

Aus dem
CharitéCentrum 09
Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
Klinik für Orthopädie und Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Ärztlicher Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Carsten Perka
Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Ulrich Stöckle

Habilitationsschrift

Neue Erkenntnisse in der Therapie von Verletzungen gelenkzentrierender Strukturen am Schultergelenk

zur Erlangung der Lehrbefähigung für das Fach
Experimentelle Orthopädie und Unfallchirurgie

vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät
Charité-Universitätsmedizin Berlin

von

Dr. med. univ. Fabian Plachel, PhD

geboren in München

Eingereicht:	März 2020
Dekan:	Prof. Dr. med. Axel R. Pries
1. Gutachter/in:	Prof. Dr. med. Sebastian Siebenlist
2. Gutachter/in:	Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Anatomie.....	1
1.1.1	Glenoid.....	1
1.1.2	Rotatorenmanschette.....	2
1.1.3	Funktionelle Anatomie.....	2
1.2	Verletzungen der gelenkzentrierenden Strukturen.....	4
1.2.1	Glenoidläsion.....	4
1.2.2	Rotatorenmanschettenläsion.....	6
1.3	Therapie von Verletzungen der gelenkzentrierenden Strukturen.....	8
1.3.1	Augmentation von knöchernen Glenoidrandläsionen.....	8
1.3.2	Rekonstruktion der Rotatorenmanschette.....	10
1.4	Ergebnisse, Risiken und Komplikationen.....	13
1.4.1	Glenoidaugmentation.....	13
1.4.2	Rotatorenmanschettenrekonstruktion.....	16
1.4.3	Zusammenfassung der Zielstellungen.....	18
2	Ergebnisse.....	19
2.1	Ergebnisse nach extra-anatomischem Korakoidtransfer beim älteren Patienten.....	19
2.2	Mittelfristige Ergebnisse nach Rekonstruktion der „Triple Dislocation Fracture“.....	27
2.3	Langzeitergebnisse nach offener J-Span-Plastik.....	36
2.4	Kurzzeitergebnisse nach arthroskopischer Beckenkammspanplastik.....	43
2.5	Mittelfristige Ergebnisse nach RM-Rekonstruktion beim älteren Patienten.....	50
2.6	Langzeitergebnisse nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion.....	57
2.7	Langzeitergebnisse nach offener Rekonstruktion der Subskapularissehne.....	64
3	Diskussion.....	71
3.1	Neue Aspekte in der Therapie von Glenoidranddefekten.....	71
3.2	Neue Erkenntnisse in der Therapie von Rotatorenmanschettenläsionen.....	73
4	Zusammenfassung.....	75
5	Literaturverzeichnis.....	77
6	Danksagung.....	87
7	Eidesstattliche Erklärung.....	89

Abkürzungen:

CS	Constant Score
CT	Computertomographie
DR	Double-Row (Doppelreihentechnik)
IA	Instabilitätsarthrose
ISP	Infraspinatussehne
LBS	Lange Bizepssehne
M.	Musculus
N.	Nervus
RM	Rotatorenmanschette
SR	Single-Row (Einzelreihentechnik)
SSC	Subscapularissehne
SSP	Supraspinatussehne
WORC	Western Ontario Rotator Cuff Index
WOSI	Western Ontario Shoulder Instability Index

1 Einleitung

1.1 Anatomie

Der Caput humeri (Humeruskopf) und die Cavitas glenoidalis (Glenoid) bilden zusammen das Glenohumeralgelenk, ein kraftschlüssiges und vor allem dynamisch stabilisiertes Kugelgelenk, welches das beweglichste Gelenk im menschlichen Körper repräsentiert. Diese Funktion ist nur durch ein koordiniertes Zusammenspiel mit dem gesamten Schultergürtel möglich¹.

1.1.1 Glenoid

Am Angulus lateralis der Skapula stellt sich das Glenoid als knöcherner, birnenförmiger Ausläufer dar. Die leicht konkave Oberfläche steht nahezu rechtwinklig zur Ebene der Skapula. Die durchschnittliche Version liegt in etwa zwischen 7° Retro- und 5° Anteversion². Die Gelenkfläche des Humeruskopfs (ca. 24cm²) ist ca. drei- bis viermal größer als die des Glenoids (ca. 6cm²). Das Glenoid ist mit hyalinem Knorpel belegt, welcher zentral dünner (ca. 1,3mm) ist und am Rand dicker (ca. 3,5mm) wird. Eine umgekehrte Proportion weist der hyaline Knorpel am Humeruskopf auf, mit einer Dicke von ca. 2mm zentral und 1mm peripher.

Zur Vergrößerung der Kontaktfläche wird das Glenoid vom Labrum glenoidale (Gelenkklippe) zirkulär umrandet. Die Dicke beträgt in etwa 3mm, wobei dieses ventral am kräftigsten ist. Somit trägt die Gelenkklippe 50% zur Gesamtkavität und 20% zur Gesamtstabilität bei³. Sie ist über ligamentäre Verwachsungen sowohl mit dem Glenoid als auch mit der Capsula articularis (Gelenkkapsel) unterschiedlich fest verwachsen. Die Gelenkkapsel umgibt das gesamte Glenohumeralgelenk und stellt sich als schlaaffe, geräumige Struktur dar. Sie entspringt an der Außenseite der Gelenkklippe und inseriert am Knochen-Knorpel-Übergang des Humeruskopfs. Mehrere sichtbare Bandstrukturen (Ligamentia glenohumeralia superius, medius, inferius) verstärken die Innenseite der Gelenkkapsel vor allem im anteroinferioren Bereich. Diese Strukturen zählen jeweils zu den passiven bzw. statischen Stabilisatoren des Glenohumeralgelenks. Der Hauptteil der Stabilisierung im Glenohumeralgelenk erfolgt dynamisch durch die aktive Muskulatur (v.a. Rotatorenmanschette (RM) und M. deltoideus).

1.1.2 Rotatorenmanschette

Die RM liegt außerhalb der Gelenkkapsel und wird durch die breiten Sehnen des M. subscapularis, M. supraspinatus, M. infraspinatus und M. teres minor gebildet. Diese verwachsen mit dem Ligamentum coracohumerale zu einer derben, gerundeten und nach unten offenen Sehnenplatte, die das Glenohumeralgelenk kranial, ventral und dorsal umhüllt. Diese kurzen Schulterrotatoren entspringen jeweils an der Skapula und inserieren am Humeruskopf (Tubercula majus und minus). Faseranteile der RM strahlen in die Gelenkkapsel ein. Die lange Sehne des M. biceps brachii (LBS) verläuft vom posterosuperioren Labrum zum Sulcus bicipitalis, zuerst intraartikulär und weiter distal extrasynovial.

Der Fornix humeri wird gebildet aus der Unterfläche des Akromions, dem Processus coracoideus (Korakoid) und dem dazwischen aufgespannten Ligamentum coracoacromiale und beschreibt eine kuppel- bzw. dachartige Struktur. Diese verhindert unter anderem die überschießende kraniale Migration des Humeruskopfs. Die LBS wirkt zusätzlich als Depressor des Humeruskopfs. Zwischen dem Fornix humeri und der RM liegt der subakromiale Raum, in welchem die Bursae subacromialis und subdeltoidea für ein reibungsfreies Gleiten sorgen. Bis auf den M. teres minor, welcher vom N. axillaris versorgt wird, werden die weiteren Muskeln durch die dorsalen Äste (Nervi suprascapularis und subscapularis) der Pars suprascapularis des Plexus brachialis innerviert.

1.1.3 Funktionelle Anatomie

Das Schultergelenk ist als eine Gelenkkette zu verstehen, an welcher das Glenohumeralgelenk, die Schultergürtelgelenke (Articulatio acromio- und sternoclavicularis), das skapulothorakale Gleitlager und das subakromiale Nebengelenk involviert sind. Aufgrund der Inkongruenz der Gelenkflächen von Humeruskopf und Glenoid wird das Glenohumeralgelenk als kraftschlüssiges Kugelgelenk bezeichnet, welches auf eine neuromuskuläre Führung angewiesen ist, um den Anforderungen an Beweglichkeit und Stabilität gerecht zu werden. Das Flächenmissverhältnis zwischen Humeruskopf und Glenoid resultiert in einer Migration des Humeruskopfs während der aktiven Armbewegung. Bei der Abduktion beträgt so die kraniokaudale Translation in etwa 0,3mm und 7,0mm in ventrodorsaler Richtung⁴. Dieser Roll- und Gleitmechanismus wird durch die Funktionalität der statischen und dynamischen Stabilisatoren begrenzt. Die Funktion der RM ist vielfältig und ist vor allem von der Ausgangsstellung des Glenohumeralgelenks abhängig. Je nach Position kann ein und derselbe Muskel entgegengesetzte Bewegungen ausführen. Im Wesentlichen drückt die RM

den konvexen Humeruskopf in das konkave Glenoid (Konkavität-Kompressionsmechanismus) (Abbildung 1). Der entsprechende Kraftvektor geht durch den Mittelpunkt des Glenoids. Als Voraussetzung hierfür gilt ein funktionierendes horizontales (bestehend aus dem M. subscapularis und dem M. infraspinatus bzw. M. teres minor) und vertikales (bestehend aus dem M. supraspinatus und M. deltoideus) Kräftepaar⁵. Aufgrund dieses komplexen Zusammenspiels der einzelnen Komponenten erscheint es naheliegend, dass es bei minimaler Störung einer dieser Faktoren zu einer gravierenden Veränderung der Kinematik im Glenohumeralgelenk kommen kann.

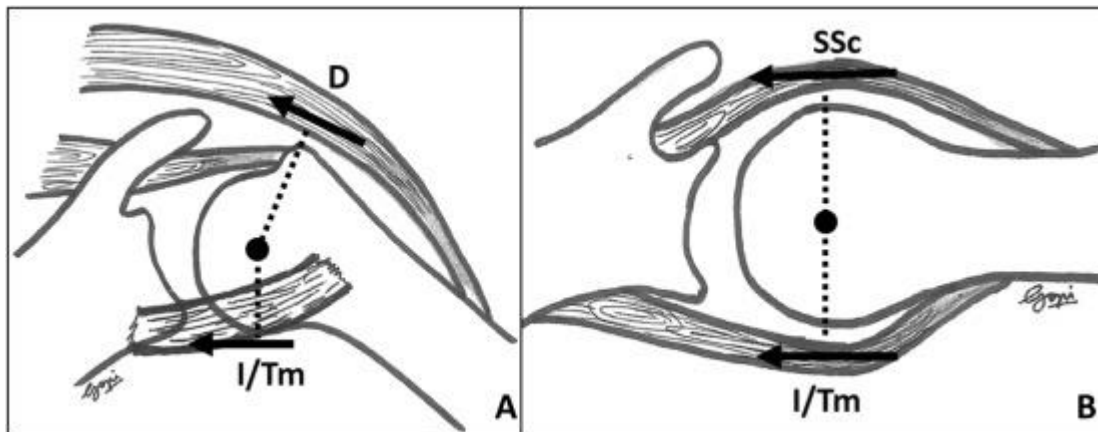


Abbildung 1: Die Rotatorenmanschette zentriert als dynamischer Stabilisator den Humeruskopf im Glenoid: (A) vertikales Kräftepaar, (B) horizontales Kräftepaar. D = M. deltoideus, I = M. infraspinatus, Tm = M. teres minor, SSc = M. subscapularis. (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Elsevier: aus⁶)

1.2 Verletzungen der gelenkzentrierenden Strukturen

1.2.1 Glenoidläsion

Das Glenohumeralgelenk ist das am häufigsten luxierte Gelenk. Die Prävalenz der primär-traumatischen Schulterluxation liegt bei ca. 2% und die jährliche Inzidenz bei ca. 45/100.000 Personen pro Jahr (Abbildung 2)^{7,8}. Zahlreiche Kohortenstudien zeigen, dass vor allem Männer zwischen 17 und 22 Jahren davon betroffen sind. Als auslösendes Ereignis werden in diesem Kollektiv vor allem Unfälle bei Kontakt- und Risikosportarten (Hochrasanztrauma) angegeben. Ein weiterer Peak der Inzidenzrate ist ab dem 50. Lebensjahr zu beobachten, wobei in diesem Kollektiv häufig Niedrigrasanztraumata ursächlich für eine glenohumerale Luxation sind.

In etwa 95% der Fälle kommt es zu einer anterioren Luxation. Diese geht fast immer mit einer Verletzung des Kapsel-Labrum-Komplexes einher (z.B. Bankart-Läsion)⁹⁻¹¹. Als pathognomonisch wird außerdem eine Impressionsfraktur am dorsalen Humeruskopf (Hill-Sachs-Läsion) gesehen¹². Durch die fehlende bzw. fehlerhafte Einheilung des Kapsel-Labrum-Komplexes verliert das Glenoid seine stabilisierende Wirkung, was eine chronische Schulterinstabilität mit rezidivierenden Luxationen zur Folge hat¹³. Junge Patienten sind hiervon sehr häufig betroffen. Rezidivraten zwischen 80% und 96% innerhalb der ersten zwei Jahre nach konservativer Therapie werden angeführt¹⁴⁻¹⁶. Neben dem Patientenalter gilt der knöcherne Glenoiddefekt als wichtigster Risikofaktor für das Auftreten einer rezidivierenden Schulterinstabilität¹⁷.

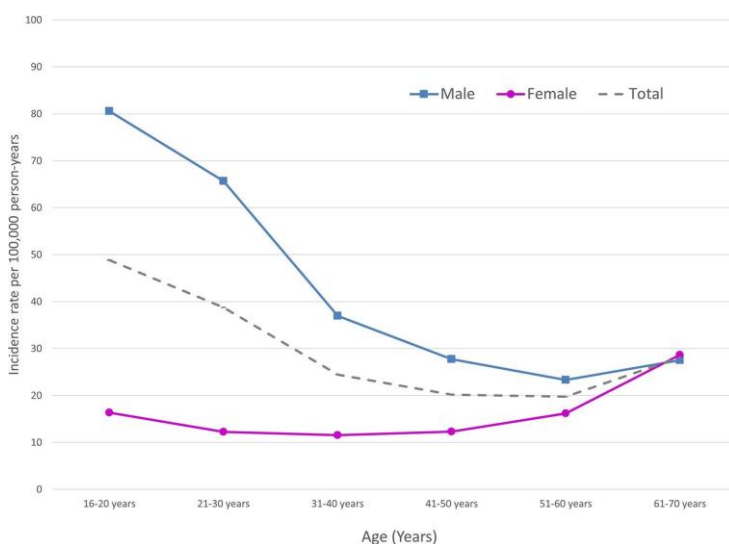


Abbildung 2: Alters- und geschlechtsabhängige Inzidenz der primären anterioren Schulterluxation. (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von BMJ Publishing Group Ltd.: aus ⁷)

Knöcherne Verletzungen am Glenoid bzw. Humeruskopf sind nach primärer Schulterluxation bzw. chronischer Schulterinstabilität häufig. In radiologischen Untersuchungen wurde eine knöcherne Glenoidrandläsion in 41% bzw. 86% festgestellt¹⁸. Anhand der Ausprägung der knöchernen Veränderung werden vor allem 2 Defekttypen unterschieden: (1) der Frakturtyp, bei dem das akut abgesprengte Fragment noch vorhanden ist und (2) der Erosionstyp, bei dem das Fragment aufgrund Resorption fehlt¹⁹. In einer Referenzarbeit von Burkhart und Kollegen konnte 2000 gezeigt werden, dass zur Behandlung einer posttraumatischen Schulterinstabilität mit signifikantem glenoidalen Knochendefekt (sog. „inverted pear form“; kaudal schlanke und kranial breitere Glenoidform) eine isolierte Weichteilrekonstruktion (sog. „Bankart-Repair“) nicht zu einer ausreichenden Stabilität im Glenohumeralgelenk führte²⁰, wodurch der hohe Stellenwert der Defektsituation am ventralen Glenoidrand untermauert wurde. In biomechanischen Folgearbeiten wurde der kritische knöcherne Glenoiddefekt auf 21% festgelegt²¹. Jedoch wurde dieser Wert in den folgenden Jahren immer weiter nach unten korrigiert, da zum einen das Risiko einer Rezidivinstabilität als patientenspezifisch und multifaktoriell anzusehen ist^{22,23} und zum anderen verschiedene zweidimensionale Messmethoden zu unterschiedlichsten Messwerten führten (Abbildung 3)^{24,25}. Eine Computertomographie (CT) zählt heutzutage als Mittel der Wahl zur Beurteilung der ossären Gelenkpartner, insbesondere zur Qualifizierung der Glenoidmorphologie bzw. Quantifizierung des glenoidalen Defekts²⁶.

