

Aus der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Aktuelle Aspekte der Diagnostik und Therapie von Instabilitäten
des Schulterergelenks

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Marvin Minkus

aus Berlin

Datum der Promotion: 06.03.2020

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Zusammenfassung | 3 |
| 2. Einführung | 5 |
| <i>Zielstellung Publikation 1</i> | 7 |
| <i>Zielstellung Publikation 2</i> | 7 |
| <i>Zielstellung Publikation 3</i> | 7 |
| 3. Methodik | 9 |
| 3.1. Patientenkollektiv | 9 |
| <i>Quantifizierung der dynamisch posterioren Translation (Publikation 1)</i> | 9 |
| <i>Operative Therapie der akuten Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 2)</i> | 9 |
| <i>Operative Therapie der chronischen Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 3)</i> | 9 |
| 3.2. Klinische Evaluation | 10 |
| <i>Subjective Shoulder Value</i> | 10 |
| <i>Constant Score</i> | 10 |
| <i>Taft Score</i> | 11 |
| <i>Acromioclavicular Joint Instability Index</i> | 11 |
| 3.3. Radiologische Evaluation | 11 |
| <i>Quantifizierung der dynamisch posterioren Translation (Publikation 1)</i> | 11 |
| <i>Operative Therapie der Schulterreckgelenkinstabilität (Publikationen 2,3)</i> | 12 |
| 3.4. Therapie | 12 |
| <i>Operative Therapie der akuten Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 2)</i> | 12 |
| <i>Operative Therapie der chronischen Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 3)</i> | 13 |
| 3.5. Statistik | 14 |
| 4. Ergebnisse | 15 |
| <i>Quantifizierung der dynamisch posterioren Translation (Publikation 1)</i> | 15 |
| <i>Operative Therapie der akuten Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 2)</i> | 15 |
| <i>Operative Therapie der chronischen Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 3)</i> | 16 |
| 5. Diskussion | 17 |
| <i>Quantifizierung der dynamisch posterioren Translation (Publikation 1)</i> | 17 |
| <i>Operative Therapie der Schulterreckgelenkinstabilität (Publikationen 2,3)</i> | 18 |
| 6. Literaturverzeichnis | 20 |
| 7. Anhang | 23 |
| 7.1. Eidesstattliche Versicherung | 23 |
| 7.2. Anteilserklärung | 24 |
| 7.3. Ausgewählte Publikationen | 25 |
| 7.4. Lebenslauf | 51 |
| 7.5. Publikationsliste | 52 |
| 7.6. Danksagung | 54 |

Aktuelle Aspekte der Diagnostik und Therapie von Instabilitäten des Schulterreckgelenks

Marvin Minkus

1. Zusammenfassung

Instabilitäten des Schulterreck- bzw. Acromioclavicular(AC)gelenks sind häufige Verletzungen des Schultergürtels, die in der Regel durch einen Sturz auf die Schulter verursacht werden und vor allem junge und sportlich aktive Menschen betreffen. Für die Wahl der geeigneten Therapie ist neben Alter und Funktionsanspruch des Patienten vor allem der Grad der Instabilität des Schulterreckgelenks ausschlaggebend. Diese wird nach Rockwood anhand des Ausmaßes der vertikalen Instabilität bzw. Translation klassifiziert. Die dynamisch posteriore Translation (DPT) hingegen wird nicht bzw. nur als statisch posteriore Dislokation beim Rockwood Typ IV berücksichtigt. Klinische Studien konnten jedoch zeigen, dass die DPT ein entscheidender Einflussfaktor auf das klinische Outcome bei Instabilitäten des Schulterreckgelenks ist. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die DPT in modifizierten bilateralen Röntgenaufnahmen nach Alexander zu quantifizieren und mit klinischen und radiologischen Parametern zu korrelieren (Publikation 1), die klinischen und radiologischen Ergebnisse der arthroskopischen Stabilisierung der akuten AC-Gelenkssprengung unter zusätzlicher Verwendung einer acromioclaviculären Cerclage zur Adressierung der DPT zu evaluieren (Publikation 2) und die klinischen und radiologischen Ergebnisse der arthroskopischen Stabilisierung von chronischen Instabilitäten des AC-Gelenks unter Berücksichtigung der vorausgegangenen Therapie zu beurteilen (Publikation 3).

Mit der Bestimmung der Überlappungslänge des AC-Gelenks (OL_{AC}) konnte eine Messmethode zur Quantifizierung der DPT in den Alexander-Aufnahmen entwickelt werden, die sowohl mit klinischen als auch radiologischen Parametern korreliert und somit die Bedeutung der horizontalen Translation bei Instabilitäten des AC-Gelenks unterstreicht. Bei der Stabilisierung von akuten AC-Gelenkssprengungen konnte gezeigt werden, dass die coracoclaviculäre Doppel-Button-Technik mit zusätzlicher Verwendung einer acromioclaviculären Cerclage gute klinische Ergebnisse erzielt und die DPT im Vergleich zur bisher angewandten Technik reduziert werden kann. Die operative Rekonstruktion von chronischen Instabilitäten des AC-Gelenks unter Verwendung einer autologen Gracilissehne und synthetischer coracoclaviculärer Augmentation führte sowohl als Revisionseingriff nach gescheiterter initialer AC-Gelenksstabilisierung als auch bei nicht voroperierten Patienten mit chronischer Schulterreckgelenkinstabilität zu zufriedenstellenden klinischen und radiologischen Ergebnissen. Zusammengefasst befasst sich die Dissertationsschrift mit aktuellen Aspekten der Diagnostik und Therapie von Instabilitäten des Schulterreckgelenks unter besonderer

Berücksichtigung der dynamisch horizontalen Translation, welche bisher in der Rockwood Klassifikation nur unzureichend abgebildet ist.

Abstract

Instabilities of the acromioclavicular (AC) joint represent one of the most common injuries of the shoulder girdle, are usually caused by a direct fall on the shoulder and are mainly affecting young patients, who are active in sports. The treatment decision process is influenced by age and functional demands of the patient but mostly by the grade of instability of the AC-joint. AC-joint separations are commonly categorised according to the Rockwood classification system, which is based on the severity of vertical instability. The horizontal component of instability with the dynamic posterior translation (DPT) is neglected in this classification system and only represented in the Rockwood type IV as a static posterior dislocation. However, clinical studies showed that DPT is a crucial factor influencing instabilities of the AC-joint. Aim of the publications included in this thesis was to quantify DPT in modified Alexander views and test for correlation with clinical and radiological parameter (publication 1), to evaluate the clinical and radiological results of the arthroscopic stabilization of acute AC-joint separations using an additional acromioclavicular cerclage addressing the DPT (publication 2) and to evaluate the clinical and radiological outcome of the arthroscopic stabilization of chronic AC-joint instability with respect to the prior treatment (publication 3).

With the measurement of the overlapping length of the AC-joint (OL_{AC}) we found a convenient method for quantification of DPT in modified Alexander-views, which correlates with clinical and radiological parameters underlining the importance of horizontal translation in patients with AC-joint instability. The coracoclavicular double-button technique with an additional acromioclavicular cerclage for acute AC-joint separation leads to good clinical results and reduces DPT compared to techniques which were used before. The operative reconstruction of chronic instabilities of the AC-joint using a gracilis tendon autograft with synthetic coracoclavicular augmentation leads to satisfying clinical and radiological results in primary or revision surgical procedures after failed initial AC-joint stabilization. In conclusion, this thesis deals with current aspects of the diagnostic and treatment of instabilities of the AC-joint with emphasis on the DPT, which is up until now insufficiently respected in the Rockwood classification system.

