

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Kommissarischer Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. Uwe Maus

Änderung des kritischen Schulterwinkels und Akromion-Index
durch anterolaterale Akromioplastik

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Sophie Thiesemann

2025

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Jörn Kircher

Zweitgutachter: PD Dr. med. Christian Rubbert

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Thiesemann, S., Kirchner, F., Farkondeh Fal, M., Albers, S., Kircher, J., (2022), Anterolateral Acromioplasty Does not Change the Critical Shoulder Angle and Acromion Index in a Clinically Relevant Amount, *Arthroscopy*, 28:S0749-8063

Zusammenfassung

Die Ätiologie von Rotatorenmanschettenrupturen und Re-Rupturen nach chirurgischer Rekonstruktion ist bisher nicht abschließend geklärt, anzunehmen ist ein komplexes multifaktorielles Geschehen aus zugrundeliegenden intrinsischen und extrinsischen Faktoren. In verschiedenen Studien wurde ein großer lateraler Überhang des Akromions über dem Oberarmkopf, radiobiometrisch ausgedrückt durch einen hohen Akromion-Index (AI) und Critical Shoulder Angle (CSA), als prädisponierender extrinsischer mechanischer Faktor für die Entstehung von Rotatorenmanschettenläsionen herausgestellt. Einige Autoren plädieren daher bei symptomatischen PatientInnen für eine Verringerung des lateralen Akromionüberhanges durch eine Akromioplastik. Inwieweit dies durch eine standardisiert durchgeführte arthroskopische subakromiale Dekompression (ASD) mit anterolateraler Akromioplastik in einem klinisch relevanten Ausmaß gelingt, war bisher nicht abschließend geklärt.

Diese klinisch-retrospektive Arbeit behandelt die Frage, ob eine ASD zu einer klinisch signifikanten Reduktion des CSA und AI führt. Die Aussagekraft der Ergebnisse sollte erhöht werden durch eine möglichst hohe Fallzahl bei gleichzeitig hoher Bildqualität sowie der Erhebung weiterer radiobiometrischer Parameter.

Es wurden alle Fälle ausgewertet, die von Januar 2014 bis September 2020 in der ATOS Klinik Fleetinsel Hamburg von Herrn Prof. Dr. Kircher einer ASD unterzogen wurden. Nach Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden zunächst $n=707$ Fälle eingeschlossen, von denen $n=435$ Fälle die Suter-Henninger Qualitätskriterien für die prä- und postoperativen Röntgenaufnahmen erfüllten und schlussendlich ausgewertet wurden. Die Messung folgender radiobiometrischer Parameter in den prä- und postoperativen *true* a.p. und Outlet View Röntgenaufnahmen wurde verblindet durch zwei unabhängige Untersucher mittels dicomPACS Software durchgeführt: Akromion-Index (AI), kritischer Schulterwinkel (CSA), lateraler Akromionwinkel (LAA), β -Winkel, akromiohumeraler Abstand (AHA), Aoki Winkel, frontaler Supraspinatus Outlet Winkel (FSOW) und Akromionform nach Bigliani. Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS Software.

Postoperativ veränderten sich der CSA und der β -Winkel nicht signifikant mit einer Reduktion des mittleren CSA in der Gesamtgruppe von $35,07^\circ$ (22,25 – 47,52; SD 4,42) auf $34,97^\circ$ (23,36 – 50,83; SD 4,64) ($p=0,001$). In einer Subanalyse der Fälle mit einem präoperativen CSA $>35^\circ$ ($n=194$) zeigte sich eine signifikante Reduktion von $38,62^\circ$ (35,08 – 47,52; SD 2,83) auf $38,04^\circ$ (29,18 – 48,12; SD 3,77) ($p=0,028$). Der AI verringerte sich signifikant von 0,69 (0,45 – 0,96; SD 0,08) auf 0,68 (0,46 – 0,96; SD 0,09) ($p=0,001$). Die weiteren Parameter LAA, AHD, Aoki Winkel und FSOW verringerten sich ebenfalls signifikant (AHD, FSOW, and Aoki; $p=0,001$, LAA; $p=0,039$). Die Intra- und Interobserverreliabilität war überwiegend gut bis sehr gut.

In dieser Studie zeigte sich keine signifikante Reduktion des CSA durch eine anterolaterale Akromioplastik. Lediglich in der Subgruppenanalyse mit Werten $>35^\circ$ zeigte sich eine signifikante Reduktion, jedoch nicht auf gemeinhin als unkritisch betrachtete Werte $<35^\circ$. Der AI veränderte sich statistisch signifikant, die klinische Relevanz wird aufgrund der Anfälligkeit des AI für Rotationsphänomene in anteroposterioren Röntgenaufnahmen jedoch infrage gestellt. Die signifikante Veränderung der übrigen Parameter deutet daraufhin, dass genügend Knochenresektion stattgefunden hat, um per ASD röntgenologisch messbare Veränderungen herbeizuführen. Die Durchführung der ASD durch einen einzigen erfahrenen Operateur, die sorgfältige Bildauswahl und die gute bis sehr gute Intra- und Interobserverreliabilität erhöhen die Aussagekraft dieser Studie. Auch wenn einige Autoren eine signifikante CSA-Reduktion durch Akromioplastik beschreiben, wird in der Betrachtung der aktuellen Studienlage deutlich, dass sich aufgrund unterschiedlicher Bildgebungsmodalitäten, Bildauswahlkriterien und Fallzahlgrößen sowie unterschiedlicher akromioplastischer Techniken eine sehr heterogene Studienlage bezüglich des CSA und AI ergibt, die die Vergleichbarkeit der Arbeiten miteinander und die Aussagekraft einzelner Arbeiten deutlich einschränkt. Somit wird die Sinnhaftigkeit einer anterolateralen Akromioplastik insbesondere als Maßnahme zur CSA-Reduktion durch die vorliegende Arbeit stark in Frage gestellt.

Abstract

To this day, the etiology of rotator cuff tears and re-tears after surgical reconstruction remains discussed, as most authors assume a complex multifactorial genesis composed of intrinsic and extrinsic risk factors. Multiple studies identify a large lateral extension of the acromion over the humerus, biometrically expressed in radiographs as a high acromion index (AI) and critical shoulder angle (CSA), as a predisposing extrinsic mechanical factor for the development of rotator cuff lesions. Some authors therefore propose the reduction of the lateral extension of the acromion via acromioplasty in symptomatic patients. So far, it has not been clarified in how far this reduction is achievable via standard arthroscopic subacromial decompression (ASD) with anterolateral acromioplasty to a clinically relevant extent.

The aim of this clinical retrospective study was to examine whether an ASD leads to a clinically significant reduction of CSA and AI. To increase validity, the aim was to achieve a high case count while respecting strict radiographic quality criteria as well as assessing additional biometric parameters.

This study evaluated all patients that underwent an arthroscopic anterolateral acromioplasty performed by Prof. Dr. Kircher at Atos Klinik Fleetinsel Hamburg between January 2014 and September 2020. After assessing the inclusion and exclusion criteria, $n=707$ cases were initially included, of which $n=435$ met the Suter-Henninger criteria for radiographic quality of the pre- and postoperative images and thus were included in the final assessment. The following biometric parameters were measured in pre- and postoperative true a.p. and outlet view radiographs in a blinded fashion by two independent examiners using dicomPACS software: acromion index (AI), critical shoulder angle (CSA), lateral acromion angle (LAA), β -angle, acromiohumeral distance (AHD), Aoki angle, frontal supraspinatus outlet angle (FSOW) und acromion shape according to Bigliani. Statistical analysis was performed using SPSS software.

The β -angle and CSA did not change significantly with a mean postoperative CSA reduction from 35.07° ($22.25 - 47.52$; SD 4.42) to 34.97° ($23.36 - 50.83$; SD 4.64) ($p=.001$). In a subgroup analysis of patients with a preoperative CSA $>35^\circ$ ($n=194$) this study showed a significant mean postoperative CSA reduction from 38.62° ($35.08 - 47.52$; SD 2.83) to 38.04° ($29.18 - 48.12$; SD 3.77) ($p=.028$). The AI was reduced significantly from 0.69 ($0.45 - 0.96$; SD 0.08) to 0.68 ($0.46 - 0.96$; SD 0.09) ($p=.001$). The additional parameters LAA, AHD, Aoki angle and FSOW changed significantly after operation (AHD, FSOW, and Aoki; $p=.001$, LAA; $p=.039$). Intra- and interobserver reliability was predominantly good to excellent for the measured values.

In this study anterolateral acromioplasty did not result in a significant CSA reduction. Solely the subgroup analysis for CSA values $>35^\circ$ showed a significant reduction but not to normal values $<35^\circ$. The AI changed significantly, yet the clinical relevance is questionable due to the AI's vulnerability regarding rotation phenomena in anteroposterior radiographs. The significant change of the additional parameters allows the conclusion that enough bone resection was achieved through ASD to produce changes measurable in standard radiographic imaging. The validity of this study was increased by the single surgeon study design, thoroughly assessed radiographic images and a good to excellent intra- and interobserver reliability. Although some authors describe a significant CSA reduction through ASD, a consideration of the latest studies concerning CSA and AI exhibits a noticeable heterogeneity in the data due to different imaging modalities, varying image quality criteria and case numbers as well as different arthroscopic techniques, resulting in a considerably reduced comparability of different studies and validity of singular studies. Thus, this study puts the significance of arthroscopic anterolateral acromioplasty as a means to reduce CSA highly into question.

