

Arthroskopie 2023 · 36:42–50
<https://doi.org/10.1007/s00142-022-00574-y>
 Angenommen: 27. September 2022
 Online publiziert: 8. November 2022
 © Der/die Autor(en) 2022

Redaktion

A. Imhoff, München
 M. Flury, Wallisellen/CH



Aktuelle Aspekte der Behandlung der Rotatorenmanschette

Etabliertes und Neues

Franziska Eckers · Andreas M. Müller · Stefan Loske
 Orthopädie und Traumatologie, Universitätsspital Basel, Basel, Schweiz

Zusammenfassung

Rotatorenmanschettenrupturen gehören zu den häufigsten muskuloskeletalen Erkrankungen und können mit ausgeprägten Schmerzen und Funktionseinschränkungen einhergehen. Für ihre Entstehung ist eine Vielzahl von Faktoren relevant, u. a. die individuelle Anatomie des Akromions. Mit Hilfe der heutigen technischen Möglichkeiten wurde nun festgestellt, dass zusätzlich zu seiner lateralen Ausdehnung auch die sagittale Ausdehnung des Akromions eine Rolle zu spielen scheint. Die bildgebende Darstellung der Rotatorenmanschette (RM) hat von den technischen Fortschritten der letzten Jahrzehnte ebenfalls profitiert. Magnetresonanztomographie (MRT) und MR-Arthrographie werden heute flächendeckend eingesetzt. Letztere bietet die höchste Sensitivität für die Entdeckung selbst kleiner Partialläsionen. Neue Sequenzen und Nachbearbeitungsmöglichkeiten können als hilfreiche *tools* für die operative Planung eingesetzt werden. Grundsätzlich richtet sich die Behandlung der RM neben der Symptomatik nach der Rupturgenese und -morphologie sowie der erwarteten Gewebequalität des Muskel-Sehnen-Kontinuums. Auch das Gesamtprofil, die Erwartungshaltung und die Rehabilitationsmöglichkeiten des Patienten sind wichtig. Die heutigen operativen Techniken werden durch spannende Entwicklungen der Industrie mitbestimmt, die in den letzten Jahren immer bessere Fadenankersysteme, aber auch Augmentationsmaterialien auf den Markt gebracht hat. Letztere zielen nicht nur auf die mechanische Verstärkung der Sehnenrekonstruktion, sondern auch auf die Optimierung der biologischen Eigenschaften des Konstrukts ab. Hinsichtlich Fixation konnte die biomechanische Forschung zeigen, dass zweireihige oder *Suture-Bridge*-Fixationen einreihigen oder transossären Fixationen überlegen sind. Diese Überlegenheit im Labor spiegelt sich noch nicht klar in den klinischen Ergebnissen wider, dennoch sind die meisten Chirurgen heute auf diese Technik übergegangen. Was die postoperative Nachbehandlung angeht, stellen jüngste randomisiert-kontrollierte Untersuchungen das Konzept der postoperativen Immobilisation in Abduktion in Frage. Hier scheint das letzte Wort noch nicht gesprochen zu sein.

Schlüsselwörter

Schultergelenk · Rotatorenmanschettenrekonstruktion · MR-Arthrographie · Suture-Bridge · Augmentation



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Die Behandlung von Rotatorenmanschettenrupturen richtet sich neben der Schwere und Dauer der Symptomatik nach einer Vielzahl weiterer Faktoren, wie z. B. der Rupturgenese und -morphologie sowie der erwarteten Gewebequalität des Muskel-Sehnen-Kontinuums, aber auch dem Gesamtprofil, der Erwartungshaltung und den Rehabilitationsmöglichkeiten des Patienten.

Das Spektrum der Behandlungsmöglichkeiten umfasst konservative sowie operative Verfahren, deren adäquater Einsatz eine Herausforderung ist. Die Fortschritte der letzten Jahre haben die Palette diagnostischer und operativer Techniken sowie anwendbarer Materialien deutlich erweitert. Dieser Artikel soll eine Übersicht über das aktuelle Wissen um die Behandlung der Rotatorenman-

schette liefern und beleuchten, welche neuen Aspekte relevant sind.

Rotatorenmanschettenrupturen gehören zu den häufigsten muskuloskeletalen Erkrankungen und können mit ausgeprägten Schmerzen und Funktionseinschränkungen – im Extremfall auch völligem Funktionsverlust der oberen Extremität – einhergehen [10, 61]. Die Prävalenz in der allgemeinen Bevölkerung ist besonders vom Alter, aber auch von Faktoren wie Händigkeit und Belastungsprofil abhängig und liegt zwischen 10% in der jungen Erwachsenenbevölkerung und über 60% in der Generation der über 80-Jährigen [49, 75, 82]. Das Ausmaß der Symptomatik variiert massiv. So ist die Mehrzahl der Betroffenen erfreulicherweise asymptomatisch [49], während diejenigen mit Beschwerden teils invalidisierende Zustände erleben, die sie im Alltag und Beruf außer Kraft setzen. Die Ursachen dieser Symptomvarianz sind nicht abschließend geklärt.

Pathoanatomie und Pathogenese

Die Pathogenese von Rotatorenmanschettenrupturen wird weiterhin kontrovers diskutiert. Weit häufiger als traumatische sind degenerative Rupturen, deren Ätiologie multifaktoriell ist. Extrinsische, mechanische Faktoren sowie intrinsische Faktoren in der Sehne selbst spielen eine Rolle.

Neer, Bigliani und Rockwood haben in den 1970er bis 90er Jahren den Einfluss der Architektur des Akromions untersucht und das „Einklemmen“ der Rotatorenmanschette unter dem korakoakromialen Bogen im Sinne eines Outlet-Impingements [8, 54, 66] als Hauptmechanismus in der Entstehung von Rotatorenmanschettenläsionen definiert. Im neuen Millennium wurde erkannt, dass vor allem die laterale Ausdehnung des Akromions, welche auf dem Standard-a.-p.-Röntgenbild durch Messung des Akromionindex (AI; [56]) oder des kritischen Schulterwinkels (CSA; [5, 50]) objektiviert werden kann, mit Rotatorenmanschettenrupturen assoziiert ist [77]. Aktuelle, auf der Computertomographie (CT) basierte Untersuchungen fokussieren sich nun auf die 3-dimensionale Charakterisierung der akromialen und skapulären Morphologie, mit Detailanaly-

se der Größe, Form und Orientierung des Akromions in Relation zum Glenoid. Erste Resultate suggerieren, dass auch eine größere sagittale Ausdehnung und Abwärtsneigung des Akromions von Relevanz zu sein scheinen [4].

Das Sehngewebe selbst unterliegt lebenszeitabhängigen Veränderungen, die zu mukoider Degeneration sowie der Einlagerung von Hydroxyapatitmikrokalzifikationen [21, 26, 41] führen. Zudem liegt eine Hypovaskularität in der Sehnenansatzzone, dem *rotator crescent*, vor [35, 40]. Repetitive Zug-, Druck- und Scherbelastungen führen zu einem Kontinuum mit Progression tendinopathischer Veränderungen in Partialrupturen und schließlich transmuralen Rupturen [34]. Als Risikofaktoren gelten Rauchen, metabolische Erkrankungen und genetische Faktoren [60, 74]. Welche neuen biologischen Therapieansätze hier in Zukunft möglicherweise greifen können, wird im Verlauf dieses Artikels diskutiert.