2. Einführung

Das Schulterergelenk bildet die gelenkige Verbindung zwischen dem lateralen Ende der Clavicula und dem Acromion der Scapula und wird demnach anatomisch als *Articulatio acromioclavicularis* (AC-Gelenk) bezeichnet. Es gehört zu den echten Gelenken (Diarthrosen) und bildet zusammen mit dem Sternoclaviculargelenk (SC-Gelenk) die einzige echte Gelenkverbindung zwischen dem Körperstamm bzw. Thorax und dem Arm. Damit kommt dem AC-Gelenk eine entscheidende Rolle in der komplexen Anatomie und Biomechanik des Schultergürtels und des scapulothorakalen Bewegungsrhythmus zu. Die Stabilität des Schulterergelenks wird vor allem durch die passiven Stabilisatoren gewährleistet. Diese umfassen die Gelenkkapsel, welche wiederum durch die acromioclaviculären Bänder augmentiert wird, und den coracoclaviculären Bandapparat. Dem Ligamentum (Lig.) coracoclaviculare wird hierbei primär eine Stabilisierung in der vertikalen Ebene zugeschrieben, wobei Mazzocca et al. zeigen konnten, dass es auch für die horizontale Stabilität relevant ist (1-3). Der coracoclaviculäre Bandapparat verläuft V-förmig und besteht medial aus dem Lig. conoideum und lateral aus dem Lig. trapezoideum. Die AC-Gelenkkapsel wird durch die Ligg. acromioclaviculare verstärkt, welche insbesondere im superioren und posterioren Bereich besonders kräftig sind und eine Stabilität primär in der horizontalen Ebene gewährleisten (2, 4). Zu den dynamischen Stabilisatoren des AC-Gelenks gehört die deltotrapezoidale Faszie, welche aus der Pars descendens des Musculus trapezius und der Pars clavicularis des Musculus deltoideus besteht. Pastor et al. konnten in einer biomechanischen Arbeit jedoch zeigen, dass diese muskulotendinöse Einheit nur geringfügig zur Stabilität des AC-Gelenks beiträgt (5).

Verletzungen des Schulterergelenks betreffen vorwiegend Männer im Alter zwischen 20 und 30 Jahren, die Kontakt- oder Kollisionssportarten betreiben (6-8). Mit einem Anteil von 9-17% aller Verletzungen des Schultergürtels stellt die Dislokation des AC-Gelenks eine häufige Pathologie dar (9, 10). Durch den zumeist direkten Sturz auf den adduzierten Arm bzw. Schultergürtel kommt es zur Läsion der ligamentären Strukturen, welche das AC-Gelenk stabilisieren und letztlich zur Instabilität des Schulterergelenks. Die Instabilität des Schulterergelenks ist abhängig vom Ausmaß der Verletzung der coracoclaviculären Bänder (CC-Bänder), der acromioclaviculären Bänder und der Avulsion der deltotrapezoidalen Faszie und wird üblicherweise nach Rockwood klassifiziert (7). Diese Klassifikation beruht auf der Translation der lateralen Clavicula zum Acromion in der vertikalen Ebene, welche radiologisch anhand der coracoclaviculären Differenz (CC-Differenz) im Seitenvergleich bestimmt werden kann. Die Instabilität in der horizontalen Ebene wird in der Rockwood-Klassifikation nur im

Typ IV berücksichtigt und beschreibt eine statische Dislokation der lateralen Clavicula nach posterior. Klinisch zeigt sich jedoch in der Regel eher eine dynamische posteriore Translation (DPT). Diese ist durch eine horizontale Verschieblichkeit der lateralen Clavicula gegenüber dem Acromion gekennzeichnet. Sie lässt sich sowohl passiv durch den Untersucher bei fixiertem Acromion als auch aktiv durch den Patienten in einer Adduktionsposition des Armes nachweisen, welche Stress auf das AC-Gelenk bringt und zu einer Translation der lateralen Clavicula nach posterosuperior führt. Ob eine Instabilität in der Horizontalebene bereits bei geringgradigen Verletzungen des AC-Gelenks auftritt, ist bisher nicht abschließend geklärt. Jedoch wird in der Literatur beschrieben, dass eine persistierende DPT nach operativer Versorgung einer AC-Gelenkssprengung mit schlechteren klinischen Ergebnissen einhergeht (11, 12). Außerdem konnten Hedtmann et al. zeigen, dass Patienten mit einer symptomatischen chronischen Instabilität des AC-Gelenks häufig eine DPT aufweisen (13). Neben der vertikalen sollte also auch die horizontale Instabilität des Schulterreckgelenks sowohl klinisch als auch radiologisch evaluiert werden. Wie bereits ausgeführt, wird die vertikale Translation mithilfe der CC-Differenz im Seitenvergleich in den Panoramaaufnahmen bestimmt. Zur Einschätzung der horizontalen Instabilität sind unterschiedliche Röntgenaufnahmen beschrieben. Axilläre Aufnahmen ermöglichen zwar eine Beurteilung des AC-Gelenks in der horizontalen Ebene, stellen jedoch keine Stressaufnahme dar und ermöglichen Rahm et al. zufolge keine sichere Detektion einer posterioren Translation (14). Demgegenüber bieten dynamische axilläre Aufnahmen nach Tauber et al. zwar eine genaue Beurteilung der DPT bei Instabilitäten des AC-Gelenks, sind jedoch aufgrund ihrer Komplexität und hohen Strahlenintensität in der klinischen Routine ungeeignet (15). Bilaterale laterale Stressaufnahmen nach Alexander bieten hingegen eine einfache Möglichkeit, die DPT bei Instabilitäten des AC-Gelenks zu beurteilen.(16, 17). Hierbei handelt es sich um eine sagittale Aufnahme mit horizontaler Adduktion des Armes, welche Stress auf das AC-Gelenk ausübt und somit die Detektion einer DPT ermöglicht. Ziel dieser Dissertationsschrift ist es, aktuelle Aspekte der Diagnostik und Therapie von Instabilitäten des Schulterreckgelenks unter besonderer Berücksichtigung der dynamischen horizontalen Translation herauszuarbeiten.

Zielstellung Publikation 1

Die DPT scheint ein entscheidender Parameter bei Instabilitäten des Schulterreckgelenks zu sein, ist jedoch in der Klassifikation nach Rockwood nicht bzw. nur unzureichend abgebildet. Ziel der Studie in Publikation 1 war es, die DPT in modifizierten Alexander-Aufnahmen zu quantifizieren und eine Korrelation mit klinischen und radiologischen Parametern zu evaluieren. Hypothese war, dass die Instabilität in der horizontalen Ebene sowohl mit klinischen Parametern als auch der vertikalen Translation korreliert.

Zielstellung Publikation 2

Die Indikation zur operativen Therapie der Schulterreckgelenkssprengung wird allgemein bei höhergradigen Verletzungen vom Rockwood-Typ IV, V und VI gestellt. Zahlreiche Techniken zur offenen und arthroskopischen Stabilisierung der akuten Schulterreckgelenkssprengung sind beschrieben. Insbesondere minimalinvasive Techniken wurden im letzten Jahrzehnt modifiziert, sodass die arthroskopisch-assistierte Doppel-Button-Technik heute ein weit verbreitetes Verfahren zur Stabilisierung der akuten AC-Gelenkssprengung darstellt (18). In klinischen Studien zeigte sich, dass eine isolierte coracoclaviculäre Stabilisierung des AC-Gelenks häufig zu einer persistierenden Instabilität in der horizontalen Ebene führt, welche wiederum mit schlechteren klinischen Ergebnissen einhergeht (11, 12). Aus biomechanischen Arbeiten ist bekannt, dass mit einer zusätzlichen Augmentation der acromioclaviculären Bänder, wie zum Beispiel mit einer acromioclaviculären Cerclage (AC-Cerclage), eine höhere Primärstabilität in der horizontalen Ebene erreicht wird (19, 20). Ziel der Studie in Publikation 2 war es, die klinischen und radiologischen Ergebnisse der arthroskopischen Stabilisierung von akuten Schulterreckgelenkssprengungen mit einer Doppel-Button-Technik unter zusätzlicher Verwendung einer AC-Cerclage zur Adressierung der DPT zu evaluieren. Die Hypothese war hier, dass die zusätzliche Verwendung einer AC-Cerclage eine horizontale Instabilität verhindert und damit zu besseren klinischen Ergebnissen führt.