Abkürzungsverzeichnis

AHA	Akromiohumeraler Abstand
AI	Akromion-Index
ASD	Arthroskopische subakromiale Dekompression
A.	<i>Arteria</i>
a.p.	<i>anterior-posterior</i>
β	<i>beta</i>
CSA	<i>critical shoulder angle</i> , kritischer Schulterwinkel
CT	Computertomographie
Fig.	<i>Figure</i>
FSOW	Frontaler Supraspinatus-Outlet-Winkel
LAA	<i>lateral acromion angle</i> , lateraler Akromionwinkel
Lig., Ligg.	<i>Ligamentum, Ligamenta</i>
MRT	Magnetresonanztomographie
M.	<i>Musculus</i>
n	Fallzahl
N.	<i>Nervus</i>
$p.$	<i>p-Wert</i>
Proc.	<i>Processus</i>
RM	Rotatorenmanschette
RTL	<i>ratio of the transverse to longitudinal diameter of the glenoid projection</i>
SD	<i>standard deviation</i>

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.1.1 Einführung.....	1
1.1.2 Funktionelle Anatomie der Schulter und des Subakromialraumes.....	2
1.1.3 Anatomie & Biomechanik der Rotatorenmanschette	4
1.1.4 Ätiopathogenese degenerativer Rotatorenmanschettenläsionen.....	6
1.1.5 Radiobiometrie der Schulter	8
1.1.6 CSA und AI als diagnostische Parameter	12
1.1.7 Akromioplastik.....	14
1.2 Fragestellung: Verändert eine anterolaterale Akromioplastik den kritischen Schulterwinkel und Akromion-Index in klinisch relevantem Ausmaß?	16
1.3 Ethikvotum	17
2. Anterolateral Acromioplasty Does not Change the Critical Shoulder Angle and Acromion Index in a Clinically Relevant Amount, Thiesemann, S., Kirchner, F., Farkondeh Fal, M., Albers, S., Kircher, J., Arthroscopy, 28:S0749-8063, (2022)	18
3. Diskussion	19
3.1 CSA und AI	19
3.2 Limitationen: Fallzahl und Qualität der Röntgenaufnahmen	20
3.2.1 Fallzahl.....	20
3.2.2 Projektionsfehler und Messungengenauigkeit	21
3.2.3 Intrinsische Qualitätskontrolle	23
3.3 Ausführung der ASD	24
3.4 Zusammenfassung und Fazit	24
4. Quellenverzeichnis	26
4.1 Literaturverzeichnis	26
4.2 Abbildungsverzeichnis	31

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

1.1.1 Einführung

Die Schulter ist eines der beweglichsten Gelenke des menschlichen Körpers und im Verbund mit der oberen Extremität unabdingbar für die Verrichtung alltäglicher Aufgaben, Ausübung diverser Sportarten und im übergeordneten Sinne dem „Begreifen“ unserer Umwelt“ [1]. Ein Funktionsdefizit birgt also ein großes Risiko, die Lebensqualität betroffener Menschen deutlich einzuschränken.

Gleichzeitig sind Rotatorenmanschettendefekte (RM-Defekte) hochprävalent: sie gehören zu den häufigsten muskuloskelettalen Beschwerdebildern überhaupt und gehen selbst bei zunächst asymptomatischen Patienten mit einem erhöhten Risiko für die spätere Entwicklung von Schmerzen und Funktionsdefiziten einher [2, 3]. Yamamoto et al. ermittelten 2010 eine Prävalenz von 20,7% für RM-Defekte in der Allgemeinbevölkerung [4]. Auch stellt schon das Vorliegen einer einseitigen RM-Ruptur einen alters- und geschlechtsunabhängigen Risikofaktor für die spätere Entwicklung einer RM-Ruptur auf der kontralateralen Seite dar [3].

Entsprechend der deutlichen klinischen und sozioökonomischen Relevanz, insbesondere in Anbetracht einer alternden und bis ins höhere Alter beruflich und sportlich aktiven Gesellschaft, ist die Ätiopathogenese von RM-Defekten weiterhin Gegenstand der Forschung. Habermeyer et al. beschrieben 2010, dass „verschiedene neue Konzepte [...] die kontroverse Diskussion aufrechterhalten“ und „neuere Studienergebnisse [...] die monokausalen mechanischen Theorien weiterhin in Frage [stellen]“ [1].

Mechanische Theorien fußen auf dem Konzept des Impingements. Schon 1924 machte der Anatom A.W. Meyer auf Friktionsschäden an gelenknahen Strukturen aufmerksam, so auch im Subakromialraum [5]. C.S. Neer prägte den heute geläufigen Begriff des „subakromialen Impingements“, mit dem er im Jahre 1972 Schäden an RM- und Bizepssehne infolge mechanischer Einwirkung durch das Ligamentum coracoacromiale und dem lateralen Drittel des Akromions sowie die anterolaterale Akromioplastik als Therapie beschrieb [6].

1986 veröffentlichten Bigliani et al. ein bis heute in Anwendung befindliches Konzept zur Klassifizierung der Akromionmorphologie und ermittelten einen Zusammenhang insbesondere vom hakenförmigen Typ III Akromion mit RM-Läsionen [7]. Die Akromioplastik, die heute fast ausschließlich arthroskopisch durchgeführt wird, korrigiert die subakromiale Enge durch Entfernung von Knochen und Spornen an der Akromionunterseite am anterolateralen Schulterdach und wandelt Typ II und Typ III Akromionformen in Typ I Formen mit flacher Unterseite um.

Später wurden weitere biometrische Parameter definiert, die zur Quantifizierung der akromialen Morphologie beitragen und Korrelationen zu RM-Läsionen aufweisen. 1995 stellten Banas et al. den

lateralen Akromionwinkel (LAA) vor, Nyffeler et al. beschrieben 2006 erstmalig den Akromion-Index (AI) und Moor et al. 2013 den kritischen Schulterwinkel (CSA) [8-10]. Diesen Publikationen und zugrundeliegenden Konzepten ist gemein, dass sie einen Zusammenhang zwischen einem weiten Überhang des Akromions bzw. dessen Neigung über den proximalen Humerus, ausgedrückt durch die unterschiedlichen genannten Faktoren, und RM-Defekten postulieren und zum Teil auch nachweisen konnten. Letztendlich wird damit eine Prädisposition zu RM-Läsionen durch die individuelle hochvariable Anatomie des knöchernen Schulterdaches in den Raum gestellt. Die Diskussion über die Bewertung dieses postulierten Einflusses der knöchernen Anatomie auf die Entstehung von Sehnenläsionen der Schulter ist in vollem Gange und wurde kürzlich durch erweiterte Messverfahren und -methoden, nämlich MRT und 3D-Messungen im CT, wieder angefangen [11-17].

Obwohl die obigen und weitere biometrische Parameter mit RM-Defekten korrelieren, ist die genaue Kausalität nicht endgültig geklärt und werden diese Parameter auch nach neuestem Stand als extrinsische Faktoren in einem multifaktoriellen Prozess mit diversen weiteren, überwiegend intrinsischen Faktoren verstanden [18].

Trotz alledem plädieren einige Autoren dafür, bei symptomatischen Patienten eine Optimierung insbesondere des CSA per Akromioplastik vorzunehmen [19, 20]. Inwieweit die entsprechenden biometrischen Parameter sich durch eine anterolaterale Akromioplastik verändern, ist nicht hinreichend geklärt und soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

1.1.2 Funktionelle Anatomie der Schulter und des Subakromialraumes

Die Informationen in diesem Unterkapitel sind, sofern nicht anderweitig gekennzeichnet, dem Werk „Schulterchirurgie“ von Habermeyer et al. entnommen [1].

Die ausgeprägte Beweglichkeit des Armes wird maßgeblich durch das Zusammenspiel der Strukturen im Schultergürtel gewährleistet. Der Schultergürtel wird knöchern aus Scapula und Clavicula gebildet, wobei die *Articulatio sternoclavicularis* der medialen Clavicula die einzige direkte Verbindung zum Thorax darstellt. Nach lateral artikuliert die Clavicula mit der Scapula über die *Articulatio acromioclavicularis* am Akromion.

Das Akromion und der *Processus coracoideus* stellen die zwei in der Frontalebene unter Biegungsbeanspruchung stehenden Fortsätze der Scapula dar. Das Akromion bildet sich in der Regel über eine Synostose aus einem aus der Spina wachsenden Anteil und dem lateral hervorragendem Akromionende, das als selbstständiger Knochenkern ossifiziert. Das Zurückbleiben einer Knorpelfuge kann aufgrund der oft aufgebogenen Ränder eine Einengung des Subakromialraums bedingen. Außerdem weist die Morphologie des Akromions eine Variabilität hinsichtlich der Neigung insbesondere der akromialen Unterkante auf, die sich in unterschiedlichem Ausmaß ebenfalls auf den

Subakromialraum auswirken kann. Nach Bigliani werden die drei Kategorien Typ I (flach), Typ II (gebogen) und Typ III (hakenförmig) unterschieden [7].

Das Akromion, der Proc. coracoideus und das sie verbindende Lig. coracoacromiale bilden den Fornix humeri, unter dem die superiores Sehnenanteile der Rotatorenmanschette verlaufen. Die anterolaterale Öffnung des Subakromialraums wird auch als Supraspinatus-Outlet bezeichnet (Abb. 1) [21].

