonstruktionen [79]. Die Autoren fanden vergleichbare klinische Ergebnisse und Re-Rupturraten bei beiden Techniken, beobachteten jedoch weniger postoperative Schmerzen bei zweischichtigen doppelreihigen Rekonstruktionen [79]. Die Autoren schlossen daraus, dass die Vermeidung von nicht-physiologischen Spannungsverhältnissen im Sehnengewebe durch die individuelle Rekonstruktion der delaminierten Schichten die Schmerzreduktion erklären könnte [79].

Im Jahr 2018 wurde erstmals eine neue Technik für die individuelle Rekonstruktion der tiefen und oberflächlichen Sehnenschicht mithilfe eines knotenlosen transossären Äguivalents publiziert ( Abb. 2) [63]. In weiterer Folge konnten die biomechanischen Vorteile dieser "double-layer cinch bridge" gegenüber medial verknoteten Rekonstruktionen und knotenlosen transossären Äguivalenten ohne Berücksichtigung der delaminierten Sehne gezeigt werden [121]. Es wurde wiederholt beschrieben, dass transossäre Äguivalente, insbesondere knotenlose Varianten, durch die spezielle Konfiguration selbstverstärkende Eigenschaften aufweisen [117, 118, 139, 140]. Biomechanische Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass trotz dieses selbstverstärkenden Mechanismus der Kontakt zwischen Sehne und Knochen mit zunehmender Abduktion im Schultergelenk abnimmt [118, 139, 140]. Dies würde bedeuten, dass die Abduktion während der Frührehabilitation vermieden werden sollte, um einen kontinuierlichen Kontakt zwischen Sehne und Knochen zu gewährleisten und somit eine verbesserte Heilung zu ermöglichen. Im Gegensatz zu den biomechanischen Untersuchungen von transossären Äquivalenten führt die "double-layer cinch bridge" bei zunehmender Abduktion tatsächlich zu einer Verbesserung des Kontakts zwischen Rotatorenmanschette und Knochen [121]. Dies könnte eine frühere postoperative Mobilisierung und Rehabilitation ermöglichen, ohne den Heilungsprozess am Sehnen-Knochen-Übergang zu behindern. Diese Technik wurde kürzlich mit einem medial verknoteten transossären Äquivalent bei delaminierten Rotatorenmanschettenrupturen verglichen: Zwei Jahre nach der operativen Versorgung wurde mit der "double-layer cinch bridge" ein signifikant höherer Constant score und

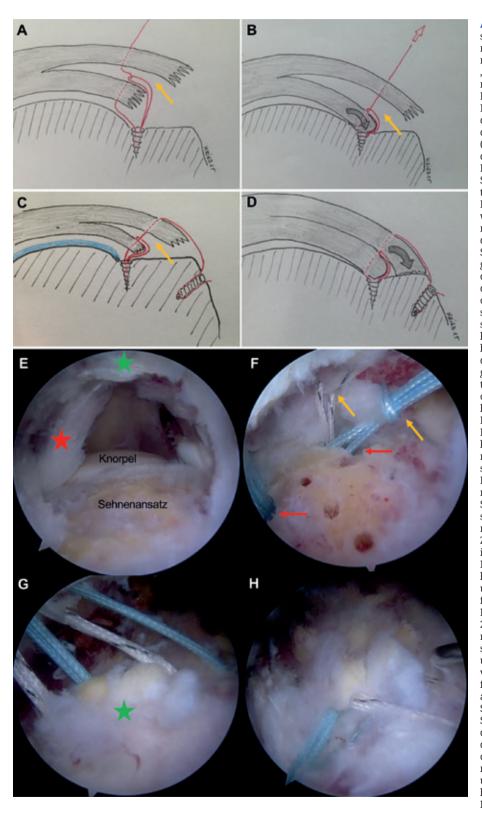


Abb. 2A bis 2H ◀ Schematische Darstellung (A-D) und Arthroskopie der rechten Schulter (E-H) einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion mittels "double-layer cinch bridge". (A) Ein medialer Fadenanker ist im Bereich der Knochen-Knorpel-Grenze eingebracht. Mit einem Faden wird die tiefer liegende Sehnenschicht durchstochen und durch eine Schlaufe des Fadens fixiert (gelber Pfeil). (B) Durch das Festziehen des Fadens mit der Schlaufe (gelber Pfeil) wird zunächst die tiefer liegende Sehnenschicht an die knöcherne Insertion fixiert (schwarzer Pfeil). Der selbe Faden mit der vorgelegten Schlaufe wird dann durch die oberflächliche Sehnenschicht gestochen, somit werden mit demselben Faden beide delaminierte Sehnenschichten gefasst. (C) Die vorgelegte Schlaufe (gelber Pfeil) fixiert die tiefer liegende Sehnenschicht und drückt diese auf die knöcherne Insertionsstelle. Der Faden wird nach Durchstechung der oberflächlichen Sehnenschicht mit einem zweiten Fadenanker lateral an der knöchernen Insertion befestigt. (D) Durch das Festziehen und die Fixierung des Fadens mit der vorgefertigten Schlaufe wird neben der tiefer liegenden Sehnenschicht auch die oberflächliche Sehnenschicht auf die knöcherne Insertion fixiert (schwarzer Pfeil). (E) Arthroskopisches Bild lateral, Blick nach intraartikulär. Der Oberarmkopf mit dem Knorpel und der knöchernen Insertion der Rotatorenmanschette sowie das Glenoid sind gut erkennbar. Die delaminierte Rotatorenmanschette mit der oberflächlichen Schicht (grüner Stern) und der tiefer liegenden Sehnenschicht (roter Stern) wird durch das laterale Arthroskopieportal visualisiert. (F) Zwei mediale Fadenanker sind bereits im Knochen implantiert (rote Pfeile). Mit den Fäden wird zunächst die tiefer liegende Sehnenschicht durchstochen und mit einer vorgefertigten Schlaufe fixiert (gelbe Pfeile). Die knöcherne Insertion wird mit einem Bohrer mit 2 mm Durchmesser angefrischt um mesenchymale Stammzellen aus dem subchondralen Knochen zu gewinnen und so die Sehnen-Knochen-Heilung zu verbessern. (G) Die Fäden mit der vorgefertigten Schlaufe der medialen Fadenanker werden durch die oberflächliche Sehnenschicht durchstochen (grüner Stern). (H) Die Fäden der medialen Fadenanker mit welcher die tiefer liegende Sehnenschicht sowie die oberflächliche Sehnenschicht gefasst wurden sind mit lateralen Fadenankern verbunden um die Rotatotenmanschette an der knöchernen Insertion zu refixieren. Die Rotatorenmanschettenruptur ist nun zur Gänze verschlossen. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

eine verbesserte Abduktion und Anteversion festgestellt [61]. Die Re-Rupturraten jedoch waren in beiden Gruppen vergleichbar [61].

## Verbesserung der Sehnen-Knochen-Heilung

Um die Sehnen-Knochen-Heilung nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion zu verbessern, wurden zahlreiche biologische Augmentationsmethoden untersucht.

In Tiermodellen konnten unter Verwendung anti-osteoporotischer Medikamente die Knochendichte am Oberarmkopf und die biomechanischen Eigenschaften der Enthese erhöht werden [35, 59, 133, 135]. Eine erste klinischen Studie zeigte einen positiven Effekt einer adjuvanten osteo-anabolen Medikation auf die Re-Rupturrate [112].

Zur Förderung der Heilung der rekonstruierten Sehne am Knochen wurden Knochenmark stimulierende Techniken im Bereich des Humeruskopf untersucht. Durch die Freisetzung von Wachstumsfaktoren, Fibroblasten und mesenchymalen Stammzellen aus dem Humerus könnte es zu einer verbesserten Geweberegeneration sowie einer reduzierten Entzündungsreaktion kommen [4, 70, 75, 103]. In zwei systematischen Übersichtsarbeiten wurde gezeigt, dass eine additive Knochenmarkstimulation die Re-Rupturrate Rotatorenmanschettenrekonstruktion um über 50% reduziert [4, 87].

Untersuchungen zur Verbesserung der Sehnen-Knochen-Heilung durch Augmentationstechniken mithilfe demineralisierter Knochenmatrix zeigen vielversprechende Ergebnisse [65]. Demineralisierte Knochenmatrix ist ein osteoinduktives Material, das aus einem Kollagengerüst und mehreren Wachstumsfaktoren besteht, im Speziellen sogenannter "bone morphogenetic proteins" [151]. Diese demineralisierte Knochenmatrix kann durch die Rekrutierung von mesenchymalen Stammzellen aus dem Knochen aktiv die Heilung durch die endochondrale Ossifikation induzieren [14, 128], was zu einer fibro-kartilaginären Insertion entsprechend der nativen Enthese der Rotatorenmanschette führt [60, 147]. Ein neu entwickelter Fadenanker aus humanem, allogenem, mineralisiertem Knochen könnte die Heilung des Sehnen-Knochen-Übergangs beeinflussen. Diesbezügliche klinische Untersuchungen sind jedoch derzeit noch ausständig.

## Schlussfolgerungen

Die arthroskopische Rotatorenmanschettenrekonstruktion hat in den letzten Jahren durch neue Operationstechniken und Materialien enorme Fortschritte gemacht. Insbesondere chronische und große Rupturformen sind jedoch nach wie vor mit einer nur unzuverlässigen Heilung und hohen Re-Rupturraten verbunden. Zur bestmöglichen Heilung mit einer langfristigen strukturellen Sehnenintegrität stellen transossäre Äquivalente derzeit den Goldstandard dar. Moderne Rekonstruktionstechniken, welche die anatomische Wiederherstellung der delaminierten Sehne gewährleisten und biologische Augmentationsverfahren, welche die Sehnen-Knochen-Heilung positiv beeinflussen, könnten die klinischen Ergebnisse und Sehnen-Knochenheilung noch verbessern.

#### **Korrespondenzadresse:**

**Dr. Philipp R. Heuberer** Hartmanngasse 15/9 1050 Vienna Austria mobile +436648498120 www.heuberer.at

- Abboud JA, Kim JS (2010) The Effect of Hypercholesterolemia on Rotator Cuff Disease. Clin Orthop Relat Res 468:1493– 1497
- [2] Adams CR, DeMartino AM, Rego G, Denard PJ, Burkhart SS (2016) The Rotator Cuff and the Superior Capsule: Why We Need Both. Arthroscopy 32:2628–2637
- [3] Adamson GJ, Tibone JE (1993) Ten-year assessment of primary rotator cuff repairs. J Shoulder Elbow Surg 2:57–63
- [4] Ajrawat P, Dwyer T, Almasri M, Veillette C, Romeo A, Leroux T, Theodoropoulos J, Nauth A, Henry P, Chahal J (2019) Bone marrow stimulation decreases retear rates after primary arthroscopic rotator cuff repair: a systematic review and meta-analysis. J Shoulder Elbow Surg 28:782-791
- [5] Anderl W, Heuberer PR, Laky B, Kriegleder B, Reihsner R, Eberhardsteiner J (2012) Superiority of bridging techniques with medial fixation on initial strength. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 20:2559–2566
- [6] Angeline ME, Ma R, Pascual-Garrido C, Voigt C, Deng XH, Warren RF, Rodeo SA (2014) Effect of Diet-Induced Vitamin D Deficiency on Rotator Cuff Healing in a Rat Model. Am J Sports Med 42:27–34
- [7] Barber FA, Drew OR (2012) A Biomechanical Comparison of Tendon-Bone Interface Motion and Cyclic Loading Between Single-Row, Triple-Loaded Cuff Repairs and Double-Row, Suture-Tape Cuff Repairs Using Biocomposite Anchors. Arthroscopy 28:1197–1205
- [8] Baumgarten KM, Gerlach D, Galatz LM, Teefey SA, Middleton WD, Ditsios K, Yamaguchi K (2010) Cigarette Smoking Increases the Risk for Rotator Cuff Tears. Clin Orthop Relat Res 468:1534–1541

- [9] Bedeir YH, Schumaier AP, Abu-Sheasha G, Grawe BM (2019) Type 2 retear after arthroscopic single-row, double-row and suture bridge rotator cuff repair: a systematic review. Eur J Orthop Surg Traumatol 29:373–382
- [10] Bedi A, Fox AJS, Harris PE, Deng X-H, Ying L, Warren RF, Rodeo SA (2010) Diabetes mellitus impairs tendon-bone healing after rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg 19:978–988
- [11] Bigliani LU, Cordasco FA, Mcllveen SJ, Musso ES (1992) Operative repair of massive rotator cuff tears: Long-term results. J Shoulder Elbow Surg 1:120–130
- [12] Boileau P, Brassart N, Watkinson DJ, Carles M, Hatzidakis AM, Krishnan SG (2005) Arthroscopic Repair of Full-Thickness Tears of the Supraspinatus: Does the Tendon Really Heal? J Bone Joint Surg Am 87-A:1229–1240
- [13] Brown MJ, Pula DA, Kluczynski MA, Mashtare T, Bisson LJ (2015) Does Suture Technique Affect Re-Rupture in Arthroscopic Rotator Cuff Repair? A Meta-analysis. Arthroscopy 31:1576–1582
- [14] Burchardt H (1983) The Biology of Bone Graft Repair. Clin Orthop Relat Res 174:28–34
- [15] Busfield BT, Glousman RE, McGarry MH, Tibone JE, Lee TQ (2008) A Biomechanical Comparison of 2 Technical Variations of Double-Row Rotator Cuff Fixation The Importance of Medial Row Knots. Am J Sports Med 36:901–906
- [16] Cancienne JM, Brockmeier SF, Rodeo SA, Werner BC (2017) Perioperative Serum Lipid Status and Statin Use Affect the Revision Surgery Rate After Arthroscopic Rotator Cuff Repair. Am J Sports Med 45:2948–2954
- [17] Cavinatto L, Malavolta EA, Pereira CAM, Miranda-Rodrigues M, Silva LCM, Gouveia CH, Netto C de C, Junior RM, Neto AAF (2018) Early versus late repair of rotator cuff tears in rats. J Shoulder Elbow Surg 27:606–613
- [18] Cha S-W, Lee C-K, Sugaya H, Kim T, Lee S-C (2016) Retraction pattern of delaminated rotator cuff tears: dual-layer rotator cuff repair. J Orthop Surg Res 11:75(1)-75(10)
- [19] Chan K-M, Fu S-C (2009) Anti-inflammatory management for tendon injuries - friends or foes? Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol 1:23(1)-23(3)
- [20] Chen AL, Shapiro JA, Ahn AK, Zuckerman JD, Cuomo F (2003) Rotator cuff repair in

- patients with type I diabetes mellitus. J Shoulder Elbow Surg 12:416–421
- [21] Cho NS, Yi JW, Lee BG, Rhee YG (2010) Retear Patterns After Arthroscopic Rotator Cuff Repair Single-Row Versus Suture Bridge Technique. Am J Sports Med 38:664–671
- [22] Christoforetti JJ, Krupp RJ, Singleton SB, Kissenberth MJ, Cook C, Hawkins RJ (2012) Arthroscopic suture bridge transosseus equivalent fixation of rotator cuff tendon preserves intratendinous blood flow at the time of initial fixation. J Shoulder Elbow Surg 21:523–530
- [23] Clark JM, Harryman DTI (1992) Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff. Gross and microscopic anatomy. J Bone Joint Surg Am 74:713–725
- [24] Codding JL, Keener JD (2018) Natural History of Degenerative Rotator Cuff Tears. Curr Rev Musculoskelet Med 11:77–85
- [25] Codman EA (1911) Complete rupture of the supraspinatus tendon. Operative treatment with report of two successful cases. Boston Medical and Surgical Journal 164:708–710
- [26] Codman EA (2011) Complete rupture of the supraspinatus tendon. Operative treatment with report of two successful cases. J Shoulder Elbow Surg 20:347–349
- [27] Cohen DB, Kawamura S, Ehteshami JR, Rodeo SA (2006) Indomethacin and Celecoxib Impair Rotator Cuff Tendon-to-Bone Healing. Am J Sports Med 34:362– 369
- [28] Cole BJ, ElAttrache NS, Anbari A (2007) Arthroscopic Rotator Cuff Repairs: An Anatomic and Biomechanical Rationale for Different Suture-Anchor Repair Configurations. Arthroscopy 23:662–669
- [29] Collin P, Colmar M, Thomazeau H, Mansat P, Boileau P, Valenti P, Saffarini M, Nover L, Kempf J-F (2018) Clinical and MRI Outcomes 10 Years After Repair of Massive Posterosuperior Rotator Cuff Tears. J Bone Joint Surg Am 100-A:1854–1863
- [30] Collin P, Thomazeau H, Walch G, Gerber C, Mansat P, Favard L, Colmar M, Kempf JF, Hervé A, Betz M (2019) Clinical and structural outcome twenty years after repair of isolated supraspinatus tendon tears. J Shoulder Elbow Surg 28:196–202
- [31] Davis ME, Korn MA, Gumucio JP, Harning JA, Saripalli AL, Bedi A, Mendias CL (2015) Simvastatin reduces fibrosis and protects against muscle weakness after massive rotator cuff tear. J Shoulder Elbow Surg 24:280–287

- [32] Denard PJ, Jiwani AZ, Lädermann A, Burkhart SS (2012) Long-Term Outcome of a Consecutive Series of Subscapularis Tendon Tears Repaired Arthroscopically. Arthroscopy 28:1587–1591
- [33] Deren ME, Ehteshami JR, Dines JS, Drakos MC, Behrens SB, Doty S, Coleman SH (2017) Simvastatin Exposure and Rotator Cuff Repair in a Rat Model. Orthopedics 40:e288–e292
- [34] Dolkart O, Liron T, Chechik O, Somjen D, Brosh T, Maman E, Gabet Y (2014) Statins Enhance Rotator Cuff Healing by Stimulating the COX2/PGE2/EP4 Pathway An In Vivo and In Vitro study. Am J Sports Med 42:2869–2876
- [35] Duchman KR, Goetz JE, Uribe BU, Amendola AM, Barber JA, Malandra AE, Fredericks DC, Hettrich CM (2016) Delayed administration of recombinant human parathyroid hormone improves early biomechanical strength in a rat rotator cuff repair model. J Shoulder Elbow Surg 25:1280–1287
- [36] Duquin TR, Buyea C, Bisson LJ (2010) Which Method of Rotator Cuff Repair Leads to the Highest Rate of Structural Healing? A Systematic Review. Am J Sports Med 38:835–841
- [37] Elbuluk AM, Coxe FR, Fabricant PD, Ramos NL, Alaia MJ, Jones KJ (2019) Does Medial-Row Fixation Technique Affect the Retear Rate and Functional Outcomes After Double-Row Transosseous-Equivalent Rotator Cuff Repair? Orthop J Sports Med 7:2325967119842881(1)-2325967119842881(10)
- [38] Fealy S, Adler RS, Drakos MC, Kelly AM, Allen AA, Cordasco FA, Warren RF, O'Brien SJ (2006) Patterns of Vascular and Anatomical Response After Rotator Cuff Repair. Am J Sports Med 34:120–127
- [39] Fuchs B, Gilbart MK, Hodler J, Gerber C (2006) Clinical and Structural Results of Open Repair of an Isolated One-Tendon Tear of the Rotator Cuff. J Bone Joint Surg Am 88-A:309–316
- [40] Funakoshi T, Suenaga N, Sano H, Oizumi N, Minami A (2008) In vitro and finite element analysis of a novel rotator cuff fixation technique. J Shoulder Elbow Surg 17:986–992
- [41] Galatz LM, Ball CM, Teefey SA, Middleton WD, Yamaguchi K (2004) The Outcome and Repair Integrity of Completely Arthroscopically Repaired Large and Massive Rotator Cuff Tears. J Bone Joint Surg Am 86-A:219–224

- [42] Galatz LM, Silva MJ, Rothermich SY, Zaegel MA, Havlioglu N, Thomopoulos S (2006) Nicotine Delays Tendon-to-Bone Healing in a Rat Shoulder Model. J Bone Joint Surg Am 88-A:2027–2034
- [43] Gamradt SC, Gallo RA, Adler RS, Maderazo A, Altchek DW, Warren RF, Fealy S (2010) Vascularity of the supraspinatus tendon three months after repair: Characterization using contrast-enhanced ultrasound. J Shoulder Elbow Surg 19:73–80
- [44] Garcia GH, Liu JN, Wong A, Cordasco F, Dines DM, Dines JS, Gulotta LV, Warren R (2017) Hyperlipidemia increases the risk of retear after arthroscopic rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg 26:2086– 2090
- [45] Garofalo R, Castagna A, Borroni M, Krishnan SG (2012) Arthroscopic transosseous (anchorless) rotator cuff repair. Knee Surg Sports Traumatology Arthrosc 20:1031–1035
- [46] Gerber C, Fuchs B, Hodler J (2000) The Results of Repair of Massive Tears of the Rotator Cuff. J Bone Joint Surg Am 82-A:505–515
- [47] Gimbel JA, Kleunen JPV, Lake SP, Williams GR, Soslowsky LJ (2007) The role of repair tension on tendon to bone healing in an animal model of chronic rotator cuff tears. J Biomech 40:561–568
- [48] Gladstone JN, Bishop JY, Lo IKY, Flatow EL (2007) Fatty Infiltration and Atrophy of the Rotator Cuff Do Not Improve After Rotator Cuff Repair and Correlate With Poor Functional Outcome. Am J Sports Med 35:719–728
- [49] Goutallier D, Postel J-M, Bernageau J, Lavau L, Voisin M-C (1994) Fatty Muscle Degeneration in Cuff Ruptures Pre- and Postoperative Evaluation by CT Scan. Clin Orthop Relat Res 304:78–83
- [50] Grasso A, Milano G, Salvatore M, Falcone G, Deriu L, Fabbriciani C (2009) Single-Row Versus Double-Row Arthroscopic Rotator Cuff Repair: A Prospective Randomized Clinical Study. Arthroscopy 25:4– 12
- [51] Gwak H-C, Kim C-W, Kim J-H, Choo H-J, Sagong S-Y, Shin J (2015) Delaminated rotator cuff tear: extension of delamination and cuff integrity after arthroscopic rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg 24:719–726
- [52] Habermeyer P, Martetschläger F, Lichtenberg S (2017) Therapie der Rotatorenmanschettenruptur arthroskopische und offene chirurgische Techniken. un-

- defined Elsevier/Urban & Fischer, München, pp 335–413
- [53] Han Y, Shin J-H, Seok C-W, Lee C-H, Kim S-H (2013) Is Posterior Delamination in Arthroscopic Rotator Cuff Repair Hidden to the Posterior Viewing Portal? Arthroscopy 29:1740–1747
- [54] Haque A, Singh HP (2017) Does structural integrity following rotator cuff repair affect functional outcomes and pain scores? A meta-analysis. Shoulder Elbow 10:163–169
- [55] Hebert-Davies J, Teefey SA, Steger-May K, Chamberlain AM, Middleton W, Robinson K, Yamaguchi K, Keener JD (2017) Progression of Fatty Muscle Degeneration in Atraumatic Rotator Cuff Tears. J Bone Joint Surg Am 99-A:832–839
- [56] Hein J, Reilly JM, Chae J, Maerz T, Anderson K (2015) Retear Rates After Arthroscopic Single-Row, Double-Row, and Suture Bridge Rotator Cuff Repair at a Minimum of 1 Year of Imaging Follow-up: A Systematic Review. Arthroscopy 31:2274–2281
- [57] Hepp P, Engel T, Osterhoff G, Marquass B, Josten C (2009) Knotless anatomic doublelayer double-row rotator cuff repair: a novel technique re-establishing footprint and shape of full-thickness tears. Arch Orthop Trauma Surg 129:1031–1036
- [58] Hepp P, Osterhoff G, Engel T, Marquass B, Klink T, Josten C (2009) Biomechanical Evaluation of Knotless Anatomical Double-Layer Double-Row Rotator Cuff Repair A Comparable Ex Vivo Study. Am J Sports Med 37:1363–1369
- [59] Hettrich CM, Beamer BS, Bedi A, Deland K, Deng X-H, Ying L, Lane J, Rodeo SA (2012) The Effect of rhPTH on the Healing of Tendon to Bone in a Rat Model. J Orthop Res 30:769–774
- [60] Heuberer PR, Lovric V, Russell N, Pauzenberger L, Laky B, Anderl W, Goldberg M, Walsh WR (2015) [Demineralized bone matrix augmented tendon bone healing]. Sports Orthop Traumatol 31:293–298
- [61] Heuberer PR, Pauzenberger L, Gruber MS, Kriegleder B, Ostermann RC, Laky B, Anderl W (2019) The knotless cinchbridge technique for delaminated rotator cuff tears leads to a high healing rate and a more favorable short-term clinical outcome than suture-bridge repair. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 27:3920– 3928
- [62] Heuberer PR, Pauzenberger L, Gruber MS, Ostermann RC, Hexel M, Laky B, Anderl W (2020) Delaminated Rotator Cuff

- Tears Showed Lower Short-term Retear Rates After Arthroscopic Double-Layer Repair Versus Bursal Layer-Only Repair A Randomized Controlled Trial. Am J Sports Med 48:689–696
- [63] Heuberer PR, Pauzenberger L, Smolen D, Ostermann RC, Anderl W (2018) An Arthroscopic Knotless Technique for Anatomical Restoration of the Rotator Cuff and Superior Capsule: The Double-Layer Cinch Bridge. Arthrosc Tech 7:e7–e12
- [64] Heuberer PR, Smolen D, Pauzenberger L, Plachel F, Salem S, Laky B, Kriegleder 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. Am J Sports Med 45:1283–1288
- [65] Hexter AT, Pendegrass C, Haddad F, Blunn G (2017) Demineralized Bone Matrix to Augment Tendon-Bone Healing A Systematic Review. Orthop J Sports Med 5:2325967117734517(1)-2325967117734517(9)
- [66] Hurley ET, Maye AB, Mullett H (2019) Arthroscopic Rotator Cuff Repair A Systematic Review of Overlapping Meta-Analyses. J Bone Joint Surg Rev 7:e1(1)-e1(8)
- [67] Ishihara Y, Mihata T, Tamboli M, Nguyen L, Park KJ, McGarry MH, Takai S, Lee TQ (2014) Role of the superior shoulder capsule in passive stability of the glenohumeral joint. J Shoulder Elbow Surg 23:642– 648
- [68] Jeong HY, Kim HJ, Jeon YS, Rhee YG (2018) Factors Predictive of Healing in Large Rotator Cuff Tears Is It Possible to Predict Retear Preoperatively? Am J Sports Med 46:1693–1700
- [69] Ji X, Bi C, Wang F, Wang Q (2015) Arthroscopic Versus Mini-Open Rotator Cuff Repair: An Up-to-Date Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Arthroscopy 31:118–124
- [70] Jo CH, Shin JS, Park IW, Kim H, Lee SY (2013) Multiple Channeling Improves the Structural Integrity of Rotator Cuff Repair. Am J Sports Med 41:2650–2657
- [71] Kaplan K, ElAttrache NS, Vazquez O, Chen Y-J, Lee T (2011) Knotless Rotator Cuff Repair in an External Rotation Model: The Importance of Medial-Row Horizontal Mattress Sutures. Arthroscopy 27:471– 478
- [72] Keener JD, Galatz LM, Teefey SA, Middleton WD, Steger-May K, Stobbs-Cucchi G, Patton R, Yamaguchi K (2015) A Prospecti-