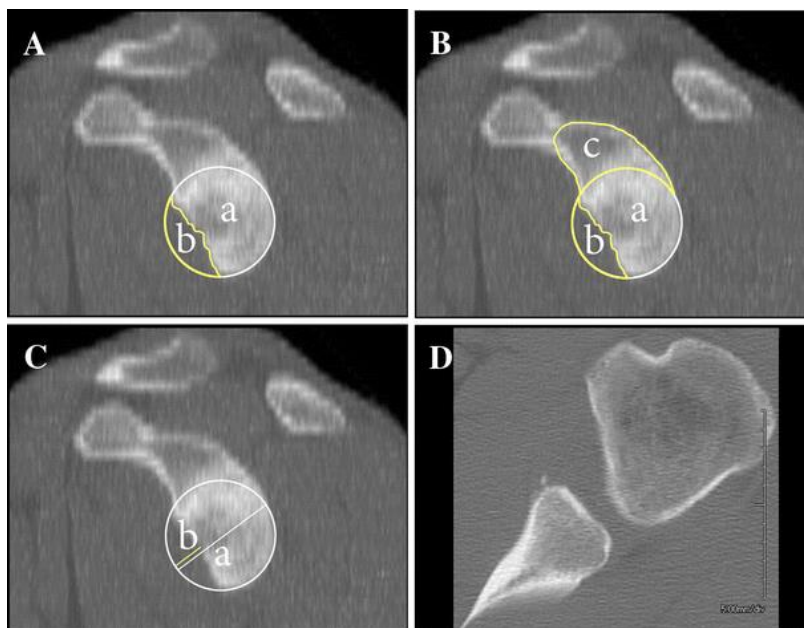


Abbildung 3: (A-C) Techniken zur Bestimmung der knöchernen Glenoidrandläsion. Der Kreis (weiße Linie) wird auf die äußerste knöcherne Berandung referenziert. Hieraus resultieren unterschiedliche Messwerte für die Defektfläche, (D) Korrespondierendes axiales Bild. (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature: aus ²⁷)

Neben den o.g. Verletzungen der statischen Stabilisatoren stellt die ossäre Avulsion bzw. intertendinöse Läsion der RM eine vergleichsweise seltene Entität dar^{28,29}. Letztere ist vor allem bei älteren Patienten über 40 Jahre zum Zeitpunkt der primären Schulterluxation zu finden²⁹.

1.2.2 Rotatorenmanschettenläsion

Sehnen, die ständigen Belastungen ausgesetzt sind, zeigen eine erhöhte Anfälligkeit für degenerative Veränderungen. Die RM hat zur Aufgabe, das Glenohumeralgelenk aktiv zu stabilisieren und so ist die Integrität der Muskel-Sehnen-Knochen Einheit Voraussetzung für eine physiologische Schulterkinematik. Schon eine geringe Störung innerhalb dieses Systems führt zu erheblichen Funktionseinbußen.

Eine Läsion der RM gilt als eine der häufigsten Ursachen für Schulterschmerz, Bewegungseinschränkung und Kraftverlust³⁰. Epidemiologische Arbeiten haben gezeigt, dass die RM-Ruptur ein mit dem Alter vergesellschaftetes Leiden ist. Die Prävalenz der RM-Ruptur steigt mit dem 50. Lebensjahr markant an (Abbildung 4)^{31,32}.

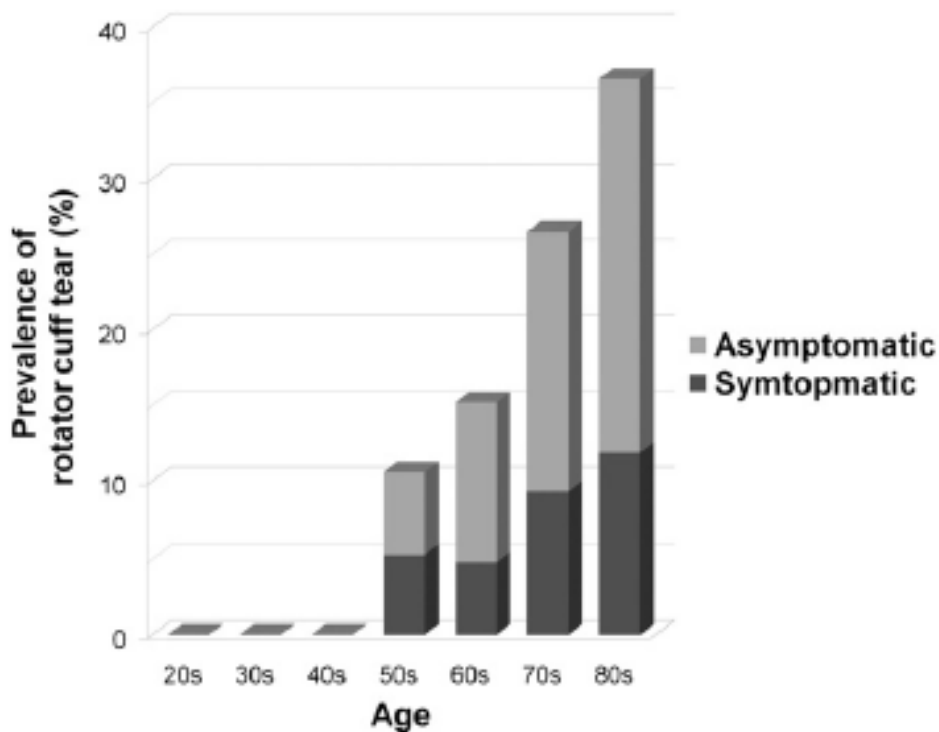


Abbildung 4: Prävalenz der Rotatorenmanschettenruptur in Abhängigkeit der Lebensdekade. (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Elsevier: aus ³²)

Dies ist ein Hinweis dafür, dass der natürliche Alterungsprozess der Sehne eine entscheidende Rolle in der Ätiopathogenese der RM-Ruptur spielt³³. Basierend auf klinischen und experimentellen Daten folgen auf eine Mikrozerstörung der Sehnenfasern entzündliche (z.B. Überexpression von Zytokinen) und degenerative (z.B. Ausdünnung und Desorientierung der Kollagenfasern) Veränderungen der normalen Sehnenstruktur mit konsekutiver Neoangiogenese und Abbau der extrazellulären Matrix (sog. Tendinopathie)³⁴. Die aktuelle Literatur liefert außerdem ausreichend Evidenz dafür, dass zusätzlich extrinsische Faktoren ein prädisponierendes Kriterium für das Auftreten einer RM-Ruptur darstellen^{33,35}. Neer et al. führten 95% der RM-Rupturen auf verschleißbedingte Prozesse (s.g. Impingement-Syndrom) zurück³⁶. Um Erkenntnisse über die Ätiopathogenese der degenerativen RM-Ruptur zu gewinnen, wurde im Rahmen einer multizentrischen Studie der Einfluss von relevanten Risikofaktoren evaluiert. Es konnte gezeigt werden, dass eine laterale Ausdehnung des Akromions primär ein Impingement-Syndrom bedingt und im Alter ein prädisponierender Faktor für das Auftreten einer RM-Ruptur ist³⁷. Zusammenfassend resultiert aus der Kombination von alterungs- und verschleißbedingten Prozessen ein lokaler Elastizitätsverlust und in Folge eine Schwächung der Muskel-Sehnen-Einheit, was letztendlich bei wiederholter Beanspruchung ohne adäquates Trauma zum Bild der degenerativen RM-Ruptur führt³⁵. Hingegen sind isolierte Läsionen der Subscapularissehne (SSC) zu 70% auf ein adäquates Trauma zurückzuführen³⁸. So führt u.a. die Schulterluxation je nach Alter in 14% bis 71% der Fälle zu einer RM-Ruptur³⁹.

Eine suffiziente Diagnostik, Prävention und Therapie sind in Hinsicht auf die demographische Entwicklung unserer Gesellschaft (v.a. steigende Lebenserwartung) und aus Gründen der Patientenzufriedenheit und Lebensqualität unabdingbar.

1.3 Therapie von Verletzungen der gelenkzentrierenden Strukturen

1.3.1 Augmentation von knöchernen Glenoidrandläsionen

Die chronische Schulterinstabilität mit Substanzverlust am Glenoidrand erfordert eine spezielle therapeutische Herangehensweise. In Fällen mit signifikantem Glenoiddefekt ist eine knöcherne Augmentation indiziert. Historisch gesehen stellt der extra-anatomische Korakoidtransfer den Goldstandard dar. Die klassische Methode wurde erstmalig 1954 beschrieben und nach seinem Erstbeschreiber Michél Latarjet benannt⁴⁰. Im Zentrum dieser Technik steht der simultane Transfer des Korakoids zusammen mit den dort entspringenden Sehnen des M. coracobrachialis und des M. biceps brachii (die sog. „Conjoint-Tendon“). Das Korakoid wird nach entsprechender Osteotomie auf Defekthöhe am anterioren Glenoidrand platziert und mit zwei Schrauben fixiert. Dieses Verfahren erfüllt zwei wesentliche Punkte: zum einen wird der knöcherne Glenoiddefekt ausgeglichen und zum anderen bildet die nach lateral und kaudal ziehende „Conjoint-Tendon“ einen Hängematteneffekt (sog. „Sling-Effekt“), welcher sekundär bei Überkopfbewegungen als zusätzlicher Schutzmechanismus dient⁴¹.

Seit den 1950er Jahren wurde dieses Verfahren mehrfach modifiziert und ist heute auch in minimal-invasiver Technik durchführbar, welches o.g. Vorteile mit jenen der arthroskopischen Chirurgie (u.a. reduzierte Narbenbildung, Infektionsrate und Schmerzsymptomatik) vereint⁴². Demgegenüber stehen eine flache Lernkurve und eine hohe Komplikationsrate von bis zu 30% (u.a. neurologische Läsion, Schraubenlockerung, Fehlverheilung, sekundäre Omarthrose)⁴³, sodass dieses Verfahren erfahrenen Schulterspezialisten vorbehalten sein sollte. Zusätzlich ist die resultierende Veränderung der Anatomie im Hinblick auf eine mögliche Revision negativ hervorzuheben. Ungeachtet dieser Faktoren zeigt sich eine geringe Relaxationsrate und eine Patientenzufriedenheit von bis zu 98%, womit der Korakoidtransfer ein effizientes Verfahren zur Wiederherstellung des Glenoids darstellt⁴⁴.

Anatomische Augmentationsverfahren stehen den extra-anatomischen Verfahren gegenüber⁴⁵. Diese bedienen sich in der Regel eines autologen Knochenblocks, ohne dadurch die Anatomie des Schultergürtels grundlegend zu verändern. Eine Besonderheit stellt die implantatfreie J-Span-Plastik nach Resch dar⁴⁶. Mit dieser Technik kann vollständig auf Fremdmaterial verzichtet werden. Stattdessen wird ein bikortikaler Beckenkammspan mittels Osteotomie am Collum scapulae in einer „Press-Fit“ Technik fixiert (Abbildung 5). In biomechanischen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass es sowohl nach Augmentation mittels

Korakoidtransfer als auch mittels Beckenkammspan zu einer Normalisierung des glenoidalen Kontaktdrucks kommt^{47,48}.

Analog zur Modifikation der arthroskopischen extra-anatomischen Rekonstruktion wurde 2012 erstmalig eine minimal-invasive Variante der J-Span-Plastik beschrieben⁴⁹. Aufgrund fehlender klinischer Studien ist nicht abschließend geklärt, ob durch die minimal-invasive Technik ein vergleichbares Ergebnis wie nach offenen Verfahren zu erwarten ist.

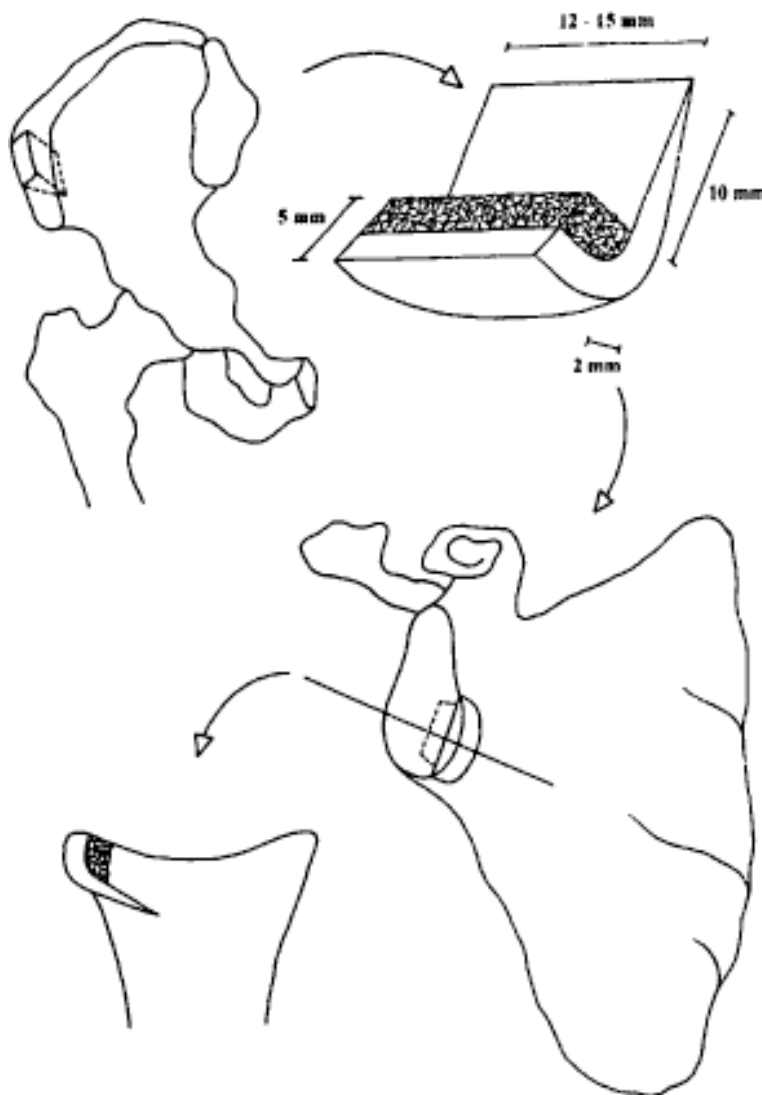


Abbildung 5: Operationstechnik der implantatfreien J-Span-Plastik nach Resch mit Verwendung eines autogenen Beckenkammspanns (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von SAGE Publications: aus ⁴⁶)

Die Knochenblockpositionierung bzw. die relative Position zur Gelenkfläche ist unabhängig der bevorzugten Methodik von besonderer Bedeutung, da nicht-belastete Anteile mit der Zeit resorbiert werden. Moroder und

Kollegen haben den Prozess der physiologischen Remodellierung nach Knochenaugmentation mittels Beckenkammspan beschrieben⁵⁰. Während eine zu mediale Fixation des Knochenblocks in einer rezidivierenden Instabilität resultiert, begünstigt eine zu laterale Platzierung am Skapulahals eine iatrogene Arthroseprogression^{47,51,52}. In einer eigenen Untersuchung konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen dem offenen und dem arthroskopischen Verfahren in Bezug auf die Positionierung des Knochenblocks festgestellt werden⁵³.

In allen Fällen ist eine individuelle Therapieplanung zur Wiedererlangung eines funktionsfähigen Glenohumeralgelenks essenziell. Hierfür ist das Verständnis der zugrundeliegenden Pathologie von höchster Bedeutung, um im Folgenden etablierte bzw. neuartige Therapiemöglichkeiten gezielt anwenden zu können.