Bildgebung

Die bildgebende Darstellung des Schultergelenks ist anspruchsvoll. Unterschiedliche Fragestellungen erfordern die Anwendung unterschiedlicher Modalitäten, die sich gegenseitig ergänzen können. In den Situationen, in denen die „Wunschbildgebung“ aus irgendwelchen Gründen nicht zur Verfügung steht, gibt es erfreulicherweise meist eine Alternative. Zur Darstellung der Rotatorenmanschette eignen sich Ultraschall, CT und Magnetresonanztomographie (MRT). Auch wenn Ersterer in den Händen eines erfahrenen Untersuchers zumindest in Bezug auf transmurale Rupturen eine sehr zuverlässige Methode darstellt [67], die überdies hinaus den Vorteil der Dynamik bietet, soll der Fokus hier auf die Schnittbildgebungsverfahren gelegt werden. Hier gab es in den letzten Jahren einige interessante Vorstöße und Entwicklungen.

MRT vs. MR-Arthrographie

In der Primärdiagnostik der Rotatorenmanschette stellt die MRT meist die Methode der Wahl dar. Routineprotokolle umfassen Sequenzen in oblique axialer, sagittaler und koronarer Ebene mit sowohl T1-

gewichteten als auch flüssigkeitssensitiven Sequenzen [19] und lassen die Beurteilung der Sehnenmorphologie zu. Jede Ebene bietet eigene Vorteile, so dass Pathologien mit hoher Treffsicherheit festgestellt werden können. Eine neuere Technik, die gewisse *tote Winkel* noch besser darstellen kann, ist die Durchführung radiärer Sequenzen. Diese erlauben eine lückenlose Ausleuchtung des *Footprints* und des Rotatorenintervalls. Mehrere Autoren [31, 72] konnten ihre Überlegenheit zur Detektion kleiner Partialrupturen, insbesondere posterosuperior, aber auch im Bereich des Intervalls, belegen.

» In der Diagnostik von Partialrupturen ist die MRA die sensitivere Methode

Wie sieht es nun mit der Anwendung von intraartikulärem Kontrastmittel aus? Laut einer Metaanalyse aus dem Jahr 2015 sind MRT und MR-Arthrographie (MRA) sowie die Sonographie zur Detektion transmuraler Rupturen mit Sensitivitäten und Spezifitäten von mindestens 0,9 ebenbürtig. In der Diagnostik von Partialrupturen allerdings ist die MRA die sensitivere Methode ([68]; ■ Abb. 1). Jüngere Studien haben weiterhin gezeigt, dass die intraartikuläre Kontrastmittelgabe die Diagnostik von Pathologien der langen Bizepssehne und ihres Befestigungs- und Halteapparats (■ Abb. 2), die häufig koexistent zu Verletzungen der Rotatorenmanschette vorliegen, klar besser darstellt [22, 43]. Eine prospektive Studie von Groarke aus dem Jahr 2021, die 200 Patienten mit MRT oder MRA und anschließender Schulterarthroskopie einschloss, konnte zudem für die MRA eine bessere Korrelation zwischen präoperativen und intraoperativen Befunden verzeichnen ($p=0,002$; [22]).

Spielen diese Vorteile nun im klinischen Alltag eine Rolle, respektive lohnt sich der Mehraufwand? Magee analysierte 2009 eine Kohorte von 150 Patienten, die je sowohl eine MRT und eine MRA erhielten. In fast 20% haben die behandelnden Orthopäden die Behandlungsstrategie aufgrund der in der MRA zusätzlich wahrgenommenen Befunde geändert [43]. Vor diesem Hintergrund profitieren die Autoren dieses Beitrags in ihrer Institution gerne von der standardmäßig durchgeführten



Abb. 1 ▲ Magnetresonanztomographie (MRA), koronale T1-gewichtete Turbo-Spin-Echo (TSE)-Sequenz, mit artikulareitiger Partiaruptur der Supraspinatussehne (Pfeil)

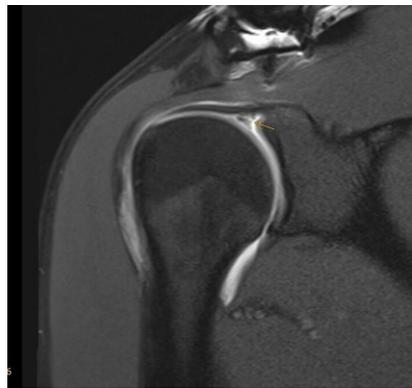


Abb. 2 ▲ Magnetresonanztomographie (MRA), koronale T1-gewichtete Turbo-Spin-Echo (TSE)-Sequenz, mit SLAP-Läsion (*superior labrum anterior to posterior lesion*, Pfeil)

MRA. Die Mehrkosten, der zeitliche Mehraufwand für Institution und Patienten sowie die mit der Gelenkinfiltration verbundenen Unannehmlichkeiten und Risiken (Schmerz, Infekt, Allergie) bleiben bei der Entscheidung für oder wider diese Technik zu berücksichtigen. Gegebenenfalls ist die Anwendung der MRA bei spezifischen Fragestellungen (Rotatorenmanschettenpartiaruptur, Labrumläsion) oder als Zusatzuntersuchung in unklaren Fällen sicherlich äußerst hilfreich.

Die Evaluation der Muskelqualität und der fettigen Infiltration des Muskels als einem der wichtigsten Kriterien für die Rekonstruierbarkeit von Rotatorenmanschettenrupturen erfolgte bis dato durch die Anwendung der Kriterien nach Goutallier/Fuchs. Mit einer Gradierung von 0 bis 4 werden hierbei durch den Untersucher an parasagittalen CT/MRT-Scans das Vorhandensein und Ausmaß von fettiger Muskelinfiltration subjektiv beurteilt [15, 20]. Die Interraterreliabilität ist bekanntermaßen nur befriedigend [79]. Die Relevanz in Bezug auf die Reparabilität ist hoch [46]. Deshalb sind in den letzten Jahren nun mehrere neue technische Methoden zur objektiven, quantitativen Analyse des Fettanteils bzw. des Fett-Muskel-Verhältnisses in der Rotatorenmanschette vorgeschlagen worden, hierunter spektroskopische Methoden und T2-Mapping [18, 68]. Als vielversprechend gilt die VIBE-Sequenz („volume-interpolated breathhold examination“) mit 2-Punkt-Dixon-Methode, mit der sich sowohl der Fettanteil als auch die Muskelatrophie bemessen lassen und mit-

tels welcher Rückschlüsse auf die Rerupturwahrscheinlichkeit geschlossen werden können [19, 55]. Es gibt weitere Ansätze, die auf der Anwendung der CT basieren. Bisher werden die Methoden zur Quantifizierung des Fettgehalts der Rotatorenmanschettenmuskeln in Studien untersucht und experimentell eingesetzt. Ein Goldstandard existiert noch nicht. Es sind interessante Ergebnisse zu erwarten, die als wertvolle klinische Entscheidungshilfen dienen können.

Schließlich ist im Zusammenhang mit der MR-Darstellung der Rotatorenmanschette noch zu erwähnen, dass zwischenzeitlich – analog zur CT – auch 3-dimensionale MR-Rekonstruktionen möglich sind. Mittels einer Software können 3D-Rekonstruktionen des Rupturmusters generiert werden, die eine bessere präoperative Visualisierung der Ruptur (*crescent* vs. *U*-vs. *L-shape*) und damit eine im Vorhinein optimal abgestimmte Auswahl der operativen Technik erlauben können [27]. Auch hier bleibt abzuwarten, ob diese technische Möglichkeit Einzug in den Klinikalltag finden wird.