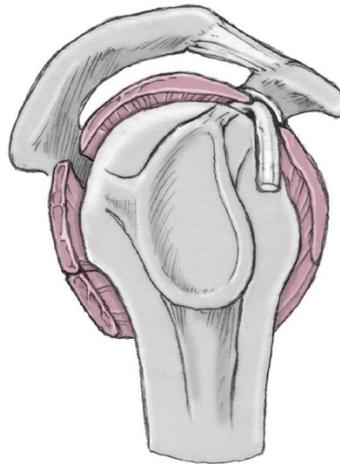


Abb. 1: Ansicht von lateral auf die Scapula mit Fornix humeri, gebildet aus Akromion, Proc. coracoideus und dem sie verbindenden Lig. coracoacromiale, mit darunter verlaufenden Anteilen des M. supraspinatus und langer Bizepssehne [21]

Der Fornix bietet außerdem einigen Schultermuskeln, u.A. dem M. deltoideus und Caput breve des M. biceps brachii, einen günstigeren Hebel und schützt den Humeruskopf bei plötzlicher Verschiebung nach kranial, obgleich der Fornix nicht für eine länger währende Druckaufnahme ausgelegt ist. Zwischen Fornix und Schultergelenkscapsel gewährleisten lockeres Bindegewebe und die Bursa subacromialis die Verschieblichkeit der Strukturen im subakromialen Raum. Die Bursa subacromialis bildet mit der Bursa subdeltoidea das sogenannte subakromiale Nebengelenk, das aber als Verschieberaum kein echtes Gelenk darstellt.

Die Scapula besitzt neben dem subakromialen Nebengelenk mit der Articulatio thoracoscapularis eine weitere Struktur, die als bindegewebiger Raum zwischen M. subscapularis und M. serratus anterior ebenfalls nur funktionell ein Gelenk bildet.

Die zwei echten Gelenke der Scapula sind die Articulatio acromioclavicularis und die Articulatio glenohumeralis [22]. Die Articulatio glenohumeralis ist maßgeblich an der Beweglichkeit der oberen Extremität beteiligt und wird aus dem Caput humeri und der Cavitas glenoidalis der Scapula gebildet. Es entsteht ein Kugelgelenk mit imponierendem Größenunterschied zwischen Gelenkkopf und Gelenkpfanne zugunsten des Gelenkkopfes, woraus das große Bewegungsausmaß des Armes in drei rotatorischen und zwei translatorischen Freiheitsgraden resultiert.

Aufgrund der geringen knöchernen Führung des Glenohumeralgelenkes kommt der Schultermuskulatur besonders große Bedeutung in Hinblick auf die Stabilisierung des Gelenkes zu. So wird die Scapula durch

die an ihr ansetzenden Muskeln eng am Thorax gehalten und die Cavitas glenoidalis durch die kräftige periartikuläre Muskulatur genau auf das Caput humeri zentriert [18].

Die Gelenkkapsel selbst wird umfassend, lediglich mit Ausnahme des Rotatorenintervalls und des Recessus axillaris, von den Sehnen der Rotatorenmanschette verstärkt, die in unterschiedlichem Ausmaß in die Kapsel einstrahlen, wobei die Subscapularissehne die prominenteste der Rotatorenmanschettensehnen darstellt. Die Supraspinatus- und Infraspinatussehne wiederum werden an ihrer Insertion zusätzlich vom Lig. coracohumerale unterstützt, das sich fächerartig vom Proc. coracoideus aus aufspannt und lateral am Tuberculum majus humeri inseriert. Dabei verbindet es sich unter anderem oberflächlich mit der Supraspinatussehne und dehnt sich nach posterior zur Infraspinatussehne hin sowie in den Rotatorenintervall aus [18].

1.1.3 Anatomie & Biomechanik der Rotatorenmanschette

Die Informationen in diesem Unterkapitel sind, sofern nicht anders gekennzeichnet, dem Werk „Rockwood & Matsen’s The Shoulder“ von Matsen et al. entnommen [18].

Die Rotatorenmanschette setzt sich aus dem Musculus subscapularis, Musculus supraspinatus, Musculus infraspinatus und Musculus teres minor zusammen, die ihren Ursprung an der Scapula finden und am proximalen Humerus inserieren.

Der M. subscapularis ist der größte und kräftigste Muskel der Rotatorenmanschette. Er hat seinen Ursprung in der Fossa subscapularis auf der ventralen Seite der Scapula und inseriert am Tuberculum minus humeri. Die Innervation geschieht sowohl aus superioren als auch inferioren Anteilen der Nervi subscapulares, die dem Fasciculus posterior des Plexus brachialis entspringen. Arteriell wird der M. subscapularis über die A. subscapularis versorgt, die aus der A. axillaris hervorgeht. Der M. subscapularis ist der kräftigste Innenrotator des Humerus, wobei den inferioren Anteilen des Muskels besondere Bedeutung zukommt. Seine Sehnen inserieren sowohl oberhalb als auch unterhalb des humeralen Rotationszentrums. Er trägt zudem zur Abduktion bei und wirkt einer Verschiebung des Caput humeri nach anterior entgegen. Während der Abduktion balanciert er ventral die dorsal einwirkenden Kräfte des M. teres minor und M. infraspinatus aus [21].

Der M. supraspinatus hat seinen Ursprung in den medialen zwei Dritteln der Fossa supraspinata auf der dorsalen Seite der Scapula und inseriert am Tuberculum majus humeri. Die arterielle Versorgung geschieht über die A. suprascapularis, die den ebenfalls versorgenden N. suprascapularis, entspringend aus dem Truncus superior des Plexus brachialis, begleitet. Verschiedene Studien zeigen, dass die Vaskularisation der Sehne direkt an oder leicht proximal der Insertion relativ geringer ist als in der übrigen Sehne. Der M. supraspinatus initiiert die Armabduktion, bevor der M. deltoideus ab ca. 30°

Abduktion als Hauptabduktor agiert. Der M. supraspinatus trägt dennoch weiterhin zum Drehmoment in der Abduktion bei, indem er eine überwiegend kompressorische Funktion übernimmt [21].

Der M. infraspinatus bildet mit dem M. teres minor den posterioren Anteil der Rotatorenmanschette. Der M. infraspinatus entspringt den medialen zwei Dritteln der Fossa infraspinata unterhalb der Spina scapulae auf der dorsalen Seite der Scapula und inseriert an der mittigen Facette des Tuberculum majus humeri. Er wird ebenfalls von A. und N. suprascapularis versorgt, die nach Abgabe von Ästen an den M. supraspinatus die Incisura spinoglenoidalis passieren. Der M. infraspinatus ist der primäre Extensor und Außenrotator des Humerus. Wie auch beim M. subscapularis inserieren die Sehnen oberhalb und unterhalb des humeralen Rotationszentrums und er kann zur Abduktion beitragen.

Der M. teres minor entspringt dorsolateral am Margo lateralis der Scapula und inseriert an der inferioren Facette des Tuberculum majus humeri. Er kann über ein eigenes Fasziokompartiment verfügen, teilt sich aber häufig eine Faszie mit dem M. infraspinatus. Der M. teres minor wird vom N. axillaris aus dem Plexus brachialis innerviert und arteriell von der A. circumflexa humeri posterior und A. circumflexa scapulae versorgt. Er ist synergistisch mit dem M. infraspinatus an der Extension und Außenrotation beteiligt. Außerdem trägt er zur Adduktion bei.

Das Zusammenspiel der an der Rotatorenmanschette beteiligten Muskeln sichert also nicht nur die Stabilität des Glenohumeralgelenkes, sondern bestimmt auch die Kraftübertragung und das Drehmoment des Humerus in verschiedenen Bewegungsebenen. Insbesondere während der Abduktion durch den M. deltoideus bewirkt die Rotatorenmanschettenmuskulatur eine Kaudalisierung und Zentrierung des Humeruskopfes in der Fossa glenoidalis, wobei der M. supraspinatus und M. subscapularis als koronares Kräftepaar und der M. infraspinatus und M. teres minor als transversales Kräftepaar agieren (Abb. 2). Dementsprechend kann eine Funktionseinschränkung der Rotatorenmanschette zu einem Kraftungleichgewicht zugunsten des M. deltoideus mit Dezentrierung des Humeruskopfes und entsprechender subakromialer Impingementsymptomatik führen [21].