- ve Evaluation of Survivorship of Asymptomatic Degenerative Rotator Cuff Tears. J Bone Joint Surg Am 97-A:89–98
- [73] Keener JD, Patterson BM, Orvets N, Chamberlain AM (2019) Degenerative Rotator Cuff Tears: Refining Surgical Indications Based on Natural History Data. J Am Acad Orthop Sur 27:156–165
- [74] Keener JD, Skelley NW, Stobbs-Cucchi G, Steger-May K, Chamberlain AM, Aleem AW, Brophy RH (2017) Shoulder activity level and progression of degenerative cuff disease. J Shoulder Elbow Surg 26:1500–1507
- [75] Kida Y, Morihara T, Matsuda K-I, Kajikawa Y, Tachiiri H, Iwata Y, Sawamura K, Yoshida A, Oshima Y, Ikeda T, Fujiwara H, Kawata M, Kubo T (2013) Bone marrowderived cells from the footprint infiltrate into the repaired rotator cuff. J Shoulder Elbow Surg 22:197–205
- [76] Kim DH, ElAttrache NS, Tibone JE, Jun B-J, DeLaMora SN, Kvitne RS, Lee TQ (2006) Biomechanical Comparison of a Single-Row Versus Double-Row Suture Anchor Technique for Rotator Cuff Repair. Am J Sports Med 34:407–414
- [77] Kim HM, Teefey SA, Zelig A, Galatz LM, Keener JD, Yamaguchi K (2009) Shoulder Strength in Asymptomatic Individuals with Intact Compared with Torn Rotator Cuffs. J Bone Joint Surg Am 91-A:289–296
- [78] Kim SH, Cho W-S, Joung H-Y, Choi YE, Jung M (2017) Perfusion of the Rotator Cuff Tendon According to the Repair Configuration Using an Indocyanine Green Fluorescence Arthroscope A Preliminary Report. Am J Sports Med 45:659–665
- [79] Kim S-J, Choi Y-R, Lee H-H, Chun Y-M (2016) Surgical Results of Delaminated Rotator Cuff Repair Using Suture-Bridge Technique With All-Layers or Bursal Layer-Only Repair. Am J Sports Med 44:468– 473
- [80] Kim Y-K, Jung K-H, Kim J-W, Kim U-S, Hwang D-H (2018) Factors affecting rotator cuff integrity after arthroscopic repair for medium-sized or larger cuff tears: a retrospective cohort study. J Shoulder Elbow Surg 27:1012–1020
- [81] Kim Y-S, Lee H-J, Jin H-K, Kim S-E, Lee J-W (2016) Conventional En Masse Repair Versus Separate Double-Layer Double-Row Repair for the Treatment of Delaminated Rotator Cuff Tears. Am J Sports Med 44:1146–1152
- [82] Koh KH, Kang KC, Lim TK, Shon MS, Yoo JC (2011) Prospective Randomized Cli-

- nical Trial of Single- Versus Double-Row Suture Anchor Repair in 2- to 4-cm Rotator Cuff Tears: Clinical and Magnetic Resonance Imaging Results. Arthroscopy 27:453–462
- [83] Kunze KN, Rossi LA, Beletsky A, Chahla J (2020) Does the Use of Knotted Versus Knotless Transosseous Equivalent Rotator Cuff Repair Technique Influence the Incidence of Retears? A Systematic Review. Arthroscopy 36:1738–1746
- [84] Le BTN, Wu XL, Lam PH, Murrell GAC (2014) Factors Predicting Rotator Cuff Retears An Analysis of 1000 Consecutive Rotator Cuff Repairs. Am J Sports Med 42:1134–1142
- [85] Lee YS, Jeong JY, Park C-D, Kang SG, Yoo JC (2017) Evaluation of the Risk Factors for a Rotator Cuff Retear After Repair Surgery. Am J Sports Med 45:1755–1761
- [86] Levy DM, Virk MS, Kuhns BD, Burkhart SS, Romeo AA, Verma NN, Cole BJ (2017) Patient Preference Before and After Arthroscopic Rotator Cuff Repair: Which Is More Important, Pain Relief or Strength Return? Am J Orthop (Belle Mead NJ) 46:E244–E250
- [87] Li Z, Zhang Y (2019) Efficacy of bone marrow stimulation in arthroscopic repair of full thickness rotator cuff tears: a meta-analysis. J Orthop Surg Res 14:36(1)-36(11)
- [88] Lichtenberg S, Liem D, Magosch P, Habermeyer P (2006) Influence of tendon healing after arthroscopic rotator cuff repair on clinical outcome using single-row Mason-Allen suture technique: a prospective, MRI controlled study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 14:1200–1206
- [89] Lin TT-L, Lin C-H, Chang C-L, Chi C-H, Chang S-T, Sheu WH-H (2015) The Effect of Diabetes, Hyperlipidemia, and Statins on the Development of Rotator Cuff Disease A Nationwide, 11-Year, Longitudinal, Population-Based Follow-up Study. Am J Sports Med 43:2126–2132
- [90] MacDougal GA, Todhunter CR (2010) Delamination tearing of the rotator cuff: Prospective analysis of the influence of delamination tearing on the outcome of arthroscopically assisted mini open rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg 19:1063–1069
- [91] Mall NA, Kim HM, Keener JD, Steger-May K, Teefey SA, Middleton WD, Stobbs G, Yamaguchi K (2010) Symptomatic Progression of Asymptomatic Rotator Cuff Tears A Prospective Study of Clinical and Sonographic Variables. J Bone Joint Surg Am 92-A:2623–2633

- [92] Mall NA, Lee AS, Chahal J, Thiel GSV, Romeo AA, Verma NN, Cole BJ (2013) Transosseous-Equivalent Rotator Cuff Repair: A Systematic Review on the Biomechanical Importance of Tying the Medial Row. Arthoscopy 29:377–386
- [93] Maman E, Harris C, White L, Tomlinson G, Shashank M, Boynton E (2009) Outcome of Nonoperative Treatment of Symptomatic Rotator Cuff Tears Monitored by Magnetic Resonance Imaging. J Bone Joint Surg Am 91-A:1898–1906
- [94] Maman E, Yehuda C, Pritsch T, Morag G, Brosh T, Sharfman Z, Dolkart O (2016) Detrimental Effect of Repeated and Single Subacromial Corticosteroid Injections on the Intact and Injured Rotator Cuff A Biomechanical and Imaging Study in Rats. Am J Sports Med 44:177–182
- [95] Marrero LG, Nelman KR, Nottage WM (2011) Long-Term Follow-up of Arthroscopic Rotator Cuff Repair. Arthroscopy 27:885–888
- [96] Meier SW, Meier JD (2006) Rotator cuff repair: The effect of double-row fixation on three-dimensional repair site. J Shoulder Elbow Surg 15:691–696
- [97] Melis B, DeFranco MJ, Chuinard C, Walch G (2010) Natural History of Fatty Infiltration and Atrophy of the Supraspinatus Muscle in Rotator Cuff Tears. Clin Orthop Relat Res 468:1498–1505
- [98] Mikolyzk DK, Wei AS, Tonino P, Marra G, Williams DA, Himes RD, Wezeman FH, Callaci JJ (2009) Effect of Corticosteroids on the Biomechanical Strength of Rat Rotator Cuff Tendon. J Bone Joint Surg Am 91-A:1172–1180
- [99] Miller BS, Downie BK, Kohen RB, Kijek T, Lesniak B, Jacobson JA, Hughes RE, Carpenter JE (2011) When Do Rotator Cuff Repairs Fail? Serial Ultrasound Examination After Arthroscopic Repair of Large and Massive Rotator Cuff Tears. Am J Sports Med 39:2064–2070
- [100] Millett PJ, Horan MP, Maland KE, Hawkins RJ (2011) Long-term survivorship and outcomes after surgical repair of fullthickness rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 20:591–597
- [101] Millett PJ, Warth RJ, Dornan GJ, Lee JT, Spiegl UJ (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. J Shoulder Elbow Surg 23:586–597

- [102] Mochizuki T, Sugaya H, Uomizu M, Maeda K, Matsuki K, Sekiya I, Muneta T, Akita K (2009) Humeral Insertion of the Supraspinatus and Infraspinatus. New Anatomical Findings Regarding the Footprint of the Rotator Cuff Surgical Technique. J Bone Joint Surg Am 91-A:1–7
- [103] Molloy T, Wang Y, Murrell GAC (2003) The Roles of Growth Factors in Tendon and Ligament Healing. Sports Med 33:381–394
- [104] Moosmayer S, Lund G, Seljom US, Haldorsen B, Svege IC, Hennig T, Pripp AH, Smith H-J (2019) At a 10-Year Follow-up, Tendon Repair Is Superior to Physiotherapy in the Treatment of Small and Medium-Sized Rotator Cuff Tears. J Bone Joint Surg Am 101-A:1050–1060
- [105] Moosmayer S, Tariq R, Stiris M, Smith H-J (2013) The Natural History of Asymptomatic Rotator Cuff Tears: A Three-Year Follow-up of Fifty Cases. J Bone Joint Surg Am 95-A:1249–1255
- [106] Mori D, Funakoshi N, Yamashita F (2014) Arthroscopic Lamina-Specific Double-Row Fixation for Large Delaminated Rotator Cuff Tears. Arthrosc Tech 3:e667– e671
- [107] Morse K, Davis AD, Afra R, Kaye EK, Schepsis A, Voloshin I (2008) Arthroscopic Versus Mini-open Rotator Cuff Repair A Comprehensive Review and Meta-analysis. Am J Sports Med 36:1824–1828
- [108] Nakajima T, Rokuuma N, Hamada K, Tomatsu T, Fukuda H (1994) Histologic and biomechanical characteristics of the supraspinatus tendon: Reference to rotator cuff tearing. J Shoulder Elbow Surg 3:79– 87
- [109] Nassos JT, ElAttrache NS, Angel MJ, Tibone JE, Limpisvasti O, Lee TQ (2012) A watertight construct in arthroscopic rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg 21:589–596
- [110] Nich C, Mütschler C, Vandenbussche E, Augereau B (2009) Long-term Clinical and MRI Results of Open Repair of the Supraspinatus Tendon. Clin Orthop Relat Res 467:2613–2622
- [111] Nimura A, Kato A, Yamaguchi K, Mochizuki T, Okawa A, Sugaya H, Akita K (2012) The superior capsule of the shoulder joint complements the insertion of the rotator cuff. J Shoulder Elbow Surg 21:867–872
- [112] Oh JH, Kim DH, Jeong HJ, Park JH, Rhee S-M (2019) Effect of Recombinant Human Parathyroid Hormone on Rotator Cuff Healing After Arthroscopic Repair. Arthroscopy 35:1064–1071

- [113] Oh JH, Kim SH, Kim JH, Shin YH, Yoon JP, Oh CH (2009) The level of vitamin D in the serum correlates with fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff. J Bone Joint Surg Br 91-B:1587–1593
- [114] Park HB, Gwark J-Y, Im J-H, Jung J, Na J-B, Yoon CH (2018) Factors Associated with Atraumatic Posterosuperior Rotator Cuff Tears. J Bone Joint Surg Am 100-A:1397– 1405
- [115] Park JH, Oh K-S, Kim TM, Kim J, Yoon JP, Kim JY, Chung SW (2018) Effect of Smoking on Healing Failure After Rotator Cuff Repair. Am J Sports Med 46:2960–2968
- [116] Park MC, ElAttrache NS, Tibone JE, Ahmad CS, Jun B-J, Lee TQ (2007) Part I: Footprint contact characteristics for a transosseous-equivalent rotator cuff repair technique compared with a double-row repair technique. J Shoulder Elbow Surg 16:461–468
- [117] Park MC, McGarry MH, Gunzenhauser RC, Benefiel MK, Park CJ, Lee TQ (2014) Does transosseous-equivalent rotator cuff repair biomechanically provide a "self-reinforcement" effect compared with single-row repair? J Shoulder Elbow Surg 23:1813–1821
- [118] Park MC, Peterson AB, McGarry MH, Park CJ, Lee TQ (2017) Knotless Transosseous-Equivalent Rotator Cuff Repair Improves Biomechanical Self-reinforcement Without Diminishing Footprint Contact Compared With Medial Knotted Repair. Arthroscopy 33:1473–1481
- [119] Park MC, Tibone JE, ElAttrache NS, Ahmad CS, Jun B-J, Lee TQ (2007) Part II: Biomechanical assessment for a footprint-restoring transosseous-equivalent rotator cuff repair technique compared with a double-row repair technique. J Shoulder Elbow Surg 16:469–476
- [120] Pauly S, Kieser B, Schill A, Gerhardt C, Scheibel M (2010) Biomechanical Comparison of 4 Double-Row Suture-Bridging Rotator Cuff Repair Techniques Using Different Medial-Row Configurations. Arthroscopy 26:1281–1288
- [121] Pauzenberger L, Heuberer PR, Dyrna F, Obopilwe E, Kriegleder B, Anderl W, Mazzocca AD (2019) Double-Layer Rotator Cuff Repair Anatomic Reconstruction of the Superior Capsule and Rotator Cuff Improves Biomechanical Properties in Repairs of Delaminated Rotator Cuff Tears. Am J Sports Med 46:3165–3173
- [122] Plachel F, Moroder P, Gehwolf R, Tempfer H, Wagner A, Auffarth A, Matis N, Pauly S, Tauber M, Traweger A (2020) Risk Factors for Rotator Cuff Disease: An Experimen-

- tal Study on Intact Human Subscapularis Tendons. J Orthop Res 38:182–191
- [123] Plachel F, Traweger A, Vasvary I, Schanda JE, Resch H, Moroder P (2018) Long-term results after arthroscopic transosseous rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg 28:706–714
- [124] Porcellini G, Castagna A, Cesari E, Merolla G, Pellegrini A, Paladini P (2011) Partial repair of irreparable supraspinatus tendon tears: clinical and radiographic evaluations at long-term follow-up. J Shoulder Elbow Surg 20:1170–1177
- [125] Prasathaporn N, Kuptniratsaikul S, Kongrukgreatiyos K (2011) Single-Row Repair Versus Double-Row Repair of Full-Thickness Rotator Cuff Tears. Arthroscopy 27:978–985
- [126] Randelli P, Stoppani CA, Zaolino C, Menon A, Randelli F, Cabitza P (2017) Advantages of Arthroscopic Rotator Cuff Repair With a Transosseous Suture Technique A Prospective Randomized Controlled Trial. Am J Sports Med 45:2000–2009
- [127] Randelli PS, Menon A, Nocerino E, Aliprandi A, Feroldi FM, Mazzoleni MG, Boveri S, Ambrogi F, Cucchi D (2019) Longterm Results of Arthroscopic Rotator Cuff Repair: Initial Tear Size Matters A Prospective Study on Clinical and Radiological Results at a Minimum Follow-up of 10 Years. Am J Sports Med 47:2659–2669
- [128] Reddi AH, Anderson WA (1976) Collagenous bone matrix-induced endochondral ossification hemopoiesis. J Cell Biol 69:557–572
- [129] Rhee YG, Cho NS, Parke CS (2012) Arthroscopic Rotator Cuff Repair Using Modified Mason-Allen Medial Row Stitch Knotless Versus Knot-Tying Suture Bridge Technique. Am J Sports Med 40:2440–2447
- [130] Rossi LA, Rodeo SA, Chahla J, Ranalletta M (2019) Current Concepts in Rotator Cuff Repair Techniques Biomechanical, Functional, and Structural Outcomes. Orthop J Sports Med 7:2325967119868674(1)-2325967119868674(8)
- [131] Safran O, Schroeder J, Bloom R, Weil Y, Milgrom C (2011) Natural History of Nonoperatively Treated Symptomatic Rotator Cuff Tears in Patients 60 Years Old or Younger. Am J Sports Med 39:710–714
- [132] Saraswat MK, Styles-Tripp F, Beaupre LA, Luciak-Corea C, Otto D, Lalani A, Balyk RA (2015) Functional Outcomes and Health-Related Quality of Life After Surgical Repair of Full-Thickness Rotator Cuff Tears Using a Mini-Open Technique: A Concise

- 10-Year Follow-up of a Previous Report. Am J Sports Med 43:2794–2799
- [133] Schanda JE, Keibl C, Heimel P, Monforte X, Tangl S, Feichtinger X, Teuschl AH, Baierl A, Muschitz C, Redl H, Fialka C, Mittermayr R (2020) Zoledronic Acid Substantially Improves Bone Microarchitecture and Biomechanical Properties After Rotator Cuff Repair in a Rodent Chronic Defect Model. Am J Sports Med 48:2151–2160
- [134] Severud EL, Ruotolo C, Abbott DD, Nottage WM (2003) All-Arthroscopic Versus Mini-Open Rotator Cuff Repair: A Long-Term Retrospective Outcome Comparison. Arthroscopy 19:234–238
- [135] Shah SA, Kormpakis I, Havlioglu N, Ominsky MS, Galatz LM, Thomopoulos S (2017) Sclerostin Antibody Treatment Enhances Rotator Cuff Tendon-to-Bone Healing in an Animal Model. J Bone Joint Surg Am 99-A:855–864
- [136] Shan L, Fu D, Chen K, Cai Z, Li G (2014) All-Arthroscopic versus Mini-Open Repair of Small to Large Sized Rotator Cuff Tears: A Meta-Analysis of Clinical Outcomes. PLoS One 9:e94421(1)-e94421(7)
- [137] Sheibani-Rad S, Giveans MR, Arnoczky SP, Bedi A (2013) Arthroscopic Single-Row Versus Double-Row Rotator Cuff Repair: A Meta-analysis of the Randomized Clinical Trials. Arthroscopy 29:343–348
- [138] Shim SB, Jeong JY, Kim JS, Yoo JC (2018) Evaluation of risk factors for irreparable rotator cuff tear in patients older than age 70 including evaluation of radiologic factors of the shoulder. J Shoulder Elbow Surg 27:1932–1938
- [139] Smith GCS, Bouwmeester TM, Lam PH (2017) Knotless double-row SutureBridge rotator cuff repairs have improved self-reinforcement compared with double-row SutureBridge repairs with tied medial knots: a biomechanical study using an ovine model. J Shoulder Elbow Surg 26:2206–2212
- [140] Smith GCS, Lam PH (2018) Shoulder abduction diminishes self-reinforcement in transosseous-equivalent rotator cuff repair in both knotted and knotless techniques. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 26:3818–3825
- [141] Sobhy MH, Khater AH, Hassan MR, Shazly OE (2018) Do functional outcomes and cuff integrity correlate after single- versus double-row rotator cuff repair? A systematic review and meta-analysis study. Eur J Orthop Surg Traumatol 28:593–605

- [142] Sonnabend DH, Watson EM (2002) Structural factors affecting the outcome of rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg 11:212–218
- [143] Sonnabend DH, Yu Y, Howlett CR, Harper GD, Walsh WR (2001) Laminated tears of the human rotator cuff: A histologic and immunochemical study. J Shoulder Elbow Surg 10:109–115
- [144] Spennacchio P, Banfi G, Cucchi D, D'Ambrosi R, Cabitza P, Randelli P (2015) Long-term outcome after arthroscopic rotator cuff treatment. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 23:523–529
- [145] Sugaya H, Maeda K, Matsuki K, Moriishi J (2005) Functional and Structural Outcome After Arthroscopic Full-Thickness Rotator Cuff Repair: Single-Row Versus Dual-Row Fixation. Arthroscopy 21:1307– 1316
- [146] 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 89:953– 960
- [147] Sundar S, Pendegrass CJ, Blunn GW (2009) Tendon Bone Healing Can Be Enhanced by Demineralized Bone Matrix: A Functional and Histological Study. Biomed Mater Res B Appl Biomater 88B:115–122
- [148] Tan M, Lam PH, Le BTN, Murrell GAC (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. J Shoulder Elbow Surg 25:12–21
- [149] Tilley BJ, Cook JL, Docking SI, Gaida JE (2015) Is higher serum cholesterol associated with altered tendon structure or tendon pain? A systematic review. Br J Sports Med 49:1504–1509
- [150] Tucker JJ, Soslowsky LJ (2016) Effect of Simvastatin on Rat Supraspinatus Tendon Mechanical and Histological Properties in a Diet-Induced Hypercholesterolemia Model. J Orthop Res 34:2009–2015
- [151] Urist MR (1965) Bone: Formation by Autoinduction. Science 150:893–899
- [152] Vastamäki M, Lohman M, Borgmästars N (2013) Rotator Cuff Integrity Correlates With Clinical and Functional Results at a Minimum 16 years After Open Repair. Clin Orthop Relat Res 471:554–561
- [153] Wall LB, Keener JD, Brophy RH (2009) Double-row vs single-row rotator cuff re-

- pair: A review of the biomechanical evidence. J Shoulder Elbow Surg 18:933–941
- [154] Wieser K, Rahm S, Farshad M, Ek ET, Gerber C, Meyer DC (2013) Stitch positioning influences the suture hold in supraspinatus tendon repair. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 21:1587–1592
- [155] Xu C, Zhao J, Li D (2014) Meta-analysis comparing single-row and double-row repair techniques in the arthroscopic treatment of rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 23:182–188
- [156] Yamaguchi K, Ditsios K, Middleton WD, Hildebolt CF, Galatz LM, Teefey SA (2006) The Demographic and Morphological Features of Rotator Cuff Disease A Comparison of Asymptomatic and Symptomatic Shoulders. J Bone Joint Surg Am 88-A:1699–1704
- [157] . Yang J, Robbins M, Reilly J, Maerz T, Anderson K (2017) The Clinical Effect of a Rotator Cuff Retear A Meta-analysis of Arthroscopic Single-Row and Double-Row Repairs. Am J Sports Med 45:733–741
- [158] Yang Y, Qu J (2018) The effects of hyperlipidemia on rotator cuff diseases: a systematic review. J Orthop Surg Res 13:204(1)-204(11)
- [159] Zhang Q, Ge H, Zhou J, Yuan C, Chen K, Cheng B (2013) Single-Row or Double-Row Fixation Technique for Full-Thickness Rotator Cuff Tears: A Meta-Analysis. PLoS One 8:e68515(1)-e68515(8)
- [160] Zumstein MA, Jost B, Hempel J, Hodler J, Gerber C (2008) The Clinical and Structural Long-Term Results of Open Repair of Massive Tears of the Rotator Cuff. J Bone Joint Surg Am 90-A:2423–2431

## 6. Behandlungsalgorithmus bei Re-Ruptur

(M. Hackl, E. Buess)

Die operative Behandlung von Rotatorenmanschettenrupturen bei der überwiegenden Mehrheit der Patienten zu guten bis sehr guten klinischen Ergebnissen. Dennoch werden nicht selten Re-Rupturen nach Rotatorenmanschettennaht beobachtet. Ihre Häufigkeit schwankt in der aktuellen Literatur zwischen 8 und 45% [1-5]. Wenngleich auch bei Vorhandensein einer Re-Ruptur regelhaft klinische Verbesserungen im Vergleich zum präoperativen Zustand beobachtet werden, so sind die klinischen Ergebnisse schlechter als bei eingeheilter Sehnennaht [6-8]. Folgerichtig stellt die Re-Ruptur respektive fehlende Heilung eine bedeutende Komplikation der offenen oder arthroskopischen Rotatorenmanschettennaht dar. Im Folgenden soll der diagnostisch-therapeutische Algorithmus bei symptomatischer Re-Ruptur erläutert werden.

#### Risikofaktoren

In der Literatur wurden unter anderem folgende Faktoren mit einem erhöhten Risiko für eine Re-Ruptur korreliert [9, 5]:

- Erhöhtes Patientenalter
- Rupturgröße
- Ausmaß der Sehnenretraktion
- Ausmaß der fettigen Muskeldegeneration nach Goutallier [10]
- · Weibliches Geschlecht
- · Diabetes mellitus
- Osteoporose bzw. verminderte Knochenqualität
- Nikotinabusus
- · Symptomdauer bis zur Operation
- Verminderte akromiohumerale Distanz
- Begleitende behandlungsbedürftige Pathologie der langen Bizepssehne

Re-Rupturen sind dabei in der Regel multifaktoriell bedingt. Bereits präoperativ sollte das Risiko für die Entstehung einer Re-Ruptur mit dem Patienten erörtert werden, um so eine unrealistische Erwartungshaltung zu vermeiden. Patienten mit mehreren Risikofaktoren sollten über das erhöhte Re-Rupturrisiko entsprechend aufgeklärt werden.

## Diagnostik

#### Klinische Diagnostik

Relevante Schmerzen und Funktionseinschränkungen über vier Monate hinaus nach operativer Rotatorenmanschettennaht trotz entsprechender physiotherapeutischer Behandlung sind hinweisend auf eine symptomatische Re-Ruptur. Pathognomonisch für eine Re-Ruptur ist hierbei eine eingeschränkte Überkopffunktion bis hin zur Pseudoparese der Schulter mit Diskrepanz zwischen verringerter aktiver und weitgehend regelrechter passiver Beweglichkeit der betroffenen Schulter. Häufig finden sich zudem nächtlich betonte Schulterschmerzen, die die Schlafqualität des Patienten reduzieren kann und so zu einem hohen Leidensdruck führt.

#### Bildgebung

Bildgebend stellt die Röntgenuntersuchung der Schulter in 2 Ebenen das primäre Diagnostikum dar. Hierbei lässt sich vor allem vergleichend zum präoperativen Status die Gelenkkongruenz und die akromiohumerale Distanz beurteilen. Darüber hinaus kann ein Arthroseprogress oder bei Verwendung röntgendichter Fadenanker die Lage derselben evaluiert werden.