Behandlungsoptionen

Die Therapiemöglichkeiten bei Rotatorenmanschettenrupturen sind vielfältig. Grundsätzlich wird zwischen traumatischen und degenerativen sowie zwischen reparablen und irreparablen Situationen unterschieden. Es existieren Misch- und Grauzonen, die eine klare Zuteilung und das Stellen der richtigen Behandlungsindi-

kation schwierig machen können. Je nach Genese, Morphologie der Ruptur, Symptombdauer und -schwere, Gesamtzustand des Gelenks und des Patienten, seiner Compliance sowie seinem Anspruch an die Behandlung, steht ein Bollwerk unterschiedlicher konservativer und operativer Verfahren zur Verfügung. In diesem Artikel soll der Fokus auf die chirurgische Behandlung reparabler Rupturen gelegt werden, die heute in der Regel arthroskopisch erfolgt. Im Folgenden werden die Grundsätze der Therapie sowie die aktuell verwandten Techniken und Technologien beleuchtet.

Indikation und Zeitplan

Um Patienten gut beraten zu können und den richtigen Behandlungspfad zum richtigen Zeitpunkt einzuschlagen, ist nicht nur eine korrekte Einschätzung der Pathologie im Moment der Konsultation notwendig, sondern auch die Kenntnis des anzunehmenden natürlichen Krankheitsverlaufs und des zu erwartenden Erfolgs der chirurgischen Therapie. Keener et al. [35] publizierten 2019 den Spontan-Longitudinalverlauf von 224 asymptomatischen Schultern und fanden, dass der Prozess der Verschlechterung bei degenerativen Rupturen insgesamt langsam voranschreitet und dass Rupturen mit Beteiligung des Rotatorenkabels für eine zügige Progression prädisponiert sind. Moosmayer stellte eine ähnliche Dynamik fest, zeigte aber auch, dass mit einer Rupturgrößenprogression eine zunehmende fettige Muskelinfiltration einhergeht [51]. Studien, die sich mit der Sehnenheilung nach operativer Therapie befassten, identifizierten ein höheres Patientenalter (> 65 Jahre), eine größere Rupturgröße und Retraktion sowie einen höheren Verfettungsgrad der Muskulatur als Hauptrisikofaktoren für das Nichteinheilen einer rekonstruierten Sehne [16, 46, 51]. Neben diesen Informationen ebenfalls zu bedenken ist die langwierige Rehabilitationsphase, die Patienten nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion durchlaufen müssen. Meist vergehen mindestens 6 Monate, bis Schmerz und Funktionsniveau auf adäquate Level gelangen [25].

Vor diesem Hintergrund ist jede Therapieentscheidung individuell zu fällen, mit dem Ziel, unter Vermeidung von Komplika-

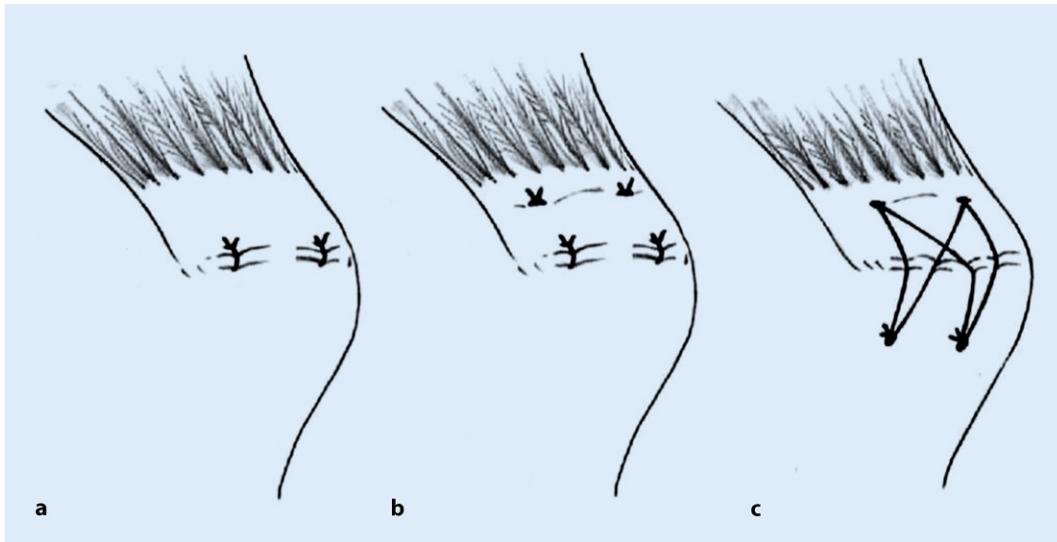


Abb. 3 ◀ Illustration der verschiedenen Fixations-techniken. **a** Single-row-Technik. **b** Double-row-Technik. **c** Suture-Bridge-Technik. (Aus [64], mit freundl. Genehmigung, ©Orthopaedic Research Society, John Wiley and Sons, alle Rechte vorbehalten)

tionen, möglichst zuverlässig das Sistieren von Schmerzen und die Wiedererlangung der Funktion zu erreichen.

» Jede Therapieentscheidung ist individuell zu fällen

Bei jüngeren Patienten mit gutem Heilungspotenzial und bei Rupturen, die eine schnelle Progression begünstigen können (große Ruptur, Beteiligung des Rotatorenkabels, beginnende fettige Infiltration der Muskulatur), empfiehlt sich eine frühzeitigere Lenkung in Richtung der operativen Therapie. Aus der Literatur wissen wir, dass so in der Regel von einem besseren Outcome ausgegangen werden darf [62, 81]. Ältere Patienten oder Patienten mit kleinen transmuralen oder Partialläsionen unterlaufen meist einen konservativen Therapieversuch mittels Physiotherapie, Schmerztherapie und ggf. infiltrativer Therapie. Diese Patienten sollten gut aufgeklärt und eng an den Behandler angebunden sein, so dass bei Therapieresistenz oder Schmerzprogression auf den operativen Weg umgeschwenkt werden kann. *Cave:* Im Fall traumatischer Rupturen sollte zügig operativ interveniert werden, möglichst unter 3 Monaten posttraumatisch, da die verspätete Rekonstruktion mit vergleichsweise schlechteren Resultaten assoziiert ist [28, 53].

Fixationstechniken: Single-Row- vs. Double-Row/Suture-Bridge

Hinsichtlich Fixationstechniken sind transossäre und *Single-Row*(SR)-Techniken in den letzten Jahren weitestgehend von *Double-Row*(DR)- und Transosseous-equivalent(TOE)- bzw. *Suture-Bridge*-Techniken (▣ **Abb. 3**) unter Verwendung von Fadenankern abgelöst worden. DR-/Suture-Bridge-Verfahren zeigten sich in multiplen biomechanischen Studien überlegen in Bezug auf die anatomische Abdeckung des Footprints, die maximale Versagenslast unter statischer und zyklischer Belastung („load to failure“) sowie *Gapping* zwischen Sehne und Knochen [29, 59]. Während bei der klassischen DR-Technik beladene Anker in medialer und lateraler Reihe gesetzt, geschüttelt und unabhängig voneinander verknotet werden, sind bei der Suture-Bridge-Technik nur die in medialer Reihe gesetzten Anker mit Fäden/Tapes beladen. Diese werden üblicherweise in Matratzenkonfiguration durch die Sehne geschüttelt – am besten medial des Rotatorenkabels, da sie hier die stabilste Verankerung finden [80]. Subakromial werden sie mit oder ohne vorheriges Verknoten und nach teilweisem Kreuzen in knotenlose Anker eingefädelt, die in den lateralen Anteil des Tuberculum majus/minus – hier zugunsten des besten Halts, am besten 15–21 mm distal seiner Spitze [84] – eingebracht werden (▣ **Abb. 4**). Durch diese Konfiguration von Ankerpositionen, Stichen und Fadenver-

lauf entsteht eine Lastverteilung und ein flächiges Anpressen der Sehne an den Footprint [58]. Durch die Wiederaufnahme der medial durchgestochenen Fäden/Tapes mit Abspannen nach lateral legen sich diese glatt auf den Sehnenstumpf, so dass ein subakromiales Knoten-Impingement vermieden werden kann [36].