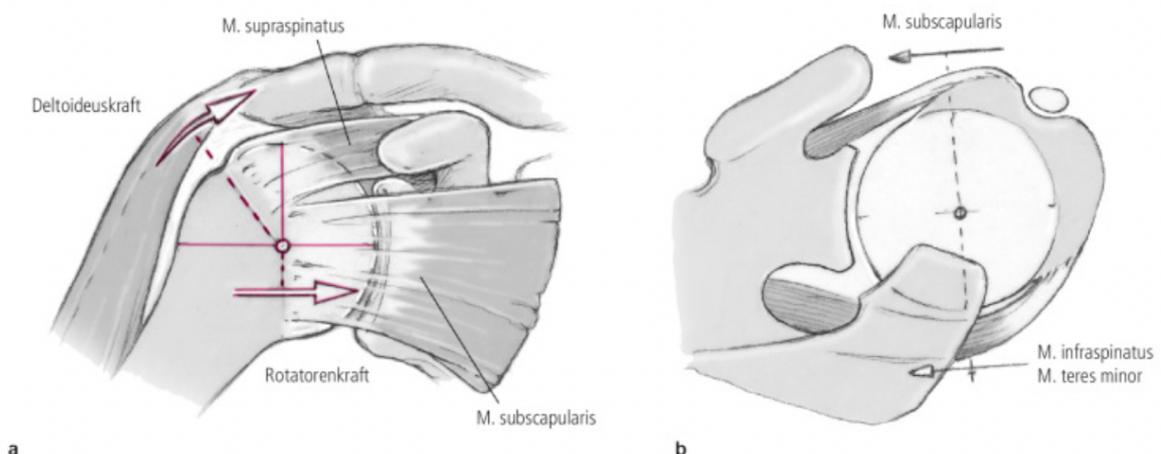


Abb. 2: Kaudalisierung und Zentrierung des Humeruskopfes während der Abduktion durch das Zusammenspiel des a) koronaren Kräftepaares (M. supraspinatus und M. subscapularis) und des b) transversalen Kräftepaares (M. infraspinatus und M. teres minor) der Rotatorenmanschettenmuskulatur [21]

1.1.4 Ätiopathogenese degenerativer Rotatorenmanschettenläsionen

Rotatorenmanschettenläsionen werden eingeteilt in atraumatische bzw. degenerative Rupturen, traumatische Rupturen bei degenerativen Prozessen, mikrotraumatische Läsionen, echte traumatische Rupturen und spezifische Läsionen beispielsweise bei rheumatoiden Prozessen [1].

Nur in seltenen Fällen, dann vornehmlich bei jüngeren Patienten, liegen echte traumatische Rupturen vor. Weitaus häufiger sind atraumatische Läsionen und traumatische Rupturen degenerativ vorgeschädigter Sehnen, wobei diese zwei Varianten in der Praxis häufig nicht trennscharf zu unterscheiden sind.

Diesem degenerativen Geschehen liegt ein multifaktorieller Prozess aus intrinsischen und extrinsischen Faktoren zugrunde [1, 23].

Uhthoff führte 1986 den Begriff der intrinsischen Tendinopathie zur Beschreibung degenerativer intratendinöser Veränderungen ein [24]. Den größten Stellenwert als prädiktiver Wert für das Auftreten von RM-Defekten hat das Patientenalter. Der Zusammenhang zwischen steigendem Alter und dem Auftreten sowie der Ausprägung von degenerativen RM-Läsionen wurde in diversen Studien nachgewiesen [18, 25-27].

Neben alterungsbedingten Prozessen deuten aktuellere molekularbiologische und histomorphologische Untersuchungen auf weitere Faktoren hin, die zur Degeneration der RM-Sehnen im Sinne einer intrinsischen Tendinopathie beitragen können [1].

Bis heute wird die 1934 von Codman erstbeschriebene hypovaskularisierte „kritische Zone“ an der artikularseitigen Supraspinatussehne nahe der Insertion diskutiert, wobei neuere Studien unter anderem eine stärkere Hypovaskularisation bei Impingement-Syndromen im Vergleich zu gesunden Schultern sowie eine vorrangig positionsabhängige Perfusionsänderung bis hin zu temporärer Ischämie von Anteilen der Supraspinatussehne bei Innenrotation und Adduktion des Armes beschreiben [1, 28]. Molekularbiologische Untersuchungen zeigen außerdem unter anderem eine erhöhte Expression von Zytokinen, Metalloproteinasen, Cyclooxygenasen und Wachstumsfaktoren bei Patienten mit RM-Läsionen. Dies unterstützt die Hypothese, dass inflammatorische Prozesse zur intrinsischen Degeneration beitragen [1, 28].

Auch Komorbiditäten wie Diabetes mellitus, Adipositas, arterielle Hypertonie und Schilddrüsenerkrankungen sowie Nikotinkonsum erhöhen das Risiko für RM-Defekte [29-31]. Untersuchungen zu geschlechterspezifischen Unterschieden zeigen mitunter erhöhte Prävalenzen für RM-Rupturen bei männlichen Patienten, wobei andere Studien aber zu widersprechenden Ergebnissen kommen. Ferner ist eine familiäre Häufung von RM-Rupturen zu beobachten, sodass eine genetische Prädisposition angenommen werden kann [18, 32].

Bei einem subakromialen Konflikt, zu dem es aufgrund intrinsischer Degeneration und daraus entstehender Volumenzunahme im subakromialen Raum kommt, spricht man von einem Non-outlet-Impingement [1].

Unter extrinsischen Risikofaktoren hingegen versteht man vorrangig extratendinöse mechanische Aspekte, die den Subakromialraum einengen und so zu einem primären oder sekundären Impingement-Syndrom führen können. Das primäre Impingement stellt das klassische subakromiale Outlet-Impingement wie von Neer und Poppen beschrieben dar. Hierbei kommt es zu einem mechanischen Konflikt unterhalb des anterolateralen Akromions, wobei die Elevation des Armes aus der Neutralstellung zur Komprimierung und sekundären Schädigung der Bursa subacromialis, der Supraspinatussehne und des Rotatorenintervalls inklusive der langen Bizepssehne führt (Abb. 3) [1].

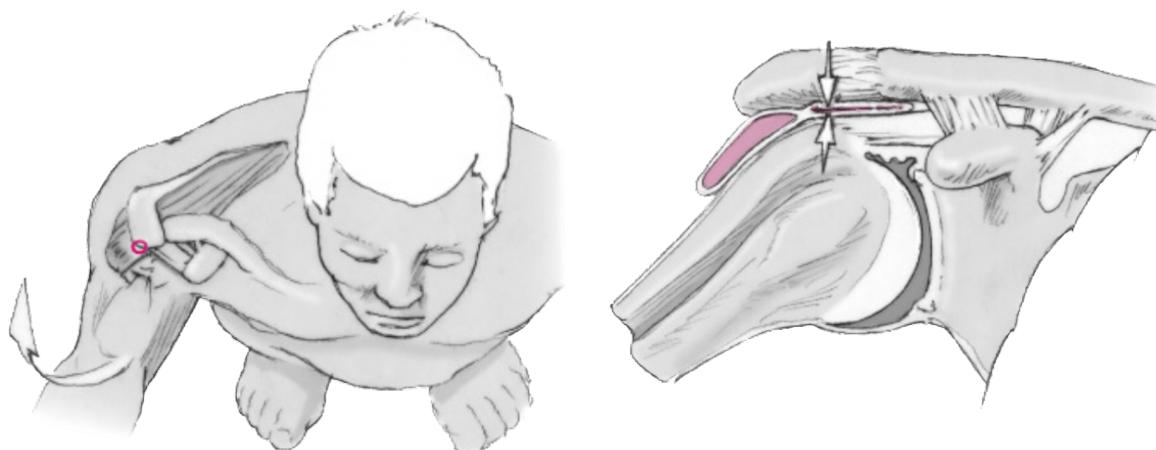


Abb. 3: Elevation des Armes aus Neutralstellung mit Komprimierung der Bursa subacromialis, der Supraspinatussehne und des Rotatorenintervalls inklusive der langen Bizepssehnen [21]

Im weiteren Sinne als mechanische Risikofaktoren für RM-Defekte im Sinne einer Mehr- oder Überbeanspruchung haben sich die Armdominanz und bestimmte Berufe mit repetitiver körperlicher Schwerarbeit herausgestellt [18, 33]. Auch Sportarten mit Überkopfbeanspruchung sind mit einem erhöhten Risiko für Impingement-Syndrome und RM-Rupturen assoziiert, führen typischerweise aber eher zu einem posterosuperioren glenohumeralen denn einem akromialen Impingement [1].

Impingement-Syndrome aufgrund funktioneller Problematiken werden als sekundäre Impingement-Syndrome bezeichnet. Ursächlich sind hier neuromuskuläre Dysbalancen, beispielsweise aufgrund einer primären neuromuskulären Insuffizienz der Rotatorenmanschette oder Scapulastabilisatoren oder auch aufgrund struktureller Kapselveränderungen, die den Ablauf der Elevation beeinträchtigen und sekundär zu einer Überbelastung der Rotatorenmanschette führen [1].

1.1.5 Radiobiometrie der Schulter

Der Einfluss extrinsischer Faktoren auf RM-Läsionen und weitere Pathologien wurde in mehreren Studien anhand radiobiometrischer Parameter untersucht, die die Konstellation des Akromions zu Humerus und Glenoid abbilden sollen [7-10, 26, 29, 34-52].

1984 untersuchte Petersson den akromiohumeralen Abstand (AHA) bei Schultergesunden in Hinblick auf alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede (*Abb. 4*). Es zeigte sich ein größerer AHA bei Männern als bei Frauen, jedoch auch ausschließlich bei den männlichen Patienten eine leichte, aber signifikante Abnahme des AHA mit steigendem Alter. Bei Menschen mittleren Alters ist laut Petersson ein AHA von weniger als 6mm als auffällig zu werten und als Hinweis auf eine Ruptur der Supraspinatussehne zu erachten [35].