Zielstellung Publikation 3

Eine chronische Instabilität des Schulterreckgelenks kann nach konservativer Therapie einer akuten Schulterreckgelenkssprengung oder nach erfolgter Stabilisierung des AC-Gelenks als postoperatives Rezidiv entstehen. Ob eine chronische Instabilität des AC-Gelenks symptomatisch wird, hängt vor allem davon ab, wie gut das Fehlen einer stabilen gelenkigen Verbindung zwischen Acromion und Clavicula muskulär kompensiert und ein intakter scapulothorakaler Rhythmus aufrechterhalten werden kann. Eine chronische AC-

Gelenkinstabilität ist damit ein wichtiger Risikofaktor für die Entstehung einer scapulären Dyskinesie oder eines SICK-Scapula-Syndroms („scapular malposition, inferior medial border prominence, pain and malposition, and dyskinesia of scapular motion“) (21).

In einer modifizierten Rockwood-Klassifikation wird die DPT berücksichtigt und die Bedeutung der horizontalen Komponente bei der chronischen AC-Gelenkinstabilität hervorgehoben (22). Typ III unterscheidet hierbei zwischen Typ IIIA (stabiles AC-Gelenk in Alexander-Aufnahme, keine scapuläre Dyskinesie) und Typ IIIB (instabiles AC-Gelenk in Alexander-Aufnahme, scapuläre Dyskinesie) (22). Die Indikation zur operativen Therapie wird bei Patienten gesehen, die eine symptomatische chronische Instabilität des AC-Gelenks mit dynamisch horizontaler Translation (Typ IIIB) oder höhergradige vertikaler Instabilität (Typ V) aufweisen. Ziel der Studie in Publikation 3 war es, die klinischen und radiologischen Ergebnisse der arthroskopischen Stabilisierung von chronischen Instabilitäten des AC-Gelenks unter Verwendung einer freien Gracilissehne zu evaluieren. Dabei wurde berücksichtigt, ob der Eingriff primär oder als Revisionseingriff nach gescheiterter initialer operativer Versorgung durchgeführt wurde. Voroperierte Patienten weisen beispielsweise bereits Bohrlöcher oder Vernarbungen auf, die das Komplikationsrisiko ggf. erhöhen oder das funktionelle Outcome beeinflussen können. Dies führte zur Hypothese, dass Patienten, die bereits voroperiert sind, schlechtere klinische Ergebnisse erzielen als Patienten, die zuvor konservativ behandelt wurden.

3. Methodik

3.1. Patientenkollektiv

Quantifizierung der dynamisch posterioren Translation (Publikation 1)

In diese retrospektive Kohortenstudie wurden 32 Patienten (n=4 weiblich, n=28 männlich; Durchschnittsalter 34,1 [19-51] Jahre) mit einer akuten Schulterreckgelenkssprengung vom Rockwood-Typ III (RW III) oder V (RW V) eingeschlossen. Einschlusskriterium war, dass eine vollständige radiologische Untersuchung mit Panoramastressaufnahmen und modifizierten Alexander-Aufnahmen beidseits vorlag sowie eine dokumentierte klinische Untersuchung mit entsprechenden Schulterfunktionsscores innerhalb der ersten Woche nach dem Unfallereignis. Der Fokus wurde auf höhergradige Instabilitäten des AC-Gelenks gelegt, da vor allem in der Gruppe der RW III und V eine dynamisch horizontale Translation unterschiedlichen Ausmaßes zu beobachten ist. Eine RW-IV-Verletzung mit statischer posteriorer Dislokation wurde nicht beobachtet, vielmehr handelt es sich jeweils um eine bidirektionale, also vertikale und horizontale Translation sowie um eine dynamische Form der Instabilität.

Operative Therapie der akuten Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 2)

In diese prospektive Kohortenstudie wurden 59 Patienten mit einer Schulterreckgelenkssprengung RW V eingeschlossen, die in einer arthroskopisch-assistierten Doppel-TightRope™-Technik (Fa. Arthrex, Naples, Florida) unter zusätzlicher Verwendung einer AC-Cerclage operiert wurden. Der Zeitraum zwischen Trauma und operativer Therapie durfte nicht länger als drei Wochen sein und AC-Gelenkssprengungen vom Rockwood-Typ I, II, III, IV und VI wurden ausgeschlossen.

Operative Therapie der chronischen Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 3)

In diese retrospektive Kohortenstudie wurden 38 Patienten mit einer chronischen bidirektionalen AC-Gelenkinstabilität eingeschlossen, die mit einer Gracilissehnen-Plastik und TightRope™ (Fa. Arthrex, Naples, Florida) Augmentation operativ versorgt wurden. Dazu gehörten sowohl Patienten, die nach konservativer Therapie eine symptomatische chronische AC-Gelenkinstabilität (Gruppe 1, n=19) entwickelten, als auch Patienten, die nach gescheiterter initialer operativer Stabilisierung eine symptomatische Rezidivinstabilität (Gruppe 2, n=19) erlitten. Beide Gruppen wurden miteinander verglichen.

3.2. Klinische Evaluation

Neben einer klinischen Untersuchung der Schulter wurden verschiedene Schulterfunktionsscores zur Beurteilung der subjektiven und objektiven Schulterfunktion erhoben. Der Subjektive Schulterwert (Subjective Shoulder Value, SSV) und der Constant Score (CS) sind allgemeine Schulterfunktionsscores, wohingegen der Taft-Score (TF) und der Acromioclavicular Joint Instability Index (ACJI) spezifisch bei Pathologien des Schulterergelenks angewandt werden (11, 23-25).

Die klinische Untersuchung der Schulter umfasste neben der Inspektion und Palpation auch eine Messung des Bewegungsumfangs nach der Neutral-Null-Methode. Hierbei lag der Fokus auf einem Druckschmerz über dem AC-Gelenk und einer vertikalen und horizontalen Translation der lateralen Clavicula gegenüber dem fixierten Acromion.

Subjective Shoulder Value (SSV) (23)

Der SSV ist der subjektive Schulterwert. Der Patient gibt in Prozent an, wie beweglich bzw. belastbar die betroffene Schulter im Vergleich zur gesunden Gegenseite ist. Eine voll funktionsfähige Schulter mit freier Beweglichkeit und ohne Schmerzen entspricht 100%. Der SSV ist nicht spezifisch für Pathologien des Schulterergelenks, jedoch als globaler subjektiver Wert geeignet, um die Gesamtfunktion und den Leidensdruck des Patienten bezüglich der Schulter zu beurteilen.

Constant Score (CS) (24)

Der Constant & Murley Score ist ein weit verbreitetes allgemeines Bewertungsinstrument für die Schulterfunktion. Der Test umfasst die Kategorien Schmerzen (15 Punkte), Aktivitäten des täglichen Lebens (20 Punkte), Bewegungsumfang (40 Punkte) und Kraft (25 Punkte) (24). Die Kraftmessung erfolgte mithilfe eines isometrischen Kraftmessgerätes (Isobex TM Dynamometer, Medical Device Solutions AG, Burgdorf, Schweiz) welches die Kraft bei 90° in der Scapulaebene abduziertem Arm misst. Auch der CS ist nicht spezifisch für Pathologien des Schulterergelenks, dient jedoch zur Einschätzung der allgemeinen Schulterfunktion.

Taft Score (TF) (25)

Der Taft Score wurde erstmals 1987 zur Beurteilung des klinischen und radiologischen Ergebnisses nach konservativer und operativer Therapie von akuten AC-Gelenkssprengungen beschrieben. Er berücksichtigt subjektive (Schmerzen, 4 Punkte), objektive (Kraft und Bewegungsumfang, 4 Punkte) und radiologische Kriterien (4 Punkte), sodass eine maximale Punktzahl von 12 erreicht werden kann. Bei Druckschmerz oder einer Krepitation über dem AC-Gelenk sowie einem schlechten kosmetischen Resultat wird jeweils 1 Punkt abgezogen. Radiologisch ist vor allem von Bedeutung, ob eine Dislokation oder eine AC-Gelenksarthrose vorliegt.