1.3.2 Rekonstruktion der Rotatorenmanschette

Während degenerative RM-Läsionen mit langsamem Beginn bei inaktiven, multimorbiden Patienten einem konservativen Therapieversuch zugeführt werden können, ist die operative Sehnenrekonstruktion von akuten (z.B. nach traumatischer Schulterluxation) oder therapierefraktären chronischen RM-Rupturen bei aktiven Patienten mit hohem Funktionsanspruch indiziert.

Nach Yamaguchi und Kollegen berichten über 50% der konservativ behandelnden Patienten persistierende Beschwerden im betroffenen Schultergelenk⁵⁴. Zusätzlich ist häufig eine signifikante Rupturprogredienz mit simultaner Muskeldegeneration innerhalb der ersten Jahre zu beobachten^{55,56}. In einer prospektiven Langzeitstudie wurde ein signifikanter Unterschied im klinischen Ergebnis zu Gunsten der operativen Versorgung im Vergleich zur konservativen Therapie gezeigt⁵⁷. In nahezu einem Drittel der primär konservativ behandelnden Patienten musste eine sekundäre Rekonstruktion durchgeführt werden, was jedoch in einer signifikant schlechteren Schulterfunktion verglichen mit der primären Versorgung mündete. Eine individuelle patienten- und pathologiespezifische Beurteilung erscheint unabdingbar für die Wahl eines adäquaten Therapieregimes⁵⁸.

Die operative Versorgung von symptomatischen RM-Rupturen hat sich im letzten Jahrzehnt sichtbar weiterentwickelt. Durch Innovationen in der Instrumentaltechnologie und Operationstechnik hat das arthroskopische Verfahren die offene Chirurgie zunehmend abgelöst und gilt heute als Goldstandard

(Abbildung 6)⁵⁹. Zeitgleich wurden auch die Fixationstechniken zunehmend modifiziert, obwohl die Anforderungen ident blieben⁶⁰.

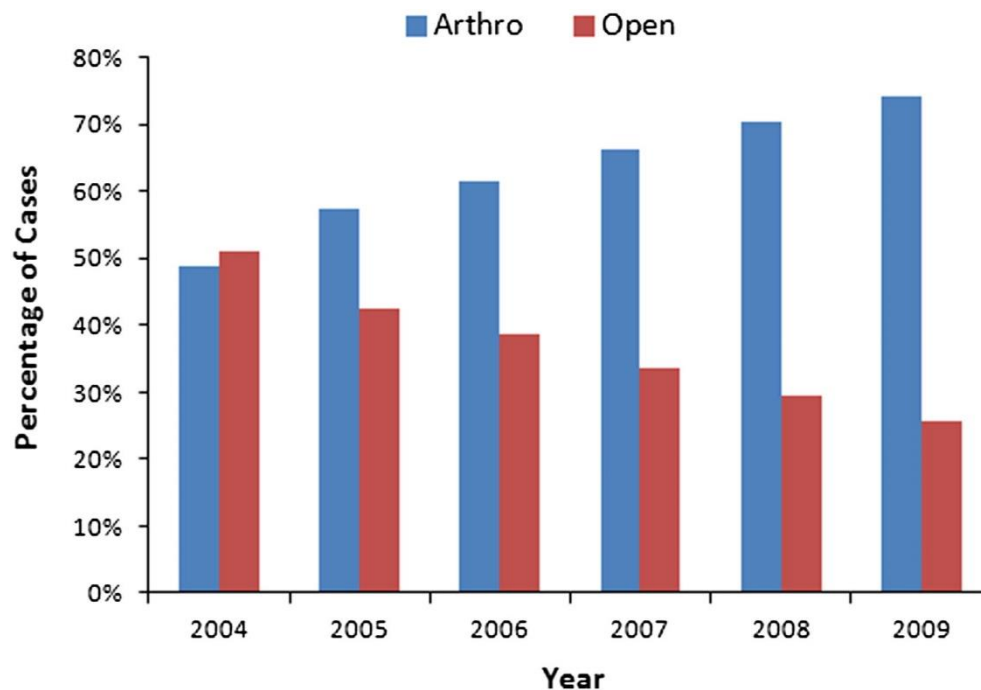


Abbildung 6: Wandel der Operationstechniken zur Rekonstruktion der Rotatorenmanschette seit Anfang des 20. Jahrhunderts (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Elsevier: aus ⁵⁹)

Die transossäre Sehnenfixation war in der offenen Chirurgie die am häufigsten angewandte Technik, welche mittlerweile durch komplexere bzw. stabilere Nahtkonfigurationen ersetzt wurde. Zu diesen zählen nicht-verblockende und selbst-verblockende Techniken. Durch letztere können noch einmal höhere Widerstandskräfte erzielt werden⁶¹. Als wesentliche Weiterentwicklung der arthroskopischen Chirurgie gilt jedoch die fadenankerbasierte Doppelreihentechnik (engl. double-row, DR), welche der Einzelreihentechnik (engl. single-row, SR) gegenübersteht^{62,63}. Als biologische bzw. biomechanische Vorteile der DR wurden die vollständige Abdeckung der Kontaktfläche zwischen Sehne und Knochen (sog. Footprint) und höhere Ausreißkräfte beschrieben⁶⁴. Jedoch konnte in einer klinischen Vergleichsstudie kein Unterschied im Hinblick auf die Schulterfunktion bzw. Versagensrate im Kurzzeitverlauf gefunden werden⁶⁵. Eine rezente Übersichtsarbeit beschreibt kurzfristig eine durchschnittliche Re-Rupturrate von ca. 25%, unabhängig der angewandten Technik⁶⁶.

Nach heutigem Kenntnisstand gibt es wesentliche Faktoren für eine erfolgreiche Rekonstruktion (Abbildung 7). So zählen vor allem verschiedene radiologische Parameter wie die Rupturgröße, die Sehnenretraktion

und die Muskelverfettung bzw. -atrophie als negative Prädiktoren⁶⁷⁻⁶⁹. Das Patientenalter als Einflussfaktor wird bis dato kontrovers diskutiert^{66,70}. Während die Integrität der Rotatorenmanschette im Kurzzeitverlauf keinen Einfluss auf das klinische Ergebnis zu haben scheint, wurde in ersten Langzeitstudien ein positiver Effekt der erfolgreichen Naht auf die Schulterfunktion beschrieben⁷¹.

Obwohl eine Läsion der Supraspinatussehne (SSP) am häufigsten beobachtet wird, bedarf die isolierte oder kombinierte Ruptur der SSC eine differenzierte Betrachtungsweise⁷². Als kräftigster Muskel der RM trägt der M. subscapularis wesentlich zur humeralen Zentrierung und dadurch zur glenohumeralen Stabilität bzw. Funktionalität bei⁷³. Aufgrund der Tendenz des M. subscapularis zur rapiden Degeneration bzw. schnelleren Retraktion der Sehne ist eine zeitnahe Versorgung hochgradiger Komplett rupturen indiziert. Während auch hier zunehmend arthroskopische Modifikationen beschrieben werden⁷⁴, gilt die offene Rekonstruktion aufgrund der besseren Visualisierung der kaudalen muskulotendinösen Anteile als Goldstandard mit guten Ergebnissen⁷⁵.

Eine präzise und individuelle Einschätzung der zugrundeliegenden Rupturmorphologie und patientenspezifischer Faktoren ist unabdingbar, um eine adäquate Therapie passgenau auszuwählen. Es gilt abzuwarten, ob potenzielle pathologie- bzw. therapieassoziierte Risiken und Komplikationen (u.a. Re-Ruptur oder sekundäre Omarthrose) durch biologische und biomechanische Verbesserungen der Rekonstruktionstechniken minimiert werden können.

1.4 Ergebnisse, Risiken und Komplikationen

1.4.1 Glenoidaugmentation

Wie in Kapitel 1.3.1 beschrieben, stehen verschiedene Methoden zur Behandlung der posttraumatischen Schulterinstabilität mit knöchernem Glenoidranddefekt zur Verfügung. Das Verfahren nach Bristow-Latarjet ist das gängigste extra-anatomische Verfahren und dementsprechend groß ist die aktuelle Datenlage. In einem rezenten Artikel wurden die klinischen kurz- bis mittelfristigen Ergebnisse, Risiken und Komplikationen detailliert beschrieben⁷⁶. Die klinischen Ergebnisse, gemessen an unterschiedlichen Funktionsscores, waren durchgängig zufriedenstellend mit nahezu seitengleicher Schulterfunktion. Nichtsdestotrotz wurde in allen Fällen ein postoperatives Rotationsdefizit beobachtet. Die mittlere Komplikationsrate lag bei 15%⁷⁶. Neben der postoperativen Infektion, Schultersteife oder Nervenläsion berichteten die Autoren vor allem von fremdmaterial-assoziierten Komplikationen, wie der Schraubenlockerung, -migration oder -bruch. Eine Rezidivinstabilität wurde in 8% (zwischen 0% und 19%) beobachtet und lag somit deutlich unter der Rate nach alleiniger Weichteilstabilisierung (23%). Ein hohes Patientenalter und strukturelle Begleittläsionen zählen als negative Prädiktoren für das postoperative Ergebnis^{77,78}. In Anbetracht der Relevanz und aufgrund der fehlenden Datenlage wurden die **Arbeiten 1 und 2** konzeptioniert, um die Zusammenhänge zwischen eben genannten Risikofaktoren und den mittelfristigen klinischen Ergebnissen nach operativer Rekonstruktion von Begleitverletzungen nach traumatischer anteriorer Schulterluxation zu evaluieren:

- ❖ Hat das Patientenalter bzw. die glenohumerale Begleitverletzung einen Einfluss auf das mittelfristige Ergebnis nach extra-anatomischem Korakoidtransfer?
- ❖ Wirken sich Begleitverletzungen am Schultergelenk nach traumatischer Schulterluxation auf das Ergebnis nach operativer Versorgung aus?

Als zusätzliches Risiko nach Schulterluxation gilt die Entstehung der sekundären Instabilitätsarthrose (IA), deren Pathogenese bis heute kontrovers diskutiert wird. Während Rosenberg et al. die Operation mit der Arthroseprogression direkt assoziierten⁷⁹, konnten Hovelius und Kollegen zeigen, dass diese vielmehr von patienten- bzw. pathologiespezifischen Faktoren abhängt⁸⁰. Die IA erscheint unabhängig von der Wahl der operativen Technik zu entstehen bzw. fortzuschreiten, welche nach Wiederherstellung der Anatomie bzw. der physiologischen Kinematik lediglich zu minimieren ist (Tabelle 1).

Tabelle 1: Der kollektive Instabilitätsarthrose Index (engl. CIA⁸¹) im Langzeitverlauf nach Stabilitätsoperation.

Therapie	Autor	Ø f/u (Jahre)	n	CIA-Index
konservativ	Hovellius ⁸²	25	161	0,96
Ø		25	161	0,96
Bankart, offen	Berendes ⁸³	21	39	0,67
	Neviaser ⁸⁴	17	91	0,57
	Moroder ⁸¹	23	40	0,92
	Pelet ⁸⁵	29	25	1,27
	Hovellius ⁸⁰	18	26	0,69
Ø		22	44	0,82
Bankart, ASK	Bock ⁸⁶	9	21	0,73
	Zaffagnini ⁸⁷	14	49	0,53
	Kavaja ⁸⁸	13	74	0,82
	Privitera ⁸⁹	14	20	1,35
	Castagna ⁹⁰	11	31	0,59
Ø		12	39	0,80
Bristow-Latarjet	De Léscalopier ⁹¹	16	20	0,20
	Gordins ⁹²	33	31	1,06
	Mizuno ⁹³	20	68	0,53
	Lädemann ⁹⁴	16	110	0,45
	Singer ⁴³	21	14	1,20
Ø		21	49	0,69
J-Span-Plastik	Auffarth ⁴⁶	46	8	0,60
Ø		46	8	0,60

f/u = Follow-up; n= Patientenzahl, CIA = kollektiver Instabilitätsarthrose Index

Als Alternative zu den extra-anatomischen Verfahren wurde vor einigen Jahren die in Österreich schon seit 1988 durchgeführte knöcherne Augmentation mittels J-Span-vorgelegt (siehe Kapitel 1.3.1). Diese Technik unterscheidet sich vor allem durch den Verzicht auf Fremdmaterial. In einer rezenten Level-1-Studie wurden die beiden Techniken direkt miteinander verglichen⁹⁵. Es wurde kein signifikanter Unterschied im Kurzzeitverlauf bezüglich der Schulterfunktion inklusive Armkraft festgestellt. Nach Korakoidtransfer zeigte sich lediglich ein Innenrotationsdefizit verglichen mit dem anatomischen Augmentationsverfahren. Die Rezidivrate lag nach Korakoidtransfer bei 3,3% und nach J-Span-Plastik bei 6,6%. Bei ähnlicher

Komplikationsrate zeigte sich ein wesentlicher Unterschied im Komplikationsspektrum. Anstatt der implantatassoziierten Komplikationen (Pseudarthrose, 3,3%; Schraubenfehllage, 3,3%) nach Korakoidtransfer wurde die Entnahmemorbidity am Beckenkamm (26,7%) nach J-Span-Plastik beschrieben. Auch im mittelfristigen Verlauf zeigten sich nach offener Beckenkammspannung gleichbleibend gute klinische Ergebnisse. In fast allen Fällen waren die Beschwerden im Bereich der Entnahmestelle vollkommen regredient, während die Arthroseprogression weiter zu beobachten war (Tabelle 1)⁴⁶.

Aufgrund fehlender Langzeitergebnisse nach offener J-Span-Plastik war kein abschließender Vergleich mit den o.g. Verfahren möglich, um potenzielle Vorteile in Bezug auf das klinische Ergebnis bzw. Risiken und Komplikationen zu identifizieren. Aus diesem Grund wurden in der **Arbeit 3** folgende Fragestellung untersucht:

- ❖ Wie verhält sich das klinische und radiologische Ergebnis nach offener J-Span Plastik im Langzeitverlauf?
- ❖ Kommt es im Langzeitverlauf zu einer Progression der Instabilitätsarthrose?

Wenngleich die offenen Verfahren zur Stabilisierung des Glenohumeralgelenks vielerorts noch immer den Goldstandard darstellen, hat die minimal-invasive Chirurgie grundsätzlich entscheidende Vorteile. Wie in Kapitel 1.1.2 trägt die Rotatorenmanschette wesentlich zur glenohumeralen Stabilität bei. Durch die Schonung der Kontinuität und vor allem der Qualität des M. subscapularis behält der Muskel seine zentrale Rolle für die dynamische Stabilisierung bei⁹⁶. Zusätzlich bietet die Arthroskopie eine bessere intraartikuläre Übersicht, um etwaige Begleitpathologien (u.a. RM-Läsion) zu diagnostizieren. Erste Studien zeigen, dass nach arthroskopischem Korakoidtransfer ähnliche Kurzzeitergebnisse und -komplikaionen (11,9% vs. 13,8%) verglichen mit dem offenen Verfahren zu erwarten sind⁹⁷. Bis dato konnte noch nicht geklärt werden, ob sich durch die minimal-invasiven Modifikationen oben beschriebene Langzeitriskien minimieren lassen. Nach Anderl et al. stellt die arthroskopische J-Span-Plastik ein valides und reliables Verfahren dar⁴⁹. Mit der **Arbeit 4** wurde folgende Fragestellung behandelt:

- ❖ Ist durch die arthroskopische J-Span Plastik eine Wiederherstellung der glenohumeralen Stabilität bzw. Funktionalität im Kurzzeitverlauf möglich?