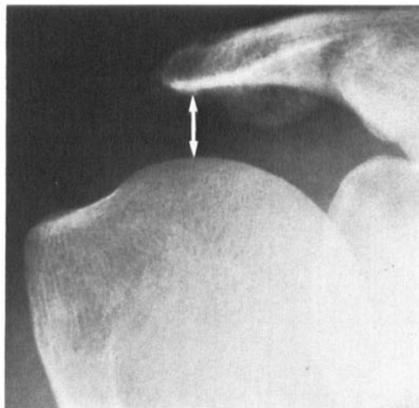


Abb. 4: AHA nach Petersson [35]

Gemeinhin wird auch ein Typ III Akromion gemäß Bigliani als ein mechanischer Risikofaktor für RM-Läsionen erachtet (*Abb. 5*). Bigliani et al. fanden in ihrer Kadaverstudie 1986 eine deutlich erhöhte Inzidenz für Typ III bei Präparaten mit RM-Rupturen [7]. Einige Studien stellen die Eindeutigkeit von Biglianis Klassifikation der Akromionkonfiguration und deren Einfluss auf die Entstehung von RM-Rupturen jedoch infrage [1].

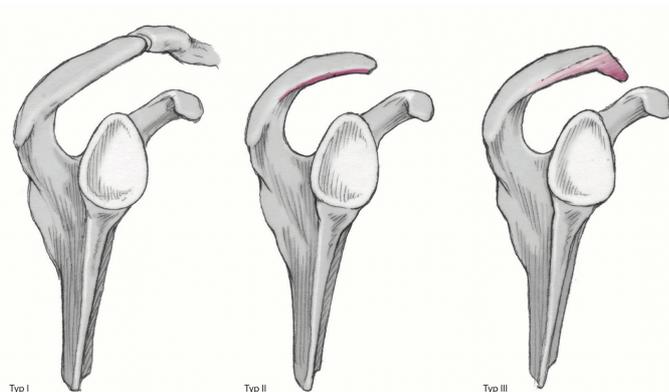


Abb. 5: Akromionkonfiguration nach Bigliani [21]

Auch in der Arbeit von Banas et al. von 1995 zeichnete sich zwar ein Trend zwischen dem Akromion-Typ nach Bigliani und RM-Läsionen ab, dieser erreichte aber keine statistische Signifikanz. In der gleichen Arbeit stellten Banas et al. den lateralen Akromionwinkel (LAA) vor, der signifikant mit dem Vorliegen einer RM-Läsion korrelierte (Abb. 6). Es zeigte sich ferner ein signifikanter Zusammenhang zwischen steigendem Alter und dem Vorliegen einer RM-Läsion, nicht jedoch zwischen LAA und Alter [8].

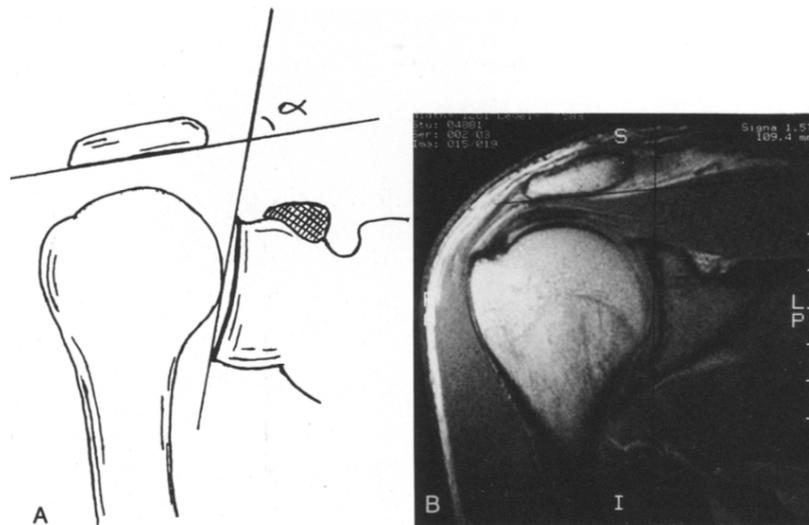


Abb. 6: LAA nach Banas et al. in Skizze (A) und MRT (B) [8]

Vom Typ III Akromion zu differenzieren sind Traktionssporne, deren Bildung fraglich durch den wiederholten Kontakt des Caput humeri am korakoakromialen Bogen gefördert wird, wobei auch diese die Manifestation eines Impingements begünstigen können. Gleiches gilt für osteophytäre Anbauten am Akromioklavikulargelenk, fibrocartilaginäre Umbauten im Verlauf des Lig. coracoacromiale oder auch ein instabiles Os acromiale. Jedoch zeigt sich auch hier in der Studienlage meist zwar eine Korrelation, jedoch keine direkte Kausalität [1].

Aoki untersuchte 1986 vorrangig den Zusammenhang zwischen dem von ihm erstbeschriebenen *acromial slope* und der Ausbildung von Akromionspornen sowie degenerativer Veränderungen am Tuberculum majus humeri. Er hypothesierte zudem, dass ein niedriger Aoki-Winkel (Abb. 7), also eine stärkere Neigung des Akromions, ein Impingement begünstigen könne [37].

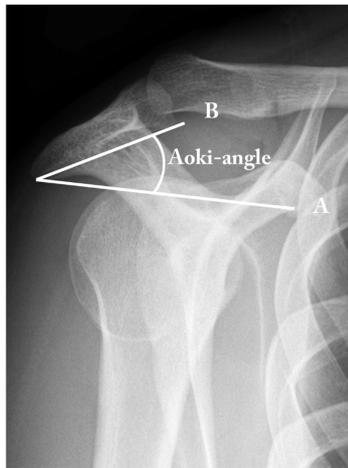


Abb. 7: Aoki Winkel in Outlet View Aufnahme [53]

2006 präsentierten Nyffeler et al. den Akromion-Index (AI) als Parameter für den lateralen Abstand des Akromions im Vergleich zum Humerusausstand und fanden in ihrem untersuchten Patientenkollektiv einen signifikant unterschiedlichen AI für Patienten mit RM-Ruptur im Vergleich zur Kontrollgruppe (Abb. 8). Nyffeler et al. argumentieren, dass ein größerer lateraler Akromionausstand zu einer Änderung des Kraftvektors des M. deltoideus führt, die über eine Mehrbeanspruchung der Supraspinatussehne in der Abduktion eine Degeneration oder Impingement fördern kann [9].



ACROMION INDEX:

$$AI = \frac{GA}{GH}$$

Abb. 8: AI nach Nyffeler [9]

Moor et al. führten 2013 den kritischen Schulterwinkel (CSA) ein, der den Akromionausstand und die Inklination des Glenoids in Relation setzt (Abb. 9). In ihrer Studie zeigte sich, dass CSA-Werte über 35° signifikant mit dem Vorliegen einer RM-Ruptur assoziiert sind [10]. In Folgearbeiten wurden der CSA, AI und LAA als Prädiktoren für das Vorliegen einer degenerativen RM-Ruptur bestätigt [36, 51, 54].



Abb. 9: CSA nach Moor [10]

Schleberger implementierte 2018 den frontalen Supraspinatus-Outlet-Winkel (FSOW) mit dem Ziel, die skelettal definierten Parameter CSA bzw. AI und LAA mit dem dynamischen Parameter AHA in Gesamtschau abzubilden (Abb. 10). Der FSOW ähnelt dem AHA insofern, als dass er Akromion und Humerus in Relation zueinander setzt und somit ein dynamisches Geschehen im Sinne einer RM-Pathologie mit Kranialisierung oder Dezentralisierung des Humeruskopfes abzubilden vermag.

In Schlebergers Untersuchung zeigte sich ein signifikanter Unterschied des FSOW zwischen Kontrollgruppe und Patienten mit degenerativen bzw. traumatischen RM-Rupturen sowie eine signifikante Korrelation zwischen FSOW und Defektgröße bei degenerativen RM-Rupturen. Zudem beschrieb er u.a. innerhalb der Gruppe mit degenerativen RM-Rupturen signifikant kleinere FSOW bei bursaseitigen Partialdefekten sowie bei RM-Totaldefekten jeweils versus artikulärseitigen Partialdefekten [29].

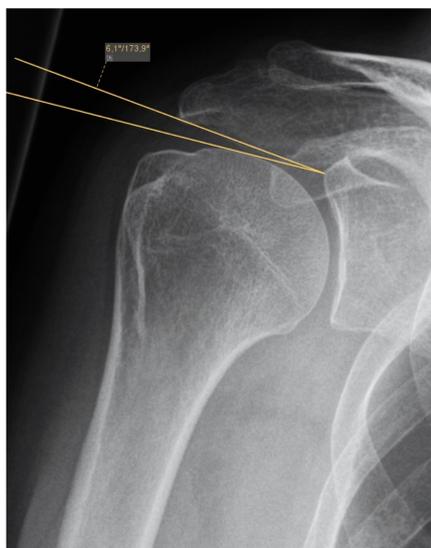


Abb. 10: FSOW nach Schleberger [29]

1.1.6 CSA und AI als diagnostische Parameter

Trotz der multifaktoriellen Genese von RM-Defekten werden der AI und CSA basierend auf Neers Impingement-Konzept von einigen Autoren als valide Parameter für die Diagnostik von RM-Rupturen erachtet [9, 10, 36, 51]. Einige aktuelle Studien scheinen die diagnostische Aussagekraft dieser Parameter zu bestätigen:

Laut Meta-Analyse von Song et al. erreicht der CSA eine hohe diagnostische Güte für die Diagnostik von RM-Rupturen im Röntgen [55]. Tang et al. bestätigten sowohl den CSA als auch den AI als Prädiktoren für das Vorliegen einer RM-Ruptur, wobei der CSA in standardisierten Röntgenaufnahmen gemäß Suter und Henniger eine höhere Genauigkeit als der AI aufwies, allerdings dem AI in den nicht standardisierten Röntgenbildern unterlegen war [56].