Abhängig von der Erfahrung des behandelnden Chirurgen kann auch die Sonographie als diagnostisches Mittel eingesetzt werden, um die Integrität der Rotatorenmanschette zu bewerten.

In der eigenen klinischen Praxis hat sich bei dem klinischen Verdacht einer Rotatorenmanschetten-Re-Ruptur die Durchführung einer nativen MRT mit Kurzprotokoll als einfaches, kostengünstiges und gut verfügbares Diagnostikum bewährt. Die Beurteilung der Sehnenintegrität erfolgt dabei im eigenen Vorgehen entsprechend der Sugaya Klassifikation (
Tab. 1).

Die bildgebenden Maßnahmen dienen dabei nicht nur der Bestätigung der Diagnose einer Re-Ruptur, sondern sie erlauben auch eine gute Beurteilbarkeit der Erfolgschancen eines erneuten Rekonstruktionsversuchs. Eine akromiohumerale Distanz < 7 mm im a.p. Röntgen, eine fettige Muskeldegeneration > Goutallier Grad II und ein kurzer Sehnenstumpf gelten als prognostisch ungünstige Faktoren [12].

#### Differentialdiagnosen

Die symptomatische Re-Ruptur ist von folgenden Differentialdiagnosen abzugrenzen, die klinisch in Teilaspekten ähnlich imponieren können:

- Postoperative Frozen Shoulder
- · Complex Regional Pain Syndrom
- · Postoperativer Infekt
- · Symptomatische Arthrose
- Symptomatische begleitende Läsion der langen Bizepssehne oder des Subscapularis
- Symptomatische Schultereckgelenksarthrose
- Zervikobrachialgie bei begleitender Pathologie der Halswirbelsäule
- Kompressionsneuropathie des N. suprascapularis

MRT-Beurteilung der Sehnenintegrität nach Rotatorenmanschettennaht gemäß Sugaya [11]		
Тур І	Intakte Rotatorenmanschette mit suffizienter Sehnendicke	
Typ II	Intakte Rotatorenmanschette mit suffizienter Sehnendicke und partieller Mehranreicherung	
Typ III	Um mehr als die Hälfte ausgedünnte Sehne mit erhaltener Kontinuität	
Typ IV	Kleiner Diskontinuität der Sehne auf 1-2 koronaren und sagittalen Schichten	
Typ V	Große Diskontinuität der Sehne auf >2 koronaren und sagittalen Schichten	

**Tab. 1** ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

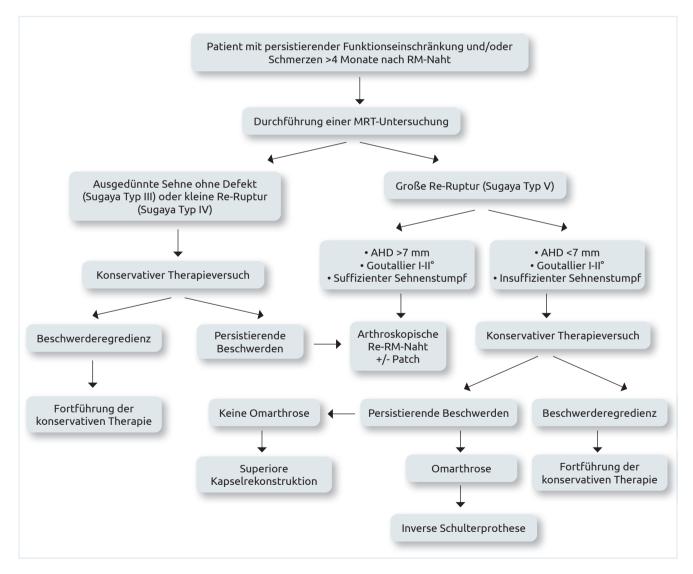


Abb. 1 ▲ Therapiealgorithmus bei Re-Ruptur der Rotatorenmanschette © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### Re-Ruptur Formen

Grundsätzlich werden nach Cho zwei Formen von Re-Rupturen nach Rotatorenmanschettennaht unterschieden [2]. So treten bei Single-Row Techniken klassischerweise Re-Rupturen durch fehlende Einheilung im Bereich des Footprints am Tuberculum majus auf. Seltener kann es auch zum Ausreißen der Fadenanker kommen. Bei Double-Row Techniken und insbesondere beim Suture Bridge Repair, der mittlerweile von vielen Schulterchirurgen bevorzugt wird, kann es hingegen zum so genannten "Medial Cuff Failure" kommen. Hierbei bleibt durch die stabilere Refixation das Sehnengewebe am Footprint erhalten und die Sehne reißt so als schwächstes Glied an der medialen Ankerreihe. Dies ist bedingt durch eine höhere Dehnung der Sehne unmittelbar medial der medialen Ankerreihe, was insbesondere bei verminderter Sehnengualität zum beschriebenen Versagensmodus führt [13].

Neben diesen zwei Versagensmodi wird im klinischen Alltag häufig eine Mischform beobachtet, die als "failure with continuity" [14] bezeichnet wird. Hierdurch kommt es nach und nach zum Versagen der Rotatorenmanschettennaht mit narbiger Defektüberbrückung. In Einzelfällen ist die Beurteilung einer "failure with continuity" bildgebend nicht eindeutig möglich und kann erst intraoperativ nach arthroskopischem Debridement des Narbenregenerats eindeutig evaluiert werden.

## Therapie

Das therapeutische Vorgehen bei symptomatischer Re-Ruptur hat patientenspezifisch zu erfolgen und hängt von verschiedenen Faktoren ab. Grundsätzlich ist das subjektive Beschwerdebild des Patienten führend und bestimmt entscheidend mit, ob ein konservativer Therapieversuch erfolgversprechend erscheint oder eine operative Revision durchgeführt wird. Als objektive Parameter wesentlich sind vor allem die Größe und Ausdehnung der Ruptur, die Sehnenqualität und das Ausmaß einer etwaigen Muskelatrophie. Während es angesichts der Vielschichtigkeit und Komplexität der Pathologie nur unzureichend möglich ist, für den Einzelfall zutreffende Standards zu beschreiben, so hat sich dennoch in der klinischen Praxis der unter ■ Abb. 1 dargestellte Algorithmus bewährt.

#### Konservative Behandlung

Im Zentrum der konservativen Behandlung steht die physiotherapeutische Beübung zur Schulterzentrierung, zur Aufrechterhaltung beziehungsweise Verbesserung der Beweglichkeit und zur Kräftigung der Schultermuskulatur, um den Ruptur-bedingten Funktionsverlust bestmöglich zu kompensieren. Eine begleitende analgetische Therapie gemäß WHO-Stufenschema ist anzuraten. In Einzelfällen kann eine therapeutische Infiltration mit einem Depot-Steroid - in Abhängigkeit des Beschwerdebilds intraartikulär oder subakromial - durchgeführt werden, um die Inflammation und somit die für den Patienten belastende Schmerzsymptomatik zu lindern.

#### **Operative Behandlung**

Wie bereits erwähnt, ist die Indikation zur operativen Revision streng zu stellen. Die zu erwartenden Ergebnisse sind dem Patienten offenzulegen. Das Risiko für eine erneute Ruptur ist hoch und beträgt je nach Ausgangssituation

20-50%. Diese Re-Rupturen sind jedoch im mittelfristigen Follow-Up in der Regel kleiner als die vorbestehende Re-Ruptur nach Primäroperation. So lässt sich erklären, dass sich die Schulterfunktion und das subjektive Befinden der Patienten – gemessen am Constant Score, am Oxford Shoulder Score und am Subjective Shoulder Value – in der Regel signifikant verbessern [15]. Letztlich ist das operative Ergebnis dennoch weniger zuverlässig abzuschätzen, als dies bei einer Primäroperation der Fall ist.

## Diagnostischer Rundgang und Behandlung von Begleitpathologien

Im eigenen Vorgehen erfolgt die Operation in Beach Chair Position in Allgemeinanästhesie mit additivem Skalenusblock. Nach diagnostischer glenohumeraler Arthroskopie über ein posteriores und ein anterosuperiores Portal und Versorgung begleitender Pathologien der langen Bizepssehne (Tenotomie/Tenodese) oder der Subscapularissehne wird bei transmuraler oder Unterflächenruptur die Ruptur dargestellt und der Footprint debridiert und mikrofrakturiert. Die Rupturgröße in anteroposteriorer Dimension kann sodann mit einem Tasthaken bemessen werden, ehe über ein posterolaterales und laterales Portal die subakromiale Bursektomie erfolgt. Sofern nötig, wird eine sparsame Nach-Akromioplastik und bei entsprechender Symptomatik eine AC-Gelenksresektion durchgeführt. Störendes/gelockertes Fadenmaterial bzw. gelockerte oder dislozierte Fadenanker werden entfernt. Sodann erfolgt ein ausgedehntes Sehnenrelease periglenoidal und bis zur Spina scapulae mit Resektion des Lig. coracohumerale, um eine spannungsfreie Refixation am Footprint zu erreichen. Bei reduzierter Länge und Qualität des Sehnenstumpfs kann eine diskrete Medialisierung des Footprints erfolgen, um ein Überspannen der Sehne zu vermeiden.

## Revisionstechnik bei verminderter Sehnendicke bzw. bei kleiner Re-Ruptur

Diese Technik bietet sich insbesondere bei Unterflächenläsionen oder bei inkompletter Heilung mit reduzierter Sehnendicke in continuitatem (Sugaya Typ III) an. Zudem kann sie bei kleineren Re-Rupturen am Footprint oder bei Durchschneiden der Fäden der medialen Ankerreihe angewandt werden. Oberste Prämisse dieser Operationstechnik ist es, die eingeheilten Sehnenanteile unversehrt zu belassen. Hierzu erfolgt eine Längsinzision der Sehne am Punctum maximum der Ausdünnung. Der darunterliegende Footprint wird debridiert und mikrofrakturiert. Sodann wird die Sehne seit-zu-seit über 2-3 Margin Convergence Nähte mittels PDS adaptiert, um die Ruptur zu verkleinern und schließlich triangulär mittels nicht-resorbierbarem

Fadenmaterial über einen Fadenanker lateral des Footprints abgespannt (
Abb. 2 bis Abb. 4).

## Revisionstechnik bei großer Re-Ruptur [16]

Bei einer Re-Ruptur am Footprint unterscheidet sich die Operationstechnik nach Mobilisation der Sehne nicht wesentlich von der primären Rotatorenmanschettennaht. Sie erfolgt im eigenen Vorgehen in Form einer Suture-Bridge Naht. Bei Vorliegen eines "Medial Cuff Failure" hingegen wird das eingeheilte Sehnengewebe am Footprint belassen. Nach Release der restlichen Sehne werden 2-3 "Margin Convergence" Nähte mit PDS vorgelegt. Sodann wird an der medialen Grenze des Footprints ein dreifach beladener Anker eingebracht. Ein Fadenpaar wird genutzt, um den in der Regel delaminierten, tiefen Anteil der Infraspinatussehne nach superolateral zu mobilisieren. Die beiden übrigen Fadenpaare adaptieren die Supraspinatussehne auf den Footprint im Sinne einer "Margin Convergence to Bone". Nach Verknoten

aller Fäden werden die überstehenden anterioren Fadenpaare nach lateral im Sinne einer Suture Bridge Naht abgespannt. Abschließend werden am muskulotendinösen Übergang im Abstand von ca. 2 cm zwei nicht-resorbierbare Fäden eingebracht und darüber ein 2x3 cm großer, synthetischer Patch (Pitch-Patch, Firma IST) eingeshuttelt. Nach medialer Fixierung des Patches durch Verknoten der Shuttel-Fäden erfolgt die laterale Fixierung mit den überstehenden Fäden der lateralen Reihe des Suture Bridge Repairs (

Abb. 5 bis Abb. 7).

#### Nachbehandlung

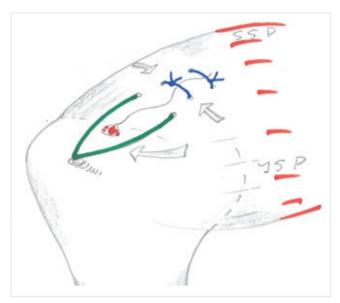
Abhängig von der Re-Rupturgröße erfolgt postoperativ die Ruhigstellung der Schulter für 4-8 Wochen in einer Schulterorthese mit 15°-Abduktionskissen. Im Rahmen der Physiotherapie erfolgen Pendelbewegungen und Übungen zur Skapulastabilisierung. Bei gleichzeitiger Naht des Subscapularis wird die Außenrotation auf 0° Außenrotation limitiert. Im Anschluss beginnt die aktiv-assistierte Mobilisa-



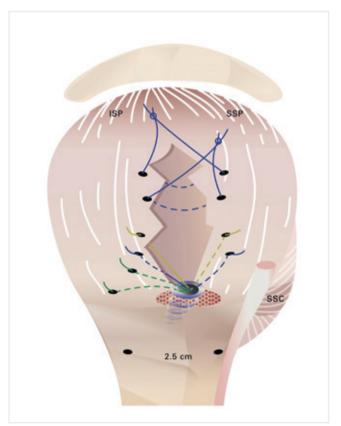
**Abb. 2** ▲ Quelle: Gröger F, Buess E, "Failure to heal": Komplikation nach arthroskopischer Rotatorenmanschettennaht. Arthroskopie 2020.



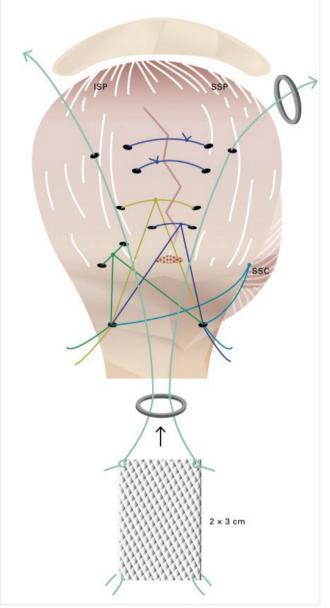
**Abb. 3** ▲ Quelle: Gröger F, Buess E, "Failure to heal": Komplikation nach arthroskopischer Rotatorenmanschettennaht. Arthroskopie 2020.



**Abb.**  $4 \triangle$  Quelle: Gröger F, Buess E, "Failure to heal": Komplikation nach arthroskopischer Rotatorenmanschettennaht. Arthroskopie 2020.



**Abb. 5a**  $\triangle$  Quelle: Gröger F, Buess E, "Failure to heal": Komplikation nach arthroskopischer Rotatorenmanschettennaht. Arthroskopie 2020.



**Abb. 5b**  $\triangle$  Quelle: Gröger F, Buess E, "Failure to heal": Komplikation nach arthroskopischer Rotatorenmanschettennaht. Arthroskopie 2020.

tion der Schulter über den vollen Bewegungsumfang ohne Belastung für weitere 6 Wochen. Schließlich werden im letzten Nachbehandlungsabschnitt Kräftigungsübungen integriert.

### Klinische Ergebnisse

Im Rahmen einer prospektiven, multizentrischen Studie haben wir die 2-Jahres-Ergebnisse nach arthroskopischer Rotatorenmanschettennaht bei Re-Ruptur nach arthroskopischer oder offener Vor-Operation untersucht [15].

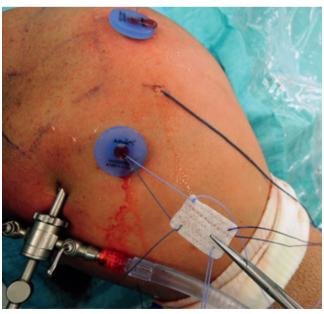
Präoperativ, nach 6 und nach 24 Monaten wurden der Constant Score, der Oxford Shoulder Score und der Subjective Shoulder Value erhoben. Die Sehnenintegrität wurde zwei Jahre postoperativ mittels MRT beurteilt. Von 100 Patienten (Altersdurchschnitt 58 Jahre) waren 13 Lost-to-follow-up. Die klinischen Scores verbesserten

sich allesamt signifikant im Rahmen des Nachbetrachtungszeitraums. Nach zwei Jahren zeigte sich eine operative Revisionsrate von knapp 13%, wobei die meisten dieser Patienten einer inversen Schulterprothese zugeführt wurden. Die MRT-Untersuchungen nach 2 Jahren zeigten eine relativ hohe Re-Rupturrate von gut 50%. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass die Rupturgröße im Vergleich zu präoperativ signifikant verringert werden konnte. Das Bestehen einer Re-Ruptur alleine war nicht a priori mit einem schlechteren funktionellen Outcome vergesellschaftet.

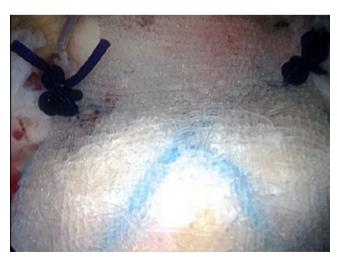
Patienten, die eine begleitende, behandlungspflichtige Subscapularisläsion aufwiesen, die offen voroperiert waren, bei denen ein "Medial Cuff Failure" zur Revision führte und bei denen degenerative Veränderungen bzw. Knorpelschäden (>2 nach Outerbridge) vorlagen, zeigten ein signifi-

kant schlechteres klinisches Ergebnis nach 2 Jahren.

Die Ergebnisse der Studie machen deutlich, dass eine arthroskopische Rotatorenmanschettennaht bei Re-Ruptur vielversprechende Ergebnisse zeigt und in der Mehrzahl der Patienten zu einer relevanten Verbesserung der Schulterfunktion führt – dennoch ist das Outcome nicht so zuverlässig wie bei einem Primäreingriff.



**Abb.** 6 ▲ Quelle: Gröger F, Buess E, "Failure to heal": Komplikation nach arthroskopischer Rotatorenmanschettennaht. Arthroskopie 2020.



**Abb.** 7 ▲ Quelle: Gröger F, Buess E, "Failure to heal": Komplikation nach arthroskopischer Rotatorenmanschettennaht. Arthroskopie 2020.

#### Korrespondenzadresse:

Priv.-Doz. Dr. med. Michael Hackl Geschäftsführender Oberarzt Schwerpunkt für Unfall-, Handund Ellenbogenchirurgie Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie Universitätsklinikum Köln (AöR) Kerpener Straße 62 50937 Köln

Telefon: +49 221 478-87409

Funk: #8221

eMail: michael.hackl@uk-koeln.de

- Cha SW, Lee CK, Sugaya H, Kim T, Lee SC. Retraction pattern of delaminated rotator cuff tears: dual-layer rotator cuff repair. J Orthop Surg Res 2016;11(1):75. 10.1186/ s13018-016-0407-9
- [2] Cho NS, Yi JW, Lee BG, Rhee YG. Retear patterns after arthroscopic rotator cuff repair: single-row versus suture bridge technique. Am J Sports Med 2010;38(4):664-71. 10.1177/0363546509350081
- [3] Jo CH, Shin JS, Park IW, Kim H, Lee SY. Multiple channeling improves the structural integrity of rotator cuff repair. Am J Sports Med 2013;41(11):2650-7. 10.1177/0363546513499138
- [4] Kim YK, Moon SH, Cho SH. Treatment outcomes of single- versus doublerow repair for larger than mediumsized rotator cuff tears: the effect of preoperative remnant tendon length. Am J Sports Med 2013;41(10):2270-7. 10.1177/0363546513499000
- [5] Le BT, Wu XL, Lam PH, Murrell GA. Factors predicting rotator cuff retears: an analysis of 1000 consecutive rotator cuff repairs. Am J Sports Med 2014;42(5):1134-42. 10.1177/0363546514525336
- [6] Boileau P, Brassart N, Watkinson DJ, Carles M, Hatzidakis AM, Krishnan SG. Arthroscopic repair of full-thickness tears of the supraspinatus: does the tendon really heal? J Bone Joint Surg Am 2005;87(6):1229-40. 10.2106/JBJS.D.02035
- [7] Lafosse L, Brozska R, Toussaint B, Gobezie R. The outcome and structural integrity of arthroscopic rotator cuff repair with use of the double-row suture anchor technique. J Bone Joint Surg Am 2007;89(7):1533-41. 10.2106/JBJS.F.00305
- [8] Lichtenberg S, Liem D, Magosch P, Habermeyer P. Influence of tendon healing after arthroscopic rotator cuff repair on clinical outcome using single-row Mason-Allen suture technique: a prospective, MRI controlled study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2006;14(11):1200-6. 10.1007/s00167-006-0132-8
- [9] Chung SW, Oh JH, Gong HS, Kim JY, Kim SH. Factors affecting rotator cuff healing after arthroscopic repair: osteoporosis as one of the independent risk factors. Am J Sports Med 2011;39(10):2099-107. 10.1177/0363546511415659
- [10] Goutallier D, Postel JM, Bernageau J, Lavau L, Voisin MC. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postopera-

- tive evaluation by CT scan. Clin Orthop Relat Res 1994;304):78-83.
- [11] Sugaya H, Maeda K, Matsuki K, Moriishi J. Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dual-row fixation. Arthroscopy 2005;21(11):1307-16. 10.1016/j.arthro.2005.08.011
- [12] Ladermann A, Denard PJ, Burkhart SS. Management of failed rotator cuff repair: a systematic review. J ISAKOS 2016;1(1):32-37. 10.1136/jisakos-2015-000027
- [13] Hackl M, Nacov J, Kammerlohr S, Staat M, Buess E, Leschinger T, et al. Intratendinous Strain Variations of the Supraspinatus Tendon Depending on Repair Technique: A Biomechanical Analysis Regarding the Cause of Medial Cuff Failure. Am J Sports Med 2021;3635465211006138. 10.1177/03635465211006138
- [14] McCarron JA, Derwin KA, Bey MJ, Polster JM, Schils JP, Ricchetti ET, et al. Failure with continuity in rotator cuff repair "healing". Am J Sports Med 2013;41(1):134-41. 10.1177/0363546512459477
- [15] Hackl M, Flury M, Kolling C, Nebelung W, Krauss CA, Kraemer NA, et al. Results Of Arthroscopic Revision Rotator Cuff Repair For Failed Open Or Arthroscopic Repair – A Prospective Multi-Center Study on 100 Cases. [publication under review] 2021:
- [16] Buess E, Hackl M, Buxbaumer P. Arthroscopic Revision of Medial Rotator Cuff Failure Augmented With a Bioabsorbable Patch. Arthrosc Tech 2017;6(4):e1069e1074. 10.1016/j.eats.2017.03.009

# 7. Biologische Augmentation von Rotatorenmanschetten-Rekonstruktionen (O. Lorbach, M. Baums, B. Schliemann)

## Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick bezüglich der aktuellen biomechanischen und biologischen potentiellen Vorteile in der Verwendung von Patches zur Augmentation von Rekonstruktionen der Rotatorenmanschette. Des Weiteren wird die aktuelle Literatur bezüglich der klinischen Ergebnisse in der Verwendung verschiedener Patch-Augmentationen beschrieben.

Zusammenfassend kann die additive Verwendung von Patches in Rekonstruktionen der Rotatorenmanschette die biomechanischen Voraussetzungen potentiell verbessern.

Insbesondere in Massenrupturen könnte dies einen potentiellen Einfluss auf die Heilungsrate haben. Aufgrund der geringen und inhomgenen Datenlage kann jedoch keine klare Empfehlung hinsichtlich des regelhaften Einsatzes von Patches zur Augmentation gegeben werden, da weder ein eindeutiger Vorteil gegenüber der isolierten Rotatorenmanschettennaht noch ge-

genüber der Partialrekonstruktion bei nicht mehr verschließbaren Defekten nachgewiesen ist.

#### **Einleitung**

Rekonstruktionen der Rotatorenmanschette führen in der Literatur zu guten bis exzellenten Ergebnissen auch im Langzeitverlauf [1-5]. Insbesondere in Massenrupturen mit chronischen degenerativen Veränderung der Sehne und des Muskels kommt es aber zu einer nicht unerheblichen Anzahl von Re-Rupturen [2,3,6,7].

Gute klinische Ergebnisse sind auch sowohl nach Teilrekonstruktion der Rotatorenmanschette beschrieben, wenn der Defekt nicht mehr komplett verschließbar ist, als auch in Fällen, in denen es nach Naht der Rotatorenmanschette zu einen Re-Defekt gekommen ist. Jedoch führt die anatomische Heilung der Rotatorenmanschette im Vergleich zu Patienten mit nicht geheilter Rotatorenmanschette zu besseren funktionellen Ergebnissen [8].

Daher ist das primäre Ziel, eine anatomische Heilung der Rotatorenmanschette zu erreichen.

Diese hängt neben den biomechanischen Voraussetzungen allerdings auch maßgeblich von den biologischen Voraussetzungen ab. Gerade in chronischen Massenrupturen mit relevanter, Sehnenretraktion, fettiger Degeneration und Atrophie der des Muskels ist eine biologische Heilung der Sehnennaht schwieriger zu erreichen [9, 10].

Die beschriebenen Rotatorenmanschetten - Fixationstechniken der Sehne an den Knochen erreichen mit 500-600N bereits Versagenslasten, welche die physiologischen Versagenslasten der Supraspinatussehne übertreffen [11, 12]. Daher ist eine Verbesserung der Sehnenheilung durch stabilere Fixationsverfahren wenig erfolgsversprechend.

Augmentationen der Sehne als auch Interpositionen der Sehne liefern mehrere potentielle Vorteile, um die Sehnenheilung positiv zu beeinflussen.

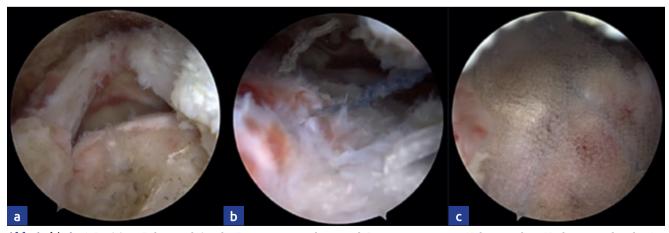


Abb. 1a bis 1c ▲ Revisions-Rekonstruktion der Rotatorenmanschette nach 2 vorausgegangenen Nahtversuchen. Nach entsprechender Anfrischung des Footprintes mit Entfernung des alten Fadenmateriales (a) erfolgt die Re-Naht der Rotatorenmanschette mit einem medialen Anker in Trippelmatratzennaht jeweils in Seit-zu-Seit Naht gelegt (b). Nach lateralem Abspannen der Fäden erfolgt die Augmentation der Sehne mittels Synthetischem resorbierbarem Patch (Biofiber, Wright Tornier Medical,USA). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Sie reduzieren theoretisch den Zug auf die fixierte Sehnen-Fadenverbindung, reduzieren die subakromiale Reibung, verstärken qualitativ schlechtes Sehnengewebe temporär oder dauerhaft und können sich teilweise in das vorhandene Sehnengewebe inkorporieren [13].