Interessanterweise spiegelt sich die biomechanische Überlegenheit von DR-/Suture-Bridge-Techniken gegenüber SR-Techniken bisher noch nicht klar in den klinischen Outcome-Studien wider. So konnten mehrere vergleichende Analysen der letzten 10 Jahre keinen Unterschied in den erhobenen Outcome-Scores nachweisen [14, 63], wengleich die Heilungsraten und Rerupturraten für die DR-/Suture-Bridge-Versorgung sprechen, so beispielsweise zufolge einer Metaanalyse der kanadischen Schulter- und Ellbogengesellschaft aus dem Jahr 2022 [38], respektive einer Metaanalyse von Millet von 2014 [48]. Eine Metaanalyse von Zhang et al. (2013) konnte allerdings feststellen, dass Patienten mit großen Rupturen (> 3 cm) und DR-Rekonstruktion bessere funktionelle Ergebnisse hatten als die mit SR-Rekonstruktion [83]. Bei kleinen Rupturen gab es keinen Unterschied. Storti et al. fanden 2022 in einer vergleichenden Untersuchung von insgesamt 135 Schultern eine bessere Flexionskraft nach DR-/Suture-Bridge-Versorgung [73]. Es ist also ein gewisser Trend zu erkennen, der annehmen lässt, dass sich die bekanntermaßen besseren strukturellen

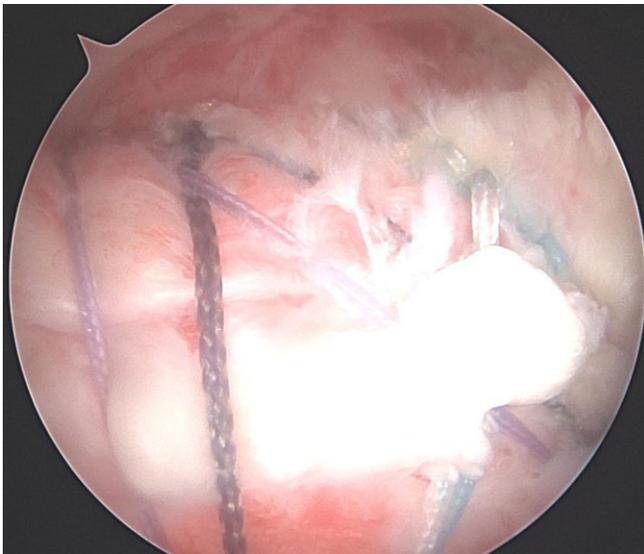


Abb. 4 ▲ Arthroscopisches Bild einer mittels Suture-Bridge-Technik versorgten posterosuperioren Rotatorenmanschettenruptur. Die mediale Reihe wurde geknotet

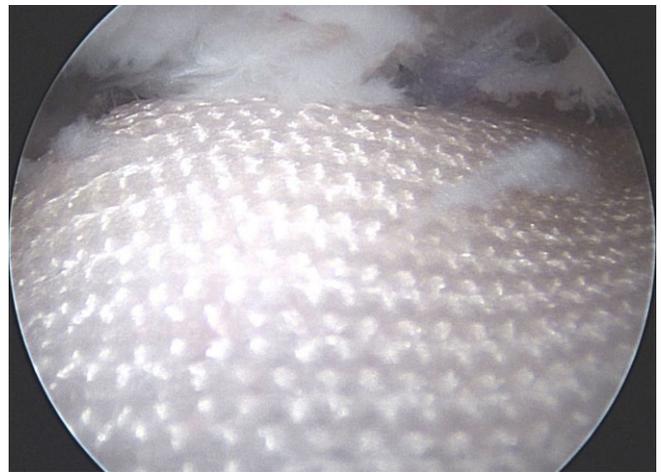


Abb. 5 ▲ Rotatorenmanschettenrekonstruktion unter Verwendung eines synthetischen Patches zur mechanischen Augmentation („Pitch Patch“, Xiros Inc., Mansfield, Massachusetts, USA)

Ergebnisse in Zukunft auch im klinischen Outcome niederschlagen werden.

Alle für die arthroscopische Rotatorenmanschettenrekonstruktion verwendeten Ankersysteme und Fadenmaterialien sollen stabilen Halt der readaptierten Rotatorenmanschette auf dem Tuberculum majus/minus gewährleisten, während die biologische Heilung stattfindet. Die Industrie hat hierfür in den letzten Jahren großartige neue Technologien auf den Markt gebracht. Für eine detaillierte Übersicht hierzu möchten wir auf den von Borbas et al. verfassten Artikel „Fixationssysteme und Techniken zur arthroscopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktion“ verweisen, der 2021 in der 34. Ausgabe der *Arthroskopie* erschienen ist [9].

Augmentation

Im Fall einer schlechten Sehnenqualität, grenzwertiger Reparabilität oder bei Revisionseingriffen kommen Augmentationsverfahren in Frage. Für diese sind unterschiedliche Materialien erhältlich, hierunter Allografts (meist humane azelluläre Dermis), Xenografts (z.B. porcine Dermis, bovine Pericardium), synthetische Grafts (z.B. Polyethylenterephthalat; **Abb. 5**) und verschiedene Autografts (z.B. lange Bizepssehne; [1]). Die vorteilhaften biomechanischen Eigenschaften von Patch-augmentierten Rotatorenmans-

schettenrekonstruktionen wurden in verschiedenen, mehrheitlich in vitro und an Kadavern durchgeführten Studien, belegt [3, 32, 33, 44, 47, 69]. Eine biomechanische Kadaverstudie von Mehta et al. aus dem Jahr 2020 beispielsweise, die einen absorbierbaren BioFiber-Patch aus Poly-4-Hydroxybutyrat untersuchte, unterstützt diese Einschätzung insofern, als im Vergleich zur patchfreien Rekonstruktion unter zyklischer Belastung verringertes *Gapping* und eine höhere „load to failure“ demonstriert werden konnte [45]. Allerdings ist bisher nur wenig über die In-vivo-Reaktion des Sehngewebes bekannt. So haben Rashid et al. durch frühe postoperative Biopsieentnahmen bei 3 Patientengruppen (1: azelluläre humane Dermis 2: azelluläre *cross-linked* porcine Dermis 3. Kontrollgruppe ohne Patch) feststellen können, dass es histologisch zu signifikanten Unterbrechungen der extrazellulären Sehnenmatrix in Nachbarschaft der Grafts kommt [65]. Auch gute klinische und radiologische Verlaufsdaten gibt es noch wenige. Eine prospektive randomisierte Fall-Kontroll-Studie mit einem der bis dato längsten Nachuntersuchungszeiträume (5,7 Jahre) wurde 2022 von Lee et al. publiziert und liefert vielversprechende Ergebnisse. Es konnte gezeigt werden, dass die Patienten, die im Rahmen der Rotatorenmanschettenrekonstruktion bei großer Ruptur eine

zusätzliche Allograft-Augmentation (azelluläre humane Dermis) erhielten, eine signifikant geringere Rerupturrate als die Patienten ohne Patch hatten (9,1% vs. 38,1%; $p=0,034$). Die Subgruppenanalyse zeigte in beiden Gruppen bessere Ergebnisse, wenn intraoperativ eine komplette Abdeckung des *Footprints* erreicht werden konnte (Rerupturrate mit/ohne Patch 0% vs. 18,2%; $p=0,476$ bzw. 16,7% vs. 66,7%; $p=0,032$, [39]). Die klinischen Scores (Constant-Score, American Shoulder and Elbow Score [ASES]) verbesserten sich in beiden Gruppen, nur der ASES signifikant mehr in der Patch-Gruppe [39].