1.4.2 Rotatorenmanschettenrekonstruktion

Das Kapitel 1.3.2 erläutert den Wandel in Bezug auf die operative Therapie von symptomatischen RM-Rupturen. Nach McElvany und Kollegen hatte jedoch der technische Wandel anfänglich keinen signifikanten Einfluss auf das klinische und radiologische Kurzzeitergebnis⁶⁶. Obwohl sich die Schulterfunktion postoperativ verbesserte, zeigte sich eine Rezidivrate von durchschnittlich 27%. Die strukturelle Desintegrität der RM war unabhängig der angewandten Operations- (offen versus arthroskopisch) bzw. Fixationstechnik (transossäre Naht versus SR- und DR-Rekonstruktion). Das Nicht-Einheilen der betroffenen Sehne wird auch heute noch als die relevanteste Komplikation nach RM-Rekonstruktion angesehen. Als Risikofaktoren werden vor allem die Rupturgröße, die Muskeldegeneration und das hohe Patientenalter genannt^{58,98}. Daraus resultierte über einen langen Zeitraum eine strenge Patientenselektion. Mittlerweile konnte jedoch gezeigt werden, dass die intrinsische Sehnedegeneration von bestehenden glenohumeralen Läsionen und einem niedrigen Aktivitätslevel und nicht alleinig vom Patientenalter abhängt³⁵. Während Robinson et al. in einem Patientenkollektiv über 70 Jahre zum Zeitpunkt der RM-Rekonstruktion eine signifikante postoperative Verbesserung der Schulterfunktion im Kurzzeitverlauf feststellen konnten⁹⁹, galt es mittelfristige Ergebnisse abzuwarten. Aufgrund der demographischen Entwicklung unserer Gesellschaft mit stetig steigender Lebenserwartung lautet die fundamentale Fragestellung der **Arbeit 5**:

- ❖ Sind zufriedenstellende klinische mittelfristige Ergebnisse trotz des hohen Patientenalters nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion zu erwarten?

Seit Beginn der 2000er Jahre ist eine proportionale Umverteilung zwischen der offenen und arthroskopischen Technik zu beobachten (Abbildung 6) und so gilt heutzutage die arthroskopische RM-Rekonstruktion als Mittel der Wahl. Während die klinischen und radiologischen Ergebnisse nach arthroskopischer Technik mit jenen nach offener Refixation vergleichbar sind, konnte eine signifikante Reduktion der Komplikationsrate erzielt werden (11,8% versus 21,6%)¹⁰⁰. Jedoch erscheint das Problem der Fehl- bzw. Nicht-Einheilung der Sehne am Footprint noch immer nicht final gelöst. Im Kurzzeitverlauf war die Re-Ruptur der RM nicht zwingend mit einer eingeschränkten Schulterfunktion vergesellschaftet. Erste Langzeitergebnisse nach offener RM-Rekonstruktion konnten jedoch einen signifikanten Zusammenhang zwischen den einem Therapieversagen und der postoperativen Sehnenintegrität feststellen⁷¹.

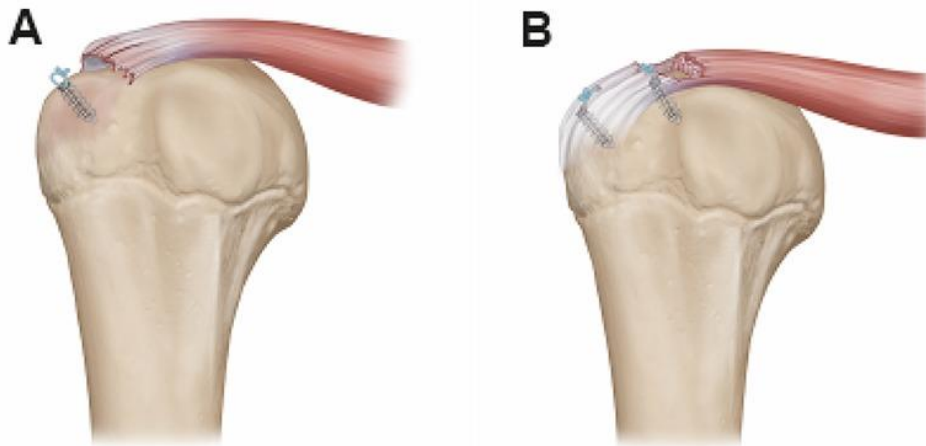


Abbildung 7: Darstellung einer Re-Ruptur der Supraspinatussehne nach (A) Einzelreihennaht bzw. (B) Doppelreihenrekonstruktion. (aus ¹⁰¹)

Vor diesem Hintergrund wurde eine klinische Studie (**Arbeit 6**) durchgeführt, um folgende Fragestellungen zu beantworten:

- ❖ Führt die arthroskopische Rekonstruktion der Rotatorenmanschette zu einer langfristigen Verbesserung der Schulterfunktion? Wie verhält sich die Re-Rupturrate im Vergleich zur kurzfristigen Nachuntersuchung?

Als weitere Langzeitkomplikation nach RM-Rekonstruktion gilt die Entwicklung einer IA. Flurin et al. konnten einen Zusammenhang sowohl mit dem Patientenalter zum Zeitpunkt der Operation, der initialen Rupturgröße bzw. der offenen Chirurgie als auch mit der postoperativen Sehnedesintegrität feststellen¹⁰². Durch die daraus resultierende Insuffizienz der anterosuperioren RM kommt es a.e. zu einer Mikroinstabilität im Glenohumeralgelenk. Im Kapitel 1.1.3 wird die Relevanz der RM und insbesondere der SSC für die glenohumerale Funktionalität bzw. Stabilität erläutert. Gausden et al. konnten kürzlich zeigen, dass vor allem der kraniale Anteil der Subskapularissehne zu einer normalen Schulterkinematik beiträgt, welche in Folge auch von einer begleitenden SSP-Läsion mitbeeinträchtigt wird¹⁰³. Nach Collin et al. ist eine Pseudoparalyse (Unfähigkeit den Arm über Schulterniveau zu elevieren) der Schulter vor allem mit der anterioren Rupturgröße assoziiert¹⁰⁴. Die operative Therapie der anterosuperioren RM-Ruptur führt zu guten klinischen Ergebnissen im kurz- bis mittelfristigen Verlauf^{105,106}. Während eine Rezidivrate von unter 10% nach Behandlung einer niedriggradigen SSC-Ruptur beschrieben wurde, liegt diese bei in etwa 30% für die Refixation hochgradiger Rupturen¹⁰⁷. Um den Einfluss der Sehnenintegrität auf das klinische Ergebnis und vor allem die IA-Progression zu evaluieren, wurde die **Arbeit 7** durchgeführt:

- ❖ Wie verhält sich die IA-Progression im Langzeitverlauf nach offener Rekonstruktion von traumatischen hochgradigen SSC-Rupturen?

1.4.3 Zusammenfassung der Zielstellungen

Folgende Fragestellungen wurden formuliert:

- ❖ Hat das Patientenalter bzw. die glenohumerale Begleitverletzung einen Einfluss auf das mittelfristige Ergebnis nach extra-anatomischem Korakoidtransfer?
- ❖ Wirken sich Begleitverletzungen am Schultergelenk nach traumatischer Schulterluxation auf das Ergebnis nach operativer Versorgung aus?
- ❖ Wie verhält sich das klinische und radiologische Ergebnis nach offener J-Span Plastik im Langzeitverlauf? Kommt es im Langzeitverlauf zu einer Progression der Instabilitätsarthrose?
- ❖ Ist durch die arthroskopische J-Span Plastik eine Wiederherstellung der glenohumeralen Stabilität bzw. Funktionalität im Kurzzeitverlauf möglich?
- ❖ Sind zufriedenstellende klinische mittelfristige Ergebnisse trotz des hohen Patientenalters nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion zu erwarten?
- ❖ Führt die arthroskopische Rekonstruktion der Rotatorenmanschette zu einer langfristigen Verbesserung der Schulterfunktion? Wie verhält sich die Re-Rupturrate im Vergleich zur kurzfristigen Nachuntersuchung?
- ❖ Wie verhält sich die IA-Progression im Langzeitverlauf nach offener Rekonstruktion von traumatischen hochgradigen SSC-Rupturen?

2 Ergebnisse

2.1 Ergebnisse nach extra-anatomischem Korakoidtransfer beim älteren Patienten

Treatment of recurrent anterior shoulder instability with the Latarjet or Bristow procedure in older patients.

Moroder P, Stefanitsch V, Auffarth A, Matis N, Resch H, **Plachel F**.

J Shoulder Elbow Surg. 2018 May;27(5):824-830

doi: <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.10.022>

Die Therapie nach traumatischer Schulterluxation richtet sich neben patientenspezifischen Faktoren vor allem an den strukturellen Läsionen im Glenohumeralgelenk. Der extra-anatomische Korakoidtransfer stellt ein etabliertes Verfahren zur Behandlung von Rezidivinstabilitäten mit knöchernen Glenoidläsion dar⁷⁶. Vor allem bei älteren Patienten liegt häufig zusätzlich eine Verletzung der RM vor²⁹. Bis dato lagen keine mittelfristigen Ergebnisse nach Korakoidtransfer zur Behandlung der chronischen Schulterinstabilität bei älteren Patienten vor.

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurden insgesamt 25 Patienten (13 männlich, 12 weiblich) mit einem durchschnittlichen Alter von 62 Jahren (Range, zwischen 42 und 85 Jahre) zum Zeitpunkt der Versorgung mit offenem Korakoidtransfer nachuntersucht. Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug 9 Jahre (Range, zwischen 2 und 15 Jahre). Zur finalen Nachuntersuchung wurde der Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI) erhoben, zusätzlich die sekundäre IA radiologisch evaluiert.

Während des Nachuntersuchungszeitraums wurden 9 Patienten (36%) revidiert. Der durchschnittliche WOSI betrug 556 Punkte. Die sekundäre IA zeigte eine signifikante Progression von präoperativ 0,7 auf postoperativ 2,0 ($p < 0,05$). Während eine Begleitpathologie der Rotatorenmanschette keinen Effekt auf das klinische Ergebnis bzw. die Revisionsrate hatte, wurde eine negative Assoziation mit dem Fortschreiten der Defekarthropathie festgestellt.

Der extra-anatomische Korakoidtransfer stellt eine gelenkserhaltene Instabilitätstherapie bei älteren Patienten dar. Nichtsdestotrotz kam es zu einer relevanten Revisionsrate und fremdmaterial-assoziierten Komplikationen.

2.2 Mittelfristige Ergebnisse nach Rekonstruktion der „Triple Dislocation Fracture“

The "triple dislocation fracture": anterior shoulder dislocation with concomitant fracture of the glenoid rim, greater tuberosity and coracoid process-a series of six cases.

Plachel F*, Schanda JE*, Ortmaier R, Auffarth A, Resch H, Bogner R.

J Shoulder Elbow Surg. 2017 Sep;26(9):e278-e285

doi: <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.01.022>

*geteilte Erstautorenschaft

Die traumatische Schulterluxation ist häufig mit ossären Begleitverletzungen assoziiert, welche im Falle einer operativen Versorgung mit berücksichtigt werden müssen²⁸. Während die Glenoidfraktur bzw. die humerale Impressionsfraktur am häufigsten beobachtet werden, kommt es selten auch zu einer ossären Avulsion des Tuberculum majus¹⁰⁸ bzw. des Korakoids¹⁰⁹. Die kombinierte ossäre Verletzung von Tuberculum majus, Glenoid und Korakoid (sog. „Triple Dislocation Fracture“) wurde bis dato erst einmal berichtet¹¹⁰, weshalb entsprechende Therapiemöglichkeiten noch zu klären sind.

Die Inzidenz der Kombinationsverletzung nach traumatischer Schulterluxation betrug 0,3% (6 von 2068 Patienten). Alle Patienten (5 männlich, 1 weiblich) mit einem mittleren Alter von 60 Jahren (Range, 37 bis 85 Jahre) zum Zeitpunkt der Verletzung wurden operativ versorgt und nach im Durchschnitt 59 Monaten (Range, zwischen 27 und 147 Monaten) zur klinischen und radiologischen Nachuntersuchung eingeladen.

In allen Fällen (100%) wurde die Glenoidfraktur operativ versorgt, während in 4 Fällen (75%) das Tuberculum majus und in 3 Fällen (50%) das Korakoid adressiert wurde. Eine Revision war bei 2 Patienten aufgrund einer sekundären Dislokation nötig. Das klinische Ergebnis war gut und eine Rezidivinstabilität wurde nicht beobachtet.

Obwohl die „Triple Dislocation Fracture“ nach traumatischer Schulterluxation selten zu finden ist, sollte im Zweifel eine CT zur Identifizierung aller potenziellen Begleitverletzungen durchgeführt werden. Die Therapie ist abhängig von patienten- und pathologiespezifischen Faktoren und zeigt zufriedenstellende mittelfristige Ergebnisse.

2.3 Langzeitergebnisse nach offener J-Span-Plastik

Clinical and Radiological Long-term Results After Implant-Free, Autologous, Iliac Crest Bone Graft Procedure for the Treatment of Anterior Shoulder Instability.

Moroder P*, **Plachel F***, Becker J, Schulz E, Abdic S, Haas M, Resch H, Auffarth A.

Am J Sports Med. 2018 Oct;46(12):2975-2980

doi: <https://doi.org/10.1177/0363546518795165>

*contributed equally

Die offene J-Span-Plastik zur Therapie der chronischen Schulterinstabilität mit signifikantem Glenoidranddefekt stellt ein etabliertes Verfahren dar. Bis dato konnte gezeigt werden, dass mit diesem Verfahren sehr gute funktionelle Ergebnisse im mittelfristigen Verlauf zu erzielen sind⁴⁶. Nichtsdestotrotz waren bisher keine endgültigen Aussagen zum Langzeitverlauf möglich.

Anhand von 35 Fällen in 34 Patienten (30 männlich, 4 weiblich) mit einem durchschnittlichen Alter von 30 Jahren (Range, zwischen 19 und 54 Jahre) wurden die klinischen und radiologischen Langzeitergebnisse nach im Mittel 18 Jahren (Range, zwischen 15 und 23 Jahre) erhoben. Als klinischer Outcome-Parameter diente unter anderem der WOSI. Mittels konventioneller Röntgenaufnahmen beider Schultergelenke wurde die Progression der sekundären IA erhoben.

Der postoperative WOSI betrug im Durchschnitt 295 Punkt. Es zeigte sich im Patientenkollektiv eine geringe Einschränkung der Rotationskapazität. Während in einem Fall (3%) eine traumatische Reluxation mit Bruch des impaktierten Knochenblocks 6 Wochen nach Indexoperation beobachtet wurde, kam es im Langzeitverlauf zu keiner weiteren Rezidivinstabilität. Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung wurde ein signifikanter Seitenunterschied im Hinblick auf die sekundäre IA beobachtet ($p=0,005$).

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass durch die offene J-Span-Plastik ausgezeichnete funktionelle Ergebnisse zu erzielen sind. Während keine chronische Rezidivinstabilität zu erwarten ist, lässt sich die Progression der sekundären IA im 18-Jahres-Nachuntersuchungszeitraum nicht vollständig verhindern.

2.4 Kurzzeitergebnisse nach arthroskopischer Beckenkammspanplastik

Arthroskopische J-Span-Implantation bei knöchernem Glenoiddefekt: Klinische und radiologische Einjahresergebnisse.

Plachel F, Heuberer P, Schanda J, Pauzenberger L, Kriegleder B, Anderl W.

Obere Extrem. 2018 Jun; 11(2):119-125

doi: <https://doi.org/10.1007/s11678-015-0321-5>

Die autologe Knochenaugmentation ist bei der chronischen Schulterinstabilität mit signifikantem Glenoidranddefekt zur Wiederherstellung der anatomischen Glenoidmorphologie indiziert²⁰. Basierend auf der offenen J-Span-Plastik wurde 2012 eine arthroskopische Modifikation erstmalig beschrieben⁴⁹. Analog zur offenen Technik erfolgt die Entnahme und Präparation eines autologen Beckenkammspans. Zur exakten Positionierung und Impaktion wurde ein entsprechendes Instrumentarium eigens für dieses Verfahren entwickelt. Bis dato konnte nur in einem Fallbericht die Effektivität dieser minimal-invasiven Technik gezeigt werden¹¹¹.