Für die Augmentation von Rotatorenmanschetten stehen prinzipiell synthetische Grafts, Xenografts, Autografts und Allografts zur Verfügung [13]. (

Abb. 1a bis 1c und Abb. 2a bis 2c).

Im Falle eines Interpositionsgraft wird der Patch verwendet, ein noch vorhandenes Loch zwischen Sehne und Knochen zu verschließen, während bei einer Augmentation die Sehne selbst am Knochen fixiert wird und der Patch verstärkend über den Sehnenansatz am Knochen angebracht wird [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27].

Allerdings sind die Ergebnisse der vielen verschiedenen Grafts zur Augmentation und Interposition im Einsatz in der Literatur sehr inhomogen. Daher ist eine klare Empfehlung nach Auffassung der Autoren schwierig.

## Biomechanische Ergebnisse der additiven Sehnen-Augmentation in Rekonstruktion der Rotatorenmanschette

Die potentiellen Vorteile einer additiven Augmentation der Rotatorenmanschette sind von einigen Autoren biomechanisch aufgezeigt worden.

Barber und Kollegen [28] fanden in ihrer Arbeit eine 19%ige Steigerung der maximalen Versagenslast, wenn die Sehnennaht mit einem additiv humanen, dermalen Allograft augmentiert war. Auch Santoni und Mitarbeiter [29] fanden in ihrer Arbeit eine um 74% erhöhte Versagenslast mit einer um 55% erhöhten Steifheit des Konstrukts bei additiver Augmentation der Sehne mit einem Polyurethan-Patch. Die Elongation unter zyklischer Belastung wurde von BeMcCarron et al. [30] bei addi-

tiver Augmentation der Sehne mittels Fascia lata untersucht. Sie konnten in ihrer Arbeit eine 50% Reduktion der Elongation unter zyklischer Belastung aufzeigen.

Auch Milks et al. [31] demonstrierten in ihrer Arbeit die Reduktion der Elongation unter zyklischer Belastung durch die additive Augmentation der Sehne mittels Fascia lata graft.

Die biomechanischen Eigenschaften von Doppelreihenrekonstruktion in knotenfreier "Speedbridge-Technik" im Vergleich zu additiven Sehnen-Augmentation mittels porcinem, dermalen Allograft wurden von Jung und Kollegen [32] verglichen. Die Arbeitsgruppe konnte eine signifikant erhöhte Versagenslast von 59-60% für die augmentierten im Vergleich zu den nicht augmentierten Rekonstruktionen aufzeigen.

Biomechanische Vorteile der additiven Patch-Augmentation wurden auch in einer tierexperimentellen Arbeit publiziert. Kataoka et al. [33] konnten in

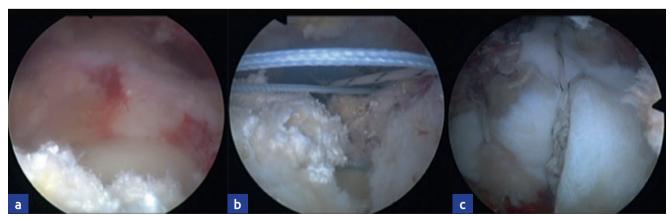


Abb. 2a bis 2c ▲ Revisionsrekonstruktion der Rotatorenmanschette bei stark degeneriertem und verkalktem Sehnengewebe (a). Verschluss der Rotatorenmanschette mittels medialem Anker in einer Trippelmatratzennaht in Seit-zu-Seit Technik (b). Augmentation des Sehnengewebes mittels Xenograft (DX-Reinforcement Matrix, Arthrex, Naples, USA) um die Stabilität des Konstruktes zu verstärken (c). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

ihrer Studie an Ratten eine signifikant erhöhte Versagenslast der Infraspinatussehne nach Augmentation mittels Fascia lata 4 Wochen nach durchgeführter Operation erzielen.

Andere Arbeiten, fanden in ihren biomechanischen Vergleichen jedoch keine signifikanten Vorteil für eine additive Augmentation der Sehne mittels humanem dermalen Patch zu einer Doppelreihen-Refixation [34].

Eine additive Augmentation scheint insbesondere bei Rupturen der Infraspinatussehne und anterioren Supraspinatussehne mit Beteiligung des Rotatorenkabels biomechanisch hilfreich, während der posteriore Supraspinatusehnenansatz möglicherweise weniger profitieren könnte [35]. Darüber hinaus konnten Aurora et al. [36] zeigen, das Patienten mit einer normalen Sehnenqualität durch die additive Augmentation lediglich eine Erhöhung der Versagenslast um 10 bis 15% erreichen, während die Sehnenaugmentation bei degenerativem, ausgedünnten Sehnengewebe um mehr als 50% die physiologischen, biomechanischen Eigenschaften annähernd wieder herstellen konnte. Daher könnten gerade ältere Patienten mit degeneriertem Sehnengewebe und Patienten mit Revisionsrekonstruktionen mit entsprechend schlechter Sehnengualität in höherem Maße von einer additiven Sehnenaugmentation profitieren.

## Klinische Ergebnisse von Rekonstruktionen der Rotatorenmanschette mit additiver Sehnenaugmentation/Interposition

In einem systematischen Review und Meta-Analyse von Bailey et al. [13] zur Matrix Augmentation und Interposition von Rotatorenmanschettenrekonstruktionen konnten 36 Artikel und 1291 Schultern eingeschlossen werden. 5 Arbeiten wurden in der Meta-Analyse berücksichtigt. Die Autoren konnten sowohl für alle Formen der Augmentation und Interposition, als auch für die Sehnennähte ohne Augmentation verbesserte klinischen und funktionelle Ergebnisse zum präoperativen Zustand aufzeigen. Die Verwendung von Autografts zeigten hierbei die besten Ergebnisse bezüglich der funktionellen Scores, während Allografts die besten Ergebnisse im Bezug auf Schmerzreduktion und postoperative Außenrotation zeigten. Die synthetischen Grafts wiederum zeigten die höchsten Ergebnisse im Constant und Murley Score. Die Verwendung von Xenografts und nichtaugmentierte Sehnenrekonstruktion zeigten jedoch im Vergleich die schlechtesten Ergebnisse. Die Autoren konnten aufgrund dieser Ergebnisse allerdings in Ihrer Schlussfolgerung keine valide Empfehlung für ein bestimmtes Graft abgeben.

In ihrer Meta-Analyse konnten die Autoren [13] sowohl eine signifikant reduzierte Re-Ruptur Rate, als auch signifikant erhöhte ASES Scores für die additive Augmentation/Interposition der Rekonstruktion im Vergleich zur Kontrollgruppe (Naht ohne additive Sehnenaugmentation) finden. Keine Unterschiede konnten jedoch im UCLA Score und den visuellen Analog-Skalen für Schmerz zwischen den Gruppen gefunden werden.

Diese Ergebnisse wurden vom einem weiteren systematischen Review von Ferguson und Mitarbeitern unterstützt [37]. Die Autoren konnten ebenfalls sowohl eine verbesserte Funktion, als auch verbesserte strukturelle Ergebnisse der additiven Sehnenaugmentation bei Naht der Rotatorenmanschette im Vergleich zur isolierten Sehnennaht aufzeigen.

Die Verwendung von synthetischen Grafts konnten hierbei die vielversprechendsten Ergebnisse erzielen, während die Verwendung von Xenografts keine signifikante Verbesserung zur isolierten Sehnennaht erreichte.

Auch D'Ambrosi et al. [38] untersuchten die Komplikationsraten und Re-Rupturen nach Rekonstruktion der Rotatorenmanschette mit additiven "Scaffolds". 10 Arbeiten zwischen 2008 und 2018 wurden in Ihre Analyse eingeschlossen. In den Ergebnissen erreichten Allografts eine durchschnittliche Re-Rupturrate von 16%, Autografts von durchschnittlich 20%, Synthetische Grafts von 22% und Xenografts von durchschnittlich 17%. Aus den Ergebnissen schlussfolgerten die Autoren, dass mit einer durchschnittlichen Komplikationsrate von 10%, hauptsächlich "minor-Komplikationen" und einer Re-Rupturrate von durchschnittlich 18%, die arthroskopische Rekonstruktion der Rotatorenmanschette mit additiven Scaffolds ein sicheres und effektives Verfahren darstellt.

Ein weiteres systematisches Review untersuchte die Augmentation im Vergleich zur Interposition von Patches in Massenrupturen [39]. Es wurden 123 Studien mit 167 Augmentation und 247 Interpositionen in die Analyse inkludiert. Dabei konnten in der Augmentationsgruppe eine Heilungsrate von 64% und in der Interpositionsgruppe von 78% erreicht werden, ohne statistisch signifikanten Unterschied der beiden Gruppen.

In den klinischen Scores zeigten ebenfalls beide Gruppen verbesserte klinische Ergebnisse ohne statistisch signifikanten Unterschied. Die Autoren schlussfolgerten aus Ihren Ergebnissen, dass sowohl die additive Sehnenaugmentation, als auch die additive Patch-Interposition eine angemessene Behandlung für Massenrupturen und nicht mehr rekonstruierbare Rotatorenmanschettenrekonstruktionen darstellen.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit einem kürzlich veröffentlichtem systematischen Review [40] für Rekonstruktionen der Rotatorenmanschette mit einer Heilungsrate von 50-70% in Sehnenrupturen von mehr als 3cm, erscheint zumindest bei mittelgroßen, rekonstruierbaren Rupturen der potentielle Nutzen der additiven Augmentation oder Interposition bezüglich der strukturellen Ergebnisse unklar.

Ein weiterer möglicher Ansatz zur Verbesserung der Heilungsrate ist der Einsatz von bioinduktiven Patches [41] ( Abb. 3a und 3b). Entgegen anderer Patches, welche das schlechte Sehnengewebe mit struktureller Verstärkung unterstützen, führen die bioinduktiven

Patches zu keiner biomechanischen Verstärkung, sondern sollen Kollagenformation induzieren und dem geschädigten und ausgedünnten Sehnengewebe zu einer Verdickung und einem Re-modeling verhelfen [42]. Erste Daten zur Augmentation mittlerer und großer Rupturen nach Rekonstruktion mittels bioinduktiven Patch deuten auf eine mögliche positive Beeinflussung der Sehnenheilung hin [41].

Zusammenfassend zeigen zwar viele Artikel in der Literatur verbesserte klinische Ergebnisse von Rekonstruktionen der Rotatorenmanschette mit additiver Augmentation oder Interposition, die klinischen Ergebnisse und Heilungsraten sind jedoch nicht konsistent [15, 18, 20, 22, 23, 25, 43, 44, 45, 46, 47, 48]. Darüber hinaus konnten einige Arbeiten keine signifikanten Vorteile einer additiven Augmentation im Vergleich zur isolierten Rekonstruktion

oder Partialrekonstruktion der Rotatorenmanschette aufzeigen [49, 50, 51].

Die theoretischen biomechanischen und strukturellen Vorteile erlauben nach kritischer Evaluation der Datenlage daher keine regelhafte Empfehlung für den Einsatz von Patches zur additiven Sehnenaugmentation oder Interposition. Auch aufgrund des technischen, zeitlichen und finanziellen Mehraufwandes ist der Einsatz auf den individuellen Einsatz in selektiven Fällen begrenzt. Die Frage, ob gerade Massenrupturen, Patienten mit schlechter Sehnengualität und Revisionen nach fehlgeschlagener RM-Rekonstruktion stärker von additiven Patch-Augmenprofitieren tationen/Interpositionen können, bleibt trotz vielversprechender Ergebnisse einzelner Arbeiten abzuwarten.

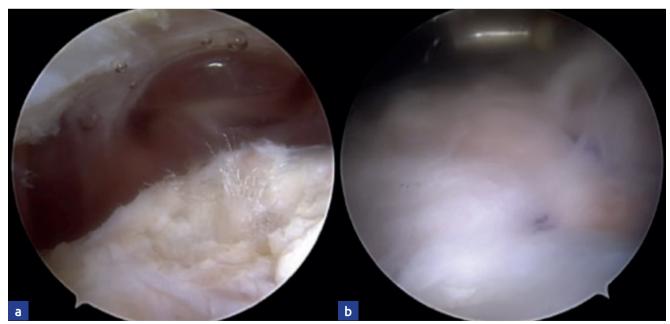


Abb. 3a und 3b ▲ Nach 3maliger Vorarthroskopie mit Re-Rekonstruktion der Rotatorenmanchette eines 30jährigen Patienten zeigt die Revision unter anderem diesen strukturellen subtotalen, bursaseitigen Re-defekt der Rotatorenmanschette (a). Der Sehnendefekt wird mittels bio-induktiven Patch (Regeneten, Smith and Nephew, Andover USA) zur Kollageninduktion und zum Sehnen - Re-modelling augmentiert (b). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

## Schlussfolgerung / Take Home Message

Die Rekonstruktion der Rotatorenmanschette mit additiver Sehnenaugmentation oder Interposition könnte sowohl die biomechanischen Voraussetzungen, die klinischen Ergebnisse, als auch die Heilungsrate insbesondere in chronischen Massenrupturen und Revisionsrekonstruktionen sitiv beeinflussen. Autografts, humane Allografts und synthetische Grafts scheinen hierbei bessere Ergebnisse zu liefern als Xenografts. Aufgrund der inkonsistenten Ergebnisse in der Literatur lässt sich jedoch keine generelle Empfehlung für den regelhaften additiven Einsatz von Grafts zur Sehnenaugmentation oder Interposition ableiten.

#### Korrespondenzadresse:

#### Prof. Dr. Olaf Lorbach

Abteilung für Schulterchirurgie und Sporttraumatologie, Schön-Klinik Lorsch Wilhelm-Leuschner Straße 10 64653 Lorsch, Deutschland

- [1] Galatz LM, Ball CM, Teefey SA, Middleton WD, Yamaguchi K. The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears. J Bone Joint Surg Am 2004; 86-A(2):219-224.
- [2] Gazielly DF, Gleyze P, Montagnon C. Functional and anatomical results after rotator cuff repair. Clin Orthop Relat Res 1994;(304):43-53.
- [3] Harryman DT, Mack LA, Wang KY, Jackins SE, Richardson ML, Matsen FA, III. Repairs of the rotator cuff. Correlation of functional results with integrity of the cuff. J Bone Joint Surg Am 1991; 73(7):982-989.
- [4] Ide J, Maeda S, Takagi K. A comparison of arthroscopic and open rotator cuff repair. Arthroscopy 2005; 21(9):1090-1098.
- [5] Sugaya H, Maeda K, Matsuki K, Moriishi J. Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dual-row fixation. Arthroscopy 2005; 21(11):1307-1316.
- [6] Bishop J, Klepps S, Lo IK, Bird J, Gladstone JN, Flatow EL. Cuff integrity after arthroscopic versus open rotator cuff repair: a prospective study. J Shoulder Elbow Surg. 2006; 15(3):290-299.
- [7] Postel JM, Goutallier D, Lavau L, Bernageau J. Anatomical results of rotator cuff repairs. Study of 57 cases controlled by arthrography. J Shoulder Elbow Surg. 1994; 3:20.
- [8] Yang J Jr., Robbins M, Reilly J, Maerz T, and Anderson K: The Clinical Effect of a Rotator Cuff Retear: A Meta-analysis of Arthroscopic Single-Row and Double-Row Repairs. Am J Sports Med. 2017 Mar;45(3):733-741.
- [9] Gerber C, Fuchs B, Hodler J. The results of repair of massive tears of the rotator cuff. J Bone Joint Surg Am. 2000;82(4):505-515.
- [10] Jones CK, Savoie FH III. Arthroscopic repair of large and massive rotator cuff tears. Arthroscopy. 2003;19(6):564-571.
- [11] Burkhart SS, Denard PJ, Konicek J et al. Biomechanical validation of load-sharing rip-stop fixation for the repair of tissuedeficient rotator cuff tears. Am J Sports Med 2014; 42:457-462.
- [12] Salata MJ, Sherman SL, Lin EC et al. Biomechanical Evaluation of Transosseous Rotator Cuff Repair: Do Anchors Really Matter? Am J Sports Med. 2013; 41:283-290.

- [13] Bailey JR, Kim C, Alentorn-Geli E, Kirkendall DT, Ledbetter L, Taylor DC, Toth AP, Garrigues GE. Rotator Cuff Matrix Augmentation and Interposition: A Systematic Review and Meta-analysis. Am J Sports Med. 2019 May;47(6):1496-1506.
- [14] Agrawal V. Healing rates for challenging rotator cuff tears utilizing an acellular human dermal reinforcement graft. Int J Shoulder Surg. 2012;6(2):36-44.
- [15] Barber FA, Burns JP, Deutsch A, Labbe MR and Litchfield RB. A prospective, randomized evaluation of acellular human dermal matrix augmentation for arthroscopic rotator cuff repair. Arthroscopy. 2012; 28: 8–15.
- [16] Bektaser B, Ocguder A, Solak S, Gonen E, Yalcin N, Kilicarslan K. Free coracoacromial ligament graft for augmentation of massive rota- tor cuff tears treated with mini-open repair. Acta Orthop Traumatol Turc. 2010;44(6):426-430.
- [17] Burkhead WZ Jr., Schiffern SC, Krishnan SG. Use of graft jacket as an augmentation for massive rotator cuff tears. Semin Arthroplasty. 2007;18(1):11-18.
- [18] Ciampi P, Scotti C, Nonis A et al. The benefit of synthetic versus biological patch augmentation in the repair of posterosuperior massive rotator cuff tears: A 3-year follow-up study. Am J Sports Med. 2014; 42: 1169–1175.
- [19] Encalada-Diaz I, Cole BJ, Macgillivray JD, et al. Rotator cuff repair augmentation using a novel polycarbonate polyure-thane patch: preliminary results at 12 months' follow-up. J Shoulder Elbow Surg. 2011;20(5):788-794.
- [20] Gilot, GJ, Alvarez-Pinzon AM, Barcksdale L, Westerdahl D, Krill M and Peck E. Outcome of large to massive rotator cuff tears repaired with and without extracellular matrix augmentation: A prospective comparative study. Arthroscopy. 2015; 31: 1459–1465.
- [21] Iannotti JP, Codsi MJ, Kwon YW, Derwin K, Ciccone J, Brems JJ. Porcine small intestine submucosa augmentation of surgical repair of chronic two-tendon rotator cuff tears: a randomized, controlled tri- al. J Bone Joint Surg Am. 2006;88(6):1238-1244.
- [22] Lenart BA, Martens KA, Kearns KA, Gillespie RJ, Zoga AC, and Williams GR. Treatment of massive and recurrent rotator cuff tears augmented with a poly-l-lactide graft, a preliminary study. J Shoulder Elbow Surg. 2015; 24: 915–921.

- [23] Nada AN, Debnath UK, Robinson DA, and Jordan C. Treatment of massive rotatorcuff tears with a polyester ligament (Dacron) augmentation: Clinical outcome. J Bone Joint Surg Br. 2010; 92: 1397–1402.
- [24] Petrie MJ, Ismaiel AH. Treatment of massive rotator-cuff tears with a polyester ligament (LARS) patch. Acta Orthop Belg. 2013;79(6): 620-625.
- [25] Proctor CS. Long-term successful arthroscopic repair of large and massive rotator cuff tears with a functional and degradable reinforcement device. J Shoulder Elbow Surg. 2014; 23: 1508–1513.
- [26] Scheibel M, Brown A, Woertler K, Imhoff AB. Preliminary results after rotator cuff reconstruction augmented with an autologous periosteal flap. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2007;15(3):305-314.
- [27] Sears BW, Choo A, Yu A, Greis A, Lazarus M. Clinical outcomes in patients undergoing revision rotator cuff repair with extracellular matrix augmentation. Orthopedics. 2015;38(4):e292-e296.
- [28] Barber FA, Herbert MA, Boothby MH. Ultimate tensile failure loads of a human dermal allograft rotator cuff augmentation. Arthroscopy 2008;24:20-24.
- [29] Santoni BG, Mcgilvray KC, Lyons AS et al. Biomechanical analysis of an ovine rotator cuff repair via porous patch augmentation in a chronic rupture model. Am J Sports Med. 2010; 38:679-686.
- [30] Mccarron JA, Milks RA, Mesiha M et al. Reinforced fascia patch limits cyclic gapping of rotator cuff repairs in a human cadaveric model. J Shoulder Elbow Surg. 2012; 21:1680-1686.
- [31] Milks RA, Kolmodin JD, Ricchetti ET, Iannotti JP, Derwin KA. Augmentation with a reinforced acellular fascia lata strip graft limits cyclic gapping of supraspinatus repairs in a human cadaveric model. J Shoulder Elbow Surg. 2018 Jun;27(6):1105-1111
- [32] Jung C, Spreiter G, Audigé L, Ferguson SJ, Flury M. Patch-augmented rotator cuff repair: influence of the patch fixation technique on primary biomechanical stability. Arch Orthop Trauma Surg. 2016 May;136(5):609-16.
- [33] Kataoka T, Kokubu T, Muto T, Mifune Y, Inui A, Sakata R, Nishimoto H, Harada Y, Takase F, Ueda Y, Kurosawa T, Yamaura K, Kuroda R. Rotator cuff tear healing process with graft augmentation of fascia lata in a rabbit model. J Orthop Surg Res. 2018; Aug 13;13(1):200.

- [34] Van Der Meijden OA, Wijdicks CA, Gaskill TR et al. Biomechanical analysis of two tendon posterosuperior rotator cuff tear repairs: extended linked repairs and augmented repairs. Arthroscopy. 2013; 29:37-45.
- [35] Mccarron JA, Milks RA, Chen X et al. Improved time-zero biomechanical properties using poly-L-lactic acid graft augmentation in a cadaveric rotator cuff repair model. J Shoulder Elbow Surg 2010; 19:688-696.
- [36] Aurora A, Mccarron JA, Van Den Bogert AJ et al. The biomechanical role of scaffolds in augmented rotator cuff tendon repairs. J Shoulder Elbow Surg. 2012: 21:1064-1071.
- [37] Ferguson DP, Lewington MR, Smith TD, Wong IH. Graft utilization in the augmentation of large-to-massive rotator cuff repairs: a system- atic review. Am J Sports Med. 2016;44(11):2984-2992.
- [38] D'Ambrosi R, Ragone V, Comaschi G, Usuelli FG, Ursino N. Retears and complication rates after arthroscopic rotator cuff repair with scaffolds: a systematic review. Cell Tissue Bank. 2019 Mar;20(1):1-10.
- [39] Ono Y, Dávalos Herrera DA, Woodmass JM, Boorman RS, Thornton GM, Lo IK. Graft Augmentation Versus Bridging for Large to Massive Rotator Cuff Tears: A Systematic Review. Arthroscopy. 2017 Mar;33(3):673-680.
- [40] Hein J, Reilly JM, Chae J, Maerz T and Anderson K. Retear rates after arthroscopic single-row, double-row, and suture bridge rotator cuff repair at a minimum of 1 year of imaging follow-up: A systematic review. Arthroscopy. 2015; 31: 2274–2281.
- [41] Thon SG, O´Malley 2nd L O´Brien MJ and Savoie FH 3rd. Evaluation of Healing Rates and Safety With a Bioinductive Collagen Patch for Large and Massive Rotator Cuff Tears: 2-Year Safety and Clinical Outcomes Am J Sports Med. 2019 Jul;47(8):1901-1908.
- [42] Van Kampen C, Arnoczky S, Parks P, et al. Tissue-engineered augmentation of a rotator cuff tendon using a reconstituted collagen scaffold: a histological evaluation in sheep. Muscles Ligaments Ten-dons J. 2013;3(3):229-235.
- [43] Bond JL, Dopirak RM, Higgins J, Burns J, and Snyder SJ. Arthroscopic replacement of massive, irreparable rotator cuff tears using a GraftJacket allograft: Technique and preliminary results. Arthroscopy. 2008; 24: 403–409.e401.

- [44] Audenaert E, Van Nuffel J, Schepens A, Verhelst M, and Verdonk R. Reconstruction of massive rotator cuff lesions with a synthetic interposition graft: A prospective study of 41 patients. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006; 14: 360–364.
- [45] Badhe SP, Lawrence TM, Smith FD and Lunn PG. An assessment of porcine dermal xenograft as an augmentation graft in the treatment of extensive rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg. 2008;17: 35S-39S.
- [46] Gupta AK, Hug K., Berkoff, D.J. et al. Dermal tissue allograft for the repair of massive irreparable rotator cuff tears. Am J Sports Med. 2012; 40: 141–147.
- [47] Gupta AK, Hug, K., Boggess, B., Gavigan, M., and Toth, A.P. Massive or 2-tendon rotator cuff tears in active patients with minimal glenohumeral arthritis: Clinical and radiographic outcomes of reconstruction using dermal tissue matrix xenograft. Am J Sports Med. 2013; 41: 872–879.
- [48] Jones CR and Snyder SJ. Massive irreparable rotator cuff tears: A solution that bridges the gap. Sports Med Arthrosc. 2015; 23: 130–138.
- [49] Maillot C, Harly E, Demezon H, Le Huec JC. Surgical repair of large-to-massive rotator cuff tears seems to be a better option than patchaugmentation or débridement and biceps tenotomy: a prospective comparative study. J Shoulder Elbow Surg. 2018 Sep;27(9):1545-1552.
- [50] Flury M, Rickenbacher D, Jung C, Schneider MM, Endell D, Audige L. Porcine dermis patch augmentation of supraspinatus tendon repairs: a pilot study assessing tendon integrity and shoulder function 2 years after arthroscopic repair in patients aged 60 years or older. Arthroscopy 2018; 34:24–37.
- [51] Holwein C, von Bibra B, Jungmann PM, Karampinos DC, Wörtler K, Scheibel M, Imhoff AB, Buchmann S. No healing improvement after rotator cuff reconstruction augmented with an autologous periosteal flap. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2019 Oct;27(10):3212-3221.