Acromioclavicular Joint Instability Index (ACJI) (11)

Der ACJI ist wie der TF ein AC-gelenksspezifischer Score, der sich in die Kategorien Schmerzen (20 Punkte), Aktivitäten des täglichen Lebens (10 Punkte), Kosmetik (10 Punkte), Funktion (25 Punkte) und radiologische Beurteilung (35 Punkte) unterteilt. Somit können 100 Punkte als Maximalwert erreicht werden (11). Die Kategorie Funktion umfasst zum einen den Bewegungsumfang der Schulter (10 Punkte) und zum anderen die Kraft (15 Punkte), die wie beim CS im Seitenvergleich bestimmt wird. Bezüglich der radiologischen Kriterien wird sowohl die vertikale (10 Punkte) als auch horizontale (20 Punkte) Instabilität beurteilt und auch eine eventuelle AC-Gelenksarthrose (5 Punkte) berücksichtigt. Somit ist für eine vollständige Erfassung des ACJ neben der klinischen auch eine radiologische Untersuchung mit Panoramastressaufnahmen und bilateralen Alexander-Aufnahmen notwendig.

3.3. Radiologische Evaluation

Quantifizierung der dynamisch posterioren Translation (Publikation 1)

Zur Beurteilung der vertikalen Translation wurden sogenannte Panoramaaufnahmen mit 10 kg axialer Belastung durchgeführt. Die Stressaufnahmen ermöglichen eine Bestimmung der coracoclaviculären Distanz im Seitenvergleich. Gemessen wird der Abstand zwischen der inferioren Kortikalis der lateralen Clavicula und der superioren Kortikalis des Coracoids parallel zur Körperlängsachse. Die CC-Differenz ergibt sich aus der Subtraktion der beiden Distanzen. Sie wird in Prozent angegeben und bildet die Grundlage für die Rockwood-Klassifikation. Zur Beurteilung der DPT wurden modifizierte Alexander-Aufnahmen angefertigt. Hierbei handelt es sich um bilaterale laterale Aufnahmen der Schulter in einer horizontalen Adduktionsstellung, wodurch Stress auf das AC-Gelenk ausgeübt wird und eine

posterosuperiore Translation der lateralen Clavicula gegenüber dem Acromion evident wird, sofern eine horizontale Instabilität vorliegt (16, 17). Der Seitenvergleich ist obligat, da bei einer generellen Überbeweglichkeit oder Hyperlaxität eine vermehrte Translation für den individuellen Patienten physiologisch sein kann und somit die gesunde Gegenseite als Referenz gilt. Bei den modifizierten Alexander-Aufnahmen wird der Stress, welcher auf das AC-Gelenk wirkt, verstärkt, indem die Hand, nicht wie ursprünglich beschrieben an den kontralateralen Brustkorb gelegt wird, sondern auf die kontralaterale Schulter, wodurch die Adduktionsstellung der betroffenen Schulter zunimmt (26).

Die DPT kann qualitativ eingeteilt werden in keine, partielle oder komplette Translation, wobei der Grad der Überlappung der lateralen Clavicula und des Acromions entscheidend ist.

Zur Quantifizierung der DPT wurden zwei Messmethoden entwickelt, die den Grad der Überlappung im Seitenvergleich bestimmen. Es wurde zum einen die Überlappungsfläche (overlapping area, OA_{AC}) und zum anderen die Überlappungslänge (overlapping length, OL_{AC}) des AC-Gelenks im Seitenvergleich gemessen, wobei die OL_{AC} auch bei Patienten mit einer kompletten horizontalen Translation als posterosuperiore Translation zu bestimmen ist. Die ausführliche Beschreibung der beiden Messmethoden kann der Publikation 1 entnommen werden (26).

Operative Therapie der Schulterreckgelenkinstabilität (Publikationen 2,3)

Zur Beurteilung des Schweregrades der Verletzung bzw. des postoperativen Ergebnisses wurden Panoramaaufnahmen mit 10 kg axialer Belastung durchgeführt. Die Messung der CC-Distanz bzw. -Differenz diente hierbei wie bereits ausgeführt zur Beurteilung der vertikalen Instabilität bzw. Translation. Um die DPT zu bestimmen, wurden bilaterale modifizierte Alexander-Aufnahmen angewandt und qualitativ eingeteilt in keine, partielle oder komplett horizontale bzw. posteriore Translation.

3.4. Therapie

Operative Therapie der akuten Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 2)

Die arthroskopisch-assistierte und Bildwandler-kontrollierte Doppel-TightRope™-Technik (Fa. Arthrex, Naples, Florida) wurde wie in vorangegangenen Publikationen beschrieben, angewandt (11, 27). Zusätzlich zur coracoclaviculären Stabilisierung wurde eine acromioclaviculäre Cerclage zur Zügelung des AC-Gelenks durchgeführt mit dem Ziel, eine höhere Primärstabilität auch in der horizontalen Ebene zu erzielen. Zur Anlage der AC-

Cerclage wurde wie auch für die Anlage der coracoclaviculären Bohrungen ein Kreuzbandzielgerät verwendet.

Für die claviculäre Bohrung wurde der Zielteller hinter der Clavicula positioniert und die Bohrhülse über das anteroinferiore Portal eingebracht. Ein unter Bildwandlerkontrolle vorgelegter K-Draht wurde mit einem kanülierten Bohrer von anterior nach posterior überbohrt. Die transacromiale Bohrung erfolgte in gleicher Technik über das laterale Portal. Um eine transarticuläre Bohrung zu vermeiden, sollte diese von inferior nach superior durch das Acromion angelegt und die laterale Clavicula zum Beispiel mithilfe eines Kugelspießes kaudalisiert werden. Über die kanülierten Bohrer wurde jeweils ein flexibler Nitinoldraht eingeführt.

Für die AC-Cerclage wurde ein FiberTape™ (Fa. Arthrex, Naples, Florida) verwendet, welches mithilfe der Nitinoldrähte durch die Clavicula und das Acromion geschuttelt wurde. Anschließend wurden beide Fadenschenkel mithilfe eines Knotenschiebers zur claviculären Inzision zurückgeschoben und miteinander verknotet. Abschließend erfolgte der schichtweise Wundverschluss mit Adaptation der deltotrapezoidalen Faszie an der claviculären Inzision sowie die Naht der Arthroskopieportale. Die detaillierte operative Technik wird in einer Publikation in der Online-Version im Video demonstriert (28).

Die postoperative Nachbehandlung erfolgte nach einem standardisierten Protokoll mit einer sechswöchigen Immobilisation und ausschließlich passiver Mobilisation sowie einer Sportkarenz für schulterbelastenden Sport für mindestens drei Monate.

Operative Therapie der chronischen Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 3)

Die detaillierte operative Technik ist der Publikation 3 zu entnehmen (29). Wie auch bei der Versorgung der akuten Schulterreckgelenkinstabilität erfolgte die Operation arthroskopisch-assistiert und Bildwandler-gestützt. Zunächst wurde die Gracilissehne vom ipsilateralen Kniegelenk entnommen und mit Fäden armiert. Das Sehnenautograft ermöglicht eine biologische Einheilung und langfristige Stabilisierung des AC-Gelenks. Dies ist von Bedeutung, wenn das Trauma schon länger zurückliegt und ein intrinsisches Heilungspotenzial der ligamentären Strukturen, welche das AC-Gelenk stabilisieren, nicht mehr zu erwarten ist. Analog zur Doppel-Button-Technik wurde zunächst ein coracoclaviculärer Bohrkanal angelegt, dessen Durchmesser sich aus der Dicke des Grafts ergab. Ein weiterer, rein claviculärer Bohrkanal diente der Rückführung des Sehnenrafts. Zur synthetischen Augmentation der coracoclaviculären Stabilisierung wurde ein Single-TightRope™ (Fa. Arthrex, Naples, Florida) verwendet. Um das AC-Gelenk auch auf acromioclaviculärer bzw. horizontaler Ebene zu

stabilisieren, wurde zusätzlich zur ursprünglich beschriebenen Technik (30) noch eine transacromiale Bohrung angelegt, durch welche der lange Schenkel des Sehnengrafts geschüttelt und anschließend subkutan zurückgeschoben wurde. Da alle Patienten eine chronische bidirektionale Instabilität aufwiesen, erfolgte die Stabilisierung somit in der vertikalen wie auch horizontalen Ebene. Das operative Vorgehen war in beiden Gruppen grundsätzlich identisch, bis auf die Notwendigkeit einer Entfernung im Falle noch vorhandener Implantate aus vorangegangenen Operationen.