In dieser prospektiven Fallserie konnte anhand von 10 Patienten (9 männlich, 1 weiblich) mit einem durchschnittlichen Alter von 29 Jahren (Range, zwischen 20 und 37 Jahre) gezeigt werden, dass sehr gute subjektive und objektive klinische Ergebnisse erzielt werden. Komplikationen wurden im kurzfristigen Verlauf keine beschrieben. Anhand einer radiologischen Untersuchung mittels CT konnte eine vollständige Integration mit entsprechender Remodellierung des J-Spans in allen Fällen beobachtet werden.

Anhand dieser Ergebnisse konnte geschlossen werden, dass die arthroskopische J-Span-Plastik zur Wiederherstellung der glenohumeralen Stabilität bzw. Funktionalität ein geeignetes Verfahren repräsentiert. Jedoch gilt es längerfristige Ergebnisse abzuwarten. Aufgrund der Komplexität des operativen Eingriffs ist eine flache Lernkurve zu erwarten.

2.5 Mittelfristige Ergebnisse nach RM-Rekonstruktion beim älteren Patienten

Clinical mid-term results of arthroscopic rotator cuff repair in patients older than 75 years of age.

Plachel F, Siegert P, Rüttershoff K, Akgün D, Thiele K, Moroder P, Scheibel M

J Shoulder Elbow Surg. 2020 March; Epub ahead of print

doi: <https://doi.org/10.1016/j.jse.2020.01.093>

Multiple Faktoren wurden bis dato mit einem Fehlschlagen der arthroskopischen Rekonstruktion von symptomatischen RM-Rupturen in Verbindung gebracht. Neben pathologiespezifischen Faktoren war vor allem das Patientenalter zum Zeitpunkt der Operation mit dem Auftreten einer Re-Ruptur der betroffenen Sehne und daher schlechterem klinischen Ergebnis assoziiert worden⁹⁸. Bis dato fehlen mittelfristige Ergebnisse im älteren Patientenkollektiv, um eine valide Aussage über die Langlebigkeit der Rekonstruktion bzw. Schulterfunktion zu treffen.

Es konnten insgesamt 23 Fälle in 22 Patienten (8 männlich, 14 weiblich) mit einem mittleren Patientenalter von 77 Jahren (Range, zwischen 75 und 82 Jahre) retrospektiv eingeschlossen werden. Alle Patienten wurden aufgrund einer symptomatischen Ruptur der posterosuperioren RM arthroskopisch versorgt. Zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung nach im Durchschnitt 7 Jahren (Range, zwischen 3 und 9 Jahre) wurde die Funktionalität mittels verschiedenen Funktionsscores ermittelt.

Alle Patienten waren mit der Operation sehr zufrieden. Während des gesamten Nachuntersuchungszeitraums kam es zu keiner Komplikation bzw. Revisionsoperation. Der mittlere Western Ontario Rotator Cuff Index (WORC) lag bei 88% (Range, zwischen 49% und 100%).

Anhand unserer Ergebnisse kann schlussgefolgert werden, dass die arthroskopische Rekonstruktion zu sehr guten klinischen Ergebnissen im mittelfristigen Verlauf führt und so älteren Patienten nicht vorenthalten werden sollte.

2.6 Langzeitergebnisse nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion

Longitudinal Long-term Magnetic Resonance Imaging and Clinical Follow-up After Single-Row Arthroscopic Rotator Cuff Repair: Clinical Superiority of Structural Tendon Integrity.

Heuberer PR, Smolen D, Pauzenberger L, **Plachel F**, Salem S, Laky B, Kriegleder B, Anderl W.

Am J Sports Med. 2017 May;45(6):1283-1288

doi: <https://doi.org/10.1177/0363546517689873>

Die arthroskopische Rekonstruktion der RM zählt heutzutage als Goldstandard in der Versorgung von symptomatischen RM-Komplettrupturen. Zeitgleich wurden auch die Fixationstechniken modifiziert, sodass heute Nahttechniken mittels Fadenanker immer häufiger angewandt werden. Während zahlreiche Studien den positiven Effekt dieser Techniken auf die klinischen Kurzeitergebnisse aufzeigten, existierten bis dato keine Arbeiten zu den langfristigen Ergebnissen.

Insgesamt 30 Patienten (18 weiblich, 12 männlich) mit einem durchschnittlichen Alter von 59 Jahren (Range, zwischen 35 und 75 Jahre) wurden aufgrund einer symptomatischen posterosuperioren RM-Komplettruptur mittels arthroskopischer SR-Technik versorgt. Alle Patienten wurden nach 2 und 10 Jahren klinisch und radiologisch nachuntersucht.

Obwohl es in 42% bzw. 50% der Fälle zu einer Re-Ruptur nach 2 bzw. 10 Jahren gekommen ist, verbesserte sich der Constant Score (CS) signifikant von präoperativ 45 Punkte auf 88 Punkte nach 2 Jahren bzw. 78 Punkte nach 10 Jahren. Es konnte außerdem ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Integrität der RM und dem klinischen Ergebnis zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung festgestellt werden. Eine Re-Ruptur ging vor allem mit einem signifikanten Kraftdefizit des betroffenen Schultergelenks einher.

Die arthroskopische SR-Rekonstruktion führte zu einer signifikanten Verbesserung der klinischen Langzeitergebnisse. Nichtsdestotrotz zeigt sich eine signifikante Re-Rupturrate, was die Bedeutung von zukünftigen Weiterentwicklungen zur Verbesserung der Sehnen-Knochen-Einheilung erhöht.

2.7 Langzeitergebnisse nach offener Rekonstruktion der Subskapularissehne

Repair failure increases the risk of developing secondary glenohumeral osteoarthritis: A long-term follow-up after open repair of large subscapularis tendon tears.

Plachel F, Korn G, Ortmaier R, Hoffelner T, Resch H, Moroder P.

Orthop Traumatol Surg. 2019 Dec;105(8):1529-1533

doi: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.09.021>

Die akute Verletzung der SSC nimmt einen Besonderen Stellenwert hinsichtlich der adäquaten Versorgung ein. Eine zeitnahe operative Versorgung erscheint in Hinblick auf die Stabilität bzw. Funktionalität im Glenohumeralgelenk als unabdingbar. Während bis dato gute bis sehr gute kurz- und mittelfristige Ergebnisse gezeigt werden konnte, besteht wenig Evidenz über die Langlebigkeit der Versorgung.

Diese retrospektive Studie inkludierte insgesamt 24 Patienten mit einer akuten hochgradigen SSC-Läsion mit oder ohne Beteiligung der SSP, welche mittels offener Rekonstruktion versorgt wurden. Von diesen konnten insgesamt 20 Patienten (16 männlich, 4 weiblich) mit einem mittleren Alter von 55 Jahren (Range, zwischen 31 und 68 Jahre) zum Zeitpunkt der Operation nach durchschnittlich 14 Jahren (Range, zwischen 10 und 18 Jahre) klinisch und radiologisch nachuntersucht werden.

Es musste 1 Patient (5%) aufgrund einer symptomatischen Re-Ruptur frühzeitig mittels Muskeltransfer revidiert werden. Obwohl das klinische Ergebnis im Übrigen sehr gut war mit einer hohen Patientenzufriedenheit, zeigte sich eine Re-Rupturrate von 29%, welche auch hauptverantwortlich für die signifikante Progression der IA war.

Die offene Rekonstruktion der anterosuperioren RM mit Beteiligung der SSC zeigte gute klinische Ergebnisse im Langzeitverlauf. Eine Re-Ruptur wurde häufig beobachtet und zeigte einen negativen Einfluss sowohl auf die Schulterfunktion als auch auf die Arthroprogression.

3 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit werden klinische Studien zu bewährten und modernen Operationstechniken präsentiert, um neue Erkenntnisse in der Behandlung von Verletzungen der gelenkzentrierenden Strukturen zu gewinnen.

3.1 Neue Aspekte in der Therapie von Glenoidranddefekten

Die posttraumatische chronische Schulterinstabilität betrifft vor allem junge Männer zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr bzw. Personen ab der 4. Lebensdekade⁷. Während sich erhebliche Unterschiede in der Pathogenese (Hoch- versus Niedrigrasanztraumata) und im Spektrum an Begleitpathologien zeigen²⁹, bedarf es in beiden Szenarien einer Rekonstruktion der gelenkzentrierenden Strukturen zur Wiederherstellung der physiologischen Schulterkinematik. Der extra-anatomische Korakoidtransfer stellt hierzu eine validierte Methode dar. Eine simultane RM-Läsion betrifft vor allem das ältere Patientenkollektiv. Nach Simank et al. resultierte die alleinige Versorgung der RM nach primär-traumatischer Schulterluxation in einer signifikanten Verbesserung der Schulterfunktion verglichen mit der konservativen Therapie²⁹. Aufgrund der Progression der unbehandelten RM-Läsion sollte dies auch nach Schulterluxation in jedem Fall berücksichtigt werden^{30,112}. In unserem Kollektiv mit einem Alter von über 40 Jahren zum Zeitpunkt der operativen Versorgung zeigte sich eine irreparable RM-Ruptur in nahezu 65%, zu gleichen Teilen auch eine ossäre Glenoidrandläsion. Etwa jeder Dritte Patient erlitt eine kombinierte Verletzung. Obwohl in etwa 70% der Patienten zufrieden mit dem Ergebnis nach offenem Korakoidtransfer waren, zeigten sich zum Teil erhebliche glenohumerale Folgeschäden. Eine IA-Progression gemessen am CIA von 0,7 präoperativ auf 2,0 postoperativ zeigte sich in 100%. Außerdem mussten 36% aufgrund fremdmaterial-assoziierten Komplikationen revidiert werden. Eine Langzeitstudie von Ernstbrunner et al. zeigte ähnliche Ergebnisse¹¹³. In deren Patientenkollektiv war jedoch nur in etwa 16% eine akute RM-Läsion vorhanden, welche operativ adressiert werden konnte. Etwa jeder fünfte Patient wurde revidiert. Abgesehen davon waren die klinischen Ergebnisse sehr zufriedenstellend und eine Rezidivinstabilität wurde nicht berichtet. Nichtsdestotrotz wurde eine signifikante IA-Progression beobachtet, welche mit höherem Patientenalter assoziiert war, jedoch keinen Einfluss auf die postoperative Schulterfunktion hatte. Man kann also schlussfolgern, dass der extra-anatomische Korakoidtransfer eine adäquate gelenkerhaltende Methode zur Wiederherstellung der Schulterstabilität bzw. -funktionalität darstellt. Jedoch müssen potenzielle Komplikationen mit der Notwendigkeit einer Revision individuell besprochen werden. Ein höheres Patientenalter ist mit einer Reduktion der Knochenqualität sowohl am Korakoid als auch

am Beckenkamm assoziiert^{114,115}, weshalb es zukünftig abzuklären gilt, ob ein Allograft als Augment beim älteren Patienten alternativ zu verwenden ist. Die „Triple Dislocation Fracture“ stellt eine seltene Begleitverletzung nach traumatischer Schulterluxation dar¹¹⁶. Mittelfristige Ergebnisse nach zeitnaher operativer Versorgung erscheinen zufriedenstellend, auch wenn Komplikationen, wie der sekundären Implantatdislokation, zu beobachten sind. Dies spiegelt die Notwendigkeit einer adäquaten frühzeitigen Diagnostik mit entsprechender Wiederherstellung der gelenkzentrierenden Strukturen wider²⁶.

Auch nach implantatfreier Beckenkammspanplastik ist eine signifikante IA-Progression im Langzeitverlauf zu beobachten¹¹⁷. In unserer Studie zeigte sich ein durchschnittlicher CIA von 0,9 nach etwa 20 Jahren, was dem nach gebräuchlichen offenen bzw. arthroskopischen Verfahren nahe kommt (Tabelle 1). Der Progress von 0,4 präoperativ über 0,6 nach 8 Jahren auf 0,9 zur finalen Nachuntersuchung ging über den natürlichen Prozess hinaus, gemessen an der gesunden Gegenseite. Eine chronische Rezidivinstabilität wurde in keinem Fall gefunden. Man kann also schlussfolgern, dass die IA wesentlich von präoperativen Faktoren abhängt und die entsprechende Therapie den Progress lediglich verlangsamen kann⁷⁸. Davon abgesehen wurden ausgezeichnete klinische Ergebnisse erzielt ohne Einfluss der arthrotischen Veränderungen auf die Schulterfunktion. Ähnliche Beobachtungen wurden auch von Deml et al. gemacht¹¹⁸. Während sich in unserem Patientenkollektiv eine persistierende Einschränkung der Armrotation zeigte, mussten die Autoren jedoch kein Defizit feststellen. In unserem Kollektiv traten abgesehen von den perioperativen Komplikationen keine weiteren Komplikationen im Langzeitverlauf auf. Außerdem zeigten sich die Hyp- bzw. Parästhesien am Beckenkamm nahezu vollständig regredient. Dies erscheint ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem Korakoidtransfer zu sein, da vor allem die fremdmaterial-assoziierten Beschwerden später auftreten bzw. mittelfristig (in etwa 40 Monate postoperativ) einer Revision bedürfen^{113,119}. Es bleibt abzuwarten, ob aufgrund der iatrogenen und schrauben-assoziierten Muskelschädigung des M. subscapularis langfristige Probleme auftreten. Um diesem vorzubeugen bzw. zur Optimierung der Knochenblockpositionierung wurden in der Vergangenheit arthroskopische Modifikationen beschrieben^{42,49}. In einer eigenen prospektiven Studie konnte gezeigt werden, dass die arthroskopische J-Span-Plastik sehr gute kurzfristige Ergebnisse erzielt¹²⁰. Eine Komplikation bzw. Rezidivinstabilität wurde innerhalb der ersten 12 Monate nicht beobachtet. Eine Folgearbeit mit einem Nachuntersuchungszeitraum von 24 Monaten konnte diese Beobachtungen bestätigen¹²¹. Im Vergleich zur offenen Technik wurde kein Defizit der Innenrotation beschrieben⁹⁵, wenngleich die Außenrotation analog zu allen anderen Stabilisierungsoperation minimal eingeschränkt war^{89,90}. Dies lässt sich am ehesten auf die minimierte Zugangsmorbidität im Bereich der ventralen RM

zurückführen^{96,122}. Langzeitergebnisse sind bis dato ausständig, jedoch sind die Ergebnisse nach arthroskopischer J-Span-Plastik vielversprechend.