Immer häufiger rückt die Verwendung von Autografts und biologisch wirksamen Substanzen in den Vordergrund neuer, interessanter Therapieansätze. Colbath et al. nutzten eine analog zur Spalthauttransplantation verwendete *Mesh*-Technik der langen Bizepssehne, um einen Graft zu erstellen. Dieser demonstriert zwar reduzierte biomechanische Eigenschaften (verringerte ultimative Zugkraft, verringerter Zugmodulus) im Vergleich zur nativen langen Bizepssehne, enthält jedoch native extrazelluläre Matrix und Tenozyten, welche bioaktive Signale produzierten [11]. Bhatia nutzte das pluripotente Potenzial der Stammzellen der subakromialen Bursa zur biologischen Augmentation des langen Bizepssehnenautografts [7]. Klatt-Schulz et al. verfassten kürzlich einen Arti-

kel über den potenziellen klinischen Nutzen der subakromialen Bursa und hoben dabei das enge fibrovaskuläre Netzwerk, einen hohen Wachstumsfaktoranteil und das hohe Potenzial an Progenitorzellen hervor [37]. Weitere klinische Kohortenstudien zum Thema mechanische plus biologische Augmentation wurden von der Gruppe um Muench, Berthold und Wellington publiziert. Sie berichten über Kombinationen von dermalen Allografts mit subakromialer Bursa, *platelet-rich plasma* (PRP) und *platelet-poor plasma* (PPP), konzentriertem Knochenmarkspirat, und autologem Thrombin. Bisher konnte noch kein substanzialer klinischer Benefit dieser Verfahren gezeigt werden [6, 52, 78].

Insgesamt herrscht beim Thema der Augmentation noch eine ebenso große Unklarheit wie Palette an Möglichkeiten. Die unterschiedlichen auf dem Markt erhältlichen Produkte werden aktuell noch sehr heterogen eingesetzt [12], was die Interpretation der bisher erschienenen Literatur erschwert. Klare Empfehlungen lassen sich noch nicht ableiten. Zudem steht eine Betrachtung aus ökonomischer Sicht aus. Die Studiengruppe Patch-Augmented Rotator Cuff Surgery (PARCS) im Vereinigten Königreich möchte hier in den nächsten Jahren mittels einer groß angelegten randomisiert-kontrollierten Studie Evidenz erbringen [2, 12].

Postoperative Nachbehandlung

Fragen um Notwendigkeit, Art und Dauer einer postoperativen Immobilisation sind häufig Gegenstand kontroverser Diskussion. Diesbezüglich hat es in der jüngeren Vergangenheit interessante Erkenntnisse gegeben.

Immobilisation vs. Nichtimmobilisation

Tirefort et al. haben 2019 eine randomisierte Level-I-Kontrollstudie veröffentlicht, für welche insgesamt 80 konsekutive arthroskopisch versorgte (DR-Technik) kleine bis mittelgroße (<3 cm) isolierte superiore Rotatorenmanschettenläsionen in zwei Nachbehandlungsarme – ohne vs. mit *Sling* für 4 Wochen – randomisiert wurden. Die nichtimmobilisierte Gruppe

präsentierte eine verbesserte Frühmobilität und bessere funktionelle Scores, ohne dass sie von mehr Rerupturen (6 Monate postoperativ sonographisch evaluiert) betroffen gewesen wären [76]. Eine größere Kohorte (206 Patienten) mit einem Nachuntersuchungszeitraum von 24 Monaten wurde von einer Gruppe aus Edmonton/Kanada um Sheps et al. untersucht [71]. Die Patienten eines Untersuchungsarms erhielten einen Sling und durften 6 Wochen nur passiv bewegt werden. Die Patienten des anderen Untersuchungsarms durften den Sling nach Bedarf ablegen und im schmerzfreien Rahmen aktiv mobilisieren. Weder klinisch noch sonographisch (12 Monate postoperativ) wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt. Diese sehr gut designten Studien haben in der Fachwelt ein breites Echo erzeugt [13, 76]. Ein systematischer Review von Longo et al. aus dem Jahr 2021, der insgesamt 16 Level-I- und Level-II-Studien mit insgesamt 1424 Patienten zur frühen vs. verzögerten Mobilisation einschloss, zeigte, dass die Frühmobilisation leichte Vorteile bezüglich der Beweglichkeit in der frühen postoperativen Phase bietet. Nach 24 Monaten konnten jedoch keine Unterschiede mehr festgestellt werden, weder in Bezug auf die Beweglichkeit, noch die Funktionsscores, noch die Rerupturrate (9,5% vs. 11,4%; $p=0,29$; [42]). Gemäß diesen Studien aus den Jahren 2019–2021 dürften also zumindest Patienten, die relativ kleine Rupturen rekonstruiert bekommen haben, in Zukunft auf eine Ruhigstellung verzichten und frühzeitig auch vorsichtige aktive Bewegungen aufnehmen.

Im Kontrast zu diesen Ergebnissen stehen die Ergebnisse von Grubhofer et al. Die Gruppe hat erst mittels eines in eine Abduktionsorthese integrierten Sensors die tatsächliche Trage-Compliance von 50 Patienten überprüft und dann im zweiten Schritt nach einem Minimum von 12 Monaten diese Patienten klinisch und sonographisch/MR-tomographisch nachkontrolliert. Die Resultate suggerieren, dass Patienten mit geringer Compliance höhere Rerupturraten haben und dass Patienten mit Rerupturen im Hinblick auf die klinischen Verlaufparameter schlechter abschneiden [23, 24]. Diese Daten vor Augen, werden die Patienten in der

Institution der Autoren nach wie vor um das Einhalten einer Ruhigstellung bis 6 Wochen postoperativ angehalten. Passiv dürfen sie innerhalb gewisser Grenzen mobilisieren.

Immobilisation in Abduktion vs. Neutralstellung

Die Intention der Ruhigstellung in Abduktion ist es, die Spannung auf der heilenden Supra-/Infraspinatussehne zu reduzieren und somit die Bedingungen für die Einheilung zu verbessern. Die meisten Patienten empfinden jedoch das Tragen einer Abduktionsorthese als unangenehm. Zudem wird der klinische Nutzen der Maßnahme zunehmend in Frage gestellt, wenngleich die Literatur das Konzept durchaus unterstützt. So hat die Gruppe um Schenk festgestellt, dass bei 30–50° Abduktion in der Skapulaebene die Lastübertragung auf die Orthese biomechanisch am günstigsten ist und der Patientenkomfort in dieser Position am besten [70]. Pandey et al. haben den Blutfluss der rekonstruierten posterosuperioren Rotatorenmanschette in 30° Abduktion und in 0° Position direkt postoperativ und nach 6 Wochen sonographisch untersucht und dabei einen erhöhten Blutfluss in abduzierter Position feststellen können. Trotz dieses angenommenen Vorteils konnte in der Verlaufskontrolle ein Jahr postoperativ keine klinische Überlegenheit (Messparameter: Schmerzen mittels visueller Analogskala [VAS], Constant-Score, Sehnenintegrität sonographisch) festgestellt werden [57]. Auch Hollmann et al. [30] sowie Ghandour et al. [17] kamen im Rahmen prospektiv-randomisierter Studien zu vergleichbaren Ergebnissen in Bezug auf die klinischen Resultate. Letztgenannte Gruppe schloss in die 1-Jahres-Kontrolle als zusätzlichen objektiven Verlaufparameter noch die Messung der isokinetischen Außenrotationskraft ein und konnte auch hier keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen finden. Auch wenn also klare Evidenz für die Verwendung einer Abduktionsorthese fehlt, wird aufgrund der theoretischen Vorteile diese in der Regel den Patienten mit größeren (postero)superioren Rotatorenmanschettenrekonstruktionen angelegt. Bei Patienten mit kleinen oder Partialrupturen oder bei de-

nen, die sie nicht tolerieren können, wird ein Ortho-Gilet verwendet.