Das Nachuntersuchungsprotokoll orientierte sich grundsätzlich an dem für die Stabilisierung der akuten Schulterreckgelenkssprengung, wurde jedoch etwas restriktiver gehandhabt. Die Immobilisation erstreckte sich über einen Zeitraum von acht Wochen mit ausschließlicher Mobilisation von Hand- und Ellenbogengelenk für die ersten zwei Wochen. Die weitere Nachbehandlung erfolgte standardisiert.

3.5. Statistik

Alle statistischen Auswertungen erfolgten mit SPSS 16.9 (SPSS Inc, Chicago, Illinois). In den Publikationen sind Mittelwerte bzw. Mediane jeweils mit der Range angegeben. Die Normalverteilung wurde mit dem Kolmogorov-Smirnow-Test geprüft. Zum Vergleich metrischer Daten diente der t-Test. Unterschiede in den Schulterfunktionsscores wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test ausgewertet. Die Signifikanzlevel wurden bei $p < 0,05$ angesetzt. Die Korrelation der radiologischen und klinischen Parameter wurde mit dem Pearson-Korrelationskoeffizienten bestimmt. Hierbei galt ein Koeffizient von $r = \pm 0,7$ als starke, von $r = \pm 0,5$ als moderate und $r = \pm 0,3$ als schwache negative bzw. positive Korrelation. Mithilfe des Kappa-Koeffizienten nach Cohen wurden Intra- und Interrater-Reliabilität beurteilt.

4. Ergebnisse

Quantifizierung der dynamisch posterioren Translation (Publikation 1)

Es wurden 16 Patienten mit einer RW-III- und 16 Patienten mit einer RW-V-Verletzung in diese Studie eingeschlossen. Bei der qualitativen Einteilung der DPT zeigte sich in der Gruppe der RW-III-Patienten in vier Fällen (25%) ein stabiles AC-Gelenk, in fünf Fällen (31,2%) eine partielle und in sieben Fällen (43,8%) eine komplette Translation. Somit handelte es sich in Bezug auf das Ausmaß der DPT um eine eher heterogene Gruppe. Demgegenüber lag bei den RW-Typ-V-Patienten in nur einem Fall eine partielle Translation vor, alle anderen Patienten hatten eine komplette posteriore Translation.

Die Quantifizierung der DPT erfolgte mithilfe der OA_{AC} und OL_{AC} , wobei sich die Messung der Überlappungslänge als vorteilhaft erwiesen hat, da sie auch bei kompletter DPT noch einen messbaren Wert im Sinne der posterosuperioren Translation liefert. Es zeigte sich, dass Patienten mit einer RW-Typ-III-Verletzung und einer $OL_{AC} < 50\%$ in den AC-gelenkspezifischen Scores und dem CS signifikant schlechtere Ergebnisse erzielten als Patienten mit einer $OL_{AC} > 50\%$. Die Methoden zur Quantifizierung der DPT wiesen eine moderate bis starke Korrelation mit den klinischen Parametern auf. Außerdem zeigte sich eine statistisch signifikante moderate Korrelation der vertikalen Translation, gemessen mit der CC-Differenz, und der DPT, gemessen mit der OL_{AC} . Die detaillierte Darstellung der Ergebnisse findet sich in Publikation 1 (26).

Operative Therapie der akuten Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 2)

Die Patienten wurden über einen Zeitraum von zwei Jahren nachuntersucht. Nach einem medianen Follow-up von 26,4 Monaten (20,3-61) konnten 34 (n=5 weiblich, n=29 männlich; medianes Alter 43,3 [24,4-56,0] Jahre) Patienten klinisch und radiologisch nachuntersucht werden. Die klinischen Ergebnisse waren mit einem Median von 90% (25-100) im SSV, 90 Punkten (33-100) im CS, 11 Punkten (4-12) im TF und 87 Punkten (43-100) im ACJI sehr zufriedenstellend. Die CC-Distanz in den Panoramaaufnahmen konnte signifikant reduziert werden von präoperativ 23,1 (12,0-31,8) auf 12,1 mm (2,0-19,5) nach zwei Jahren. Bei zwei Patienten (5,8%) zeigte sich in den modifizierten Alexander-Aufnahmen eine komplette und bei 14 Patienten (41,1%) eine partielle DPT des AC-Gelenks. Insgesamt wurde das Ergebnis von 26 Patienten (76,5%) als anatomische oder nahezu anatomische Wiederherstellung des AC-Gelenks gewertet, wenn die CC-Differenz weniger als 25% im Seitenvergleich betrug und das AC-Gelenk sich horizontal stabil oder nur eine partielle Translation zeigte. Die Revisionsrate

lag insgesamt bei 11,7%. Die detaillierte Darstellung der Ergebnisse ist der Publikation 2 zu entnehmen (31).

Operative Therapie der chronischen Schulterreckgelenkinstabilität (Publikation 3)

Nach einem medianen Follow-up von 25,2 Monaten (20-37,2) waren 27 Patienten zur klinischen und radiologischen Nachuntersuchung verfügbar. 14 von ihnen (n=3 weiblich, n=11 männlich; medianes Alter 47,6 Jahre [20,9-57,4]) hatten eine konservative Therapie erhalten. (Gruppe 1). Bei 13 Patienten (n=6 weiblich, n=7 männlich; medianes Alter 44,9 Jahre (24,9-61,0)) war ein Revisionseingriff nach gescheiterter initialer AC-Gelenksstabilisierung durchgeführt worden (Gruppe 2). Beim Vergleich der beiden Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der klinischen Ergebnisse und der Schulterfunktionsscores. Auch die radiologischen Ergebnisse mit Beurteilung der vertikalen und horizontalen Translation waren in beiden Gruppen vergleichbar, ohne einen statistisch signifikanten Unterschied. Die Revisionsrate erreichte mit 15,4% in Gruppe 2 einen höheren, Wert als in Gruppe 1 (7,1%). Die Komplikationsrate war in beiden Gruppen ähnlich mit 28,5% in Gruppe 1 und 23,0% in Gruppe 2. Erfasst wurden hierbei auch geringfügige Komplikationen wie zum Beispiel eine temporäre Schultersteife (n=1), die unter konservativer Therapie ausheilte. Die Ergebnisse sind detailliert in Publikation 3 dargestellt (29).

5. Diskussion

Wesentlich für die Diagnostik und Therapie von Instabilitäten des Schulterergelenks sind die zugrundeliegende Pathologie und eine differenzierte Beurteilung der Instabilität sowohl in der vertikalen als auch horizontalen Ebene. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Rockwood-Klassifikation als unvollständig zu betrachten, da sie die DPT nicht berücksichtigt, jedoch bis heute die Grundlage für die Indikation zur operativen oder konservativen Therapie der akuten Schulterergelenkssprengung bildet.

Quantifizierung der dynamisch posterioren Translation (Publikation 1)

Die Quantifizierung der DPT hat zu einem besseren Verständnis dieser Komponente der Instabilität beigetragen. Die wichtigste Erkenntnis dieser Arbeit besteht darin, dass die DPT bei Patienten mit einer RW-Typ-III Verletzung unterschiedlich stark ausgeprägt ist, wohingegen nahezu alle Patienten mit einer Rockwood-Typ-V-Verletzung als dynamisch instabil in der horizontalen und vertikalen Ebene zu werten sind. Des Weiteren zeigte sich eine deutliche Korrelation zwischen der vertikalen und horizontalen Translation sowie mit den entsprechenden klinischen Parametern. Dass die Instabilität des Schulterergelenks als bidirektionale Pathologie zu betrachten ist, wurde bisher in der Literatur nur unzureichend beschrieben und ist wie bereits ausgeführt in der Klassifikation nach Rockwood nicht abgebildet. Mit der Bestimmung der OL_{AC} in modifizierten Alexander-Aufnahmen wurde ein Instrument entwickelt, mit welchem sich die DPT quantifizieren und damit objektivieren lässt. Um die Reproduzierbarkeit und Reliabilität dieses Messinstrumentes zu validieren, bedarf es weiterer Untersuchungen in einem größeren Patientenkollektiv.