3.2 Neue Erkenntnisse in der Therapie von Rotatorenmanschettenläsionen

Obwohl die arthroskopische RM-Rekonstruktion zur Behandlung von symptomatischen Sehndefekten am Schultergelenk heutzutage den Goldstandard darstellt, konnten bis dato keine wesentlichen Vorteile in Bezug auf die postoperative Schulterfunktion bzw. Sehnenintegrität im Kurzzeitverlauf festgestellt werden^{123–125}. Trotz diverser Modifikationen bezüglich der Sehnenfixation am Footprint zeigen sich weiterhin Re-Rupturraten von in etwa 30%⁶⁶. Auch wenn die postoperative Sehnenintegrität vor allem von strukturellen und morphologischen Eigenschaften des Muskel-Sehnen-Komplexes (u.a. Rupturgröße, Muskeldegeneration) abhängig ist^{67,68}, wurde das Patientenalter vielfach als wesentlicher negativer Prädiktor für ein schlechteres Outcome genannt^{17,126–128}. Jedoch zeigten die Ergebnisse unserer Arbeit, dass mittels arthroskopischer RM-Rekonstruktion eine annähernd seitengleiche Schulterfunktion beim älteren Patientenkollektiv im mittelfristigen Verlauf zu erwarten ist¹²⁹. Im Zeitraum von im Mittel 7 Jahren wurde keine Komplikation beobachtet bzw. war keine Revision nötig. Auf diese Ergebnisse kamen auch Yel et al. indem sie Patienten über 65 Jahre zum Zeitpunkt der offenen RM-Rekonstruktion nach durchschnittlich 9 Jahren nachuntersuchten¹³⁰. Die hohe Patientenzufriedenheit von über 90% in Kombination mit der sehr guten Funktionalität rechtfertigen die operative Versorgung auch im hohen Patientenalter, vor allem um eine adäquate Lebensqualität zu gewährleisten. Nichtsdestotrotz ist die Indikationsstellung und vor allem die entsprechende Aufarbeitung etwaiger chronischer Krankheiten essenziell für das postoperative Ergebnis¹³¹. Auch die gewählte Refixationstechnik der Sehne erscheint einen Einfluss auf die Integrität des Sehnen-Knochen-Komplexes zu haben¹³², auch wenn diese im Kurzzeitverlauf nicht zwingend mit einem besseren funktionellen Ergebnis assoziiert ist⁶⁶. Es besteht Konsens darüber, dass eine DR-Rekonstruktion vor allem zur Versorgung größerer Rupturen bevorzugt werden sollten, wohingegen kein Unterschied zur SR-Technik im Falle einer kleinen isolierten SSP-Ruptur besteht^{132,133}. In einer eigenen Langzeitstudie konnten erstmalig die klinischen und radiologischen Ergebnisse nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion in SR-Technik beschrieben werden¹³⁴. Als Indikation galten therapierefraktäre vollschichtige SSP-Ruptur mit oder ohne Beteiligung der ISP. Während sich die klinischen Ergebnisse zur 2-Jahres-Nachuntersuchung signifikant verbesserten, wurde eine Re-Ruptur der RM in nahezu 42% beobachtet. Diese korrelierte zu diesem Zeitpunkt nicht mit dem klinischen Ergebnis. Nach 10 Jahren kam es noch einmal zu einem leichten Progress der Re-Rupturrate auf 50% und es zeigte sich ein signifikanter Einfluss auf die Funktion bzw. insbesondere

auf die Abduktionskraft im betroffenen Schultergelenk. Randelli und Kollegen berichteten von ähnlichen Langzeitergebnissen nach arthroskopischer Rekonstruktion¹³⁵. Die Autoren konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der postoperativen Sehnenintegrität und der präoperativen Rupturgröße aufzeigen, was auch mittlerweile mehrfach bestätigt werden konnte^{136,137}. Das Patientenalter scheint lediglich einen untergeordneten Einfluss darauf zu haben¹³⁸. Es erscheint daher als bewiesen, dass die Sehnenintegrität im Langzeitverlauf einen wesentlichen Einfluss auf die Schulterfunktion hat und diese multifaktoriell bedingt ist. Unterschieden werden sollte zwischen dem frühzeitigen Nicht-Einheilen (innerhalb der ersten 6 Monate) und der späteren Re-Ruptur⁷¹. Ob neuartigen Techniken (z.B. DR) mit Optimierung der biologischen/biomechanischen Eigenschaften des Nathkonstrukts zur verbesserten langfristigen Heilung der Sehne führen, bleibt abzuwarten. Ein weiteres langfristiges Problem nach einer RM-Ruptur ist die Entwicklung und Progression von sekundären arthrotischen Veränderungen^{102,135,139,140}. Eine Verletzung des gesamten oberen Sehnen-Kapsel-Komplexes in Verbindung mit dem horizontalen Kraftpaar resultiert in einer superioren Migration des Humeruskopfs, was als Defektarthropathie bezeichnet wird¹⁴¹. Diese ist zu unterscheiden von der sekundären IA basierend auf einer dynamischen pathologischen Mikroinstabilität im Glenohumeralgelenk¹⁴². Während Paxton et al. über radiologische Anzeichen einer statischen Humeruskopfdezentrierung bei der Mehrheit der Patienten mit fehlgeschlagene Rekonstruktion großer bis massiver RM-Rupturen berichteten¹⁴³, wurde bei jedem fünften Patienten mit intakter RM postoperativ eine IA festgestellt¹⁰². Determinanten waren sowohl die offene Technik als auch das Vorliegen einer Re-Ruptur. Diesbezüglich fanden auch Randelli et al. in ihrer Arbeit heraus, dass das Fortschreiten der IA überwiegend mit der Sehnenintegrität assoziiert war¹³⁵. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch unsere eigene Arbeit nach offener Rekonstruktion traumatischer anterosuperiorer Massenrupturen¹⁴⁴. Eine signifikante IA-Progression war zu beobachten, ohne dass es zu einer hochgradigen statischen Dezentrierung im Sinne einer Defektarthropathie kam. In diesem selektionierten Patientenkollektiv korrelierte v.a. die Desintegrität der RM mit den arthrotischen Veränderungen im Glenohumeralgelenk. Interessanterweise hatte dies im Langzeitverlauf keine signifikante Auswirkung auf die Schulterfunktion, wenngleich ein negativer Trend zu beobachten war. Fakt ist, dass es zu natürlichen degenerativen glenohumeralen Veränderungen im Alter kommt, was auch unsere eigenen Ergebnisse gezeigt haben¹²⁹. Die exakte Pathogenese der IA nach RM-Ruptur bzw. operativer Versorgung bleibt jedoch weiterhin unklar. Es bleibt abzuwarten, ob minimal-invasive Techniken den Progress verlangsamen können. Erste Ergebnisse erscheinen vielversprechend mit zufriedenstellender Schulterfunktion und Sehnenheilung^{145,146}.

4 Zusammenfassung

Die chronische Schulterinstabilität mit ossärem Glenoiddefekt bedarf einer Knochenaugmentation zur Wiederherstellung der physiologischen Schulterkinematik. Hierzu kommen im Wesentlichen extra-anatomische und anatomische Verfahren, wie der Korakoidtransfer bzw. die J-Span-Plastik, zum Einsatz. Der wesentliche Unterschied liegt hier sowohl beim verwendeten Knochenblock als auch beim Gebrauch von Fremdmaterial. Obwohl der offene Korakoidtransfer zu zufriedenstellenden Ergebnissen im älteren Patientenkollektiv führte, wurde eine hohe Komplikations- bzw. Revisionsrate beobachtet, welche primär fremdmaterial-assoziiert war. Diese Beobachtung unterstreicht die Tatsache, dass der offene Korakoidtransfer lediglich optional als gelenkerhaltende Therapie beim alten Patienten Anwendung finden sollte. Die offene J-Span-Plastik hingegen verzichtet auf den Gebrauch von Fremdmaterial, was sich auch langfristig auf das Komplikationsspektrum auswirkte. Während keine Revision von Nöten war, beklagten die Patienten vor allem Beschwerden im Entnahmebereich am Beckenkamm, welche jedoch im Verlauf größtenteils regredient waren. Die klinischen und radiologischen Ergebnisse waren sehr gut und eine Rezidivinstabilität wurde nicht beobachtet. Nichtsdestotrotz erscheint die IA-Progression auch mittels J-Span-Plastik als nicht reversibel und muss daher weiterhin als relevantes Langzeitrisiko angesehen werden. Die iatrogene Schädigung der muskulotendinösen Einheit durch Ablösung bzw. Einkerbung der SSC im Rahmen offener Stabilisierungsverfahren birgt das Risiko einer dauerhaften Beeinträchtigung der Muskelfunktion. Minimal-invasive Techniken können die Zugangsmorbidität senken und außerdem die Visualisierung etwaiger Begleitpathologien verbessern. Die arthroskopische J-Span-Plastik liefert reproduzierbare klinische und radiologische Resultate. Die „Triple Dislocation Fracture“ ist eine seltene Entität und bedarf in der Regel einer zeitnahen operativen Versorgung. Dadurch waren gute mittelfristige Ergebnisse zu erzielen.

Die Therapie von symptomatischen RM-Rupturen erlebte in den letzten Jahren einen enormen Wandel. Es konnten bis dato entscheidende Prädiktoren für eine zufriedenstellende Schulterfunktion bzw. für die Sehneneinheilung identifiziert werden. Unter anderem wurde das Patientenalter vielfach als negative Determinante beschrieben, was in einer strengen Patientenselektion resultierte. Aufgrund der demographischen Entwicklung unserer Gesellschaft mit Umverteilung zwischen „Jung und Alt“ sollte die RM-Rekonstruktion nicht am chronologischen Alter festgemacht werden. Mittelfristige Ergebnisse waren in unserem Patientenkollektiv mit einem Alter von über 75 Jahre zum Zeitpunkt der Operation sehr zufriedenstellend und mit jenen aus der Literatur (durchschnittliche Alter in etwa 60 Jahre) vergleichbar. Modifizierte Techniken zur Sehnenrefixation wurden entwickelt mit dem Ziel, die Primärstabilität des

Nahtkonstrukts zu verbessern. Jedoch erschien die SR-Technik als fehleranfällig mit Re-Rupturraten von 50% im Langzeitverlauf. Die Sehnenintegrität hatte einen signifikanten Einfluss auf die Schulterfunktion, was die Bedeutung der Sehnenheilung unterstreicht. Außerdem wird immer häufiger die Entwicklung bzw. Progression osteoarthrotischer Veränderung im Glenohumeralgelenk nach RM-Ruptur bzw. -Rekonstruktion beschrieben. Auch hier zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang mit der intakten Sehnen-Knochen-Einheit. Die Rolle eines intakten horizontalen Kräftepaars ist unbestritten, weshalb die operative Versorgung akuter SSC-Läsion weiterhin absolut indiziert ist. Mittelfristige Ergebnisse nach offener Rekonstruktion waren zufriedenstellend.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sowohl etablierte als auch moderne Verfahren zur Therapie von Verletzungen der gelenkzentrierenden Strukturen vielversprechend sind. Eine präzise und individuelle Einschätzung der zugrundeliegenden Pathologie und patientenspezifischer Faktoren ist unabdingbar, um eine entsprechende Therapie passgenau auszuwählen. Es gilt abzuwarten, ob potenzielle pathologie- bzw. therapieassoziierte Risiken und Komplikationen (u.a. Re-Ruptur oder IA) durch minimal-invasive Techniken bzw. biologische/biomechanische Verbesserungen minimiert werden können.

5 Literaturverzeichnis

- 1 Rauber/Kopsch. *Anatomie des Menschen*. Band 1, Be. Thieme, 2003.
- 2 Saha AK. Dynamic stability of the glenohumeral joint. *Acta Orthop* 1971; **42**: 491–505.
- 3 Lippitt SB, Vanderhooft JE, Harris SL, Sidles JA, Harryman DT, Matsen FA. Glenohumeral stability from concavity-compression: A quantitative analysis. *J Shoulder Elb Surg* 1993; **2**: 27–35.
- 4 Chen SK, Simonian PT, Wickiewicz TL, Otis JC, Warren RF. Radiographic evaluation of glenohumeral kinematics: A muscle fatigue model. *J Shoulder Elb Surg* 1999; **8**: 49–52.
- 5 Burkhart SS. Fluoroscopic comparison of kinematic patterns in massive rotator cuff tears: A suspension bridge model. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1992, pp 144–152.
- 6 Pandey V, Jaap Willems W. Rotator cuff tear: A detailed update. *Asia-Pacific J Sport Med Arthrosc Rehabil Technol* 2015; **2**: 1–14.
- 7 Shah A, Judge A, Delmestri A, Edwards K, Arden NK, Prieto-Alhambra D *et al*. Incidence of shoulder dislocations in the UK, 1995-2015: A population-based cohort study. *BMJ Open*. 2017; **7**. doi:10.1136/bmjopen-2017-016112.
- 8 Hovelius L. Incidence of shoulder dislocation in Sweden. *Clin Orthop Relat Res* 1982; **No. 166**: 127–131.
- 9 Taylor DC, Arciero RA. Pathologic changes associated with shoulder dislocations. Arthroscopic and physical examination findings in first-time, traumatic anterior dislocations. *Am J Sports Med* 1997; **25**: 306–311.
- 10 Charalambous CP, Eastwood S. The bankart procedure: A long-term end-result study. In: *Classic Papers in Orthopaedics*. Springer-Verlag London Ltd, 2014, pp 313–315.
- 11 Norlin R. Intraarticular pathology in acute, first-time anterior shoulder dislocation: an arthroscopic study. *Arthroscopy* 1993; **9**: 546–9.
- 12 M.T. P, R.M. F, L.E. L, P.D. M, J.J. R, L.T.A. B *et al*. The Hill-Sachs lesion: Diagnosis, classification, and management. *J Am Acad Orthop Surg* 2012; **20**: 242–252.
- 13 Olds M, Ellis R, Donaldson K, Parmar P, Kersten P. Risk factors which predispose first-time traumatic anterior shoulder dislocations to recurrent instability in adults: A systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med*. 2015; **49**: 913–922.
- 14 Hovelius L, Rahme H. Primary anterior dislocation of the shoulder: long-term prognosis at the age of 40 years or younger. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* 2016; **24**: 330–342.
- 15 Avila Lafuente JL, Moros Marco S, García Pequerul JM. Controversies in the Management of the First Time Shoulder Dislocation. *Open Orthop J* 2017; **11**: 1001–1010.
- 16 Leroux T, Ogilvie-Harris D, Veillette C, Chahal J, Dwyer T, Khoshbin A *et al*. The Epidemiology of Primary Anterior Shoulder Dislocations in Patients Aged 10 to 16 Years. *Am J Sports Med* 2015; **43**: 2111–2117.
- 17 Wasserstein DN, Sheth U, Colbenson K, Henry PDG, Chahal J, Dwyer T *et al*. The True Recurrence

- Rate and Factors Predicting Recurrent Instability After Nonsurgical Management of Traumatic Primary Anterior Shoulder Dislocation: A Systematic Review. *Arthrosc. - J. Arthrosc. Relat. Surg.* 2016; **32**: 2616–2625.
- 18 Griffith JF, Antonio GE, Yung PSH, Wong EMC, Yu AB, Ahuja AT *et al.* Prevalence, pattern, and spectrum of glenoid bone loss in anterior shoulder dislocation: CT analysis of 218 patients. *Am J Roentgenol* 2008; **190**: 1247–1254.
- 19 Sugaya H, Moriishi J, Dohi M, Kon Y, Tsuchiya A. Glenoid rim morphology in recurrent anterior glenohumeral instability. *J Bone Jt Surg - Ser A* 2003; **85**: 878–884.
- 20 Burkhart SS, De Beer JF. Traumatic glenohumeral bone defects and their relationship to failure of arthroscopic Bankart repairs: Significance of the inverted-pear glenoid and the humeral engaging Hill-Sachs lesion. *Arthroscopy* 2000; **16**: 677–694.
- 21 Itoi E, Lee SB, Berglund LJ, Berge LL, An KN. The effect of a glenoid defect on anteroinferior stability of the shoulder after Bankart repair: A cadaveric study. *J Bone Jt Surg - Ser A* 2000; **82**: 35–46.
- 22 Kim SJ, Kim SH, Park BK, Chun YM. Arthroscopic stabilization for recurrent shoulder instability with moderate glenoid bone defect in patients with moderate to low functional demand. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2014; **30**: 921–927.
- 23 Hayashida K, Yoneda M, Nakagawa S, Okamura K, Fukushima S. Arthroscopic Bankart suture repair for traumatic anterior shoulder instability: analysis of the causes of a recurrence. *Arthroscopy* 1998; **14**: 295–301.
- 24 Moroder P, Plachel F, Huettner A, Ernstbrunner L, Minkus M, Boehm E *et al.* The Effect of Scapula Tilt and Best-Fit Circle Placement When Measuring Glenoid Bone Loss in Shoulder Instability Patients. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2018; **34**: 398–404.
- 25 Moroder P, Ernstbrunner L, Pomwenger W, Oberhauser F, Hitzl W, Tauber M *et al.* Anterior Shoulder Instability is Associated with an Underlying Deficiency of the Bony Glenoid Concavity. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2015; **31**: 1223–1231.
- 26 Auffarth A, Mayer M, Kofler B, Hitzl W, Bogner R, Moroder P *et al.* The interobserver reliability in diagnosing osseous lesions after first-time anterior shoulder dislocation comparing plain radiographs with computed tomography scans. *J Shoulder Elb Surg* 2013; **22**: 1507–1513.
- 27 Huijsmans PE, de Witte PB, de Villiers RVP, Wolterbeek DW, Warmerdam P, Kruger NR *et al.* Recurrent anterior shoulder instability: accuracy of estimations of glenoid bone loss with computed tomography is insufficient for therapeutic decision-making. *Skeletal Radiol* 2011; **40**: 1329–34.
- 28 Dussing F, Plachel F, Grossauer T, Hoffelner T, Schulz E, von Keudell A *et al.* Anterior shoulder dislocation and concomitant fracture of the greater tuberosity: Clinical and radiological results. *Obere Extrem* 2018; **13**: 211–217.
- 29 Simank H-G, Dauer G, Schneider S, Loew M. Incidence of rotator cuff tears in shoulder dislocations and results of therapy in older patients. *Arch Orthop Trauma Surg* 2006; **126**: 235–40.
- 30 Mantone JK, Burkhead WZ, Noonan J. Nonoperative treatment of rotator cuff tears. *Orthop Clin North Am* 2000; **31**: 295–311.