In einer Arbeit von Kim et al. zeigt sich eine besonders hohe Korrelation zwischen hohem CSA im Röntgenbild und RM-Rupturen bei gleichzeitigem Vorliegen eines subakromialen Osteophyten [57]. Zeng et al. stellten 2019 ein neues Verfahren zur 3D-Diagnostik der akromialen Morphologie auf Basis von CT-Bildern vor, anhand dessen ebenfalls eine Vorhersagbarkeit über das Vorliegen einer RM-Läsion möglich war. Die Autoren stellten zur Diskussion, dass die biometrischen Messwerte als Richtgröße für das Ausmaß der vorzunehmenden Knochenresektion im Rahmen einer Akromioplastik dienen könnten [58].

Neben dem primären Vorliegen einer RM-Ruptur scheint ein hoher CSA auch mit einem erhöhten Risiko für die Progression einer RM-Läsion zur Totalruptur bei konservativer Behandlung bzw. Re-Ruptur-Risiko nach arthroskopischer Reparatur der Supraspinatussehne einherzugehen [23].

Garcia et al. beschrieben 2017 einen signifikanten Zusammenhang zwischen hohem CSA und Re-Rupturen sechs Monate nach arthroskopischer Rekonstruktion der Supraspinatussehne, insbesondere bei einem CSA $>38^\circ$ [59]. Scheiderer et al. fanden ebenfalls eine signifikante Korrelation von hohen CSA- und AI-Werten mit Re-Rupturen der Supraspinatussehne sechs Monate nach arthroskopischer Rekonstruktion. Bei CSA-Werten $>38^\circ$ zeigte sich eine Vervierfachung des Re-Ruptur-Risikos [60].

Bei Li et al. zeigte sich ebenso eine signifikante Korrelation zwischen AI bzw. CSA und Re-Rupturen, wobei der Nachuntersuchungszeitpunkt bei mindestens zwei Jahren postoperativ lag [61].

In der Studie von Opsomer et al. erreichte die sich abzeichnende Korrelation zwischen CSA und Re-Rupturen keine statistische Signifikanz, die Korrelation von AI und Re-Rupturen jedoch schon, wobei AI-Werte $\geq 0,75$ zu einer Versechsfachung des Risikos führte [62].

Lin et al. ermittelten 2020 eine bessere Vorhersagegenauigkeit des CSA gegenüber dem AI für das Vorliegen einer RM-Ruptur bei PatientInnen mit atraumatischen Schulterschmerzen [63].

Harada et al. untersuchten ebenfalls 2020 den Einfluss von mehreren zusammenspielenden Risikofaktoren auf das Wiederauftreten von Rupturen nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion. Mit

dem höchsten Re-Ruptur-Risiko geht demnach die Kombination aus Defektgröße $\geq 40\text{mm}$, Hyperlipidämie und einem CSA von $\geq 37^\circ$ einher [64].

Andere AutorInnen ziehen die Aussagekraft dieser radiobiometrischen Parameter wiederum in Zweifel, insbesondere in Hinblick auf die Kausalität in der Ätiologie von RM-Pathologien:

Habermeyer et al. beschrieben bereits 2010, dass den extrinsischen mechanischen Faktoren „weniger eine kausale, sondern vielmehr eine manifestationsfördernde Rolle“ zukommt [1].

Ebenso ordnen Matsen et al. die skapuläre Morphologie in Anbetracht der aktuellen Studienlage als lediglich einen von diversen Einflussfaktoren in einem dynamischen multifaktoriellen Geschehen ein [18].

Miyazaki et al. untersuchten 2011 retrospektiv den Zusammenhang zwischen großem AI und dem Vorliegen von RM-Rupturen in zwei verschiedenen Populationen. Es zeigten sich signifikante Unterschiede in der untersuchten brasilianischen Population, nicht jedoch in der zweiten japanischen Population [65].

In einer Übersichtsarbeit von Sheean et al. in 2019 zeigten PatientInnen mit höheren CSA-Werten zwar höhere Re-Ruptur-Raten, allerdings wiesen die Autoren auf eine ausgeprägte Heterogenität der untersuchten Studien hin [66]. Ebenfalls 2019 führten Docter et al. ein systematisches Review durch, das den Einfluss eines hohen CSA auf das Vorliegen einer chronischen RM-Ruptur sowie das postoperative Outcome untersuchte. Es zeigte sich zwar ein Zusammenhang zwischen hohem CSA und chronischen RM-Rupturen, jedoch kein Einfluss auf funktionelle Outcomes. Wie auch Sheean et al. wiesen die Autoren auf die ausgeprägte Heterogenität und mitunter mangelnde Qualität der gegenwärtigen Evidenzlage hin und stellten die Relevanz des CSA für die Diagnostik und operative Versorgung von RM-Rupturen infrage [42].

Lädemann et al. untersuchten 2019 den CSA im Seitenvergleich bei Leistungssport-TennisspielerInnen und stellten einen Unterschied zwischen der Schulter des dominanten Arms und der nicht-dominanten Seite fest. Der CSA auf der dominanten Seite war im Mittel mit $36,9^\circ \pm 3,9^\circ$ um $2,6^\circ \pm 2,6^\circ$ größer als auf der nicht dominanten Seite. Die Autoren stellten zur Debatte, dass ein ausgeprägter lateraler Ausstand des Akromions das Ergebnis eines knöchernen Adaptionsprozesses aufgrund funktioneller Beanspruchung sein könnte und somit eher einen korrelierenden als einen kausalen Faktor in der Entstehung von RM-Läsionen darstellen könnte [67, 68].

Auch Smith et al. betonten 2020 nochmals die heterogene Studienlage, die unter anderem aufgrund der überwiegend retrospektiven Studiendesigns keine Kausalität beweise, und aufgrund der variierenden radiologischen Methodik nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit biete [69].

2020 veröffentlichten Chalmers et al. eine MRT-basierte Studie, die die Rolle der akromialen Morphologie in der Entstehung von Impingementsyndromen und im Heilungsverlauf von bereits bestehenden RM-Läsionen sowie die klinische Relevanz der entsprechenden radiobiometrischen

Parameter infrage stellt [15]. Björnsson Hallgren und Adolfsson kamen in einer 2021 publizierten Fallkontrollstudie zu einer ähnlichen Schlussfolgerung. Im 20-Jahres-Follow-Up anhand konventioneller a.p. Röntgenbilder, die die Suter-Henniger Kriterien erfüllten, ließ sich keine Korrelation zwischen dem CSA und AI und dem Vorliegen einer RM-Ruptur oder Osteoarthritis feststellen [70].

Die ätiopathogenetische Relevanz und diagnostische Aussagekraft des CSA und AI ist somit nicht abschließend geklärt.

1.1.7 Akromioplastik

In seinem Werk „The Shoulder“ von 1934 beschrieb Codman bereits die Idee einer Akromioplastik im Rahmen der operativen Versorgung von Supraspinatussehnenrupturen. Er stellte die Überlegung an, dass eine Osteotomie an der Akromionunterseite den Zugang zu den RM-Sehnen erleichtern könne, sodass auf eine Ablösung des M. deltoideus sowie auf eine Durchtrennung der Ligg. coracoacromiale und acromioclaviculare zwecks Mobilisierung verzichtet werden könne [28].

1972 empfahl Neer die anteroinferiore Akromioplastik explizit als therapeutische Maßnahme bei Outlet-Impingement, genauer die Spornabtragung an Vorder- und Unterseite des anterioren Akromions inklusive des Lig. coracoacromiale mit resultierender planer Akromionunterfläche. Die Akromioplastik nach Neer ist ein offenes operatives Verfahren [6].

1987 präsentierte Ellman die arthroskopische subakromiale Dekompression (ASD) als Alternative zur offenen Akromioplastik. Hierbei wird auf arthroskopischem Wege eine Ablösung des Lig. coracoacromiale, eine Resektion der anterioren Akromionunterseite und ein Débridement der hypertrophen Bursa vorgenommen. Bei Ellmans Folgeuntersuchungen ein bis drei Jahre nach durchgeführtem Eingriff zeigten sich mit 88% zufriedenstellenden Befunden ähnliche Resultate wie nach offener Akromioplastik [71].

1992 stellte Caspari eine Methodik vor, die die ASD in Hinblick auf zwei häufig auftretende Schwierigkeiten optimiert. So kommt es erstens häufig zu Blutungen bei der Durchtrennung des Lig. coracoacromiale und des auf ihm verlaufenden Astes der A. thoracoacromialis. Das Blutungsrisiko wird reduziert, indem zunächst von lateral am anterioren Akromion eine Nut gefräst und folgend der ventrale Akromionrand reseziert wird, sodass das Lig. coracoacromiale mitsamt seiner Insertion abgelöst wird (*Abb. 11*). Zweitens kann sich die Bestimmung des optimalerweise zu resezierenden Knochenmaterials mitunter schwierig gestalten. Die Resektion an der Akromionunterfläche wird gemäß Caspari von dorsal fortgesetzt, wobei die sich Anlage der Walze und damit der Resektionswinkel an der posterioren Akromionunterfläche orientiert, sodass sich das Handstück schlussendlich plan an die Resektionsfläche schmiegt und ein Typ I Akromion entsteht (*Abb. 12*). Über diese zwei Modifizierungen wird das Verfahren der Akromioplastik vereinfacht und präzisiert [72].