Zumstein et al. stellten in einer aktuellen Arbeit mit Hilfe eines Sawbone-Modells eine weitere Methode zur Quantifizierung der vertikalen und horizontalen Instabilität bei Dislokationen des AC-Gelenks vor und vermuten, dass auch bei geringgradigen Instabilitäten wie Rockwood-Typ-II-Verletzungen eine DPT auftritt (32). Einige Studien berichten über nicht zufriedenstellende Ergebnisse nach konservativer Therapie von Rockwood-Typ-I-, II- und III-Verletzungen. Dies könnte ebenfalls darauf hinweisen, dass bei niedriggradig deklarierten Pathologien eine DPT auftritt und für anhaltende Beschwerden sorgt (33-36). Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass die DPT in der Beurteilung von Instabilitäten des Schulterergelenks bisher unzureichend berücksichtigt wird und bestehende Klassifikationssysteme dahingehend überarbeitet werden sollten.

Operative Therapie der Schulterreckgelenkinstabilität (Publikationen 2,3)

Unter dem Gesichtspunkt der bidirektionalen Instabilität erscheint die Stabilisierung des AC-Gelenks sowohl in der vertikalen als auch horizontalen Ebene sinnvoll. Dies gab den Ausschlag, die operativen Techniken, die diesen Aspekt im Sinne einer coracoclaviculären und acromioclaviculären Stabilisierung berücksichtigen, in Hinblick auf ihr klinisches und radiologisches Ergebnis zu untersuchen.

Beide Verfahren führten insgesamt zu guten bis sehr guten klinischen und radiologischen Ergebnissen. Bei der Versorgung akuter Schulterreckgelenkssprengungen war die additive AC-Cerclage (Publikation 2) im Vergleich zu einer isolierten Doppel-TightRope™ (Fa. Arthrex, Naples, Florida) mit einer geringeren Rate an DPT, weniger Implantatmigration und besseren klinischen Ergebnissen assoziiert (11, 31). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in der zuvor durchgeführten Technik ohne AC-Cerclage TightRope™-Implantate der ersten Generation verwendet wurden, welche eine andere Form aufwiesen und kleiner waren. Daher lässt sich aus dieser Studie nicht schlussfolgern, ob allein die AC-Cerclage für die Reduktion der DPT verantwortlich war, das modifizierte Implantat oder die Kombination aus beidem. Biomechanische Studien konnten jedoch zeigen, dass die additive AC-Cerclage zu einer höheren Primärstabilität vor allem der horizontalen Ebene führt und notwendig ist, um eine anatomische Reposition des Schulterreckgelenks zu erzielen (20, 37). Auch die Autoren eines aktuellen Reviews kamen zu dem Schluss, dass die coracoclaviculäre Rekonstruktion mit einer acromioclaviculären Augmentation sowohl in biomechanischen als auch in klinischen Studien die horizontale Stabilität verbessert (38). Jedoch wiesen sie auch darauf hin, dass in den bisher vorliegenden Studien die geringere DPT nicht mit einer Verbesserung der klinischen Ergebnisse einherging. Kritisch ist hierbei anzumerken ist, dass die Beurteilung der DPT in den verschiedenen Arbeiten sehr heterogen war und die Vergleichbarkeit somit infrage steht. Letztlich konnte jedoch auch in Publikation 2 kein signifikanter Unterschied in den klinischen Funktionsscores zwischen Patienten mit einem guten und eher unzufriedenstellenden radiologischen Ergebnis nachgewiesen werden. Dennoch zeigte sich, dass Patienten mit einem schlechten klinischen Ergebnis immer zumindest eine partielle oder komplette DPT aufwiesen. Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass bisher keine der vorliegenden Studien zur zusätzlichen Verwendung einer acromioclaviculären Stabilisierung über Langzeitergebnisse verfügt. Diese müssen abgewartet werden, um den Einfluss der postoperativ persistierenden bzw. wiederauftretenden DPT abschließend beurteilen zu können.

Bezüglich der operativen Versorgung von chronischen bidirektionalen Instabilitäten des Schulterreckgelenks konnte entgegen der Hypothese gezeigt werden, dass eine

Revisionsoperation nach gescheiterter initialer AC-Gelenksstabilisierung keinen Einfluss auf das klinische und radiologische Ergebnis hat. Die Ergebnisse waren vergleichbar mit dieser Operation als Primäreingriff nach erfolgloser konservativer Therapie. Die Annahme, dass postoperative Vernarbungen und präexistente Bohrlöcher zu einer höheren Komplikationsrate führen, konnte nicht bestätigt werden. Die Stabilisierung des AC-Gelenks mit einer coraco- und acromioclaviculären Rekonstruktion durch das Sehnenraft ermöglicht eine Wiederherstellung der vertikalen und horizontalen Stabilität. In dem untersuchten Patientenkollektiv konnten damit sehr zufriedenstellende radiologische Ergebnisse erzielt werden. In einer biomechanischen Arbeit von Shin et al. konnte gezeigt werden, dass die kombinierte coraco- und acromioclaviculäre Rekonstruktion mit einem Sehnenraft zu einer signifikant geringeren anteroposterioren Translation führt als eine isolierte coracoclaviculäre Stabilisierung (39). Fauci et al. haben in einer prospektiv randomisierten Studie die offene Technik mit einem synthetischen Ligament zur Stabilisierung von chronischen Instabilitäten des AC-Gelenks mit der Verwendung eines autologen Sehnenrafts (Semitendinosus) verglichen. Hier erreichte die Gruppe mit dem biologischen Implantat deutlich bessere klinische Ergebnisse (40). In diesem Kollektiv waren 11 der 40 Patienten voroperiert. Zwar beschreiben die Autoren, dass die operative Versorgung aufgrund von Vernarbungen der Weichteile technisch anspruchsvoller war, jedoch gab es keine Unterschiede bei den klinischen und radiologischen Ergebnissen gegenüber Patienten, die nicht voroperiert waren (40). Diese Beobachtung unterstreicht die Daten der in Publikation 3 untersuchten Patientenkohorte, in der ebenfalls kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen gefunden wurde. So lässt sich schließen, dass die arthroskopisch-assistierte und Bildwandler-kontrollierte Technik mit Gracilissehnen-Plastik und synthetischer Augmentation zur Stabilisierung von symptomatischen, chronischen und bidirektionalen Instabilitäten des Schulterreckgelenks unabhängig von der vorbestehenden Therapie zu guten klinischen und radiologischen Ergebnissen führt.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass eine Betrachtung von Instabilitäten des Schulterreckgelenks als bidirektionale Pathologie sowohl in der Diagnostik als auch der Therapie hilfreich sein kann, um die Komplexität dieses Gelenks zu verstehen und die Vielfalt an operativen Techniken zu verbessern. Eine Berücksichtigung der DPT scheint auf Grundlage der Erkenntnisse dieser Dissertationsschrift sinnvoll zu sein.