## 8. Debridement und In-Space Ballon (S. Euler)

## Einleitung und Take Home Message

Maßgeblich für die Entscheidung zur operativen Behandlung irreparabler Rotatorenmanschettenrupturen mittels arthroskopischem Debridement und/oder Implantation eines subakromialen Ballons sind folgende Aspekte:

- 1. Niedriger funktioneller Anspruch
- 2. Schmerzsituation nicht akzeptabel

Kontraindikationen für diese Behandlungsmethode stellen vor allem eine glenohumerale Dezentrierung und/oder massive Bewegungseinschränkungen dar. Eine große Steigerung des Bewegungsausmaßes darf nach Durchführung dieser Operationsmethoden nicht erwartet werden.

#### Korrespondenzadresse:

#### Priv.-Doz. Dr. Simon Euler

Praxisgemeinschaft Unfallchirurgie Unfallchirurgie und Orthopädie, Sanatorium Kettenbrücke der Barmherzigen Schwestern GmbH Sennstr. 1 6020 Innsbruck, Österreich

## Arthroskopisches Debridement, subakromiale Dekompression und Bizepssehnentenotomie oder – tenodese

Diese Therapieoption ist vor allem für ältere, multimorbide Patienten geeignet, bei denen die konservative, nicht operative Behandlung versagt hat. Die Schmerzbehandlung steht hier klar im Vordergrund.

Eindeutige Vorteile sind die meist sehr kurze Operationsdauer und gute Erfolgsaussichten zur Verbesserung der Schmerzsituation. Dem gegenüber stehen operationsassoziierte Risiken sowie die Risiken einer wie auch immer gearteten Narkoseform. Außerdem ist eine weitere Ausdehnung der Ruptur und Verschlechterung der Beschwerden möglich und eine Verbesserung der Kraft nicht zu erwarten.

Entzündlich veränderte Schleimbeutelanteile, Narbenzüge, Osteophyten und Sehnenstümpfe am Humerus werden debridiert, um ein möglichst ungehindertes Gleiten des Humeruskopfes unter dem korakoakromialen Bogen zu gewährleisten. Zusätzlich wird ggf. eine partielle Resektion des Tuberkulum majus durchgeführt [1]. Die zusätzliche subakromiale Dekompression im Sinne einer Akromioplastik ist nur sinnvoll, wenn große knöcherne akromiale Osteophyten/Sporne ohne eine gleichzeitige anterosuperiore Subluxation des Humeruskopfes (anterosuperior escape) vorliegen.

Franceschi et al. [2] berichteten in einem Kollektiv von 34 Patienten mit einem Follow-up von fast 8 Jahren nach arthroskopischem Debridement über eine deutliche Verbesserung der Schmerzsituation sowie des Bewegungsausmaßes. Der modifizierte

UCLA Schulter Score stieg von 7,6 präoperativ auf 21,6 .

Obwohl der langen Bizepssehne lange eine wichtige Stabilisierungsfunktion zugestanden wurde, konnte mittlerweile gezeigt werden, dass sie nur sehr wenig zur Funktion oder Stabilität des Schultergelenks beiträgt [3, 4]. Jedenfalls sollte also die Therapie der langen Bizepssehne in Betracht gezogen werden, da diese meist luxiert/ subluxiert ist und einen großen Anteil an der Schmerzgenerierung hat [5]. Dies ist insbesondere bei begleitenden Defekten der Rotatorenmanschette in bis zu 76% der Fall [6]. Boileau et al. [7] fanden für Patienten mit irreparablen Rupturen eine signifikante Schmerzreduktion und verbesserte klinische Ergebnisse sowohl für die arthroskopische Tenotomie als auch für die Tenodese der langen Bizepssehne, mit interessanterweise keinem Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Die Ergebnisse wurden negativ beeinflusst durch eine Atrophie des M. teres minor, präoperative Pseudoparalyse und ausgeprägte Cuff-Tear-Arthropathie (CTA).

Postoperativ werden begleitend zur Analgesie und Entzündungshemmung klassischerweise nicht-steroidale Antirheumatika (NSAR) und ggfs. additiv subakromiale Infiltrationen von Kortikosteroiden angewandt [8]. Eine schmerzadaptierte frühfunktionelle physiotherapeutische Nachbehandlung ist wichtig und von entscheidender Bedeutung.

#### Subakromialer Ballon

Die arthroskopische Implantation eines biodegradierbaren Ballonspacers zwischen Akromion und den Oberarmkopf zur Behandlung irreparabler Rupturen oder Defekte der Rotatorenmanschette wurde erstmals 2012 von Savarese und Romeo beschrieben [9). Dabei wird ein Ballon nach subakromial eingeführt und mit Kochsalzlösung zur gewünschten Ausdehnung gebracht. Durchschnittlich sind dafür etwa 25ml notwendig. Eine vorheriges subakromiales Debridement und die zusätzliche Tenotomie der langen Bizepssehne werden empfohlen. Falls keine anterosuperiore Subluxation des Humeruskopfes (anterosuperior escape) vorliegt, kann auch eine minimale Akromioplastik erfolgen. Die Biodegradierung beginnt nach frühestens 12 Monaten.

Der biomechanische Sinn eines solches Spacers besteht darin, den Subakromialraum zu weiten, Glenohumeralgelenk zu re-zentrieren und dadurch die Hebelwirkung des Deltamuskels zu erhöhen. Des Weiteren wird der subakromiale Druck erniedrigt. In den wenigen existierenden klinischen Studien konnten durchaus signifikante kurz- und mittelfristige Steigerungen des Constant Scores gezeigt werden [10]. Sowohl die Kraft und das Bewegungsausmaß, als auch die Schmerzsituation konnten deutlich verbessert werden. Vorteile dieser Methode sind eine relativ kurze Operationszeit und erfolgsversprechende Ergebnisse. Dem gegenüber stehen auch bei dieser Methode operationsassoziierte Risiken. Allerdings wurde bereits die "blinde" Implantation in Lokalanästhesie beschrieben [11]. Regelmäßige schwerwiegende Komplikationen scheinen nicht aufzutreten [12].

Eine schmerzadaptierte frühfunktionelle physiotherapeutische Nachbehandlung ist bei dieser Methode ebenso entscheidend wichtig.

Im Vergleich zum reinen Debridement stellt die Ballon-Methode allerdings auch eine relativ teure Alternative dar. Ein eindeutiger Vorteil der Methode scheint vor allem die potentielle Möglichkeit der Re-Zentrierung im Sinne des Ausgleichs einer Proximalisierung des Oberarmkopfes zu sein.

Vor einer generellen Empfehlung dieses Eingriffs scheint es jedoch notwendig, weitere klinische Daten und vor allem Langzeitergebnisse abzuwarten.

- [1] Fenlin JM, Jr., Chase JM, Rushton SA, et al. Tuberoplasty: creation of an acromiohumeral articulation-a treatment option for massive, irreparable rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 2002; 11(2):136-42
- [2] Franceschi F, Papalia R, Vasta S, et al. Surgical management of irreparable rotator cuff tears. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2015; Feb;23(2):494-501
- [3] Yamaguchi K, Riew KD, Galatz LM, et al. Biceps activity during shoulder motion: an electromyographic analysis. Clin Orthop Relat Res 1997; 122-9
- [4] Levy AS, Kelly BT, Lintner SA, et al. Function of the long head of the biceps at the shoulder: electromyographic analysis. J Shoulder Elbow Surg 2001; 10:250-5.
- [5] Murthi AM, Vosburgh CL, Neviaser TJ. The incidence of pathologic changes of the long head of the biceps tendon. J Shoulder Elbow Surg. 2000; 9(5):382-385
- [6] Walch G, Nové-Josserand L, Boileau P, Levigne C. Subluxations and dislocations of the tendon of the long head of the biceps. Journal of shoulder and elbow surgery 1998; 7(2):100-108
- [7] Boileau P, Baqué F, Valerio L et al. Isolated arthroscopic biceps tenotomy or tenodesis improves symptoms in patients with massive irreparable rotator cuff tears. J Bone Joint Surg Am 2007; Apr;89(4):747-57

- [8] Gerber C, Wirth SH, Farshad M. Treatment options for massive rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 2011; 20(2 Suppl):S20-9
- [9] Savarese E, Romeo R. New solution for massive, irreparable rotator cuff tears: the subacromial "biodegradable spacer". Arthrosc Tech 2012: 1:e69-74
- [10] Moon AS, Patel HA, Ithurburn MP, et al. Subacromial Spacer Implantation for the Treatment of Massive Irreparable Rotator Cuff Tears: A Systematic Review. Arthroscopy 2019;35:607-14
- [11] Gervasi E, Cautero E, Dekel A. Fluoroscopyguided implantation of subacromial "biodegradable spacer" using local anesthesia in patients with irreparable rotator cuff tear. Arthrosc Tech 2014 Jul 21;3(4):e455-8
- [12] Familiari F, Nacar SK, Russo R, De Gori M, Ranuccio F, Mastroianni V, Giuzio E, Galasso O, Gasparini G, McFarland EG, Srikumaran U. Subacromial Balloon Spacer for Massive, Irreparable Rotator Cuff Tears Is Associated With Improved Shoulder Function and High Patient Satisfaction. Arthroscopy 2021;Feb;37(2):480-486

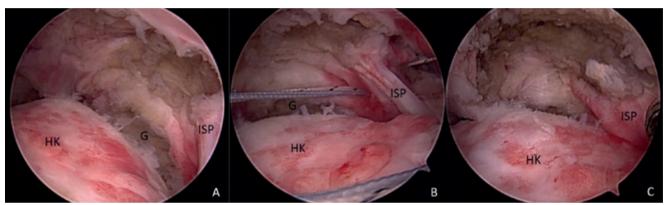
## 9. Partialrekonstruktion und Superiore Kapselrekonstruktion

(B. Schliemann, D. Seybold, O. Lorbach)

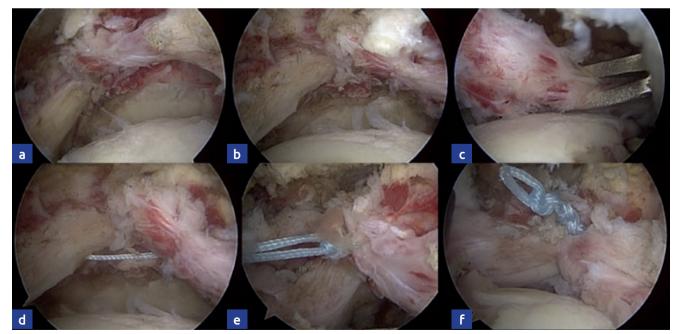
## **Einleitung**

Die Behandlung irreparabler oder zumindest nicht vollständig rekonstruierbarer Rotatorenmanschettenrupturen (RMR) ist herausfordernd und vielfältig. Zahlreiche Behandlungsoptionen stehen zur Verfügung und werden in diesem Themenheft abgehandelt. Lässt sich trotz ausgiebigem Weichteil-Release ggf. in Kombination mit Interval-Slides keine anatomische Rekonstruktion des Sehnendefektes erreichen, werden auch durch eine partielle Rekonstruktion des Defektes ansprechende Ergebnisse bezüglich Schmerzlinderung und Schulterfunktion erreicht. Gerade bei ausgedehnten

Defekten und Revisionsoperationen kann dieses Verfahren mit einer superioren Kapselrekonstruktion kombiniert werden. Dieses Vorgehen ist neben Sehnentransfers insbesondere bei jungen, aktiven Patienten mit nicht mehr rekonstruierbaren Massenrupturen zu erwägen, in denen man gelenkersetzende Verfahren möglichst noch vermeiden möchte.



**Abb. 1a** bis **1c** ▲ Massenruptur mit nicht rekonstruierbarer SSP-Sehne. Der SSC (nicht sichtbar) ist intakt. Refixation der ISP-Sehne und damit Wiederherstellung der posterioren Insertion des "rotator cable" und damit des transversalen "force couples". © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 2a** bis **2f** ▲ Margin-Convergence-Technik einer trotz Mobilisation nicht an den footprint reponierbarer Massenruptur (a-c). Vorgelegte Fäden (d), die anschließend verknotet werden (e), sodass der Humeruskopf teilweise bedeckt und eine Partialrekonstruktion an den footprint möglich ist. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

# Die RM-Partialrekonstruktion

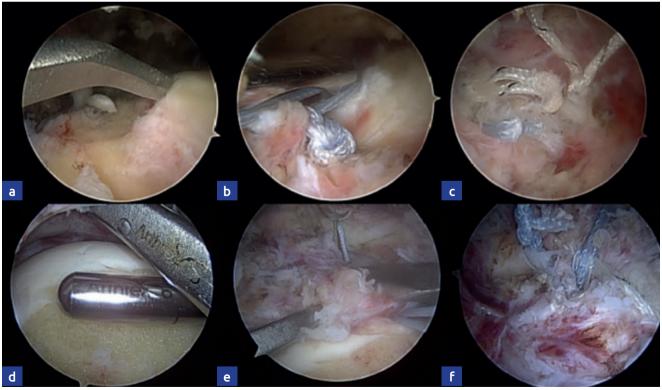
### Prinzip und technische Aspekte

Das Prinzip der RM-PR besteht darin, durch partielle Refixation der Infraspinatussehne und ggf. der Subscapularissehne das transversale Kräftegleichgewicht in der Schulter wiederherzustellen und damit den Humeruskopf zu zentrieren. Die wesentlichen Vorarbeiten hierzu stammen von Stephen Burkhart, der auf Basis von Patienten, die trotz großer Rupturen noch eine normale Schulterfunktion haben, die Bedeutung der coronaren und transversalen Kräftepartner ("force couples") darstellte und

das Konzept der RM-PR 1997 beschrieb [1]. Entscheidend für dieses Konzept ist die Refixation der inferioren Infraspinatusanteile als Insertionsareal des "rotator cable" ( Abb. 1). Ist die Subscapularissehne intakt oder wurde anatomisch rekonstruiert, resultiert dann ein stabiles transversales "force couple" und das Gelenk bleibt stabil. In einer ersten Studie zum offenen Partialrepair (1994) konnten die Patienten ein Zuwachs von 90° für die Elevation verzeichnen (60° prä-OP zur 150° post-OP) [2].

Eine Erweiterung des Konzeptes besteht in der Verkleinerung großer U-förmiger Rupturen durch Seit-zu-Seit-Nähte (margin convergence) [1], um die Last auf den Rupturrändern zu reduzieren und eine Vergrößerung der Ruptur zu vermeiden ( Abb. 2). Ggf. kann nach Seit-zu-Seit-Naht, dann eine partielle Refixation auf den "Footprint" möglich sein. Aus biomechanischer Sicht sollte in jedem Fall mehr als eine Seit-zu-Seit-Naht erfolgen [3].

Um eine Refixation an den "Footprint" zu ermöglichen, kann dieser ggf. etwas medialisiert werden (■ Abb. 3). Eine Medialisierung um bis zu 10 mm scheint hier unproblematisch und mit guten klinischen Ergebnissen assoziiert zu sein [4].



**Abb. 3a** bis **3f** ▲ Medialisierung des Footprint mit Kürette (obere Reihe) oder bone cutter (untere Reihe) und anschließend partielle RM-Rekonstruktion. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

### Klinische Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse von Burkart et al. aus 1994 bestätigen sich über die Zeit immer wieder: Ein systematisches Review, das 11 Studien mit 643 Patienten einschloss, zeigte durchweg eine signifikante Verbesserung klinischer Scores bei einer Revisionsrate von lediglich 2,9% [5]. Die Re-Rupturrate lag bei 48,9%. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Haleem et al. in einem weiteren systematischen Review, in das sowohl komplette als auch RM-PR eingeschlossen wurden. Auch hier zeigten sich sowohl für Komplett- als auch Partialrekonstruktionen signifikante Verbesserungen der Funktion, der Schmerzen und der klinischen Scores [6]. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Verfahren bestanden nicht. Besnard et al. konnten bei der Langzeit-Nachuntersuchung ihres Kollektivs von 64 Patienten mit Massenrupturen, die entweder ein Komplett- oder Partialrepair bekamen, zeigen, dass sich initial gute Ergebnisse (nach 2-5 Jahren) auch nach 7-10 Jahren bestätigen [7]. Die RM-PR war lediglich mit einer geringeren Kraft assoziiert bei ansonsten funktionell gleichwertigen Ergebnissen. Auch Iagulli et al. konnten keine signifikanten Unterschiede im Outcome nach Komplett- oder RM-PR nachweisen [8]. Auch im Vergleich zum Latissimusdorsi-Transfer zeigt die isolierte RM-PR vergleichbare Ergebnisse. Bavarel et al. fanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Constant- und ASES score sowie das Bewegungsausmaß [9]. Tatsächlich zeigten Patienten nach RM-PR sogar signifikant bessere Ergebnisse im SSV und SST.

Lediglich Heuberer et al. fanden in einer retrospektiven Analyse von 68 Patienten mit Massenrupturen bessere Ergebnisse nach einer Komplettrekonstruktion [10]. Insgesamt zeigt die Literatur vergleichbare Ergebnisse von RM-PR und Komplett-Rekonstruktion von echten Massenrupturen. Die gerade noch verschließbaren Rupturen sind in der Regel mit einer Re-Ruptur vergesellschaftet und enden oft als Partialrekonstruktion. Über alle Analysen hinweg zeigt sich einzig die fettige Infiltration des M. teres minor als negativer prädiktiver Parameter für das Outcome nach RM-PR [9, 11].

### Superiore Kapselrekonstruktion

### Prinzip und technische Aspekte

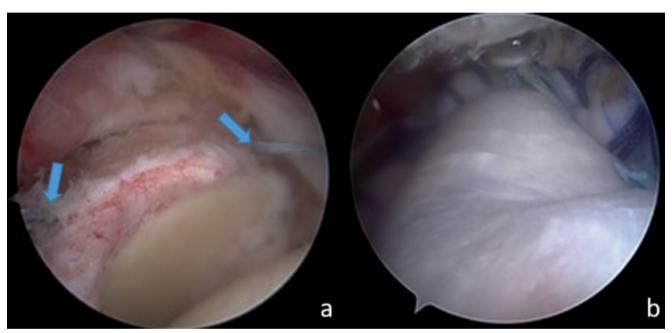
Die superiore Kapselrekonstruktion (SCR) wurde 2012/2013 von Mihata et al. zur Behandlung der irreparablen posterosuperioren Rotatorenmanschettenruptur vorgestellt [12, 13]. Mit einem Fascia lata-Autograft, das vom Glenoidrand zum Tuberkulum majus gespannt wird, rekonsturiert Mihata die superiore Kapsel mit dem Ziel die Stabilität der Schulter in superiorer Richtung wiederherzustellen und eine kraniale Migration des Humeruskopfes zu verhindern. In einer ersten biomechanischen Studie konnte er zeigen, dass die SCR in der Lage ist, die superiore Translation zu reduzieren und die Gelenkkinematik sowie den subacromialen Anpressdruck zu normalisieren [13]. Von einigen Autoren wurde die SCR dann auch im angloamerikanischen Raum propagiert und die Fallzahlen entwickelten sich dramatisch. Bereits 2018 wurden in den USA über 15.000 Prozeduren durchgeführt [14]. Anders als Mihata wurde hier jedoch zumeist ein dermales humanes Allograft verwendet [15, 16]. Aufgrund der schlechteren Verfügbarkeit wurden gerade im europäischen Raum auch porcine dermale Allograft genutzt [17, 18]. Biomechanisch konnte Mihata selbst zeigen, dass Graft-Typ und -Spannung möglicherweise von entscheidender Bedeutung sind. Zunächst definierte er eine Dicke von 8 mm und eine Vorspannung in 15-45° Abduktion als optimal zur möglichst physiologischen Wiederherstellung der Gelenkkinematik [19]. In einer weiteren Studie konnte er zeigen, dass ein einfaches dermales Graft mit 4 mm-Dicke offenbar zu schlechteren Ergebnissen führt [20]. Kürzlich wurde jedoch nachgewiesen, dass sich die superiore Translation nach SCR mit doppelt gelegtem dermalen Allograft zumindest biomechanisch nicht von der nach SCR mit Fascia lata unterscheidet [21]. Die Seit-zu-Seit-Naht zum Infraspinatus scheint ebenfalls von Bedeutung zu sein, um die superiore Translation zu reduzieren [22].

Nach der initialen Beschreibung der Technik und der ersten Modifikation mit Verwendung eines dermalen Allografts hat es zahlreiche weitere Veränderungen hinsichtlich Fixationstechnik und Graft-Auswahl gegeben. Neben der Fascia lata und dem dermalen Allo- und Xenograft werden insbesondere Techniken unter Verwendung der langen Bicepssehne (LBS) und der Semitendinosussehne (Auto- oder Allograft) beschrieben [23-26]. Die Art der Applikation variiert dabei ebenfalls. Während die LBS von einigen Autoren als Einstrang-Technik vom Glenoid zum Tuberkulum majus gelegt wird, beschreiben andere Autoren Techniken, in denen komplexere Rekonstruktionstechniken mit flächigerer Abdeckung des Humeruskopfes angewendet werden [27-29]. Die Autoren verwenden neben Allografts ( Abb. 4) ebenfalls die Semitendinosussehne gepaart mit RM-PR Seit-zu-Seit-Nähten zum Infraspinatus ( Abb. 5) oder die lange Bicepssehne, die am oberen Glenoidrand fixiert bleibt. Nachdem hier ein Faden zur Sicherung vorgelegt wurde, wird die LBS dann am Eingang in den Sulcus abgesetzt und bis kurz vor den Glenoidrand längs gespalten. Die beiden Enden werden armiert und über knotenlose Anker dann anterior und posterior am footprint fixiert (
Abb. 6). Prinzipiell können hiermit die beiden Insertionen des rotator cable berücksichtigt werden. Da die LBS bei irreparablen Rupturen häufig eben-

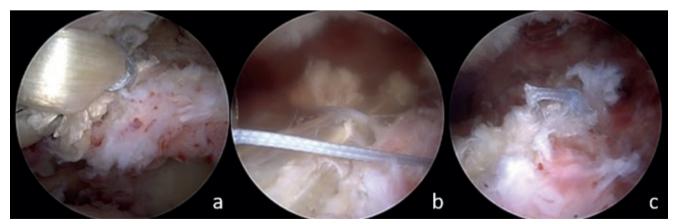
falls geschädigt oder gar rupturiert ist, ist diese Technik nicht immer möglich. Vorteile liegen aber in der ansonsten einfacheren und vor Allem kostengünstigeren Durchführung. Erste Ergebnisse der LBS-Techniken sind vielversprechend [23, 24, 30].

### Indikation und Grenzen der SCR

Prinzipiell kann die SCR bei allen nicht rekonstruierbaren posterosuperioren Rupturen durchgeführt werden. Die besten Ergebnisse werden erreicht, wenn folgende Faktoren gegeben sind [12, 16, 31-33]:



**Abb. 4a** und **4b** ▲ SCR mit dermalem Allograft (Epiflex, DIZG): glenoidale Ankerplatzierung (Pfeile; a) und abgespanntes Graft (b) © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 5a** bis **5c** ▲ SCR mit autologer Semitendinosussehne: Fixation der Sehne (a), vorgelegte Fäden durch die residuelle Manschette zur Partialrekonstruktion (b) und abgeschlossene Rekonstruktion (c). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

- intakte oder rekonstruierbare SSC-Sehne
- intakte oder rekonstruierbare ISP-Sehne für anschließende Seit-zu-Seit-Naht
- passive Elevation über 90°
- Cuff-Arthropathie < Hamada 2

Das erste von Mihata mit einer SCR mit 8mm Fascia lata versorgte Kollektiv erfüllte diese Kriterien und zeigte auch die bisher besten Ergebnisse [34].

Kontraindikationen sind dementsprechend [35]:

- Cuff-Arthropathie mit knöcherner Deformität (Hamada V)
- Passiv nicht redressierbare superiore Migration
- Deltainsuffizienz
- schlechte Knochenqualität (genaue Spezifikationen liegen nicht vor)
- chronische Pseudoparalyse
- Schulterinstabilität

### Klinische Ergebnisse und kritische Analyse

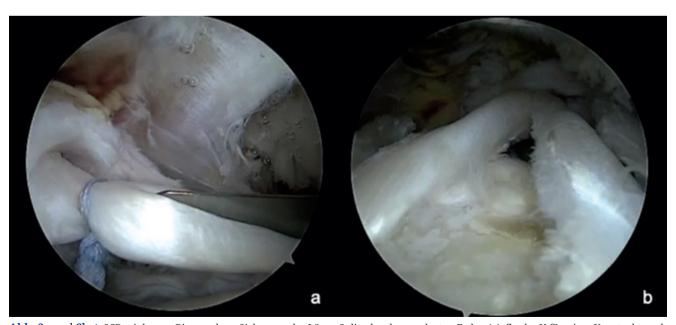
Die bisher besten klinischen und radiologischen Ergebnisse lieferte Mihata selbst unter Verwendung der 8mm dicken Fascia lata. Bei 23 Patienten (24 Schultern) zeigte sich eine signifikante Verbesserung im ASES-Score von 23.5 auf 92.9. Die Elevation verbesserte sich von 84° auf 148°. Eindrücklich ist insbesondere die MR-tomographisch nachgewiesene Einheilungsrate von 22/24 [12]. Im Kontrast dazu konnten Denard et al. nur eine sichere Einheilung in 9 von 20 Fällen, die mittels MRT verlaufskontrolliert wurden, zeigen [16]. Ein Versagen der SCR wurde 7x humeralseitig und nur 1x glenoidalseitig gesehen. Denard et al. verwendeten im Gegensatz zur Mihata dermale Allograft mit einer Dicke von lediglich 3 mm.

■ Tab. 1 gibt einen Überblick über weitere klinische und radiologische Ergebnisse.

Für die Entnahme der Fascia lata sind mittlerweile auch minimal-invasive Techniken beschrieben, um die Entnahmemorbidität gering zu halten [36].

Dass auch eine Pseudoparalyse durch die SCR in selektiven Fällen reversibel sein kann, konnte Mihata in einer weiteren Studie zeigen [34].

Auch mit Allografts lassen sich gute klinische Ergebnisse erreichen. So zeigte sich in der Studie von Pashuck et al. eine Verbesserung im ASES-score von 55 auf 85,5 Punkte nach einem follow-up von zwei Jahren [37]. Die Elevation verbesserte sich von 128° auf 172°. Aktuelle systematische Reviews der bisher publizierten Studien zei-



**Abb. 6a** und **6b** ▲ SCR mit langer Bicepssehne: Sicherung des Längs-Splits durch vorgelegten Faden (a), finales V-förmiges Konstrukt nach lateraler Fixation mit knotenlosen Ankern. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

gen keine signifikanten Unterschiede zwischen Auto- und Allografts [38, 39]. Kim et al. konnten in ihrer Übersicht jedoch einen deutlicheren Anstieg im ASES-score nach SCR mit Fascia lata im Vergleich zu Allografts nachweisen (47,3 vs. 31,9 Punkte) [38]. Auch für die lange Bicepssehne als kostengünstige und technisch weniger aufwendige Alternative sind gute funktionelle Ergebnisse beschrieben, die sich bisher ebenfalls nicht signifikant von denen der SCR mit Fascia lata unterscheiden [40].