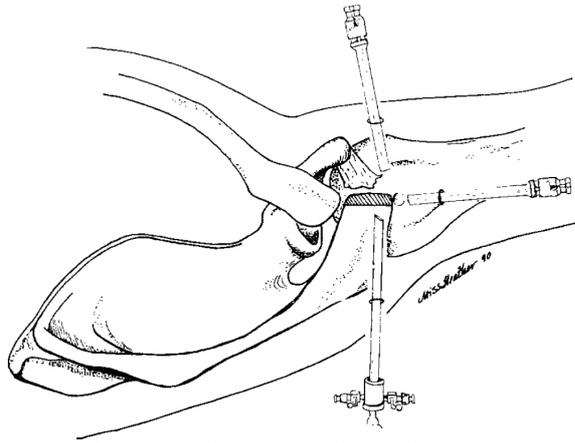


Abb. 11: Akromioplastik nach Caspari, Ablösung des Lig. coracoacromiale über die Resektion ventraler Akromionanteile [70]

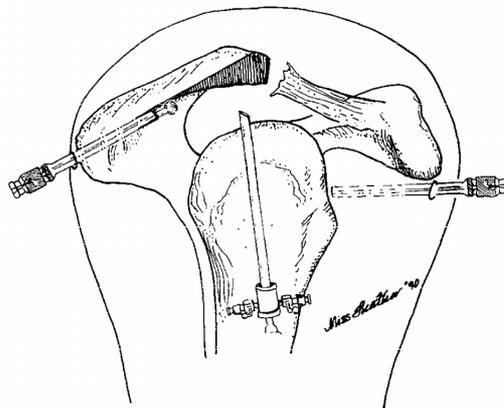


Abb. 12: Akromioplastik nach Caspari, Ermittlung des Resektionswinkels über Anlage des Acromionizers am posteroinferioren Akromion [70]

Inwieweit eine ASD in der Versorgung von RM-Rupturen tatsächlich von klinischem Nutzen ist, steht jedoch bis heute zur Debatte [73]. Familiari et al. ermittelten 2015 in einem systematischen Review keinen eindeutigen Vorteil in der kurz- und mittelfristigen Nachsorge nach ASD bei Totalrupturen [74]. Hingegen zeigte sich in einer aktuelleren randomisiert-kontrollierten Multicenterstudie von Woodmass et al. aus 2022 in der langfristigen Nachsorge von PatientInnen mit RM-Rekonstruktion eine signifikant erhöhte Rate an Revisionsoperationen für jene Patientinnen, die nicht zusätzlich einer ASD unterzogen wurden [75].

1.2 Fragestellung: Verändert eine anterolaterale Akromioplastik den kritischen Schulterwinkel und Akromion-Index in klinisch relevantem Ausmaß?

In Anbetracht der Korrelation von hohen CSA- und AI- Werten mit dem Auftreten von RM-Läsionen und Re-Rupturen lässt sich schlussfolgern, dass eine Reduktion dieser Parameter bei symptomatischen PatientInnen per lateraler Akromioplastik erstrebenswert ist.

Gerber et al. ermittelten 2018 in einer retrospektiven Auswertung von $n=49$ PatientInnen eine Korrektur des CSA per lateraler Akromioplastik im Rahmen einer RM-Rekonstruktion von $37,5^\circ$ präoperativ auf $33,9^\circ$ postoperativ, gemessen in *true* a.p. Röntgenaufnahmen [76].

Franceschetti et al. stellten 2020 einen mathematischen Ansatz zur präzisen Ermittlung der zu resezierenden lateralen Akromionfläche in *true* a.p. Röntgenaufnahmen vor, auf dessen Grundlage eine erfolgreiche Korrektur des CSA auf einen Wert von 30° - 35° in allen $n=118$ PatientInnen der Interventionsgruppe gelang [77].

Inwieweit die Normalisierung des CSA und AI über die gängigerweise praktizierte ASD mit anterolateraler Akromioplastik erreicht werden kann, ist jedoch nicht abschließend geklärt.

2022 berichteten Zhang et al. in einem systematischen Review von signifikanter CSA-Reduktion durch Akromioplastik, wobei sich ein deutlicherer Effekt bei hohen CSA-Werten sowie bei lateraler Akromioplastik gegenüber anterolateraler Akromioplastik zeigte. Unter den neun ausgewerteten Arbeiten wurde lediglich in zweien explizit eine ASD durchgeführt, wobei es sich um eine Kadaverstudie von Katthagen et al. und um eine klinisch-retrospektive Arbeit von Lin et al. handelt [73, 78, 79]

In der Kadaverstudie von Katthagen et al. zeigte sich 2016 eine signifikante CSA-Reduktion sowohl nach anterolateraler Akromioplastik als auch nach lateraler Akromionresektion [78]. Altintas et al. konnten in ihrer Kadaverstudie ebenfalls eine signifikante Veränderung von CSA und AI, nicht jedoch des LAA beobachten, nachdem eine arthroskopische Resektion von 1cm Knochenmaterial am lateralen Akromion vorgenommen wurde [20]. Auch Karns et al. beschrieben 2018 in einer Kadaverstudie eine Normalisierung des CSA auf 35° oder kleiner bei Resektion von 5mm am dem von ihnen identifizierten *critical acromion point* am anterolateralen Akromion [80].

Billaud et al. berichteten 2018 in einer klinischen Studie über eine signifikante Reduktion des CSA von durchschnittlich $-2,9^\circ \pm 2,2^\circ$ durch anterolaterale Akromioplastik in $n=90$ Fällen [81]. Girard et al. kamen 2020 zu einem vergleichbaren Ergebnis, nachdem sie $n=148$ Fälle auswerteten, von denen $n=112$ einer ASD und $n=36$ einer *mini-open* Akromioplastik unterzogen wurden. Es zeigte sich eine statistisch signifikante Reduktion des CSA von $-2,6^\circ \pm 2,5^\circ$ sowie $-3,2^\circ \pm 2,6^\circ$ bei Fällen mit einem pathologischen CSA von $>35^\circ$. Die Autoren wiesen jedoch darauf hin, dass nur bei der Hälfte der PatientInnen mit einem pathologischen CSA eine Normalisierung des CSA-Wertes $<35^\circ$ erreicht wurde [82]. Im Gegensatz zu Billaud et al. und Girard et al. fanden MacLean et al. 2020 in $n=71$ Fällen weder eine signifikante

Reduktion des CSA oder AI nach ASD bei der Interventionsgruppe ($n=38$) noch einen signifikanten postoperativen Unterschied dieser Parameter im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Akromioplastik [83]. Lin et al. berichteten 2021 wiederum von einer signifikanten Reduktion des CSA nach ASD in $n=337$ Fällen von $-2,6^\circ \pm 4,3^\circ$, in der Subanalyse der Fälle mit einem CSA $>38^\circ$ sogar von $4,1^\circ \pm 4,1^\circ$ [79].

Zusammenfassend ist also die bewusst herbeigeführte Reduktion des CSA und AI eine logische Konsequenz aus den Daten zur Korrelation zwischen diesen Parametern und dem Auftreten von RM-Rupturen und Re-Rupturen. Ob diese Reduktion jedoch per se zurzeit als Standard praktizierter anterolateraler Akromioplastik in einem signifikanten und klinisch relevanten Ausmaß erfolgt, oder ob es dafür systematisch einer korrekt durchgeführten lateralen Akromioplastik bedarf, ist bislang nicht hinreichend geklärt.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Veränderung des CSA und AI sowie weiteren radiobiometrischen Parametern durch die anterolaterale Akromioplastik im Rahmen der ASD anhand prä- und postoperativer Röntgenbilder auszuwerten, wobei die Aussagekraft durch eine möglichst hohe Fallzahl bei gleichzeitiger Anwendung strenger Qualitätskriterien für die Röntgenaufnahmen erhöht werden soll.

1.3 Ethikvotum

Das bei der Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg beantragte Ethikvotum wurde unter der Bearbeitungsnummer 2020-10108-BO-ff am 30.10.2020 erteilt.

2. Anterolateral Acromioplasty Does not Change the Critical Shoulder Angle and Acromion Index in a Clinically Relevant Amount, Thiesemann, S., Kirchner, F., Farkondeh Fal, M., Albers, S., Kircher, J., *Arthroscopy*, 28:S0749-8063, (2022)

Anterolateral Acromioplasty Does Not Change the Critical Shoulder Angle and Acromion Index in a Clinically Relevant Amount



Sophie Thiesemann, Florian Kirchner, Milad Farkhondeh Fal, M.D., Sebastian Albers, M.D., and Jörn Kircher, Ph.D.