Fazit für die Praxis

- Die Anatomie des Akromions stellt einen wichtigen Faktor in der Ätiologie von degenerativen Rotatorenmanschettenrupturen dar.
- Zusätzlich zur lateralen Ausdehnung des Akromions scheint auch die sagittale Dimension und Inklination des Akromions von Bedeutung zu sein.
- Die Magnetresonananz-Arthrographie (MRA) ist die sensitivste Methode zur Detektion von Rotatorenmanschettenpartialrupturen sowie von Pathologien der langen Bizepssehne und ihres Befestigungsapparats.
- Traumatische Rupturen sowie Rupturen, die zu einer zügigen Progression neigen, sollten frühzeitig operativ versorgt werden.
- Double-row- und Suture-Bridge-Techniken zeigen in biomechanischen Studien Vorteile gegenüber Single-row-Techniken. Diese spiegeln sich bisher noch nicht klar in klinischen Outcome-Studien wider.
- Mechanische und biologische Augmentationsverfahren sind aktuell Gegenstand von Forschung und experimenteller Anwendung und werden sich voraussichtlich in den nächsten Jahren zunehmend etablieren.

Korrespondenzadresse

Franziska Eckers
 Orthopädie und Traumatologie, Universitäts-
 spital Basel
 Spitalstraße 21, 4031 Basel, Schweiz
 franziska.eckers@usb.ch

Funding. Open access funding provided by University of Basel

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. F. Eckers, A.M. Müller und S. Loske geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz

beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Adam JR, Nanjayan SKT, Monga P (2021) Management of rotator cuff tears—Key historical landmarks. *J Clin Orthop Trauma* 18:6–12. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.03.019>
2. Baldwin MJ, Nagra NS, Merritt N et al (2020) The use of a patch to augment rotator cuff surgery—A survey of UK shoulder and elbow surgeons. *PLoS ONE* 15:e230235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230235>
3. Barber FA, Herbert MA, Boothby MH (2008) Ultimate tensile failure loads of a human dermal allograft rotator cuff augmentation. *Arthroscopy* 24:20–24. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2007.07.013>
4. Beeler S, Hasler A, Getzmann J et al (2018) Acromial roof in patients with concentric osteoarthritis and massive rotator cuff tears: multiplanar analysis of 115 computed tomography scans. *J Shoulder Elbow Surg* 27:1866–1876. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2018.03.014>
5. Beeler S, Hasler A, Götschi T et al (2019) Critical shoulder angle: Acromial coverage is more relevant than glenoid inclination. *J Orthop Res* 37:205–210. <https://doi.org/10.1002/jor.24053>
6. Berthold DP, Garvin P, Mancini MR et al (2022) Arthroscopic rotator cuff repair with biologically enhanced patch augmentation. *Oper Orthop Traumatol* 34:4–12. <https://doi.org/10.1007/s00064-021-00754-3>
7. Bhatia DN (2021) Arthroscopic biological augmentation for massive rotator cuff tears: the biceps-cuff-bursa composite repair. *Arthrosc Tech* 10:e2279–e2285. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2021.07.003>
8. Bigliani LU, Ticker JB, Flatow EL et al (1991) The relationship of acromial architecture to rotator cuff disease. *Clin Sports Med* 10:823–838
9. Borbas P, Wieser K, Grubhofer F (2021) Fixationssysteme und Techniken zur arthroskopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktion: Evidenz im Jahr 2021. *Arthroscopie* 34:185–191. <https://doi.org/10.1007/s00142-021-00440-3>
10. Camenzind RS, Lafosse L, Lafosse T (2021) Pseudoparesis and pseudoparesis of the shoulder. *Obere Extremität* 16:237–246. <https://doi.org/10.1007/s11678-021-00658-5>
11. Colbath G, Murray A, Siatkowski S et al (2022) Autograft long head biceps tendon can be used as a scaffold for biologically augmenting rotator cuff repairs. *Arthroscopy* 38:38–48. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2021.05.064>
12. Cook JA, Baldwin M, Cooper C et al (2021) Patch augmentation surgery for rotator cuff repair: the

PARCS mixed-methods feasibility study. *Health Technol Assess* 25:1–138. <https://doi.org/10.3310/hta25130>

13. Feldman MD (2019) Editorial commentary: has the pendulum swung yet again? Allowing early active motion after arthroscopic rotator cuff repair. *Arthroscopy* 35:761–762. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.11.047>
14. Franceschi F, Ruzzini L, Longo UG et al (2007) Equivalent clinical results of arthroscopic single-row and double-row suture anchor repair for rotator cuff tears: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 35:1254–1260. <https://doi.org/10.1177/0363546507302218>
15. Fuchs B, Weishaupt D, Zanetti M et al (1999) Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: Assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging. *J Shoulder Elbow Surg* 8:599–605. [https://doi.org/10.1016/S1058-2746\(99\)90097-6](https://doi.org/10.1016/S1058-2746(99)90097-6)
16. Galatz LM, Ball CM, Teefey SA et al (2004) The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 86:219–224. <https://doi.org/10.2106/00004623-200402000-00002>
17. Ghandour TM, Ibrahim A, Abdelrahman AA et al (2019) Does the type of shoulder brace affect postoperative pain and clinical outcome after arthroscopic rotator cuff repair? *Arthroscopy* 35:1016–1023. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.10.137>
18. Gilbert F, Böhm D, Eden L et al (2016) Comparing the MRI-based Goutallier classification to an experimental quantitative MR spectroscopic fat measurement of the supraspinatus muscle. *BMC Musculoskelet Disord* 17:355. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1216-3>
19. Gottsegen CJ, Merkle AN, Bencardino JT, Gyftopoulos S (2017) Advanced MRI techniques of the shoulder joint: current applications in clinical practice. *AJR Am J Roentgenol* 209:544–551. <https://doi.org/10.2214/AJR.17.17945>
20. Goutallier D, Postel JM, Bernageau J et al (1994) Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. *Clin Orthop Relat Res* 304:78–83
21. Goutallier D, Postel JM, Van Driessche S, Voisin M-C (2005) Histological lesions of supraspinatus tendons in full thickness tears of the rotator cuff. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 91:109–113. [https://doi.org/10.1016/s0035-1040\(05\)84287-4](https://doi.org/10.1016/s0035-1040(05)84287-4)
22. Groarke P, Jagernauth S, Peters SE et al (2021) Correlation of magnetic resonance and arthroscopy in the diagnosis of shoulder injury. *ANZ J Surg* 91:2145–2152. <https://doi.org/10.1111/ans.17164>
23. Grubhofer F, Ernstbrunner L, Gerber C et al (2022) Effect of abduction brace wearing compliance on the results of arthroscopic rotator cuff repair. *JB JS Open Access* 7(2):e21.00148. <https://doi.org/10.2106/JBJS.OA.21.00148>
24. Grubhofer F, Gerber C, Meyer DC et al (2019) Compliance with wearing an abduction brace after arthroscopic rotator cuff repair: a prospective, sensor-controlled study. *Prosthet Orthot Int* 43:440–446. <https://doi.org/10.1177/0309364619837794>
25. Grubhofer F, Muniz Martinez AR, Ernstbrunner L et al (2021) Speed of recovery of the most commonly performed shoulder surgeries. *JSES Int* 5:776–781. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2021.03.007>