Die bisher genannten Studien zur SCR sind lediglich Fallserien, ein Vergleichskollektiv wurde von keiner der genannten Gruppen untersucht. Erstmals berichten Greiner et al. in einer aktuellen Studie über klinische und radiologische Ergebnisse nach SCR und dem isolierten Partialrepair der Infraspinatussehne im Rahmen einer matched-pair-Analyse [41]. Für die SCR wurde ein 3mm-Xenograft verwendet.

Im Follow-up nach 24 Monaten zeigten sich weder für klinische Scores noch für die akromiohumerale Distanz und die Zentrierung des Humerskopfes signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Die Re-Operationsrate war in der SCR-Gruppe etwas niedriger (4,8% vs. 15%) bei allerdings auch kürzerem Follow-up (25.7 vs. 34 Monate). Die Autoren empfehlen, den Fokus weiterer Studien auch auf die Kosteneffektivität zu legen.

Zusammenfassend stellt die SCR ein additives Verfahren zur Partialrekonstruktion dar, welches von den Autoren insbesondere bei ausgedehnten Defekten, Revisionsoperationen schlechter Sehnenqualität und "Borderline-Indikationen" mit bereits beginnender bis moderater statischer Dezentrierung Anwendung findet. Die optimale Wahl des Grafts bleibt nach der aktuellen Literaturlage unklar. Autologe Sehnen haben den Vorteil der Verfügbarkeit, sind kostengünstig und haben bezüg-

lich der Einheilung zumindest theoretische Vorteile. Bei Verwendung von Allografts entfällt dagegen ein potentieller Entnahmedefekt.

Grundsätzlich gibt es für keines der genannten OP-Verfahren eine ausreichende Evidenz. Eine kürzlich von der Amercian Shoulder and Elbow Surgeons Massive Cuff Evaluation and Research Initiative durchgeführte Meta-Analyse zeigte, dass nur 9,3% der der 43 eingeschlossenen Studien ein Evidenzlevel III hatte, bei allen anderen handelte es sich um Level IV-Studien [42]. Studien mit höherem Evidenzgrad als III fanden sich gar nicht. Die große Heterogenität der Patienten aber auch Unklarheiten bzgl. der Indikationsstellung werden hier deutlich. Es ist somit notwendig, zum definitiven Nachweis des Nutzens der verschiedenen Techniken, insbesondere der SCR, weitere vergleichende Studien mit standardisierten Kollektiven und OP-Techniken durchzuführen.

Studie	N	Graft-Typ	Graft- Dicke (mm)	Follow- up	funktionelles Ergebnis	AHD (mm)	Failure	Revisionen
Mihata (2019)	30	Fascia lata	4-5	5 Jahre	ASES +63.3	+ 4.7 (1 Jahr +5.7)	10% (n=3)	unklar
Mihata (2018)	88	Fascia lata	6-8	35-100 Monate	ASES 92-97	n.a.	2 % vs. 13%	unklar
Denard (2018)	59	Dermales Allograft	1 (5) 2 (2) 3 (52)	1 Jahr	VAS 5.8 -> 1.7 ASES 43.6 -> 77.5	6.6 → (7.6) <b>-&gt; 6.7</b>	n=11	18.6%
Pennington (2018)	88	Dermales Allograft	3	1 Jahr	VAS 4 -> 1,5 ASES 52 -> 82	7.1 -> 9.7 (9.9)	4.5%	n=1
Zastrow (2019)	291	diverse	1-8	25.7 Monate	ASES + 33-55		11.7% (3.4-36.1)	11.3%

Tab. 1 ▲ Übersicht über klinisch-radiologische Ergebnisse nach SCR unterschiedlicher Art. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

### Zusammenfassung und Take Home Message

Sowohl die Partialrekonstruktion der Rotatorenmanshette, als auch die (additive) superiore Kapselrekonstruktion sind geeignete Techniken zur Behandlung nicht mehr vollständig rekonstruierbarer posterosuperiorer RMR. Ziel der Verfahren ist neben der Schmerzreuktion die Wiederherstellung des "force couple" der Schulter mit Reduktion der statischen und dynamischen superioren Migration des Humeruskopfes. Die superiore Kapselrekonstruktion sollte als additives und nicht als ersetzendes Verfahren insbesondere bei schlechter Sehnengualität, Revisionen und Borderline-Indikationen erwogen werden.

Die Wahl des Graftes sowie die adäquate Fixation ist nicht hinreichend geklärt. Autografts stellen eine verfügbare und kostengünstige Alternative zu Allografts dar und haben bezüglich der Einheilung zumindest theoretische Vorteile, während unter Verwendung von Allografts ein potentieller Entnahmedefekt entfällt. Es bleibt daher eine individuelle und selektive Entscheidung, ob, wann und welches Graft zur additiven superioren Kapselrekonstruktion bei Partialrekonstruktion Anwendung findet.

### Korrespondenzadresse:

### Prof. Dr. Olaf Lorbach

Abteilung für Schulterchirurgie und Sporttraumatologie, Schön-Klinik Lorsch Wilhelm-Leuschner Straße 10 64653 Lorsch, Deutschland

### Literatur:

- Burkhart, S.S., Partial repair of massive rotator cuff tears: the evolution of a concept. Orthop Clin North Am, 1997. 28(1): p. 125-32.
- [2] Burkhart, S.S., et al., Partial repair of irreparable rotator cuff tears. Arthroscopy, 1994. 10(4): p. 363-70.
- [3] Hatta, T., et al., Biomechanical Effect of Margin Convergence Techniques: Quantitative Assessment of Supraspinatus Muscle Stiffness. PLoS One, 2016. 11(9): p. e0162110.
- [4] Lee, K.W., et al., Clinical Outcome of Arthroscopic Partial Repair of Large to Massive Posterosuperior Rotator Cuff Tears: Medialization of the Attachment Site of the Rotator Cuff Tendon. Clin Orthop Surg, 2020. 12(3): p. 353-363.
- [5] Malahias, M.A., et al., Arthroscopic partial repair for massive rotator cuff tears: does it work? A systematic review. Sports Med Open, 2019. 5(1): p. 13.
- [6] Haleem, A., et al., Primary arthroscopic repair of massive rotator cuff tears results in significant improvements with low rate of re-tear. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2020.
- [7] Besnard, M., et al., Partial and complete repairs of massive rotator cuff tears maintain similar long-term improvements in clinical scores. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021. 29(1): p. 181-191.
- [8] Iagulli, N.D., et al., Comparison of partial versus complete arthroscopic repair of massive rotator cuff tears. Am J Sports Med, 2012. 40(5): p. 1022-6.
- [9] Baverel, L.P., et al., Short-term outcomes of arthroscopic partial repair vs. latissimus dorsi tendon transfer in patients with massive and partially repairable rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg, 2021. 30(2): p. 282-289.
- [10] Heuberer, P.R., et al., Arthroscopic management of massive rotator cuff tears: an evaluation of debridement, complete, and partial repair with and without force couple restoration. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016. 24(12): p. 3828-3837.
- [11] Shon, M.S., et al., Arthroscopic Partial Repair of Irreparable Rotator Cuff Tears: Preoperative Factors Associated With Outcome Deterioration Over 2 Years. Am J Sports Med, 2015. 43(8): p. 1965-75.

- [12] Mihata, T., et al., Clinical results of arthroscopic superior capsule reconstruction for irreparable rotator cuff tears. Arthroscopy, 2013. 29(3): p. 459-70.
- [13] Mihata, T., et al., Superior capsule reconstruction to restore superior stability in irreparable rotator cuff tears: a biomechanical cadaveric study. Am J Sports Med, 2012. 40(10): p. 2248-55.
- [14] Dimock, R.A.C., et al., Superior Capsule Reconstruction: What Do We Know? Arch Bone Jt Surg, 2019. 7(1): p. 3-11.
- [15] Pennington, W.T., et al., Arthroscopic Superior Capsular Reconstruction With Acellular Dermal Allograft for the Treatment of Massive Irreparable Rotator Cuff Tears: Short-Term Clinical Outcomes and the Radiographic Parameter of Superior Capsular Distance. Arthroscopy, 2018. 34(6): p. 1764-1773.
- [16] Denard, P.J., et al., Preliminary Results of Arthroscopic Superior Capsule Reconstruction with Dermal Allograft. Arthroscopy, 2018. 34(1): p. 93-99.
- [17] Ferrando, A., R. Kingston, and R.A. Delaney, Superior capsular reconstruction using a porcine dermal xenograft for irreparable rotator cuff tears: outcomes at minimum two-year follow-up. J Shoulder Elbow Surg, 2021. 30(5): p. 1053-1059.
- [18] Polacek, M., Arthroscopic Superior Capsular Reconstruction With Acellular Porcine Dermal Xenograft for the Treatment of Massive Irreparable Rotator Cuff Tears. Arthrosc Sports Med Rehabil, 2019. 1(1): p. e75-e84.
- [19] Mihata, T., et al., Biomechanical Effect of Thickness and Tension of Fascia Lata Graft on Glenohumeral Stability for Superior Capsule Reconstruction in Irreparable Supraspinatus Tears. Arthroscopy, 2016. 32(3): p. 418-26.
- [20] Mihata, T., et al., A biomechanical cadaveric study comparing superior capsule reconstruction using fascia lata allograft with human dermal allograft for irreparable rotator cuff tear. J Shoulder Elbow Surg, 2017. 26(12): p. 2158-2166.
- [21] K, E.C., et al., Superior Capsule Reconstruction Using Fascia Lata Allograft Compared With Double- and Single-Layer Dermal Allograft: A Biomechanical Study. Arthroscopy, 2021. 37(4): p. 1117-1125.
- [22] Mihata, T., et al., Biomechanical Role of Capsular Continuity in Superior Capsule Reconstruction for Irreparable Tears of the Supraspinatus Tendon. Am J Sports Med, 2016. 44(6): p. 1423-30.

- [23] Barth, J., et al., Superior Capsular Reconstruction With the Long Head of the Biceps Autograft Prevents Infraspinatus Retear in Massive Posterosuperior Retracted Rotator Cuff Tears. Am J Sports Med, 2020. 48(6): p. 1430-1438.
- [24] Chillemi, C., M. Mantovani, and A. Gigante, Superior capsular reconstruction of the shoulder: the ABC (Arthroscopic Biceps Chillemi) technique. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2018. 28(6): p. 1215-1223.
- [25] Kim, J.H., et al., Preliminary outcomes of arthroscopic biceps rerouting for the treatment of large to massive rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg, 2021. 30(6): p. 1384-1392.
- [26] Milano, G., et al., Arthroscopic Superior Capsule Reconstruction With Doubled Autologous Semitendinosus Tendon Graft. Arthrosc Tech, 2020. 9(11): p. e1665-e1672.
- [27] Kim, Y.S., et al., Arthroscopic In Situ Superior Capsular Reconstruction Using the Long Head of the Biceps Tendon. Arthrosc Tech, 2018. 7(2): p. e97-e103.
- [28] Fandridis, E. and F. Zampeli, Superior Capsular Reconstruction With Double Bundle of Long Head Biceps Tendon Autograft: The "Box" Technique. Arthrosc Tech, 2020. 9(11): p. e1747-e1757.
- [29] Adrian, S.C. and L.D. Field, Biceps Transposition for Biological Superior Capsular Reconstruction. Arthrosc Tech, 2020. 9(6): p. e841-e846.
- [30] Kim, D., et al., Improved Clinical and Radiologic Outcomes Seen after Superior Capsule Reconstruction using Long Head Biceps Tendon Autograft. Arthroscopy, 2021.
- [31] Hirahara, A.M., W.J. Andersen, and A.J. Panero, Ultrasound Assessment of the Superior Capsular Reconstruction With Dermal Allograft: An Evaluation of Graft Thickness and Vascularity. Arthroscopy, 2019. 35(12): p. 3194-3202.
- [32] Mihata, T., et al., Arthroscopic Superior Capsule Reconstruction for Irreparable Rotator Cuff Tears: Comparison of Clinical Outcomes With and Without Subscapularis Tear. Am J Sports Med, 2020. 48(14): p. 3429-3438.
- [33] Sochacki, K.R., et al., Superior Capsular Reconstruction for Massive Rotator Cuff Tear Leads to Significant Improvement in Range of Motion and Clinical Outcomes: A Systematic Review. Arthroscopy, 2019. 35(4): p. 1269-1277.

- [34] Mihata, T., et al., Arthroscopic Superior Capsule Reconstruction Can Eliminate Pseudoparalysis in Patients With Irreparable Rotator Cuff Tears. Am J Sports Med, 2018. 46(11): p. 2707-2716.
- [35] Hartzler, R.U. and S.S. Burkhart, Superior Capsular Reconstruction. Orthopedics, 2017. 40(5): p. 271-280.
- [36] Azevedo, C.I.C., et al., Clinical Importance of Graft Integrity in Arthroscopic Superior Capsular Reconstruction Using a Minimally Invasively Harvested Midthigh Fascia Lata Autograft: 3-Year Clinical and Magnetic Resonance Imaging Outcomes. Am J Sports Med, 2020. 48(9): p. 2115-2128.
- [37] Pashuck, T.D., et al., Superior Capsular Reconstruction Using Dermal Allograft Is a Safe and Effective Treatment for Massive Irreparable Rotator Cuff Tears: 2-Year Clinical Outcomes. Arthroscopy, 2021. 37(2): p. 489-496 e1.
- [38] Kim, D.M., et al., Comparison Between Autografts and Allografts in Superior Capsular Reconstruction: A Systematic Review of Outcomes. Orthop J Sports Med, 2020. 8(3): p. 2325967120904937.
- [39] Smith, T.J., et al., Clinical Outcomes of Superior Capsular Reconstruction for Massive, Irreparable Rotator Cuff Tears: A Systematic Review Comparing Acellular Dermal Allograft and Autograft Fascia Lata. Arthrosc Sports Med Rehabil, 2021. 3(1): p. e257-e268.
- [40] Kitridis, D., et al., Superior Capsular Reconstruction of the Shoulder Using the Long Head of the Biceps Tendon: A Systematic Review of Surgical Techniques and Clinical Outcomes. Medicina (Kaunas), 2021. 57(3).
- [41] Greiner, S., et al., Comparison of Superior Capsular Reconstruction and Partial Infraspinatus Repair: A Matched-Pair Analysis of Irreparable Rotator Cuff Tears. Orthop J Sports Med, 2021. 9(2): p. 2325967120984264.
- [42] Kovacevic, D., et al., Management of irreparable massive rotator cuff tears: a systematic review and meta-analysis of patient-reported outcomes, reoperation rates, and treatment response. J Shoulder Elbow Surg, 2020. 29(12): p. 2459-2475.

# DePuy Synthes **VUE**™ Arthroscopic Equipment Solutions

### Differentiation That Matters





- Hervorragende Bildqualität und kristallklares Echtzeit-Video
- Integration von Pumpe, Shaver und HF-Chirurgie
- Datenmanagement und Anschluss an IT, kompatibel mit gängigen Krankenhausmanagementsysteme
- **Modularer Aufbau**, alle Komponenten können modernisiert und ausgetauscht werden

Join the Re**VUE**lution™!



Johnson & Johnson MEDICAL GmbH

DePuy Synthes Mitek Sports Medicine · Hummelsbüttler Steindamm 71 · D-22851 Norderstedt · Tel.: +49 (0) 40 5297-01

www.depuysynthes.com

### 10. Latissimus dorsi Transfer und Lower Trapezius Transfer

(B. Scheiderer, B. Elhassan, J. Pogorzelski)

Kommt es infolge einer irreparablen posterosuperioren Rotatorenmanschettenruptur (RMR) zu einem aktiven Bewegungsdefizit mit insbesondere Verlust der Außenrotation, kann ein Latissimus dorsi Transfer (LDT) oder Lower Trapezius Transfer (LTT) als Therapieverfahren in Betracht gezogen werden.

Der isolierte LDT in Doppelinzisionstechnik wurde 1988 von Gerber[10] beschrieben und seither mehrfach modifiziert[12, 15, 18]. Die klinische Wirksamkeit konnte in zahlreichen Studien nachgewiesen werden und auch nach 10 Jahren liegen gute bis exzellente Ergebnisse vor [1, 4, 5, 8, 9, 11, 19].

Die Rationale für den LTT basiert auf potentiellen biomechanischen Vorteilen gegenüber dem LDT[13, 24, 26] mit bisher vielversprechenden klinischen Kurzzeitergebnissen [6, 7, 27].

Im Folgenden sollen der offene LDT in der Technik nach Gerber und der arthroskopisch assistierte LTT vorgestellt werden.

### **Indikation**

Der LDT und LTT setzen für ein zufriedenstellendes klinisches Ergebnis

unabdingbar die richtige Patientenauswahl voraus.

Die Indikation für beide Operationsverfahren besteht bei irreparablen Rupturen der Supraspinatus- und Infraspinatussehne mit niedriggradiger Defektarthropathie (≤ Hamada Stadium 2), sowie Pseudoparalyse der Außenrotation (positives Außenrotations-Lag-Zeichen) bei weitestgehend erhaltener Flexion. Zudem sollte der Sehnentransfer dem jüngeren (< 60 - 65 Jahre) und körperlich aktiven Patienten mit hoher Compliance vorbehalten bleiben.

Die relativen und absoluten Kontraindikationen der beiden Techniken sind in **Tab. 1** zusammengefasst.

### **Anatomie**

Der M. latissimus dorsi inseriert über eine flächige Sehne (Breite: 2,4 – 4,8 cm, Länge: 6,3–10,1 cm) unmittelbar ventral der M. teres major Sehne an der Crista tuberculi minoris [25]. Die Innervation erfolgt über den N. thoracodorsalis, welcher ca. 13 cm medial der humeralen Insertion des M. latissimus dorsi von ventral in den Muskelbauch eintritt [25]. Bei der für die Tenotomie der Latissimus dorsi Sehne

typischen Lagerung in Abduktion und Innenrotation verläuft der N. radialis  $2,0 \pm 0,5$  cm medial und der N. axillaris  $1,8 \pm 0,7$  cm kranial der humeralen Insertion [2] ( Abb. 1).

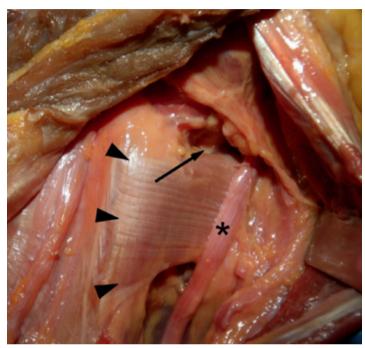
Der M. trapezius besteht aus drei Teilen (Pars descendens, transversa und ascendens) und entspringt vom Os occipitale und den Dornfortsätzen der Wirbelkörper C5 – Th12. Der für den LTT relevante inferiore Anteil (Sehnenlänge:  $49 \pm 9$  mm) inseriert über eine Fläche von  $30 \pm 7$  mm an der medialen Spina scapulae und wird vom N. accessorius innerviert [23]. Dieser unterläuft den Oberrand der Pars descendens des M. trapezius  $58 \pm 18$  mm medial von dessen Sehneninsertion [23].

### **Biomechanik**

Durch den LDT wird ein aktiver Kraftvektor und/oder Tenodese-Effekt für die Außenrotation generiert, sowie das glenohumerale Rotationszentrum stabilisiert [16, 22, 29]. Letzteres erhöht die Effizienz des Deltamuskels, was wiederum die Elevationsfähigkeit verbessert [20]. Der Kraftmoment wird durch den humeralen Ansatzpunkt der transferierten Sehne definiert, wobei der Versatz auf den Insertionsbereich der Supraspinatussehne biome-

	Kontraindikationen absolut	Kontraindikationen relativ
LDT	Irreparable Ruptur SSC [8] Defektarthropathie ≥ Hamada Stadium 3 Pseudoparalyse für Flexion Insuffizienz M. deltoideus	Fettige Infiltration M. teres minor[4] Revisionsoperation[28]
LTT	Defektarthropathie ≥ Hamada Stadium 3[6] Insuffizienz M. trapezius	Insuffizienz M. subscapularis[6] Pseudoparalyse mit Flexion < 60°[6]

Tab. 1 ▲ LDT, Latissimus dorsi Transfer; LTT, Lower Trapezius Transfer; SSC, Subscapularissehne. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 1** ▲ Der N. radialis (\*) kreuzt die Sehne des M. Latissimus dorsi (Pfeilspitzen) ventral, während der N. axillaris (Pfeil) oberhalb davon verläuft. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

chanisch am vorteilhaftesten zu sein scheint [13, 26]. Allerdings generiert der LDT einen unphysiologischen vertikalen Kraftvektor, welcher zu einer unerwünschten Zunahme des glenohumeralen Kontaktdrucks und einer abnormalen Gelenkkinematik führen kann ( Abb. 2) [22].

Hingegen zeigt die Pars ascendens des M. trapezius eine mit dem M. infraspinatus weitgehend vergleichbare anatomische Orientierung und synergistische Muskelaktivität[13, 24], wodurch auch die Nachbehandlung vereinfacht wird (kein muskulärer Umlernprozess) [3]. Zudem ist das Adduktionsmoment, infolgedessen der LDT einen kompensatorisch kräftigen Deltamuskel für die Abduktionsbewegung erfordert, beim LTT geringer [26].

Nachteile des LTT bestehen in der relativen Schwäche des inferioren M. trapezius im Vergleich zum M. latissimus dorsi, sowie der geringen Muske-

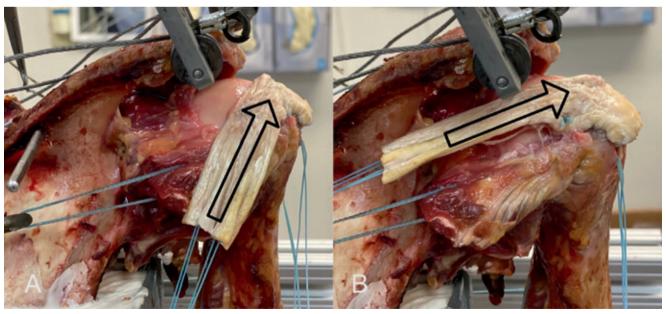


Abb. 2 ▲ Die transferierte Latissimus dorsi Sehne zeigt eine vertikale Orientierung (A), während der Lower Trapezius Transfers einen weitgehend mit dem M. infraspinatus vergleichbaren Kraftvektor aufweist (B). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

lexkursion, was die Interposition eines Transplantats erforderlich macht [14].

### **Operative Technik**

# Offener Latissimus dorsi Transfer (Doppelinzisionstechnik)

Die Lagerung des Patienten erfolgt in Seitenlage mit Fixation der betroffenen Extremität in einem hydraulischen Armhalter.

In der ursprünglichen Technik n. Gerber wird zunächst ein Säbelhiebschnitt über dem lateralen Akromion angelegt. Nach Darstellung des lateralen Akromions erfolgt die Ablösung des gesamten Deltaansatzes im Verbund mit einer dünnen Knochenlamelle. welche mit einem Osteotom vom lateralen Akromion abgemeißelt wird. Im eigenen Vorgehen wird eine Modifikation der Technik über einen anterolateralen Standardzugang bevorzugt. Erstens wird dadurch ein Ablösen des Deltamuskels vermieden, zweitens ist im Gegensatz zur Einzelinzisionstechnik die Visualisierung der anterosuperioren Rotatorenmanschette möglich. Ist die lange Bizepssehne noch vorhanden, wird eine Tenotomie bzw. Tenodese durchgeführt.

Für die Präparation des Latissimus dorsi Schwenklappens wird zusätzlich ein posteriorer Zugang benötigt. Die Hautinzision verläuft entlang des lateralen Randes des M. latissimus dorsi bis in die hintere Axillarfalte und von dort aus am Unterrand des M. deltoideus nach proximal. Der M. latissimus dorsi wird vom M. teres major stumpf getrennt und bis zum Humerusschaft freipräpariert ( Abb. 3A). Dies erfolgt unter Protektion des N. radialis, welcher die ventrale Oberfläche der Latissimus dorsi Sehne ca. 2 cm medial der humeralen Insertion kreuzt. In 90° Abduktion und maximaler Innenrotation wird die Sehne des M. latissimus dorsi scharf von der Crista tuberculi minoris humeri abgesetzt und mit zwei nicht-resorbierbaren Haltefäden (z.B. Fiberwire #2. Arthrex) in Krakow-Nahttechnik armiert ( Abb. 3B). Um einen ausreichenden Schwenkradius zu erreichen, wird der Muskelbauch bis zum Eintritt des Gefäßnervenbündels (ca. 2 cm medial des muskulotendinösen Übergangs) von der Thoraxwand abgelöst ( Abb. 3C).

Im nächsten Schritt wird der Unterrand der Pars spinalis des M. deltoideus nach kranial mobilisiert und die laterale Achsellücke dargestellt. Über den anterolateralen Zugang wird eine gebogene Klemme zwischen M. deltoideus und M. teres minor, sowie medial des N. axillaris, nach distal vorgeschoben und die Haltefäden gegriffen. Die Fixation der transferierten Latissimus dorsi Sehne erfolgt über eine geknotete Doppelreihentechnik (z.B. SutureBridge, Arthrex) im vorbereiteten Knochenlager am posterosuperioren Tuberkulum majus ( Abb. 3D).

Postoperativ erfolgt die Ruhigstellung in einer Orthese mit 45° Abduktion und 30° Außenrotation (z. B. Donjoy Ultrasling Quadrant, Ormed) für 6 Wochen. Das Nachbehandlungsprotokoll ist in **Tab. 2** dargestellt.

### Arthroskopisch assistierter Lower Trapezius Transfer

Die Lagerung des Patienten erfolgt in Beach-Chair-Position mit Fixation der betroffenen Extremität in einem hydraulischen Armhalter.