6. Literaturverzeichnis

1. Mazzocca AD, Spang JT, Rodriguez RR, Rios CG, Shea KP, Romeo AA, Arciero RA. Biomechanical and radiographic analysis of partial coracoclavicular ligament injuries. *The American journal of sports medicine*. 2008;36(7):1397-402.
2. Klimkiewicz JJ, Williams GR, Sher JS, Karduna A, Des Jardins J, Iannotti JP. The acromioclavicular capsule as a restraint to posterior translation of the clavicle: a biomechanical analysis. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons [et al]*. 1999;8(2):119-24.
3. Fukuda K, Craig EV, An KN, Cofield RH, Chao EY. Biomechanical study of the ligamentous system of the acromioclavicular joint. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1986;68(3):434-40.
4. Debski RE, Parsons IMt, Woo SL, Fu FH. Effect of capsular injury on acromioclavicular joint mechanics. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2001;83-a(9):1344-51.
5. Pastor MF, Averbek AK, Welke B, Smith T, Claassen L, Wellmann M. The biomechanical influence of the deltoid fascia on horizontal and vertical acromioclavicular joint stability. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2016;136(4):513-9.
6. Fraser-Moodie JA, Shortt NL, Robinson CM. Injuries to the acromioclavicular joint. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2008;90(6):697-707.
7. Rockwood CA, Williams G, Young D. Disorders of the acromioclavicular joint. In: Rockwood CA, Matsen FA, editors. *The shoulder*. 1. Second ed. Philadelphia: WB Saunders; 1984. p. 483-553.
8. Pallis M, Cameron KL, Svoboda SJ, Owens BD. Epidemiology of acromioclavicular joint injury in young athletes. *The American journal of sports medicine*. 2012;40(9):2072-7.
9. Rockwood CA. Injuries to the acromioclavicular joint. In: Rockwood CA, Green DP, editors. *Fractures in Adults*. 1. 2nd ed. Philadelphia: JB Lippincott; 1984. p. 860–910.
10. Emery R. Acromioclavicular and sternoclavicular joints. In: S. C, editor. *Shoulder surgery*. London: WB Saunders; 1997.
11. Scheibel M, Droschel S, Gerhardt C, Kraus N. Arthroscopically assisted stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations. *The American journal of sports medicine*. 2011;39(7):1507-16.
12. Cisneros LN, Reiriz JS. Prevalence of remaining horizontal instability in high-grade acromioclavicular joint injuries surgically managed. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie*. 2017;27(3):323-33.
13. Hedtmann A, Fett H, Ludwig J. [Management of old neglected posttraumatic acromioclavicular joint instability and arthrosis]. *Der Orthopade*. 1998;27(8):556-66.
14. Rahm S, Wieser K, Spross C, Vich M, Gerber C, Meyer DC. Standard axillary radiographs of the shoulder may mimic posterior subluxation of the lateral end of the clavicle. *Journal of orthopaedic trauma*. 2013;27(11):622-6.
15. Tauber M, Koller H, Hitzl W, Resch H. Dynamic radiologic evaluation of horizontal instability in acute acromioclavicular joint dislocations. *The American journal of sports medicine*. 2010;38(6):1188-95.
16. Alexander OM. Radiography of the acromioclavicular articulation. *Med Radiogr Photogr*. 1954;30 (2):34–9.
17. Waldrop JI, Norwood LA, Alvarez RG. Lateral roentgenographic projections of the acromioclavicular joint. *The American journal of sports medicine*. 1981;9(5):337-41.

18. Balke M, Schneider MM, Akoto R, Bathis H, Bouillon B, Banerjee M. [Acute acromioclavicular joint injuries : Changes in diagnosis and therapy over the last 10 years]. *Der Unfallchirurg*. 2015;118(10):851-7.
19. Dyrna F, Imhoff FB, Haller B, Braun S, Obopilwe E, Apostolakos JM, Morikawa D, Imhoff AB, Mazzocca AD, Beitzel K. Primary Stability of an Acromioclavicular Joint Repair Is Affected by the Type of Additional Reconstruction of the Acromioclavicular Capsule. *The American journal of sports medicine*. 2018:363546518807908.
20. Saier T, Venjakob AJ, Minzlaff P, Fohr P, Lindell F, Imhoff AB, Vogt S, Braun S. Value of additional acromioclavicular cerclage for horizontal stability in complete acromioclavicular separation: a biomechanical study. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*. 2015;23(5):1498-505.
21. Gumina S, Carbone S, Postacchini F. Scapular dyskinesis and SICK scapula syndrome in patients with chronic type III acromioclavicular dislocation. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2009;25(1):40-5.
22. Beitzel K, Mazzocca AD, Bak K, Itoi E, Kibler WB, Mirzayan R, Imhoff AB, Calvo E, Arce G, Shea K. ISAKOS upper extremity committee consensus statement on the need for diversification of the Rockwood classification for acromioclavicular joint injuries. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2014;30(2):271-8.
23. Fuchs B, Jost B, Gerber C. Posterior-inferior capsular shift for the treatment of recurrent, voluntary posterior subluxation of the shoulder. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2000;82(1):16-25.
24. Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clinical orthopaedics and related research*. 1987(214):160-4.
25. Taft TN, Wilson FC, Oglesby JW. Dislocation of the acromioclavicular joint. An end-result study. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1987;69(7):1045-51.
26. Minkus M, Hann C, Scheibel M, Kraus N. Quantification of dynamic posterior translation in modified bilateral Alexander views and correlation with clinical and radiological parameters in patients with acute acromioclavicular joint instability. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2017;137(6):845-52.
27. Gerhardt C, Kraus N, Greiner S, Scheibel M. [Arthroscopic stabilization of acute acromioclavicular joint dislocation]. *Der Orthopade*. 2011;40(1):61-9.
28. Minkus M, Kraus N, Hann C, Scheibel M. Arthroscopic Reconstruction After Acute Acromioclavicular Separation Injuries. *JBJS essential surgical techniques*. 2017;7(1):e7.
29. Kraus N, Hann C, Minkus M, Maziak N, Scheibel M. Primary versus revision arthroscopically-assisted acromio- and coracoclavicular stabilization of chronic AC-joint instability. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2019.
30. Scheibel M, Ifesanya A, Pauly S, Haas NP. Arthroscopically assisted coracoclavicular ligament reconstruction for chronic acromioclavicular joint instability. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2008;128(11):1327-33.
31. Hann C, Kraus N, Minkus M, Maziak N, Scheibel M. Combined arthroscopically assisted coraco- and acromioclavicular stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2018;26(1):212-20.
32. Zumstein MA, Schiessl P, Ambuehl B, Bolliger L, Weihs J, Maurer MH, Moor BK, Schaer M, Raniga S. New quantitative radiographic parameters for vertical and

- horizontal instability in acromioclavicular joint dislocations. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*. 2018;26(1):125-35.
33. Mouhsine E, Garofalo R, Crevoisier X, Farron A. Grade I and II acromioclavicular dislocations: results of conservative treatment. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons [et al]*. 2003;12(6):599-602.
 34. Bergfeld JA, Andrish JT, Clancy WG. Evaluation of the acromioclavicular joint following first- and second-degree sprains. *The American journal of sports medicine*. 1978;6(4):153-9.
 35. Cox JS. The fate of the acromioclavicular joint in athletic injuries. *The American journal of sports medicine*. 1981;9(1):50-3.
 36. Schlegel TF, Burks RT, Marcus RL, Dunn HK. A prospective evaluation of untreated acute grade III acromioclavicular separations. *The American journal of sports medicine*. 2001;29(6):699-703.
 37. Wellmann M, Smith T, Windhagen H, Siebert CH. Biomechanik aktueller Rekonstruktionstechniken bei Schulterreckgelenksprengungen. *Obere Extremität*. 2011;6(2):85-9.
 38. Jordan RW, Malik S, Bentick K, Saithna A. Acromioclavicular joint augmentation at the time of coracoclavicular ligament reconstruction fails to improve functional outcomes despite significantly improved horizontal stability. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*. 2018.
 39. Shin SJ, Campbell S, Scott J, McGarry MH, Lee TQ. Simultaneous anatomic reconstruction of the acromioclavicular and coracoclavicular ligaments using a single tendon graft. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*. 2014;22(9):2216-22.
 40. Fauci F, Merolla G, Paladini P, Campi F, Porcellini G. Surgical treatment of chronic acromioclavicular dislocation with biologic graft vs synthetic ligament: a prospective randomized comparative study. *Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology*. 2013;14(4):283-90.

7. Anhang

7.1. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Marvin Minkus, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

Aktuelle Aspekte der Diagnostik und Therapie von Instabilitäten des Schultereckgelenks

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Grafiken und Tabellen werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. 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.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, den 01.03.2019

Marvin Minkus

7.2. Anteilserklärung

Anteilerklärung zu den erfolgten Publikationen

Der Promovend Marvin Minkus hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation 1: 85 Prozent

Minkus M, Hann C, Scheibel M, Kraus N.

Quantification of dynamic posterior translation in modified bilateral Alexander views and correlation with clinical and radiological parameters in patients with acute acromioclavicular joint instability.

Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2017, 137(6):845-852.

Beitrag im Einzelnen: Herr Minkus hat aus eigenen Überlegungen die Messmethoden zur Quantifizierung der DPT in den modifizierten Alexander-Aufnahmen entwickelt. Außerdem hat er sämtliche Daten selbstständig gesammelt und die radiologischen Messungen durchgeführt. Die Datenauswertung, statistische Analyse & Erstellung sämtlicher Grafiken sowie Tabellen der Publikation wurden durch Herrn Minkus erstellt. Außerdem wurde das Manuskript von ihm verfasst und die Fragen der Reviewer durch ihn beantwortet.