- 31 Tempelhof S, Rupp S, Seil R. Age-related prevalence of rotator cuff tears in asymptomatic shoulders. *J Shoulder Elb Surg* 1999; **8**: 296–299.
- 32 Minagawa H, Yamamoto N, Abe H, Fukuda M, Seki N, Kikuchi K *et al.* Prevalence of symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears in the general population: From mass-screening in one village. *J Orthop* 2013; **10**: 8–12.
- 33 Seitz AL, McClure PW, Finucane S, Boardman ND, Michener LA. Mechanisms of rotator cuff tendinopathy: Intrinsic, extrinsic, or both? *Clin. Biomech.* 2011; **26**: 1–12.
- 34 Spiesz EM, Thorpe CT, Chaudhry S, Riley GP, Birch HL, Clegg PD *et al.* Tendon extracellular matrix damage, degradation and inflammation in response to in vitro overload exercise. *J Orthop Res* 2015; **33**: 889–897.
- 35 Plachel F, Moroder P, Gehwolf R, Tempfer H, Wagner A, Auffarth A *et al.* Risk Factors for Rotator Cuff Disease: An Experimental Study on Intact Human Subscapularis Tendons. *J Orthop Res* 2020; **38**: 182–191.
- 36 Neer CS. Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg Am* 1972; **54**: 41–50.
- 37 Heuberer PR, Plachel F, Willinger L, Moroder P, Laky B, Pauzenberger L *et al.* Critical shoulder angle combined with age predict five shoulder pathologies: A retrospective analysis of 1000 cases. *BMC Musculoskelet Disord* 2017; **18**. doi:10.1186/s12891-017-1559-4.
- 38 Loew M, Habermeyer P, Wiedemann E, Rickert M, Gohlke F. [Recommendations for diagnosis and expert assessment of traumatic rotator cuff lesions]. *Unfallchirurg* 2000; **103**: 417–26.
- 39 Hintermann B, Gächter A. Arthroscopic Findings After Shoulder Dislocation. *Am J Sports Med* 1995; **23**: 545–551.
- 40 LATARJET M. [Treatment of recurrent dislocation of the shoulder]. *Lyon Chir* 1954; **49**: 994–7.
- 41 Giles JW, Boons HW, Elkinson I, Faber KJ, Ferreira LM, Johnson JA *et al.* Does the dynamic sling effect of the Latarjet procedure improve shoulder stability? A biomechanical evaluation. *J Shoulder Elb Surg* 2013; **22**: 821–827.
- 42 Lafosse L, Lejeune E, Bouchard A, Kakuda C, Gobezie R, Kochhar T. The Arthroscopic Latarjet Procedure for the Treatment of Anterior Shoulder Instability. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2007; **23**: 1242.e1-1242.e5.
- 43 Singer GC, Kirkland PM, Emery RJ. Coracoid transposition for recurrent anterior instability of the shoulder. A 20-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Br* 1995; **77**: 73–6.
- 44 Neyton L, Young A, Dawidziak B, Visona E, Hager JP, Fournier Y *et al.* Surgical treatment of anterior instability in rugby union players: Clinical and radiographic results of the Latarjet-Patte procedure with minimum 5-year follow-up. *J Shoulder Elb Surg* 2012; **21**: 1721–1727.
- 45 Beran MC, Donaldson CT, Bishop JY. Treatment of chronic glenoid defects in the setting of recurrent anterior shoulder instability: a systematic review. *J shoulder Elb Surg* 2010; **19**: 769–80.
- 46 Auffarth A, Schauer J, Matis N, Kofler B, Hitzl W, Resch H. The J-bone graft for anatomical glenoid reconstruction in recurrent posttraumatic anterior shoulder dislocation. *Am J Sports Med* 2008; **36**: 638–647.

- 47 Ghodadra N, Gupta A, Romeo AA, Bach BR, Verma N, Shewman E *et al.* Normalization of glenohumeral articular contact pressures after Latarjet or iliac crest bone-grafting. *J Bone Jt Surg - Ser A* 2010; **92**: 1478–1489.
- 48 Pauzenberger L, Dyrna F, Obopilwe E, Heuberer PR, Arciero RA, Anderl W *et al.* Biomechanical Evaluation of Glenoid Reconstruction with an Implant-Free J-Bone Graft for Anterior Glenoid Bone Loss. *Am J Sports Med* 2017; **45**: 2849–2857.
- 49 Anderl W, Kriegleder B, Heuberer PR. All-arthroscopic implant-free iliac crest bone grafting: New technique and case report. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2012; **28**: 131–137.
- 50 Moroder P, Hitzl W, Tauber M, Hoffelner T, Resch H, Auffarth A. Effect of anatomic bone grafting in post-traumatic recurrent anterior shoulder instability on glenoid morphology. *J Shoulder Elb Surg* 2013; **22**: 1522–1529.
- 51 Allain J, Goutallier D, Glorion C. Long-term results of the latarjet procedure for the treatment of anterior instability of the shoulder. *J Bone Jt Surg - Ser A* 1998; **80**: 841–852.
- 52 Hovelius L, Sandström B, Olofsson A, Svensson O, Rahme H. The effect of capsular repair, bone block healing, and position on the results of the Bristow-Latarjet procedure (study III): Long-term follow-up in 319 shoulders. *J Shoulder Elb Surg* 2012; **21**: 647–660.
- 53 Ernstbrunner L, Plachel F, Heuberer P, Pauzenberger L, Moroder P, Resch H *et al.* Arthroscopic Versus Open Iliac Crest Bone Grafting in Recurrent Anterior Shoulder Instability With Glenoid Bone Loss: A Computed Tomography–Based Quantitative Assessment. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2018; **34**: 352–359.
- 54 Yamaguchi K, Tetro AM, Blam O, Evanoff BA, Teefey SA, Middleton WD. Natural history of asymptomatic rotator cuff tears: A longitudinal analysis of asymptomatic tears detected sonographically. *J Shoulder Elb Surg* 2001; **10**: 199–203.
- 55 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 Jt Surg - Am Vol* 2015; **97**: 89–98.
- 56 Zingg PO, Jost B, Sukthankar A, Buhler M, Pfirrmann CWA, Gerber C. Clinical and structural outcomes of nonoperative management of massive rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 2007; **89**: 1928–34.
- 57 Moosmayer S, Lund G, Seljom US, Haldorsen B, Svege IC, Hennig T *et al.* 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 Jt Surg - Am Vol* 2019; **101**: 1050–1060.
- 58 Oh JH, Kim SH, Ji HM, Jo KH, Bin SW, Gong HS. Prognostic Factors Affecting Anatomic Outcome of Rotator Cuff Repair and Correlation With Functional Outcome. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2009; **25**: 30–39.
- 59 Zhang AL, Montgomery SR, Ngo SS, Hame SL, Wang JC, Gamradt SC. Analysis of rotator cuff repair trends in a large private insurance population. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2013; **29**: 623–629.
- 60 Gerber C, Schneeberger AG, Beck M, Schlegel U. Mechanical strength of repairs of the rotator cuff. *J Bone Jt Surg - Ser B* 1994; **76**: 371–380.

- 61 Ma CB, MacGillivray JD, Clabeaux J, Lee S, Otis JC. Biomechanical evaluation of arthroscopic rotator cuff stitches. *J Bone Jt Surg - Ser A* 2004; **86**: 1211–1216.
- 62 Meier SW, Meier JD. Rotator cuff repair: The effect of double-row fixation on three-dimensional repair site. *J Shoulder Elb Surg* 2006; **15**: 691–696.
- 63 Park MC, ElAttrache NS, Ahmad CS, Tibone JE. 'Transosseous-Equivalent' Rotator Cuff Repair Technique. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2006; **22**: 1360.e1-1360.e5.
- 64 Brady PC, Arrigoni P, Burkhart SS. Evaluation of Residual Rotator Cuff Defects After In Vivo Single-Versus Double-Row Rotator Cuff Repairs. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2006; **22**: 1070–1075.
- 65 Gerhardt C, Hug K, Pauly S, Marnitz T, Scheibel M. Arthroscopic single-row modified mason-allen repair versus double-row suture bridge reconstruction for supraspinatus tendon tears: A matched-pair analysis. *Am J Sports Med* 2012; **40**: 2777–2785.
- 66 McElvany MD, McGoldrick E, Gee AO, Neradilek MB, Matsen FA. Rotator cuff repair: Published evidence on factors associated with repair integrity and clinical outcome. *Am J Sports Med* 2015; **43**: 491–500.
- 67 Kim JY, Park JS, Rhee YG. Can Preoperative Magnetic Resonance Imaging Predict the Reparability of Massive Rotator Cuff Tears? *Am J Sports Med* 2017; **45**: 1654–1663.
- 68 Kim IB, Jung DW, Suh KT. Prediction of the Irreparability of Rotator Cuff Tears. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2018; **34**: 2076–2084.
- 69 Shim SB, Jeong JY, Kim JS, Yoo JC. 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 Elb Surg* 2018; **27**: 1932–1938.
- 70 Witney-Lagen C, Mazis G, Bruguera J, Atoun E, Sforza G, Levy O. Do elderly patients gain as much benefit from arthroscopic rotator cuff repair as their younger peers? *J Shoulder Elb Surg* 2019; **28**: 1056–1065.
- 71 Kluger R, Bock P, Mittlböck M, Krampla W, Engel A. Long-term survivorship of rotator cuff repairs using ultrasound and magnetic resonance imaging analysis. *Am J Sports Med* 2011; **39**: 2071–81.
- 72 Plachel F, Moroder P, Gerhardt C, Scheibel M. Anterosuperiore Rotatorenmanschettenläsion beim jungen Patienten: Ruptur der Subskapularis- und Supraspinatussehne. *Arthroskopie*. 2017; **30**: 216–222.
- 73 Blasier RB, Guldberg RE, Rothman ED. Anterior shoulder stability: Contributions of rotator cuff forces and the capsular ligaments in a cadaver model. *J shoulder Elb Surg* 1992; **1**: 140–50.
- 74 Plachel F, Pauly S, Moroder P, Scheibel M. Arthroskopische Doppelreihenrekonstruktion hochgradiger Rupturen der Subskapularissehne. *Oper Orthop Traumatol* 2018; **30**: 111–129.
- 75 Bartl C, Scheibel M, Magosch P, Lichtenberg S, Habermeyer P. Open repair of isolated traumatic subscapularis tendon tears. *Am J Sports Med* 2011; **39**: 490–496.
- 76 Longo UG iusepp., Loppini M, Rizzello G, Ciuffreda M, Maffulli N, Denaro V. Latarjet, Bristow, and Eden-Hybinette procedures for anterior shoulder dislocation: systematic review and quantitative synthesis of the literature. *Arthroscopy*. 2014; **30**: 1184–1211.

- 77 Buscayret F, Edwards TB, Szabo I, Adeleine P, Coudane H, Walch G. Glenohumeral arthrosis in anterior instability before and after surgical treatment: incidence and contributing factors. *Am J Sports Med*; **32**: 1165–72.
- 78 Haas M, Plachel F, Wierer G, Heuberger P, Hoffelner T, Schulz E *et al.* Glenoid morphology is associated with the development of instability arthropathy. *J Shoulder Elb Surg* 2019; **28**: 893–899.
- 79 Rosenberg BN, Richmond JC, Levine WN. Long-Term Followup of Bankart Reconstruction: Incidence of Late Degenerative Glenohumeral Arthrosis. *Am J Sports Med* 1995; **23**: 538–544.
- 80 Hovelius LK, Sandström BC, Rösmark DL, Saebö M, Sundgren KH, Malmqvist BG. Long-term results with the Bankart and Bristow-Latarjet procedures: Recurrent shoulder instability and arthropathy. *J Shoulder Elb Surg* 2001; **10**: 445–452.
- 81 Moroder P, Odorizzi M, Pizzinini S, Demetz E, Resch H, Moroder P. Open bankart repair for the treatment of anterior shoulder instability without substantial osseous glenoid defects results after a minimum follow-up of twenty years. *J Bone Jt Surg - Am Vol* 2014; **97**: 1398–1405.
- 82 Hovelius L, Saeboe M. Neer Award 2008: Arthropathy after primary anterior shoulder dislocation-223 shoulders prospectively followed up for twenty-five years. *J Shoulder Elb Surg* 2009; **18**: 339–347.
- 83 Berendes TD, Pilot P, Nagels J, Vochteloo AJH, Nelissen RGHH. Survey on the management of acute first-time anterior shoulder dislocation amongst Dutch public hospitals. *Arch Orthop Trauma Surg* 2015; **135**: 447–54.
- 84 Neviasser RJ, Benke MT, Neviasser AS. Mid-term to long-term outcome of the open Bankart repair for recurrent traumatic anterior dislocation of the shoulder. *J Shoulder Elb Surg* 2017; **26**: 1943–1947.
- 85 Pelet S, Jolles BM, Farron A. Bankart repair for recurrent anterior glenohumeral instability: results at twenty-nine years' follow-up. *J shoulder Elb Surg*; **15**: 203–7.
- 86 Bock J, Buckup J, Reinig Y, Zimmermann E, Colcuc C, Hoffmann R *et al.* The arthroscopic Bankart repair procedure enables complete quantitative labrum restoration in long-term assessments. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* 2018; **26**: 3788–3796.
- 87 Zaffagnini S, Muccioli GMM, Giordano G, Bonanzinga T, Grassi A, Nitri M *et al.* Long-term outcomes after repair of recurrent post-traumatic anterior shoulder instability: Comparison of arthroscopic transglenoid suture and open Bankart reconstruction. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* 2012; **20**: 816–821.
- 88 Kavaja L, Pajarinen J, Sinisaari I, Savolainen V, Björkenheim JM, Haapamäki V *et al.* Arthrosis of glenohumeral joint after arthroscopic Bankart repair: A long-term follow-up of 13 years. *J Shoulder Elb Surg* 2012; **21**: 350–355.
- 89 Privitera DM, Bisson LJ, Marzo JM. Minimum 10-year follow-up of arthroscopic intra-articular Bankart repair using bioabsorbable tacks. *Am J Sports Med* 2012; **40**: 100–7.
- 90 Castagna A, Markopoulos N, Conti M, Delle Rose G, Papadakou E, Garofalo R. Arthroscopic bankart suture-anchor repair: Radiological and clinical outcome at minimum 10 years of follow-up. *Am J Sports Med* 2010; **38**: 2012–2016.
- 91 De L'Escalopier N, Barbier O, Demoures T, Ollat D, Versier G. Long-term results of a monocentric series of soldiers after latarjet procedure for anterior shoulder instability. Implications for the