Die horizontale Hautinzision verläuft unterhalb der Spina scapulae, beginnend 4 cm lateral des medialen Skapularandes über eine Länge von 5 cm medialwärts ( Abb. 4A). Nach Durchtrennung des Subkutangewebes kann die laterale Begrenzung der Pars ascendens des M. trapezius oberhalb einer triangulären Fettgewebeschicht identifiziert und von der Faszie des M. infraspinatus abpräpariert werden ( Abb. 4B). Der sehnige Ansatz des inferioren

Tab. 2 Nachbehandlung Latissimus dorsi Transfer

Postoperative Woche	Richtwerte der Bewegungsumfänge
13.	Passiv Abd/Add 90°/45°/0° und Iro/Aro 0°/0°/frei
46.	Aktiv-assistiv Abd/Add 90°/45°/0° und Iro/Aro 0°/0°/frei
Ab 6.	Aktiv-assistiv Abd/Add 90°/0°/0° und Iro/Aro 30°/0°/frei
Ab 8.	Aktiv-assistiv frei
Ab 10.	Aktiv frei
Ab 12.	Beginn mit Kräftigungsübungen

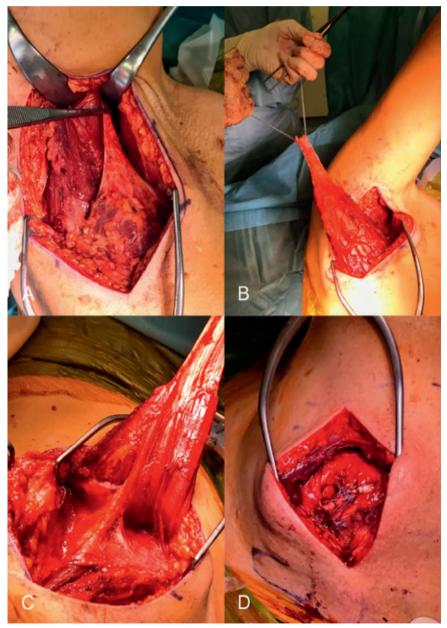
Tab. 2 ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Trapezius wird von der Spina scapulae abgelöst und entlang seines Oberrandes nach medial mobilisiert. Dabei ist eine Verletzung des N. accessorius zu vermeiden. Das freie Sehnenende des Trapezius wird ebenso wie das kräftige Ende des Achillessehnenallograft mit zwei nicht-resorbierbaren Haltefäden (Orthocord #2, DePuy Synthes) in Krakow-Nahttechnik armiert ( Abb. 4C und 4D).

Im nächsten Schritt werden ein posteriores, anterolaterales und laterales Arthroskopieportal angelegt. Die freiliegende Insertion der Supraspinatussehne am Tuberkulum majus wird debridiert. Nach medialer Inzision der Faszie des M. infraspinatus wird eine gebogene Klemme über das anterolaterale Portal zwischen den Mm. infraspinatus und deltoideus nach distal vorgeschoben. Über die Haltefäden wird das Transplantat eingezogen und mehrfach vor und zurück bewegt um freies Gleiten zu gewährleisten. Anschließend wird der Achillessehnenallograft über eine geknotete Doppelreihentechnik (z.B. SutureBridge, Arthrex) am anterosuperioren Tuberkulum majus fixiert ( Abb. 4E).

Mit dem Arm in maximaler Außenrotation und 60° - 90° Abduktion wird die Trapeziussehne über die vorgelegten Haltefäden mit dem freien Ende des Achillessehnenallograft vernäht (■ Abb. 4F).

Für 6 Wochen erfolgt die Ruhigstellung in einer Orthese mit 40 - 60° Außenrotation. Die physiotherapeutische Nachbehandlung wird für 6 Wochen rein passiv durchgeführt (Restriktion der Innenrotation bis zur 5. Wochen). Anschließend beginnt die aktiv-assistive Remobilisierung mit Kräftigungsübungen für die Außenrotation. Die Belastung wird nach 6 Monaten freigegeben.



**Abb. 3** ▲ Offener Latissimus dorsi Transfer in Doppelinzisionstechnik (Erläuterung s. Text).. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

### Klinische Ergebnisse

Für den isolierten LDT in Doppelinzisionstechnik lassen sich auch im Langzeitverlauf gute bis exzellente klinische Ergebnisse nachweisen[5, 9]. Gerber et al.[9] konnten 44 Patienten nach mindestens 10 Jahren nachuntersuchen. Diese zeigten eine signifikante Verbesserung im Subjective Shoulder Value (29 vs. 70 %), Constant Score (56 vs. 80 %) und Schmerzscore (7 vs. 13 Punkte). Zudem wurde eine Steigerung der Flexion (118° vs. 132°), Abduktion (112° vs. 123°) und Außenrotation (18° vs. 33°) verzeichnet. Ein Fortschreiten der Defektarthropathie wurde bei 59 % der Patienten im Langzeitverlauf beobachtet, der Sehnentransfer kann jedoch potentiell eine prothetische Versorgung hinauszögern [30]. El-Azab et al. [5] zeigten unter Einschluss von 86 Patienten in einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 9,3 Jahren vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich Funktion und Schmerzreduktion. In 10 % der Fälle kam es zu einem Versagen der Technik innerhalb der ersten 2 Jahre, wobei 4 % dieser Patienten sekundär mit einer inversen

Prothese versorgt wurden. Die durchschnittliche Komplikationsrate des LDT wird mit 9,5 % angegeben, wobei insbesondere Rerupturen der transferierten Sehne (3,4 %) und Nervenverletzungen (2,7 %) zu nennen sind [21]. Eine systematische Analyse zu arthroskopisch assistierten Varianten zeigte mit der Originaltechnik vergleichbare mittelfristig Ergebnisse [17].

Zum jetzigen Zeitpunkt liegen 3 klinische Studien mit einem Mindest-Follow-up von 6 Monaten nach LTT zur Behandlung der posterosuperioren RMR vor [6, 7, 27]. Die Autoren berichteten über eine signifikante Steigerung der aktive Schulterbeweglichkeit (Flexion +42°, Abduktion +48° und Außenrotation +34°) und Schmerzreduktion (■ Tab. 3). Obwohl der LTT nach aktueller Datenlage überzeugende klinische Ergebnisse liefert, müssen Langzeituntersuchungen abgewartet werden.

### Zusammenfassung

- Die Hauptindikation zum LDT und LTT besteht bei irreparablen Rupturen der posterosuperioren Rotatorenmanschette mit niedriggradiger Defektarthropathie und insbesondere Verlust der Außenrotation.
- Beide Operationsverfahren zeigen bei korrekter Indikationsstellung zufriedenstellende klinische Ergebnisse mit Verbesserung der Schulterfunktion und Schmerzreduktion.
- Potentielle biomechanische Vorteile des LTT gegenüber dem LDT müssen noch durch klinische Langzeituntersuchungen bestätigt werden.

	Patien- ten (n)	Alter (Ø Jahre)	Follow-up (Ø Monate)	Klinik		Flex (°)	Abd (°)	Aro (°)	Technik
Elhassan et al. 2016[7]	33	53	47	SSV (%) DASH (Pkte.)	54→78 52→18	70→120	40→90	20→50	Offen
Elhassan et al. 2020[6]	41	52	14	SSV (%) DASH VAS (Pkte.)	55→80 49→18 6→2	67→133	50→95	25→47	AA
Valenti und Werthel 2018[27]	15	62	24	SSV (%) CS (Pkte.) SST VAS (Pkte.)	40→70 35→60 3,5→7,5 7→2	150→160	n.e.	-20→25	AA

**Tab. 3** ▲ SSV, Subjective Shoulder Value; DASH, Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Score; CS, Constant Score; VAS, Visuelle Analogskala; n.e., nicht evaluiert; AA, Arthroskopisch assistiert. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

### Korrespondenzadressen:

Priv.-Doz. Dr. med. Bastian Scheiderer Abteilung für Sportorthopädie Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München Ismaninger Straße 22 81675 München, Deutschland Bassem T. Elhassan MD Harvard Shoulder Service, Massachusetts General Hospital 55 Fruit Street, Boston MA 02114, USA

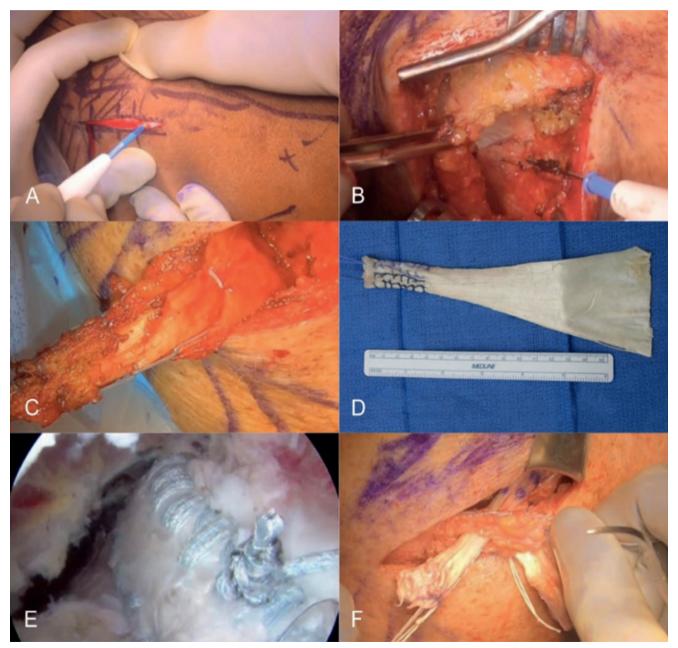


Abb. 4 ▲ Arthroskopisch assistierter Lower Trapezius Transfer (Erläuterung s. Text). © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

#### Literatur:

- [1] Aoki M, Okamura K, Fukushima S, Takahashi T, Ogino T (1996) Transfer of latissimus dorsi for irreparable rotator-cuff tears. J Bone Joint Surg Br 78:761-766
- [2] Cleeman E, Hazrati Y, Auerbach JD, Shubin Stein K, Hausman M, Flatow EL (2003) Latissimus dorsi tendon transfer for massive rotator cuff tears: a cadaveric study. J Shoulder Elbow Surg 12:539-543
- [3] Clouette J, Leroux T, Shanmugaraj A, Khan M, Gohal C, Veillette C, et al. (2020) The lower trapezius transfer: a systematic review of biomechanical data, techniques, and clinical outcomes. J Shoulder Elbow Surg 29:1505-1512
- [4] Costouros JG, Espinosa N, Schmid MR, Gerber C (2007) Teres minor integrity predicts outcome of latissimus dorsi tendon transfer for irreparable rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 16:727-734
- [5] El-Azab HM, Rott O, Irlenbusch U (2015) Long-term follow-up after latissimus dorsi transfer for irreparable posterosuperior rotator cuff tears. J Bone Joint Surg Am 97:462-469
- [6] Elhassan BT, Sanchez-Sotelo J, Wagner ER (2020) Outcome of arthroscopically assisted lower trapezius transfer to reconstruct massive irreparable posterior-superior rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 29:2135-2142
- [7] Elhassan BT, Wagner ER, Werthel JD (2016) Outcome of lower trapezius transfer to reconstruct massive irreparable posteriorsuperior rotator cuff tear. J Shoulder Elbow Surg 25:1346-1353
- [8] Gerber C, Maquieira G, Espinosa N (2006) Latissimus dorsi transfer for the treatment of irreparable rotator cuff tears. J Bone Joint Surg Am 88:113-120
- [9] Gerber C, Rahm SA, Catanzaro S, Farshad M, Moor BK (2013) Latissimus dorsi tendon transfer for treatment of irreparable posterosuperior rotator cuff tears: long-term results at a minimum follow-up of ten years. J Bone Joint Surg Am 95:1920-1926
- [10] Gerber C, Vinh TS, Hertel R, Hess CW (1988) Latissimus dorsi transfer for the treatment of massive tears of the rotator cuff. A preliminary report. Clin Orthop Relat Res 51-61
- [11] Gerhardt C, Lehmann L, Lichtenberg S, Magosch P, Habermeyer P (2010) Modified L'Episcopo tendon transfers for irreparable rotator cuff tears: 5-year follow-up. Clin Orthop Relat Res 468:1572-1577

- [12] Habermeyer P, Magosch P, Rudolph T, Lichtenberg S, Liem D (2006) Transfer of the tendon of latissimus dorsi for the treatment of massive tears of the rotator cuff: a new single-incision technique. J Bone Joint Surg Br 88:208-212
- [13] Hartzler RU, Barlow JD, An KN, Elhassan BT (2012) Biomechanical effectiveness of different types of tendon transfers to the shoulder for external rotation. J Shoulder Elbow Surg 21:1370-1376
- [14] Herzberg G, Urien JP, Dimnet J (1999) Potential excursion and relative tension of muscles in the shoulder girdle: relevance to tendon transfers. J Shoulder Elbow Surg 8:430-437
- [15] Lehmann LJ, Mauerman E, Strube T, Laibacher K, Scharf HP (2010) Modified minimally invasive latissimus dorsi transfer in the treatment of massive rotator cuff tears: a two-year follow-up of 26 consecutive patients. Int Orthop 34:377-383
- [16] Ling HY, Angeles JG, Horodyski MB (2009) Biomechanics of latissimus dorsi transfer for irreparable posterosuperior rotator cuff tears. Clin Biomech (Bristol, Avon) 24:261-266
- [17] Memon M, Kay J, Quick E, Simunovic N, Duong A, Henry P, et al. (2018) Arthroscopic-Assisted Latissimus Dorsi Tendon Transfer for Massive Rotator Cuff Tears: A Systematic Review. Orthop J Sports Med 6:2325967118777735
- [18] Moursy M, Forstner R, Koller H, Resch H, Tauber M (2009) Latissimus dorsi tendon transfer for irreparable rotator cuff tears: a modified technique to improve tendon transfer integrity. J Bone Joint Surg Am 91:1924-1931
- [19] Moursy M, Schmalzl J, Kadavkolan AS, Bartels N, Lehmann LJ (2019) Latissimus dorsi transfer for massive posterosuperior rotator cuff tears: what affects the postoperative outcome? J Shoulder Elbow Surg 28:2191-2197
- [20] Muench LN, Berthold DP, Kia C, Obopilwe E, Cote MP, Imhoff AB, et al. (unpublished) Comparison of Lower Trapezius and Latissimus Dorsi Transfer for Irreparable Posterosuperior Rotator Cuff Tears: A Dynamic Biomechanical Investigation.
- [21] Namdari S, Voleti P, Baldwin K, Glaser D, Huffman GR (2012) Latissimus dorsi tendon transfer for irreparable rotator cuff tears: a systematic review. J Bone Joint Surg Am 94:891-898
- [22] Oh JH, Tilan J, Chen YJ, Chung KC, McGarry MH, Lee TQ (2013) Biomechanical effect of

- latissimus dorsi tendon transfer for irreparable massive cuff tear. J Shoulder Elbow Surg 22:150-157
- [23] Omid R, Cavallero MJ, Granholm D, Villacis DC, Yi AM (2015) Surgical anatomy of the lower trapezius tendon transfer. J Shoulder Elbow Surg 24:1353-1358
- [24] Omid R, Heckmann N, Wang L, McGarry MH, Vangsness CT, Jr., Lee TQ (2015) Biomechanical comparison between the trapezius transfer and latissimus transfer for irreparable posterosuperior rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 24:1635-1643
- [25] Pearle AD, Kelly BT, Voos JE, Chehab EL, Warren RF (2006) Surgical technique and anatomic study of latissimus dorsi and teres major transfers. J Bone Joint Surg Am 88:1524-1531
- [26] Reddy A, Gulotta LV, Chen X, Castagna A, Dines DM, Warren RF, et al. (2019) Biomechanics of lower trapezius and latissimus dorsi transfers in rotator cuff-deficient shoulders. J Shoulder Elbow Surg 28:1257-1264
- [27] Valenti P, Werthel JD (2018) Lower trapezius transfer with semitendinosus tendon augmentation: Indication, technique, results. Obere Extrem 13:261-268
- [28] Warner JJ, Parsons IMt (2001) Latissimus dorsi tendon transfer: a comparative analysis of primary and salvage reconstruction of massive, irreparable rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 10:514-521
- [29] Werner CM, Zingg PO, Lie D, Jacob HA, Gerber C (2006) The biomechanical role of the subscapularis in latissimus dorsi transfer for the treatment of irreparable rotator cuff tears. J Shoulder Elbow Surg 15:736-742
- [30] Zingg PO, Jost B, Sukthankar A, Buhler M, Pfirrmann CW, Gerber C (2007) Clinical and structural outcomes of nonoperative management of massive rotator cuff tears. J Bone Joint Surg Am 89:1928-1934

# 11. Nachbehandlung nach operativer Versorgung von Rupturen der Rotatorenmanschette – Mythos oder Evidenz? (L. Lacheta)

### **Einleitung**

Ziel der operativen Versorgung von Rupturen der Rotatorenmanschette ist eine Verbesserung von Schmerzen, Bewegungsumfang und Kraft. Um dies zu gewährleisten, wird eine strukturelle Einheilung der rekonstruierten Rotatorenmanschette vorausgesetzt.

Trotz technisch und biomechanisch optimierten OP-Techniken ist eine Re-Ruptur-Rate je nach initialer Rupturgröße von 10-91% beschrieben [1]. Grund ist meistens ein "Nicht-Heilen" der Rotatorenmanschette nach operativer Versorgung, welches sich am häufigsten innerhalb der ersten 6 Monate abzeichnet [1]. Die Diskussion über den Einfluss der Sehnenheilung auf das klinische Ergebnis ist kontrovers. Während keine klinischen Unterschiede im kurzfristigen Verlauf erkennbar sind, so ist ein verbessertes funktionelles Outcome und eine verbesserte Kraft im mittelfristigen Verlauf nur bei intakten Sehnenverhältnissen dokumentiert [2, 3].

Neben chirurgisch-technischen, biologischen und patientenspezifischen Faktoren spielt die Rehabilitation nach operativer Versorgung einer Rotatorenmanschettenruptur eine entscheidende Rolle. Im Allgemeinen hat die Nachbehandlung das Ziel der Balance zwischen Immobilisierung, um bestmögliche Bedingungen für das Einheilen der Sehne zu gewährleisten, sowie die frühfunktionelle Beübung, um eine Schultersteife und damit assoziierte Beschwerden zu umgehen.

In diesem Übersichtsbeitrag sollen die konträren Hauptpfeiler der Nachbehandlung Immobilisierung und Ruhigstellung versus frühe Bewegungstherapie nach operativ versorgter Rotatorenmanschettenruptur auf ihren klinischen Nutzen und die Sehnenintegrität in der frühen postoperativen Phase geprüft werden. Ferner sollen additive Therapiemaßnahmen zur Rotatorenmanschettenaktivierung und der Einfluss von muskulären thorakohumeralen Imbalancen in Form der Skapuladyskinesie beleuchtet werden.

### 1. Immobilisierung

Die Heilung der Rotatorenmanschettenruptur gliedert sich biologisch in drei Phasen (**Tab. 1**).

In den ersten Wochen des Heilungsprozesses, im Übergang von Proliferation zu Remodeling, zeigt sich die refixierte Sehne mechanisch vulnerabel und bedarf des Schutzes. Die Arbeitsgruppe von Thomopoulos et al. hat in einer Tierstudie den Einfluss der Immobilisierung versus früher Belastung auf die Rotatorenmanschettenheilung in einem Rattenmodell untersucht. Die Autoren konnten zeigen, dass die Ruhigstellung zu signifikant überlegenen strukturellen (verbesserte Kollagenorientierung), kompositionellen (Expression von extrazellulärer Matrix vergleichbar zur unverletzten Gegenseite) und viskoelastischen Ergebnissen führte [4]. Diese Resultate mit verstärkten mechanischen Eigenschaften nach Ruhigstellung konnten von Gimbel et al. ebenfalls in einem Rattenmodell bestätigt werden [5]. In einer differenzierteren Untersuchung zwischen Immobilisierung, unmittelbaren und verspäteten Belastungsmodellen, zeigten Hettrich et al. einen mechanisch überlegenen Sehnen-Knochen-Komplex mit weniger Narbengewebe und mehr organisiertem Gewebe im Bereich des Knochen-Sehnenüberganges bei Ratten, die mittels unmittelbarer

Phasenmodell der Rotatorenmanschetten-Heilung im Tiermodell [7, 8].
---

Phase	Merkmale	Zeitpunkt
I	Inflammation - Verstärkte vaskuläre Permeabilität - Einwanderung von Cytokinen und Wachstumsfaktoren	Tag 0-14
II	Proliferation - Initiale Narbenbildung - Rekrutierung von Makrophagen Fibroblasten	Wochen 3-4
III	- Remodeling - Ausreifen von Narbengewebe - Produktion, Orientierung und Verlinkung von fibrinogenem Kollagen	Wochen 4-6

**Tab. 1** ▲ © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Ruhigstellung nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion nachbehandelt wurden [6].

In den teils heterogenen Tierstudien zeichnet sich ein Konsens zu verbesserter Sehnenheilung bei Tieren mit strenger Immobilisierung ab. Die Übertragbarkeit von Resultaten aus Tierstudien auf den Menschen gestaltet sich dennoch - nicht alleine aufgrund der unterschiedlichen Zeitachse hinsichtlich Gewebeheilung - schwie-

rig. Die prospektive Studienlage beim Menschen ist gut und zum größten Teil einheitlich. Die Wirkung von Bewegungstherapie im Intervall der stattfindenden Immobilisierung wird im folgenden weiter beleuchtet.

### 2. Ruhigstellung

Die Ruhigstellung der operierten Schulter mit der Lagerung in Abduktionsstellung trägt als Grundgedanken die Steigerung der Sehnendurchblutung und die Reduktion auf den Zug der Rekonstruktion.

Während generell Immobilisierung und Vermeidung von verfrühter aktiver Beübung der Rotatorenmanschette einen günstigen Effekt auf das Auftreten von Re-Rupturen zeigen [9, 10], gibt es derzeit keine Evidenz, dass eine Ruhigstellung in Abduktionsstellung derer in Neutralstellung bzw. mit angelegtem Arm überlegen ist (■ Abb. 2 und 3).



**Abb. 2** ▲ Ruhigstellung der operierten Schulter in einer Schulterabduktionsorthese. Die Orthese lagert den Arm in 15° Abduktion. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette



**Abb. 3** ▲ Ruhigstellung der operierten Schulter in einer Schulterschlinge mit angelegtem Arm (0° Abduktion) und innenrotiert. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Aleanabi et al. konnten in einer elektromyographischen Untersuchung demonstrieren, dass die Ruhigstellung in einer Schulterorthese bei gleichzeitiger aktiver Beübung von Ellenbogen- und Handgelenk nur zu einer maximalen Aktivität der betroffenen Rotatorenmanschette von 10% (verglichen mit der normalen Aktivität) führt, welches den klinischen Einsatz von Orthesen als Hilfsmittel zur Entlastung der Rotatorenmanschette unterstützt [11].

Dem gegenüber beobachteten Tirefort et al. in einer prospektiv-randomisierten Studie bei 80 Patienten nach operativer Versorgung von kleinen, superioren Rotatorenmanschettenrupturen keinen klinischen und strukturellen Vorteil einer Schlingen-Immobilisation [12]. Hier zeigte sich eine Ruhigstellung hinsichtlich des Bewegungsumfanges in der frühen Phase (< 3 Monate) als nachteilig.

Bei all den theoretischen Überlegungen zur Lagerung der operierten Schulter in einer Schulterorthese/schlinge, muss der Patient Mensch berücksichtigt werden. Grubhofer et al. haben aufgezeigt, dass 50% der Patienten mindestens 80% der empfohlenen Zeit die verschriebene Schulterorthese nicht getragen haben [13]. Non-compliance und damit verbundene frühe Schulteraktivität sind jedoch als gravierende Risikofaktoren für eine Re-Ruptur identifiziert [14, 15]. Eine Schulterorthese sollte somit bei Patienten nach großer Rotatorenmanschettenrekonstruktion oder Verdacht auf Non-Compliance zum Einsatz kommen, um aktive Schulterbewegungen im Alltag möglichst zu unterbinden.

### 3. Bewegungstherapie

Die Angst vor einer postoperativen Schultersteife führt zu der Tendenz einer (ver)früh(t)en Bewegungstherapie. Dabei stellt sich die postoperative Schultersteife als selten dar, folgt einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion mit weniger als 5% und weist meist einen moderaten und selbstlimitierenden klinischen Verlauf auf (über einen Zeitraum von 6-12 Monaten) [16-19]. Als Risikofaktoren sind hierbei der PASTA Repair, die Tendinitis calcarea und eine begleitende Kapsel-/Labrumrefixation identifiziert [16, 20].

Während Patienten die Schultersteife subjektiv als Störfaktor im Heilungsprozess wahrnehmen, zeigten unter anderem McNamara und Kollegen, dass eine persistierende Schultersteife 6 und 12 Wochen postoperativ mit einer strukturell verbesserten Sehnen-Integrität korrelierte [21]. Kim et al. beobachteten zudem in einer randomisierten Level-I-Studie, dass frühe passive Bewegungstherapie keine Garantie für einen frühen Zugewinn an Bewegungsumfang und Schmerzverbesserung ist. Jedoch zeigte eine frühe passive Beübung gleichzeitig auch keinen negativen Einfluss auf die Rotatorenmanschettenheilung [22].

Lee et al. untersuchten in einer randomisierten Level-II-Studie den Einfluss von aggressiver früher postoperativer passiver Bewegungstherapie (Manuelle Therapie 2x täglich, unlimitierte Dehnungsübungen in unlimitiertem Bewegungsumfang) versus eingeschränkter früher passiver Beübung (Bewegungseinschränkungen für continous passive motion (CPM) und Eigenbeübung). Schmerzen, Bewegungsumfang, Muskelkraft und Schulterfunktion zeigten eine glei-

chermaßen signifikante Verbesserung in beiden Gruppen, jedoch wies die aggressive frühe passive Nachbehandlung einen Trend hinsichtlich höherer Re-Ruptur-Rate auf (23% vs. 9%, n.s.) [9]. Diese Beobachtungen konnten unabhängig durch Cuff et al. in einer weiteren randomisiert-kontrollierten Studie bestätigt werden [10].

Eine aktuelle randomisierte Level-I-Studie von Sheps et al. unterstreicht ebenfalls, dass eine früh-funktionelle Mobilisierung (eigenständige Entwöhnung der Schulterschlinge, Freigabe zur schmerzfreien, aktiven Bewegung innerhalb der ersten 6 Wochen postoperativ) versus einer "Standard"-Nachbehandlung (Schulterschlinge für 6 Wochen, keine aktiven Bewegungen) keinen klinischen Benefit hat. Postoperativer Bewegungsumfang, Schmerzempfinden und Kraft wiesen keinen Unterschied auf, so auch die Sehnenintegrität 1 Jahr postoperativ [23].