Publikation 2: 20 Prozent

Hann C, Kraus N, Minkus M, Maziak N, Scheibel M.

Combined arthroscopically assisted coraco- and acromioclavicular stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations.

Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2017, 26(1):212-220.

Beitrag im Einzelnen: Beteiligung an der Nachuntersuchung der Patienten unter meiner Aufsicht, Beteiligung an der Datenauswertung, Beitrag zum Manuskriptentwurf

Publikation 3: 20 Prozent

Kraus N, Hann C, Minkus M, Maziak N, Scheibel M.

Primary versus revision arthroscopically-assisted acromio- and coracoclavicular stabilization of chronic AC-joint instability.

Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2019, DOI: 10.1007/s00402-019-03153-3

Beitrag im Einzelnen: Beteiligung an der Nachuntersuchung der Patienten unter meiner Aufsicht, Beteiligung an der Datenauswertung, Beitrag zum Manuskriptentwurf

Berlin, den 01.03.2019

Prof. Dr. med. Markus Scheibel

Marvin Minkus

7.3. Ausgewählte Publikationen

Minkus M, Hann C, Scheibel M, Kraus N.

Quantification of dynamic posterior translation in modified bilateral Alexander views and correlation with clinical and radiological parameters in patients with acute acromioclavicular joint instability.

Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2017, 137(6):845-852.

<https://doi.org/10.1007/s00402-017-2691-1>

Hann C, Kraus N, Minkus M, Maziak N, Scheibel M.

Combined arthroscopically assisted coraco- and acromioclavicular stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations.

Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2017, 26(1):212-220.

<https://doi.org/10.1007/s00167-017-4643-2>

Kraus N, Hann C, Minkus M, Maziak N, Scheibel M.
Primary versus revision arthroscopically-assisted acromio- and coracoclavicular stabilization
of chronic AC-joint instability.
Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2019, 139(8):1101-1109.
<https://doi.org/10.1007/s00402-019-03153-3>

7.4. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht

7.5. Publikationsliste

- 01/2015 N Kraus, **M. Minkus**, M. Scheibel:
Schultereckgelenkssprengungen – wann und wie sollten sie behandelt werden?
Trauma Berufskrankh (2015) 16:251-257
- 02/2017 **M. Minkus**, M. Scheibel
Superior Capsular Reconstruction (SCR) for irreparable posterosuperior rotator cuff tendon tears – technical note.
Obere Extremität (2017) 12:51-53
- 02/2017 P. Moroder, **M. Minkus**, E. Boehm, V. Danzinger, C. Gerhardt, M. Scheibel
Use of the Shoulder Pacemaker for treatment of functional shoulder instability
Obere Extremität (2017) 12(2):103-108
- 03/2017 **M. Minkus**, N. Kraus, C. Hann, M. Scheibel
Arthroscopic AC reconstruction after AC separation injuries using the coracoclavicular Double-TightRope technique with an additional acromioclavicular cerclage
JBJS Essent Surg Tech (2017) 7(1):e7
- 06/2017 **M. Minkus**, C. Hann, M. Scheibel, N. Kraus
Quantification of dynamic posterior translation in modified bilateral Alexander-views and correlation with clinical and radiological parameter in patients with acute acromioclavicular joint instability
Arch Orthop Trauma Surg (2017) 137(6):845-852
- 07/2017 C. Hann, N. Kraus, **M. Minkus**, N. Maziak, M. Scheibel
Combined arthroscopically assisted coraco- and acromioclavicular stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc (2017) 26(1):212-220
- 09/2017 **M. Minkus**, E. Böhm, M. Moroder, M. Scheibel
Initiales Management der traumatischen ventralen Schultererstluxation
Unfallchirurg (2017) 121(2):100-107
- 11/2017 **M. Minkus**, F. Plachel, M. Moroder, M. Scheibel
Arthroskopische superiore Kapselrekonstruktion bei irreparabler Rotatorenmanschettenruptur
OUP (2017); 11:538-543
- 01/2018 E. Böhm, **M. Minkus**, M. Moroder, M. Scheibel
Treatment concepts for anterior shoulder instability
Chirurgische Praxis 2018 3(3):387-399
- 02/2018 P. Moroder, F. Plachel, A. Huettner, L. Ernstbrunner, **M. Minkus**, E. Boehm, C. Gerhardt, M. Scheibel
The Effect of Scapula Tilt and Best-Fit Circle Placement When Measuring Glenoid Bone Loss in Shoulder Instability Patients.
Arthroscopy (2018) 34(2):398-404

- 02/2018 P. Moroder, V. Danzinger, **M. Minkus**, M. Scheibel
The ABC guide for the treatment of posterior shoulder instability
Orthopäde (2018) 47(2):139-147
- 08/2018 F. Plachel, **M. Minkus**, M. Scheibel
Superiore Kapselrekonstruktion: Indikation und klinische Resultate
Obere Extremität (2018) 13(4):237-245
- 12/2018 F. Plachel, F. Klatter-Schulz, **M. Minkus**, E. Böhm, P. Moroder,
M. Scheibel
Biological allograft healing after superior capsule reconstruction
J Shoulder Elbow Surg (2018) 27(12):e387-e392
- 01/2019 V. Danzinger, **M. Minkus**, M. Scheibel, P. Moroder
Innovationen in der konservativen Therapie der Schulterinstabilität
Arthroskopie (2019) 32(1):40-46
- 01/2019 P. Moroder, P. Damm, G. Wierer, E. Böhm, **M. Minkus**, F. Plachel,
S. Märdian, M. Scheibel, M. Khatamirad
Challenging the current concept of critical bone loss in shoulder
instability: does the size measurement really tell it all?
Am J Sports Med (2019)
- 02/2019 **M. Minkus**, N. Maziak, P. Moroder, M. Scheibel
Arthroscopic low-profile reconstruction for acute acromioclavicular
joint instability (2019) 14(1):60-65
- 02/2019 N. Kraus, C. Hann, **M. Minkus**, N. Maziak, M. Scheibel
Primary versus revision arthroscopically-assisted acromio- and
coracoclavicular stabilization of chronic AC-joint instability
Arch Orthop Trauma Surg (2019) DOI: 10.1007/s00402-019-03153-3

7.6. Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Markus Scheibel für die Bereitstellung des Promotionsthemas und die andauernde und unermüdliche Unterstützung meiner wissenschaftlichen und klinischen Tätigkeit. Als meinem Mentor und schulterchirurgischem Lehrer habe ich ihm einen Großteil meiner bisherigen Laufbahn zu verdanken.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Frau Dr. med. Natascha Kraus-Spieckermann für die Betreuung und kontinuierliche Förderung meiner Promotionsarbeit.

Ich danke außerdem dem Ärztlichen Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie, Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Carsten Perka, und dem Kommissarischen Geschäftsführenden Direktor, Herrn PD Dr. med. Sven Märdian, für die strukturellen Rahmenbedingungen sowie die Unterstützung meiner Promotion.

Des Weiteren möchte ich mich bei der gesamten Arbeitsgruppe der Schulter- und Ellenbogenchirurgie und meinen Ko-Autoren für die konstruktive und gute Zusammenarbeit bedanken, ohne deren Hilfe die Erstellung dieser Promotionsarbeit nicht möglich gewesen wäre.

Meinen Eltern Hella und André Minkus möchte ich für ihren bedingungslosen Rückhalt danken. Ihre fortwährende Unterstützung während meines gesamten Studiums und darüber hinaus waren und sind mir eine unersetzliche Hilfe bei allen Herausforderungen.

Mein größter Dank gilt meiner Freundin Anne Pitzing, die viel auf gemeinsame Zeit verzichten musste und dennoch immer zu mir gehalten und mich unterstützt hat. In arbeitsreichen und auch frustrierenden Zeiten sorgte sie für wertvolle Ablenkung und Ausgleich und gab mir so die Kraft, mit dieser Arbeit auf meinem beruflichen Weg ein wichtiges Ziel zu erreichen.