- assessment of soldiers' medical ability. *Mil Med* 2018; **183**: e134–e137.
- 92 Gordins V, Hovelius L, Sandström B, Rahme H, Bergström U. Risk of arthropathy after the Bristow-Latarjet repair: a radiologic and clinical thirty-three to thirty-five years of follow-up of thirty-one shoulders. *J Shoulder Elb Surg* 2015; **24**: 691–9.
- 93 Mizuno N, Denard PJ, Raiss P, Melis B, Walch G. Long-term results of the Latarjet procedure for anterior instability of the shoulder. *J Shoulder Elb Surg* 2014; **23**: 1691–1699.
- 94 Lädermann A, Lubbeke A, Stern R, Cunningham G, Bellotti V, Gazielly DF. Risk factors for dislocation arthropathy after Latarjet procedure: A long-term study. *Int Orthop* 2013; **37**: 1093–1098.
- 95 Moroder P, Schulz E, Wierer G, Auffarth A, Habermeyer P, Resch H *et al.* Neer Award 2019: Latarjet procedure vs. iliac crest bone graft transfer for treatment of anterior shoulder instability with glenoid bone loss: a prospective randomized trial. *J Shoulder Elb Surg* 2019; **28**: 1298–1307.
- 96 Scheibel M, Nikulka C, Dick A, Schroeder RJ, Popp AG, Haas NP. Structural integrity and clinical function of the subscapularis musculotendinous unit after arthroscopic and open shoulder stabilization. *Am J Sports Med* 2007; **35**: 1153–1161.
- 97 Hurley ET, Lim Fat D, Farrington SK, Mullett H. Open Versus Arthroscopic Latarjet Procedure for Anterior Shoulder Instability: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am. J. Sports Med.* 2019; **47**: 1248–1253.
- 98 Rashid MS, Cooper C, Cook J, Cooper D, Dakin SG, Snelling S *et al.* Increasing age and tear size reduce rotator cuff repair healing rate at 1 year: Data from a large randomized controlled trial. *Acta Orthop* 2017; **88**: 606–611.
- 99 Robinson PM, Wilson J, Dalal S, Parker RA, Norburn P, Roy BR. Rotator cuff repair in patients over 70 years of age: Early outcomes and risk factors associated with re-tear. *J Bone Jt Surg - Ser B* 2013; **95 B**: 199–205.
- 100 Kelly BC, Constantinescu DS, Vap AR. Arthroscopic and Open or Mini-Open Rotator Cuff Repair Trends and Complication Rates Among American Board of Orthopaedic Surgeons Part II Examinees (2007-2017). In: *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*. W.B. Saunders, 2019, pp 3019–3024.
- 101 Bedeir YH, Jimenez AE, Grawe BM. Recurrent tears of the rotator cuff: Effect of repair technique and management options. *Orthop Rev (Pavia)* 2018; **10**: 7593.
- 102 Flurin PH, Hardy P, Valenti P, Meyer N, Collin P, Kempf JF. Osteoarthritis after rotator cuff repair: A 10-year follow-up study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017; **103**: 477–481.
- 103 Gausden EB, McCarthy MM, Kontaxis A, Corpus KT, Gulotta L V., Kelly AM. Subscapularis tendon loading during activities of daily living. *J Shoulder Elb Surg* 2017; **26**: 331–336.
- 104 Collin P, Matsumura N, Lädermann A, Denard PJ, Walch G. Relationship between massive chronic rotator cuff tear pattern and loss of active shoulder range of motion. *J Shoulder Elb Surg* 2014; **23**: 1195–1202.
- 105 Lanz U, Fullick R, Bongiorno V, Saintmard B, Campens C, Lafosse L. Arthroscopic repair of large subscapularis tendon tears: 2- to 4-year clinical and radiographic outcomes. *Arthroscopy* 2013; **29**: 1471–8.

- 106 Mall NA, Chahal J, Heard WM, Bach BR, Bush-Joseph CA, Romeo AA *et al.* Outcomes of arthroscopic and open surgical repair of isolated subscapularis tendon tears. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2012; **28**: 1306–1314.
- 107 Nové-Josserand L, Collin P, Godenèche A, Walch G, Meyer N, Kempf JF. Ten-year clinical and anatomic follow-up after repair of anterosuperior rotator cuff tears: influence of the subscapularis. *J Shoulder Elb Surg* 2017; **26**: 1826–1833.
- 108 Green A, Izzii J. Isolated fractures of the greater tuberosity of the proximal humerus. *J. Shoulder Elb. Surg.* 2003; **12**: 641–649.
- 109 Ogawa K, Yoshida A, Takahashi M, Ui M. Fractures of the coracoid process. *J Bone Joint Surg Br* 1997; **79**: 17–9.
- 110 Te Slaa RL, Verburg H, Marti RK. Fracture of the coracoid process, the greater tuberosity, and the glenoid rim after acute first-time anterior shoulder dislocation: A case report. *J Shoulder Elb Surg* 2001; **10**: 489–492.
- 111 Plachel F, Schanda J, Pauzenberger L, Anderl W, Heuberger PR. Arthroskopische Implantation eines J-Spans bei chronischer Schulterinstabilität mit knöchernem Glenoiddefekt. *Arthroskopie* 2015; **28**: 149–152.
- 112 Kukkonen J, Joukainen A, Lehtinen J, Mattila KT, Tuominen EK, Kauko T *et al.* Treatment of Nontraumatic Rotator Cuff Tears: A Randomized Controlled Trial with Two Years of Clinical and Imaging Follow-up.[Erratum appears in *J Bone Joint Surg Am.* 2016 Jan 6;98(1):e1; PMID: 26738908]. *J Bone Jt Surg - Am Vol* 2015; **97**: 1729–1737.
- 113 Ernstbrunner L, Wartmann L, Zimmermann SM, Schenk P, Gerber C, Wieser K. Long-term Results of the Open Latarjet Procedure for Recurrent Anterior Shoulder Instability in Patients Older Than 40 Years. *Am J Sports Med* 2019; **47**: 3057–3064.
- 114 Beranger JS, Maqdes A, Pujol N, Desmoineaux P, Beaufile P. Bone mineral density of the coracoid process decreases with age. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* 2016; **24**: 502–506.
- 115 Handschin RG, Stern WB. X-ray diffraction studies on the lattice perfection of human bone apatite (Crista Iliaca). *Bone* 1995; **16**. doi:10.1016/S8756-3282(95)80385-8.
- 116 Plachel F, Schanda JE, Ortmaier R, Auffarth A, Resch H, Bogner R. The “triple dislocation fracture”: anterior shoulder dislocation with concomitant fracture of the glenoid rim, greater tuberosity and coracoid process—a series of six cases. *J Shoulder Elb Surg* 2017; **26**: e278–e285.
- 117 Moroder P, Plachel F, Becker J, Schulz E, Abdic S, Haas M *et al.* Clinical and Radiological Long-term Results After Implant-Free, Autologous, Iliac Crest Bone Graft Procedure for the Treatment of Anterior Shoulder Instability. *Am J Sports Med* 2018; **46**: 2975–2980.
- 118 Deml C, Kaiser P, Van Leeuwen WF, Zitterl M, Euler SA. The J-Shaped Bone Graft for Anatomic Glenoid Reconstruction. *Am J Sports Med* 2016; **44**: 2778–2783.
- 119 Gupta A, Delaney R, Petkin K, Lafosse L. Complications of the Latarjet procedure. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 2015; **8**: 59–66.
- 120 Plachel F, Heuberger P, Schanda J, Pauzenberger L, Kriegleder B, Anderl W. Arthroskopische J-Span-Implantation bei knöchernem Glenoiddefekt: Klinische und radiologische Einjahresergebnisse.

- Obere Extremität* 2016; **11**: 119–125.
- 121 Anderl W, Pauzenberger L, Laky B, Kriegleder B, Heuberer PR. Arthroscopic Implant-Free Bone Grafting for Shoulder Instability with Glenoid Bone Loss. *Am J Sports Med* 2015; **44**: 1137–1145.
- 122 Greis PE, Dean M, Hawkins RJ. Subscapularis tendon disruption after Bankart reconstruction for anterior instability. *J Shoulder Elbow Surg* 1996; **5**: 219–222.
- 123 Ji X, Bi C, Wang F, Wang Q. Arthroscopic versus mini-open rotator cuff repair: An up-to-date meta-analysis of randomized controlled trials. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2015; **31**: 118–124.
- 124 Huang R, Wang S, Wang Y, Qin X, Sun Y. Systematic Review of All-Arthroscopic Versus Mini-Open Repair of Rotator Cuff Tears: A Meta-Analysis. *Sci. Rep.* 2016; **6**. doi:10.1038/srep22857.
- 125 Nazari G, MacDermid JC, Bryant D, Dewan N, Athwal GS. Effects of arthroscopic vs. mini-open rotator cuff repair on function, pain & range of motion. A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2019; **14**. doi:10.1371/journal.pone.0222953.
- 126 P. P, D. K, A. B, A. F, J. C, A. C *et al.* Functional outcome and structural integrity following mini-open repair of large and massive rotator cuff tears: A 3-5 year follow-up study. *J Shoulder Elb Surg* 2011; **20**: 131–137.
- 127 Cho NS, Rhee YG. The factors affecting the clinical outcome and integrity of arthroscopically repaired rotator cuff tears of the shoulder. *Clin Orthop Surg* 2009; **1**: 96–104.
- 128 Schairer WW, Nwachukwu BU, Fu MC, Warren RF. Risk Factors for Short-term Complications After Rotator Cuff Repair in the United States. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2018; **34**: 1158–1163.
- 129 Plachel F, Siegert P, Rüttershoff K, Akgün D, Thiele K, Moroder P SM. Clinical mid-term results of arthroscopic rotator cuff repair in patients older than 75 years of age. *J Shoulder Elb Surg*; **(accepted)**.
- 130 Yel M, Shankwiler JA, Noonan JE, Burkhead WZ. Results of decompression and rotator cuff repair in patients 65 years old and older: 6- to 14-year follow-up. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2001; **30**: 347–52.
- 131 Padaki AS, Boddapati V, Mathew J, Ahmad CS, Jobin CM, Levine WN. The effect of age on short-term postoperative complications following arthroscopic rotator cuff repair. *JSES open access* 2019; **3**: 194–198.
- 132 Nho SJ, Slabaugh MA, Seroyer ST, Grumet RC, Wilson JB, Verma NN *et al.* Does the Literature Support Double-Row Suture Anchor Fixation for Arthroscopic Rotator Cuff Repair? A Systematic Review Comparing Double-Row and Single-Row Suture Anchor Configuration. *Arthrosc. - J. Arthrosc. Relat. Surg.* 2009; **25**: 1319–1328.
- 133 Saridakis P, Jones G. Outcomes of single-row and double-row arthroscopic rotator cuff repair: A systematic review. *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A.* 2010; **92**: 732–742.
- 134 Heuberer PR, Smolen D, Pauzenberger L, Plachel F, Salem S, Laky B *et al.* 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* 2017; **45**: 1283–1288.
- 135 Randelli PS, Menon A, Nocerino E, Aliprandi A, Feroldi FM, Mazzoleni MG *et al.* Long-term Results of Arthroscopic Rotator Cuff Repair: Initial Tear Size Matters: A Prospective Study on Clinical and

- Radiological Results at a Minimum Follow-up of 10 Years. *Am J Sports Med* 2019; **47**: 2659–2669.
- 136 Collin P, Kempf JF, Molé D, Meyer N, Agout C, Saffarini M *et al.* Ten-Year Multicenter Clinical and MRI Evaluation of Isolated Supraspinatus Repairs. *J Bone Jt Surg - Am Vol* 2017; **99**: 1355–1364.
- 137 Agout C, Berhouet J, Bouju Y, Godenèche A, Collin P, Kempf JF *et al.* Clinical and anatomic results of rotator cuff repair at 10 years depend on tear type. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* 2018; **26**: 2490–2497.
- 138 Plachel F, Traweger A, Vasvary I, Schanda JE, Resch H, Moroder P. Long-term results after arthroscopic transosseous rotator cuff repair. *J Shoulder Elb Surg* 2019; **28**: 706–714.
- 139 Matsuba T, Hata Y, Ishigaki N, Nakamura K, Kato H. Osteoarthritis progression of the shoulder: A long-term follow-up after mini-open rotator cuff repair. *J Orthop Surg* 2018; **26**.
doi:10.1177/2309499018768106.
- 140 Herve A, Thomazeau H, Favard L, Colmar M, Mansat P, Walch G *et al.* Clinical and radiological outcomes of osteoarthritis twenty years after rotator cuff repair. *Orthop Traumatol Surg Res* 2019; **105**: 813–818.
- 141 Hamada K, Fukuda H, Mikasa M, Kobayashi Y. Roentgenographic findings in massive rotator cuff tears. A long-term observation. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1990, pp 92–96.
- 142 Samilson RL, Prieto V. Dislocation arthropathy of the shoulder. *J Bone Jt Surg - Ser A* 1983; **65**: 456–460.
- 143 Paxton ES, Teefey SA, Dahiya N, Keener JD, Yamaguchi K, Galatz LM. Clinical and radiographic outcomes of failed repairs of large or massive rotator cuff tears: Minimum ten-year follow-up. *J Bone Jt Surg - Ser A* 2013; **95**: 627–632.
- 144 Plachel F, Korn G, Ortmaier R, Hoffelner T, Resch H, Moroder P. Repair failure increases the risk of developing secondary glenohumeral osteoarthritis: A long-term follow-up after open repair of large subscapularis tendon tears. *Orthop Traumatol Surg Res* 2019; **105**: 1529–1533.
- 145 Lanz U, Fullick R, Bongiorno V, Saintmard B, Campens C, Lafosse L. Arthroscopic repair of large subscapularis tendon tears: 2- to 4-year clinical and radiographic outcomes. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg* 2013; **29**: 1471–1478.
- 146 Seppel G, Plath JE, Völk C, Seiberl W, Buchmann S, Waldt S *et al.* Long-term Results after Arthroscopic Repair of Isolated Subscapularis Tears. *Am J Sports Med* 2017; **45**: 759–766.

6 Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Carsten Perka, *ärztlicher Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité - Universitätsmedizin Berlin*, und Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Ulrich Stöckle, *geschäftsführender Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité - Universitätsmedizin Berlin*, für die Möglichkeit der Durchführung bzw. ihre Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Habilitation sowie meine klinische und wissenschaftliche Ausbildung.

„Wenn ich weiter als andere gesehen habe, dann deshalb, weil ich auf der Schulter von Giganten stand.“ (Issac Newton, 1643 - 1727) - mein ganz besonderer Dank gilt meinem Mentor - Förderer bzw. Kritiker - und Freund Herrn PD Dr. med. univ. Philipp Moroder, der mir vor vielen Jahren den Weg zur Habilitation geebnet hat und mir seither bedingungslos zur Seite steht. Er hat schon jetzt meinen akademischen und beruflichen Werdegang entscheidend beeinflusst, wofür ich ihm unbeschreiblich dankbar bin.

Ich danke auch meinem schulterchirurgischen Lehrer Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Markus Scheibel für die Möglichkeit mich in Berlin zu entwickeln und die fortwährende Unterstützung während meiner bisherigen Laufbahn.

Herrn Dr. med. univ. Philipp Heuberer bin ich zu Dank verpflichtet. Er hat in mir frühzeitig das Interesse an der Wissenschaft und vor allem am Schultergelenk geweckt und mich auf meinem weiteren Weg immer freundschaftlich unterstützt.

Diese Arbeit resultiert auch noch zu Teilen aus meiner postgradualen Ausbildung an der Paracelsus Medizinischen Privatuniversität Salzburg. Seither standen mir Herr Univ.-Prof. Dr. Herbert Resch und Herr Prof. Dr. Andreas Traweger immer hilfreich und unterstützend zur Seite, wofür ich ihnen bis heute überaus dankbar bin.

Der wissenschaftliche Fortschritt bzw. Erfolg ist das Ergebnis einer intensiven Teamarbeit. In diesem Sinne gebührt mein Dank allen Wegbegleitern, Kollegen und Freunden, die mich immer unterstützt haben und mir mit konstruktiven Gesprächen zur Seite standen. Insbesondere bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. med. univ. Jakob Schanda, Herrn Dr. med. Doruk Akgün und Herrn Dr. med. Marvin Minkus, deren fachliche und menschliche Art maßgeblich zum Erfolg dieser Habilitation beitrugen.

Hervorzuheben ist meine Familie und vor allem meine Freundin Lisa, denen für ihre moralische Unterstützung, ihren fortwährenden Rückhalt und ihre unermüdliche Motivation der größte Dank gilt. Ihnen ist diese Arbeit in Dankbarkeit gewidmet.

7 Eidesstattliche Erklärung

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

Datum

Dr. med. univ. Fabian Plachel, PhD