26. Gumina S, Di Giorgio G, Bertino A et al (2006) Inflammatory infiltrate of the edges of a torn rotator cuff. *Int Orthop* 30:371–374. <https://doi.org/10.1007/s00264-006-0104-0>
27. Gyftopoulos S, Beltran LS, Gibbs K et al (2016) Rotator cuff tear shape characterization: a comparison of two-dimensional imaging and three-dimensional magnetic resonance reconstructions. *J Shoulder Elbow Surg* 25:22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2015.03.028>
28. Hantes ME, Karidakis GK, Vlychou M et al (2011) A comparison of early versus delayed repair of traumatic rotator cuff tears. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:1766–1770. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1396-1>
29. Hohmann E, König A, Kat C-J et al (2018) Single-versus double-row repair for full-thickness rotator cuff tears using suture anchors. A systematic review and meta-analysis of basic biomechanical studies. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 28:859–868. <https://doi.org/10.1007/s00590-017-2114-6>
30. Hollman F, Wolterbeek N, Zijl JAC et al (2017) Abduction brace versus antirotation sling after arthroscopic cuff repair: the effects on pain and function. *Arthroscopy* 33:1618–1626. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2017.02.010>
31. Honda H, Morihara T, Arai Y et al (2015) Clinical application of radial magnetic resonance imaging for evaluation of rotator cuff tear. *Orthop Traumatol Surg Res* 101:715–719. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.06.007>
32. Jung C, Spreiter G, Audigé L et al (2016) Patch-augmented rotator cuff repair: influence of the patch fixation technique on primary biomechanical stability. *Arch Orthop Trauma Surg* 136:609–616. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2436-6>
33. Kataoka T, Kokubu T, Muto T et al (2018) Rotator cuff tear healing process with graft augmentation of fascia lata in a rabbit model. *J Orthop Surg Res* 13:200. <https://doi.org/10.1186/s13018-018-0900-4>
34. Keener JD, Hsu JE, Steger-May K et al (2015) Patterns of tear progression for asymptomatic degenerative rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 24:1845–1851. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2015.08.038>
35. 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 Surg* 27:156–165. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-17-00480>
36. Kim D-H, Jeon J-H, Choi B-C, Cho C-H (2022) Knot impingement after arthroscopic rotator cuff repair mimicking infection: a case report. *World J Clin Cases* 10:5097–5102. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v10.i15.5097>
37. Klatte-Schulz F, Thiele K, Scheibel M et al (2022) Subacromial bursa: a neglected tissue is gaining more and more attention in clinical and experimental research. *Cells*. <https://doi.org/10.3390/cells11040663>
38. Lapner P, Henry P, Athwal GS et al (2022) Treatment of rotator cuff tears: a systematic review and meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 31:e120–e129. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2021.11.002>
39. Lee GW, Kim JY, Lee HW et al (2022) Clinical and anatomical outcomes of arthroscopic repair of large rotator cuff tears with allograft patch augmentation: a prospective, single-blinded, randomized controlled trial with a long-term follow-up. *Clin Orthop Surg* 14:263–271. <https://doi.org/10.4055/cios21135>
40. Lohr JF, Uthoff HK (1990) The microvascular pattern of the supraspinatus tendon. *Clin Orthop Relat Res* 254:35–38
41. Lohr JF, Uthoff HK (2007) Epidemiology and pathophysiology of rotator cuff tears. *Orthopade* 36:788–795. <https://doi.org/10.1007/s00132-007-1146-8>
42. Longo UG, Risi Ambrogioni L, Berton A et al (2021) Conservative versus accelerated rehabilitation after rotator cuff repair: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord* 22:637. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04397-0>
43. Magee T (2009) 3-T MRI of the shoulder: is MR arthrography necessary? *AJR Am J Roentgenol* 192:86–92. <https://doi.org/10.2214/ajr.08.1097>
44. McCarron JA, Milks RA, Mesiha M et al (2012) Reinforced fascia patch limits cyclic gapping of rotator cuff repairs in a human cadaveric model. *J Shoulder Elbow Surg* 21:1680–1686. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2011.11.039>
45. Mehta VM, Mandala CL, Shriver RJ, Benson M (2020) Biomechanical effects of fiber patch augmentation on rotator cuff repairs. *Orthopedics* 43:42–45. <https://doi.org/10.3928/01477447-20191031-06>
46. Meyer DC, Wieser K, Farshad M, Gerber C (2012) Retraction of supraspinatus muscle and tendon as predictors of success of rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 40:2242–2247. <https://doi.org/10.1177/0363546512457587>
47. Milks RA, Kolmodin JD, Ricchetti ET et al (2018) Augmentation with a reinforced acellular fascia lata strip graft limits cyclic gapping of supraspinatus repairs in a human cadaveric model. *J Shoulder Elbow Surg* 27:1105–1111. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.12.016>
48. Millett PJ, Warth RJ, Dornan GJ et al (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. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2013.10.006>
49. Minagawa H, Yamamoto N, Abe H et al (2013) Prevalence of symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears in the general population: from mass-screening in one village. *J Orthop* 10:8–12. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2013.01.008>
50. Moor BK, Bouaicha S, Rothenfluh DA et al (2013) 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* 95-B:935–941. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.95B7.31028>
51. 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* 95:1249–1255. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.00185>
52. Muench LN, Kia C, Jerliu A et al (2020) Clinical outcomes following biologically enhanced patch augmentation repair as a salvage procedure for revision massive rotator cuff tears. *Arthroscopy* 36:1542–1551. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2020.02.006>
53. Mukovozov I, Byun S, Farrokhfar F, Wong I (2013) Time to surgery in acute rotator cuff tear: a systematic review. *Bone Joint Res* 2:122–128. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.27.2000164>
54. Neer CS (1972) Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg Am* 54:41–50
55. Nozaki T, Tasaki A, Horiuchi S et al (2015) Quantification of fatty degeneration within the supraspinatus muscle by using a 2-point Dixon method on 3-T MRI. *AJR Am J Roentgenol* 205:116–122. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13518>
56. Nyffeler RW, Werner CML, Sukthankar A et al (2006) Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 88:800–805. <https://doi.org/10.2106/JBJS.D.03042>
57. Pandey V, Madi S, Maddukuri S et al (2020) Does application of abduction brace after arthroscopic rotator cuff repair improve blood flow around posterosuperior rotator cuff and repair site, affecting pain levels and clinical and structural outcomes? A pilot randomized controlled trial. *JSES Int* 4:848–859. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2020.07.021>
58. Park MC, Cadet ER, Levine WN et al (2005) Tendon-to-bone pressure distributions at a repaired rotator cuff footprint using transosseous suture and suture anchor fixation techniques. *Am J Sports Med* 33:1154–1159. <https://doi.org/10.1177/0363546504273053>
59. Park MC, ElAttrache NS, Tibone JE et al (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. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2006.09.010>
60. Patel AH, Savoie FH, O'Brien MJ (2021) Current concepts and expert practice report: augmentation of rotator cuff repairs. *J Clin Orthop Trauma* 19:118–124. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.05.016>
61. Picavet HSJ, Schouten JS (2003) Musculoskeletal pain in the Netherlands: prevalences, consequences and risk groups, the DMC(3)-study. *Pain* 102:167–178. [https://doi.org/10.1016/s0304-3959\(02\)00372-x](https://doi.org/10.1016/s0304-3959(02)00372-x)
62. Piper CC, Hughes AJ, Ma Y et al (2018) Operative versus nonoperative treatment for the management of full-thickness rotator cuff tears: a systematic review and meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 27:572–576. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.09.032>
63. Ponugoti N, Raghu A, Colaco HB, Magill H (2022) A comparison of simple and complex single-row versus transosseous-equivalent double-row repair techniques for full-thickness rotator cuff tears: a systematic review and meta-analysis. *JSES Int* 6:70–78. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2021.09.007>
64. Quigley RJ, Gupta A, Oh J-H et al (2013) Biomechanical comparison of single-row, double-row, and transosseous-equivalent repair techniques after healing in an animal rotator cuff tear model. *J Orthop Res* 31:1254–1260. <https://doi.org/10.1002/jor.22363>
65. Rashid MS, Smith RDJ, Nagra N et al (2020) Rotator cuff repair with biological graft augmentation causes adverse tissue outcomes. *Acta Orthop* 91:782–788. <https://doi.org/10.1080/17453674.2020.1793613>
66. Rockwood CA, Lyons FR (1993) Shoulder impingement syndrome: diagnosis, radiographic evaluation, and treatment with a modified neer acromioplasty. *J Bone Joint Surg Am* 75:409–424
67. Roy J-S, Braën C, Leblond J et al (2015) 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 49:1316–1328. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094148>
68. Santago AC, Vidt ME, Tuohy CJ et al (2016) Quantitative analysis of three-dimensional distribution and clustering of Intramuscular fat in muscles of the rotator cuff. *Ann Biomed Eng* 44:2158–2167. <https://doi.org/10.1007/s10439-015-1488-z>
 69. Santoni BG, McGilvray KC, Lyons AS et al (2010) Biomechanical analysis of an ovine rotator cuff repair via porous patch augmentation in a chronic rupture model. *Am J Sports Med* 38:679–686. <https://doi.org/10.1177/0363546510366866>
 70. Schenk P, Bachmann E, Aichmair A et al (2021) Biomechanical and clinical evaluation of the optimal arm position after rotator cuff surgery with an adjustable abduction brace. *Orthopedics* 44:e1–e6. <https://doi.org/10.3928/01477447-20201210-01>
 71. Sheps DM, Silveira A, Beaupre L et al (2019) Early active motion versus sling immobilization after arthroscopic rotator cuff repair: a randomized controlled trial. *Arthroscopy* 35:749–760.e2. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.10.139>
 72. Shibayama Y, Hirose T, Sugi A et al (2022) Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging for partial tears of the long head of the biceps tendon in patients with rotator cuff tears. *JSES Int* 6:638–642. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2022.03.001>
 73. Storti TM, da Ribeiro TS, Faria RSS et al (2022) Arthroscopic repair of rotator cuff injury: an analysis of function, muscular strength and pain between single row and double row techniques. *Rev Bras Ortop* 57:472–479. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735943>
 74. Tashjian RZ, Farnham JM, Albright FS et al (2009) Evidence for an inherited predisposition contributing to the risk for rotator cuff disease. *J Bone Joint Surg Am* 91:1136–1142. <https://doi.org/10.2106/JBJS.H.00831>
 75. Teunis T, Lubberts B, Reilly BT, Ring D (2014) A systematic review and pooled analysis of the prevalence of rotator cuff disease with increasing age. *J Shoulder Elbow Surg* 23:1913–1921. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2014.08.001>
 76. Tirefort J, Schwitzguebel AJ, Collin P et al (2019) Postoperative mobilization after superior rotator cuff repair: sling versus no sling: a randomized prospective study. *J Bone Joint Surg Am* 101:494–503. <https://doi.org/10.2106/jbjs.18.00773>
 77. Viehöfer AF, Gerber C, Favre P et al (2016) A larger critical shoulder angle requires more rotator cuff activity to preserve joint stability. *J Orthop Res* 34:961–968. <https://doi.org/10.1002/jor.23104>
 78. Wellington IJ, Muench LN, Hawthorne BC et al (2022) Clinical outcomes following biologically enhanced demineralized bone matrix augmentation of complex rotator cuff repair. *J Clin Med* 11:2956. <https://doi.org/10.3390/jcm11112956>
 79. Werthel J-D, Boux de Casson F, Walch G et al (2022) Three-dimensional muscle loss assessment: a novel computed tomography-based quantitative method to evaluate rotator cuff muscle fatty infiltration. *J Shoulder Elbow Surg* 31:165–174. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2021.07.029>
 80. Wieser K, Rahm S, Farshad M et al (2013) Stitch positioning influences the suture hold in supraspinatus tendon repair. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21:1587–1592. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2103-6>
 81. Wirth B, Weinhold L, Müller-Rath R (2021) Surgical reconstruction of small and medium rotator cuff tears shows superior long-term results. *Obere*