Neben dem ultimativen Ziel der Sehneneinheilung, stehen konträr die Wiedererlangung von Bewegungsumfang und Kraft im Vordergrund der postoperativen Nachbehandlung. Ein Verlust der Schulterfunktion nach operativer Rotatorenmanschettenrekonstruktion geht meist einher mit Muskelschwäche, Inhibierung und Imbalance der Rotatorenmanschettenkraft [24], weshalb neben der Immobilisierung die sukzessive Steigerung der passiven und schließlich der aktiv-assistierten Beübung erfolgen sollte.

Karppi et al. haben in einer kontrolliert-randomisierten Level-II-Studie den klinischen Benefit einer supervidierten Physiotherapie gegenüber der Eigenbeübung mittels eines Heimtrainingsprogramms getestet. Bei 70 Patienten nach operativ rekonstruierter Supraspinatussehnenläsion zeigte sich 12 Monate postoperativ kein Unterschied im klinischen Outcome [25]. Diese Resultate sind erfreulich und unterstützen die Anwendung von Heimprogrammen in der SARS-CoV-2-Pandemie mit eingeschränktem Zugang zu physiotherapeutischen Einrichtungen.

Zur weiteren passiven Mobilisation der Rotatorenmanschette hat sich die "continous passive motion (CPM)" Deutschlandweit etabliert (■ Abb. 1). In einer Level-II-Studie untersuchten Raab et al. den Einfluss additiver CPM-Behandlung nach operativer Versorgung von 32 Rotatorenmanschettenrupturen. Zusätzlich zur physiotherapeutischen Behandlung erfolgte in der Studiengruppe in den ersten 3 Wochen die 8-stündige CPM-Behandlung.

Die Autoren beobachteten weder einen Effekt auf den Bewegungsumfang noch auf Patienten-reported Outcome Scores (PROS) oder das Schmerzempfinden nach 3 Monaten postoperativ [26]. Aufgrund mehrerer methodischer Schwächen sind diese Ergebnisse jedoch mit Vorsicht zu interpretieren.

Ähnliche Daten präsentierten Lastayo et al. in einer Untersuchung von 32 Patienten nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion, die in den ersten 4 Wochen entweder mit CPM oder manueller Physiotherapie behandelt wurden. Bewegungsumfang, Kraft, Schmerzen und PROS zeigten keine signifikanten Unterschiede [27].

Michael et al. konnten in einer randomisierten Studie bei 55 Patienten zeigen, dass Patienten mit zusätzlicher CPM-Behandlung durchschnittlich 12 Tage früher 90° aktive Abduktion erreichten, verglichen mit Patienten nach isolierter Physiotherapie [28]. Ähnliche klinische Verbesserungen hinsichtlich Bewegungsumfang und Schmerzen konnten Garofalo et al. bei Patienten mit physiotherapeutischer Behandlung und zusätzlicher CPM-Therapie (2 Stunden pro Tag) verzeichnen [29]. Fraglich bleibt, ob diese Effekte auf die CPM-Behandlung alleine zurückzuführen sind oder durch die zusätzliche Bewegung im Schultergelenk. Die Evidenzlage zur CPM-Behandlung ist schwach, ein negativer Einfluss auf die Rotatorenmanschettenheilung konnte



**Abb. 1** ▲ Continous passive motion (CPM) Bewegungsstuhl zur passiven Mobilisation des Schultergelenkes. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

bis dato nicht beobachtet werden, was einen klinischen Einsatz rechtfertigt.

### 4. Rotatorenmanschettenaktivierung

Als Ergänzung zu der "klassischen" physiotherapeutischen Nachbehandlung gewinnt die neuromuskuläre elektrische Stimulation (NMES) nicht nur bei Profi- und Freizeitsportlern einen zunehmend höheren Stellenwert. Reinold et al. untersuchten 2008 einen möglichen Effekt von NMES des Infraspinatusmuskels auf die Außenrotationskraft nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion. In 39 Patienten verzeichneten die Autoren einen signifikanten Kraftzugewinn von 22% für Patienten mit NMES [30]. Dieser Kraftgewinn war unabhängig von Patientenalter und Rupturgröße. Die Autoren schlussfolgern, dass NMES eine nützliche Ergänzung der Nachbehandlung von Rotatorenmanschettenrekonstruktionen ist, um eine potentielle Inhibierung und Imbalancen der Rotatorenmanschette im frühen postoperativen Verlauf zu vermeiden. Ähnliche Ergebnisse für die Infraspinatusaktivierung über einen Zeitraum von 6 Wochen konnten Yanase et al. demonstrieren. Bei 10 gesunden Individuen wurde eine elektronische Muskelstimulation (EMS) für 20 Minuten dreimal pro Woche angewendet, während 10 Probanden keine Behandlung (Kontrolle) erhielten. Die Autoren nahmen hiernach einen signifikanten Anstieg in Muskelvolumen und -guerschnitt wahr, ein Unterschied in der Muskelkraft für die Außenrotation war allerdings in dieser Kohorte nicht detektierbar [31].

Moroder et al. implementierten die EMS in Form eines mobilen Schulterschrittmacheraggregates (■ Abb. 4) für die Behandlung der funktionellen hinteren Schulterinstabilität und

konnten unter der Schrittmachertherapie eine verbesserte Muskelaktivierung in Form von Schmerzfreiheit, verbessertem Komfort und subjektivem Stabilitätsgefühl bei Patienten mit persistierender hinterer Schulterinstabilität verzeichnen [32,33]. Das Konzept der Aktivität-getriggerten Schulterschrittmachertherapie zeigt für die funktionelle Problematik der hinteren Schulterinstabilität vielversprechende Ergebnisse mit einfacher Umsetzung, Ergebnisse bei Patienten nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion sind ausstehend und bleiben abzuwarten.

### Skapuladyskinesie

Häufig vorkommend, jedoch oftmals unterschätzt, kann eine begleitende Skapuladyskinesie bei bestehenden Rotatorenmanschettenpathologien zu Schmerzen und Funktionsverlust führen und somit das Ergebnis und den unmittelbaren postoperativen Verlauf nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion kompromittieren [34].

Belegt ist, dass die Skapuladyskinesie zur Verringerung des subakromialen Raums beiträgt, sowie zur erhöhten Belastung der anterioren glenohumeralen Ligamente, verringerter Rotatorenmanschettenkraft und eingeschränkter Elevation führt [35, 36]. Die Charakterisierung der Skapuladyskinesie ist uneinheitlich, mehrere Studien charakterisieren die Skapuladyskinesie als Protraktion, übermäßige Innenrotation, anterioren Tilt und erhöhte oder verringerte Aufwärtsrotation des Schulterblattes. Eine unzureichende Aufwärtsrotation des Schulterblattes und ein posterior Tilt schränken die Innenrotation des Schultergelenkes ein und tragen zu einer Impingement-Symptomatik bei [37-40].



**Abb. 4** ▲ Schulter-Schrittmacheraggregat mit mobiler Steuerung und Trainingsprogrammen via Touchpad und App. © 2021 AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Studien an Patienten mit Schmerzen im Zusammenhang mit Skapuladyskinesie oder Rotatorenmanschetten-Tendinopathie berichten üher Kraftdefizite und verringerte Elektromyographie(EMG)-Aktivität des M. serratus anterior sowie über einen verzögerten Aktivitätsbeginn des unteren und mittleren M. trapezius im Vergleich zu den oberen Anteilen. Diese veränderte Ansteuerung der synergistischen Muskeln (Force couples) war mit dem Verlust des posterioren Tilts und der Aufwärtsrotation der Skapula vergesellschaftet [35, 37, 39].

In einer experimentellen Studie haben die Autoren um Reuther et al. den Einfluss einer bestehenden Skapuladyskinesie auf die Rotatorenmanschettenheilung nach operativer Supraspinatusrekonstruktion bei Ratten untersucht. Hierzu wurden in der Skapuladyskinesie-Gruppe Nervus accessorius und Nervus thoracicus longus durchtrennt. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Skapuladyskinesie die Schulterfunktion einschränkt und aus biologischer Sicht die optimale Sehnenheilung verhindert (verringerte mechanische Sehneneigenschaften und histologische Sehnenorganisation) [41].

Kolk et al. untersuchten die dreidimensionale Schulterkinematik nach erfolgter Rotatorenmanschettenrekonstruktion. In 26 Patienten analysierten die Autoren anhand von elektromagnetischem Tracking Devices die Schulterkinematik präoperativ und ein Jahr nach operativer Versorgung. Die Autoren beobachteten nach Rekonstruktion der Rotatorenmanschette eine Normalisierung der Skapuladyskinesie mit symmetrischer Skapulabewegung verglichen mit der unverletzten, asymptomatischen Gegenseite. Zudem waren die Beobachtung der gebesserten Ska-

pulakinematik mit einem Zugewinn an Bewegungsumfang assoziiert [42]. Diese Resultate unterstützen die Addressierung der Skapuladyskinesie in der postoperativen Nachbehandlung, um diese als Risikofaktor für schlechtere Schulterfunktion und persistierende Schmerzen möglichst früh zu eliminieren.

Die Nachbehandlung operativ versorgter Rotatorenmanschettenrupturen sollte somit früh darauf abzielen, die muskuläre Balance des Schultergelenkes wiederherzustellen, die Humeruskopfzentrierung zu verbessern und ein sekundäres subakromiales Impingement-Syndrom durch Skapuladyskinesien zu vermeiden.

Es bleibt unklar, ob die Skapuladyskinesie die Ursache, Konsequenz oder ein kompensatorischer Mechanismus von Rotatorenmanschettenläsionen und damit verbundenen Schmerzen und Funktionsverlust ist.

### Korrespondenzadresse:

Priv.-Doz. Dr. med. Lucca Lacheta
Sektion Schulter- und
Ellenbogenchirurgie
Centrum für Muskuloskeletale
Chirurgie (CMSC)
Charitè – Universitätsmedizin Berlin
Augustenburger Platz 1 | 13353 Berlin
Tel +49 30 450 615 147
Email lucca.lacheta@charite.de

# Schlussfolgerung / Take Home Message

- Die Sehnenheilung nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion hat die höchste Priorität der Nachbehandlung
- Die Ruhigstellung in einer Orthese kann zum Schutz vor zu früher aktiver Belastung herangezogen werden unter Berücksichtigung der Patientencompliance
- Die Re-Ruptur stellt klinisch das größte Problem dar, weshalb eine frühe aggressive Nachbehandlung vermieden werden sollte. Uneingeschränkte passive sowie aktive Schulterbewegungen in der frühen postoperativen Phase sind mit einer höheren Re-Ruptur-Rate vergesellschaftet und sollten vermieden werden
- Eine passive Bewegungstherapie kann ohne erhöhte Re-Ruptur-Rate begonnen werden, unterstützend kann die Continuous Passive Motion (CPM) Behandlung erfolgen ohne den Heilungsprozess zu gefährden
- Skapuladyskinesien sind mit Schmerzen und Funktionsverlust vergesellschaftet und sollten in der Nachbehandlung frühzeitig erkannt und adressiert werden
- Die elektrische muskuläre Stimulation (EMS) in Form von mobilen Schrittmacheraggregaten zeigen erste vielversprechende Ergebnisse in der Rotatorenmanschettenaktivierung, Evidenz im Einsatz der postoperativen Nachbehandlung von Rotatorenmanschettenrekonstruktionen sind ausstehend

#### Literatur:

- Rossi LA, Chahla J, Verma NN, Millett PJ, Ranalletta M. Rotator Cuff Retears. JBJS Rev. 2020;8:e0039.
- [2] Jeon YS, Kim RG, Shin SJ. What Influence Does Progression of a Nonhealing Rotator Cuff Tear Have on Shoulder Pain and Function? Clin Orthop Relat Res. 2017;475:1596-1604
- [3] Yang J, Jr., Robbins M, Reilly J, Maerz T, Anderson K. The Clinical Effect of a Rotator Cuff Retear: A Meta-analysis of Arthroscopic Single-Row and Double-Row Repairs. Am J Sports Med. 2017;45:733-741.
- [4] Thomopoulos S, Williams GR, Soslowsky LJ. Tendon to bone healing: differences in biomechanical, structural, and compositional properties due to a range of activity levels. J Biomech Eng. 2003;125:106-113.
- [5] Gimbel JA, Van Kleunen JP, Williams GR, Thomopoulos S, Soslowsky LJ. Long durations of immobilization in the rat result in enhanced mechanical properties of the healing supraspinatus tendon insertion site. J Biomech Eng. 2007;129:400-404.
- [6] Hettrich CM, Gasinu S, Beamer BS, et al. The effect of mechanical load on tendonto-bone healing in a rat model. Am J Sports Med. 2014;42:1233-1241.
- [7] Conti M, Garofalo R, Delle Rose G, et al. Post-operative rehabilitation after surgical repair of the rotator cuff. Chir Organi Mov. 2009;93 Suppl 1:S55-63.
- [8] Thomopoulos S, Parks WC, Rifkin DB, Derwin KA. Mechanisms of tendon injury and repair. J Orthop Res. 2015;33:832-839.
- [9] Lee BG, Cho NS, Rhee YG. Effect of two rehabilitation protocols on range of motion and healing rates after arthroscopic rotator cuff repair: aggressive versus limited early passive exercises. Arthroscopy. 2012;28:34-42.
- [10] Cuff DJ, Pupello DR. Prospective randomized study of arthroscopic rotator cuff repair using an early versus delayed postoperative physical therapy protocol. J Shoulder Elbow Surg. 2012;21:1450-1455.
- [11] Alenabi T, Jackson M, Tetreault P, Begon M. Electromyographic activity in the immobilized shoulder musculature during ipsilateral elbow, wrist, and finger movements while wearing a shoulder orthosis. J Shoulder Elbow Surg. 2013;22:1400-1407.
- [12] Tirefort J, Schwitzguebel AJ, Collin P, Nowak A, Plomb-Holmes C, Ladermann A. Postoperative Mobilization After Superior

- Rotator Cuff Repair: Sling Versus No Sling: A Randomized Prospective Study. J Bone Joint Surg Am. 2019;101:494-503.
- [13] Grubhofer F, Gerber C, Meyer DC, et al. Compliance with wearing an abduction brace after arthroscopic rotator cuff repair: A prospective, sensor-controlled study. Prosthet Orthot Int. 2019;43:440-446.
- [14] Ahmad S, Haber M, Bokor DJ. The influence of intraoperative factors and postoperative rehabilitation compliance on the integrity of the rotator cuff after arthroscopic repair. J Shoulder Elbow Surg. 2015;24:229-235.
- [15] Chen Y, Jiang F, Li H, et al. Retears and Concomitant Functional Impairments After Rotator Cuff Repair: Shoulder Activity as a Risk Factor. Am J Sports Med. 2020;48:931-938
- [16] Huberty DP, Schoolfield JD, Brady PC, Vadala AP, Arrigoni P, Burkhart SS. Incidence and treatment of postoperative stiffness following arthroscopic rotator cuff repair. Arthroscopy. 2009;25:880-890.
- [17] Parsons BO, Gruson KI, Chen DD, Harrison AK, Gladstone J, Flatow EL. Does slower rehabilitation after arthroscopic rotator cuff repair lead to long-term stiffness? J Shoulder Elbow Surg. 2010;19:1034-1039.
- [18] Denard PJ, Ladermann A, Burkhart SS. Prevention and management of stiffness after arthroscopic rotator cuff repair: systematic review and implications for rotator cuff healing. Arthroscopy. 2011;27:842-848.
- [19] Koh KH, Lim TK, Shon MS, Park YE, Lee SW, Yoo JC. Effect of immobilization without passive exercise after rotator cuff repair: randomized clinical trial comparing four and eight weeks of immobilization. J Bone Joint Surg Am. 2014;96:e44.
- [20] Koo SS, Parsley BK, Burkhart SS, Schoolfield JD. Reduction of postoperative stiffness after arthroscopic rotator cuff repair: results of a customized physical therapy regimen based on risk factors for stiffness. Arthroscopy. 2011;27:155-160.
- [21] McNamara WJ, Lam PH, Murrell GA. The Relationship Between Shoulder Stiffness and Rotator Cuff Healing: A Study of 1,533 Consecutive Arthroscopic Rotator Cuff Repairs. J Bone Joint Surg Am. 2016;98:1879-1889.
- [22] Kim YS, Chung SW, Kim JY, Ok JH, Park I, Oh JH. Is early passive motion exercise necessary after arthroscopic rotator cuff repair? Am J Sports Med. 2012;40:815-821.
- [23] Sheps DM, Silveira A, Beaupre L, et al. Early Active Motion Versus Sling Immo-

- bilization After Arthroscopic Rotator Cuff Repair: A Randomized Controlled Trial. Arthroscopy. 2019;35:749-760 e742.
- [24] Rokito AS, Zuckerman JD, Gallagher MA, Cuomo F. Strength after surgical repair of the rotator cuff. J Shoulder Elbow Surg. 1996;5:12-17.
- [25] Karppi P, Ryosa A, Kukkonen J, Kauko T, Aarimaa V. Effectiveness of supervised physiotherapy after arthroscopic rotator cuff reconstruction: a randomized controlled trial. J Shoulder Elbow Surg. 2020;29:1765-1774
- [26] Raab MG, Rzeszutko D, O'Connor W, Greatting MD. Early results of continuous passive motion after rotator cuff repair: a prospective, randomized, blinded, controlled study. Am J Orthop (Belle Mead NJ). 1996;25:214-220.
- [27] Lastayo PC, Wright T, Jaffe R, Hartzel J. Continuous passive motion after repair of the rotator cuff. A prospective outcome study. J Bone Joint Surg Am. 1998;80:1002-1011.
- [28] Michael JW, Konig DP, Imhoff AB, et al. [Efficiency of a postoperative treatment after rotator cuff repair with a continuous passive motion device (CPM)]. Z Orthop Ihre Grenzgeb. 2005;143:438-445.
- [29] Garofalo R, Conti M, Notarnicola A, Maradei L, Giardella A, Castagna A. Effects of one-month continuous passive motion after arthroscopic rotator cuff repair: results at 1-year follow-up of a prospective randomized study. Musculoskelet Surg. 2010;94 Suppl 1:S79-83.
- [30] Reinold MM, Macrina LC, Wilk KE, Dugas JR, Cain EL, Andrews JR. The effect of neuromuscular electrical stimulation of the infraspinatus on shoulder external rotation force production after rotator cuff repair surgery. Am J Sports Med. 2008;36:2317-2321.
- [31] Yanase K, Hasegawa S, Nakamura M, et al. Electrical Stimulation to the Infraspinatus on Hypertrophy and Strength of the Shoulder. Int J Sports Med. 2018;39:828-834.
- [32] Moroder P, Minkus M, Bohm E, Danzinger V, Gerhardt C, Scheibel M. Use of shoulder pacemaker for treatment of functional shoulder instability: Proof of concept. Obere Extrem. 2017;12:103-108.
- [33] Moroder P, Plachel F, Van-Vliet H, Adamczewski C, Danzinger V. Shoulder-Pacemaker Treatment Concept for Posterior Positional Functional Shoulder Instability: A Prospective Clinical Trial. Am J Sports Med. 2020;48:2097-2104.

- [34] Doiron-Cadrin P, Lafrance S, Saulnier M, et al. Shoulder Rotator Cuff Disorders: A Systematic Review of Clinical Practice Guidelines and Semantic Analyses of Recommendations. Arch Phys Med Rehabil. 2020;101:1233-1242.
- [35] Kibler WB, Ludewig PM, McClure PW, Michener LA, Bak K, Sciascia AD. Clinical implications of scapular dyskinesis in shoulder injury: the 2013 consensus statement from the 'Scapular Summit'. Br J Sports Med. 2013;47:877-885.
- [36] Longo UG, Risi Ambrogioni L, Berton A, et al. Scapular Dyskinesis: From Basic Science to Ultimate Treatment. Int J Environ Res Public Health. 2020:17.

- [37] Leong HT, Ng GY, Chan SC, Fu SN. Rotator cuff tendinopathy alters the muscle activity onset and kinematics of scapula. J Electromyogr Kinesiol. 2017;35:40-46.
- [38] Saito H, Harrold ME, Cavalheri V, McKenna L. Scapular focused interventions to improve shoulder pain and function in adults with subacromial pain: A systematic review and meta-analysis. Physiother Theory Pract. 2018;34:653-670.
- [39] Fu X, Yung PS, Ma CC, Leong HT. Scapular Kinematics in Athletes With and Without Rotator Cuff Tendinopathy: A Systematic Review. J Sport Rehabil. 2020;29:820-829.
- [40] Ueda Y, Tanaka H, Morioka S, et al. Comparison of scapular upward rotation during

- arm elevation in the scapular plane in healthy volunteers and patients with rotator cuff tears pre- and post-surgery. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2019;63:207-213.
- [41] Reuther KE, Tucker JJ, Thomas SJ, et al. Effect of scapular dyskinesis on supraspinatus repair healing in a rat model. J Shoulder Elbow Surg. 2015;24:1235-1242.
- [42] Kolk A, de Witte PB, Henseler JF, et al. Three-dimensional shoulder kinematics normalize after rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg. 2016;25:881-889.



Notizen	
	_

Notizen	

### Eigentümer & Copyright © AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

Für die Korrektheit der Inhalte tragen die jeweiligen Autoren die Verantwortung. Das Urheberrecht (Copyright) der Texte, Fotografien und Grafiken liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei dem Autor des entsprechenden Textabschnittes. Sollten Sie Teile hiervon verwenden wollen, können Sie diese käuflich erwerben. Bitte wenden Sie sich hierzu an das AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette der AGA – P.O. Box 1236, Seefeldstrasse 123, 8034 Zürich, Schweiz; info@aga-online.de. Wer gegen das Urheberrecht verstößt, macht sich gem. § 106 ff Urhebergesetz strafbar. Er wird zudem kostenpflichtig abgemahnt und muss Schadensersatz leisten.

### Hinweis

Dieses Heft kann gegen Versandgebühr zugesandt werden. Anfragen: info@aga-online.ch

### **Impressum**

Herausgeber: AGA-Komitee-Schulter-Rotatorenmanschette

P.O. Box 1236, Seefeldstrasse 123, 8034 Zürich, Schweiz

www.aga-online.ch/komitees/komitee-schulter

Chefredaktion: Prof. Dr. Olaf Lorbach, Priv.-Doz. Dr. Philipp Heuberer

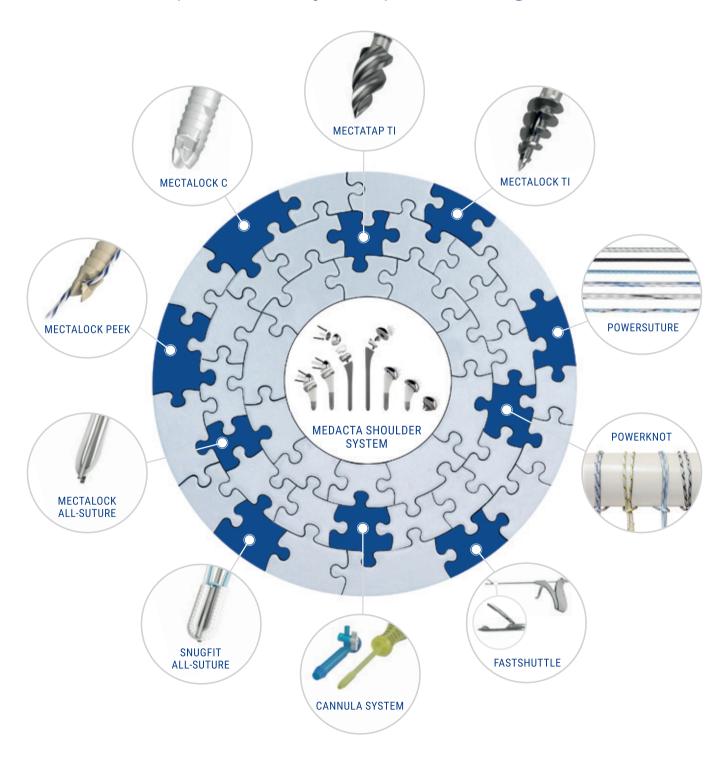
Gestaltung: buero-01, Sabine Schanz, Werderstraße 19, 75173 Pforzheim, Tel +49 7231 140592, www.buero-01.de

**Druck:** Nunnenmann GmbH, Am Gäxwald 17, 76863 Herxheim

**ISBN:** 978-3-907465-13-4



# Medacta shoulder solutions to put the pieces of your puzzle together

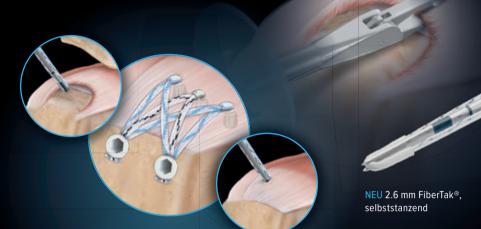


# Behandlung von Rotatorenmanschettenrissen ... jetzt! mit Arthrex

Wegweisende Innovationen in der Rotatorenmanschette

### Individuell

Die original SutureBridge™Technik findet seit 2006 großen
Zuspruch und Anerkennung.
Profitieren Sie vom neuesten
SutureTape-Nahtmaterial, jetzt
erhätlich mit BioCompositeCorkscrew® FT und 2.6 mm
FiberTak®



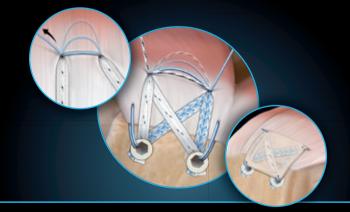
### Zuverlässig

Evidenzbasierte Versorgung der Rotatorenmanschette mit Corkscrew®-, SwiveLock®und FiberTak®-Anker



### **Kontrolliert**

Die original SpeedBridge™-Technik jetzt mit neuer spannbarer, knotenloser Technologie für Doppel-Pulley, Einzel- oder Matratzennähte und Rotatorenmanschettenaugmentation²





### Reference

- 1. Arthrex, Inc. LA1-00038-EN\_B. Naples, FL: 2017
- Pogorzelski J et al., Minimum Five-year Outcomes and Clinical Survivorship for Arthroscopic Transosseous-equivalent Double-row Rotator Cuff Repair. J Am Acad Orthop Surg. 2019 Dec 15;27(24):e1093-e1101. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00519. PMID: 31805019.

### arthrex.com