Current aspects of treatment of rotator cuffs. Established and new options

Rotator cuff (RC) tears are among the most frequent musculoskeletal disorders and can be associated with severe pain and functional impairments. A variety of factors are etiologically relevant, including the individual anatomy of the acromion. Using the modern technological possibilities it has now been found that in addition to lateral extension the sagittal extension of the acromion also seems to play a role. Recent decades have also seen technological advances in imaging techniques of the RC. Magnetic resonance imaging and MR arthrography are now comprehensively used. The latter offers the highest sensitivity for the detection of even small partial tears. New sequences and postprocessing software can be used as helpful tools for surgical planning. In principle, the treatment of the RC is determined by the patient's symptoms, the etiology and morphology of the lesion and the anticipated tissue quality of the muscle-tendon continuum. The patient's overall profile, expectations, and rehabilitation possibilities are also important. Today's surgical techniques are strongly influenced by exciting technological advances in industry. As such, increasingly better suture anchor systems and also augmentation materials have come onto the market. The latter aim not only to mechanically strengthen the tendon reconstruction but also to optimize the biological properties of the construct. Regarding fixation, biomechanical research has shown that double row or suture bridge fixations are superior compared to single row or transosseous fixations. Although this superiority in the laboratory is not yet clearly reflected in clinical results, most surgeons have switched to this technique. As to postoperative follow-up treatment programs, it appears that the established course of immobilizing the shoulder in abduction has recently been put to the test as several randomized controlled trials have questioned the concept; however, it seems that the last word has not yet been spoken.

Keywords

Shoulder joint · Rotator cuff reconstruction · MR arthrography · Suture bridge · Augmentation

Extrem 16:298–301. <https://doi.org/10.1007/s11678-021-00663-8>

82. Yamamoto A, Takagishi K, Osawa T et al (2010) Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. *J Shoulder Elbow Surg* 19:116–120. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2009.04.006>
83. Zhang Q, Ge H, Zhou J et al (2013) Single-row or double-row fixation technique for full-thickness rotator cuff tears: a meta-analysis. *Plos One* 8:e68515. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068515>
84. Zumstein MA, Raniga S, Labrinidis A et al (2016) Optimal lateral row anchor positioning in posterior-superior transosseous equivalent rotator cuff repair: a micro-computed Tomography study. *Orthop J Sports Med* 4:2325967116671305. <https://doi.org/10.1177/2325967116671305>