Purpose: Assessment on whether radiographic parameters of the acromion measured in radiographs change significantly after anterolateral acromioplasty. **Methods:** This retrospective study included patients that underwent an arthroscopic anterolateral acromioplasty between January 2014 and September 2020. $n = 435$ subjects with high-quality preoperative and postoperative radiographs according to Suter-Henninger criteria were included in the final assessment. All measurements were independently performed by the first and second author in a blinded fashion using dicomPACS software: acromion index (AI), critical shoulder angle (CSA), lateral acromial angle (LAA), beta angle, acromio-humeral distance (AHD), Aoki angle, frontal supraspinatus outlet angle (FSOW), and acromion type, according to Bigliani. SPSS software was used for statistical analysis. **Results:** The beta angle and the CSA did not significantly change after operation (alpha power 0.32 and 0.11, respectively). In a subgroup analysis of patients with a pathological CSA $>35^\circ$ ($n = 194$), the CSA changed from 38.62 (range: 35.08-47.52, SD 2.83) to 38.04 (range: 29.18-48.12, SD 3.77) postoperatively ($P = .028$) (Fig 8). All other parameters changed significantly after operation (AI, AHD, FSOW, and Aoki; $P = .001$, LAA; $P = .039$) (Fig. 9). The interobserver and intraobserver reliability was good to excellent in the majority of measured values. Mean patient age was 59.2 years (range: 18.1-87.1; SD 11.3), mean height was 1.73 meters (range: 1.50-1.98, SD 0.09), mean weight was 80.2 kg (range: 37.0-133.0, SD 16.68), and mean body mass index was 26.6 (range: 0.0-46.1, SD 4.73). **Conclusion:** Anterolateral acromioplasty producing a flat acromion undersurface did not result in a significant change of the CSA in the study population. Pathological preoperative CSA values of $>35^\circ$ were significantly reduced but not to normal values, but only by a small amount that puts the clinical relevance into question. **Level of Evidence:** IV, diagnostic study, case series

See commentary on page 2969

Introduction

The natural history of the development of rotator cuff lesions has been under investigation for a long time, and it is commonly believed that we are facing a multifactorial process depending on age, hereditary

components, such as variations in connective tissue quality, external factors, such as occupation and sports and mechanical factors, such as the morphology of the acromion in relation to the humerus.¹⁻¹¹

The lateral extension of the acromion over the humeral head, as measured by the acromion index (AI), and the critical shoulder angle (CSA) have been proposed to play an important role for the development of rotator cuff lesions.^{12,13} A number of clinical studies have demonstrated a correlation of high acromion indices and or high critical shoulder angles with the presence of partial and full-thickness rotator cuff tears.¹⁴⁻²² Also the retear rate after rotator cuff repair and tear progression have been linked to the presence of high CSA.²⁰⁻²⁹

A true lateral acromioplasty as a means to reduce the lateral acromial extension in order to prevent rotator cuff pathology or increase the postoperative outcome would be the logical consequence following this

From the ATOS Klinik Fleetinsel Hamburg, Department of Shoulder and Elbow Surgery, Hamburg, Germany (S.T., F.K., S.A., J.K.); and University Hospital Hamburg Eppendorf, Department of Trauma and Orthopaedic Surgery, Martinistraße 52, 20251 Hamburg, Germany (M.F.F.)

The authors report no conflicts of interest in the authorship and publication of this article. Full ICMJE author disclosure forms are available for this article online, as supplementary material.

Received October 23, 2021; accepted June 8, 2022.

Address correspondence to Florian Kirchner, M.D., ATOS Klinik Fleetinsel Hamburg, Department of Shoulder and Elbow Surgery, Admiralitätstrasse 3-4, 20459, Hamburg, Germany. E-mail: fkirchner@posteo.de

© 2022 by the Arthroscopy Association of North America

0749-8063/211512/\$36.00

<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2022.06.018>

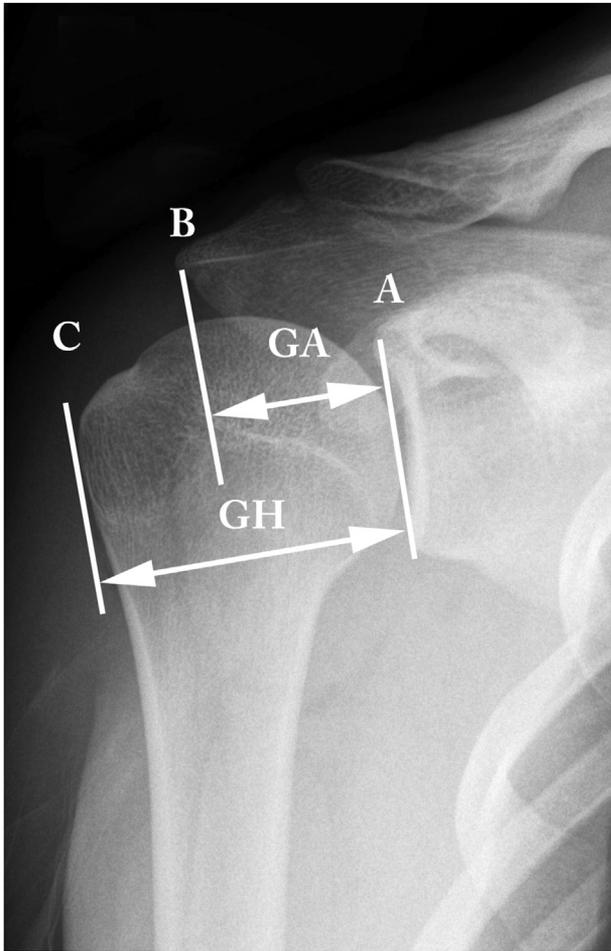


Fig 1. Radiograph of the right shoulder in true anteroposterior projection. Acromion index (AI): the index of the distance between line A and B (GA) divided by the distance between line A and C (GH) (line A defines the glenoid plane, line B is parallel to A and intersects the lateral border of the acromion, and line C is parallel to A and intersects the lateral border of the proximal humerus).

concept. On a practical level, there is a debate whether a commonly performed anterolateral acromioplasty reduces the lateral extension of the acromion in a sufficient way, so that a reduction of critical shoulder angle values to normal is achieved in clinical practice.

MacLean et al. demonstrated the absence of a significant change of the CSA after arthroscopic anterolateral acromioplasty in $n = 71$ patients, whereas Billaud et al. observed a significant change in $n = 90$ patients, and Girard et al. also observed a significant decrease after $n = 112$ arthroscopic and $n = 36$ mini-open anterior acromioplasties.³⁰⁻³²

It has been shown in several studies that the measurements for the AI and CSA are dependent on the quality of the radiographs and that variations in rotation can lead to a substantial and relevant decrease of accuracy and consistency of the measurements.^{12,13,16,24,33-35}

In order to improve the likelihood to observe changes of the CSA postoperatively, we tried to increase the number of study subjects and apply additional measures to increase the quality and ensure comparability of preoperative and postoperative radiographs.

The purpose of the study was the assessment of whether radiographic parameters of the acromion measured in radiographs change significantly after anterolateral acromioplasty. We hypothesized that an anterolateral acromioplasty 1) reduces the CSA significantly and 2) normalizes pathological CSA values.

Methods

This is a retrospective study on patients who underwent an arthroscopic anterolateral acromioplasty for subacromial impingement by the senior author in one institution between January 2014 and September 2020. The study was approved by the Ethics Committee of the Ärztekammer Hamburg. All patients signed informed consent before participation. Arthroscopic acromioplasty was performed in a combination of the techniques described by Ellman and Caspari, with the goal

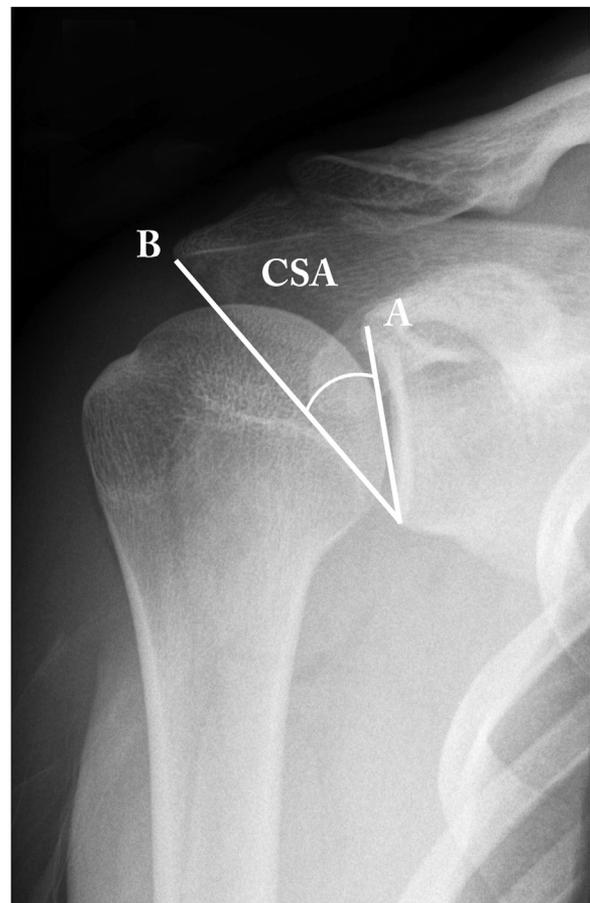


Fig 2. Radiograph of the right shoulder in true anteroposterior projection. Critical shoulder angle (CSA): angle between line A and B (line A defines the glenoid plane from the superior to the inferior pole, and line B connects the inferior glenoid pole and the lateral border of the acromion).

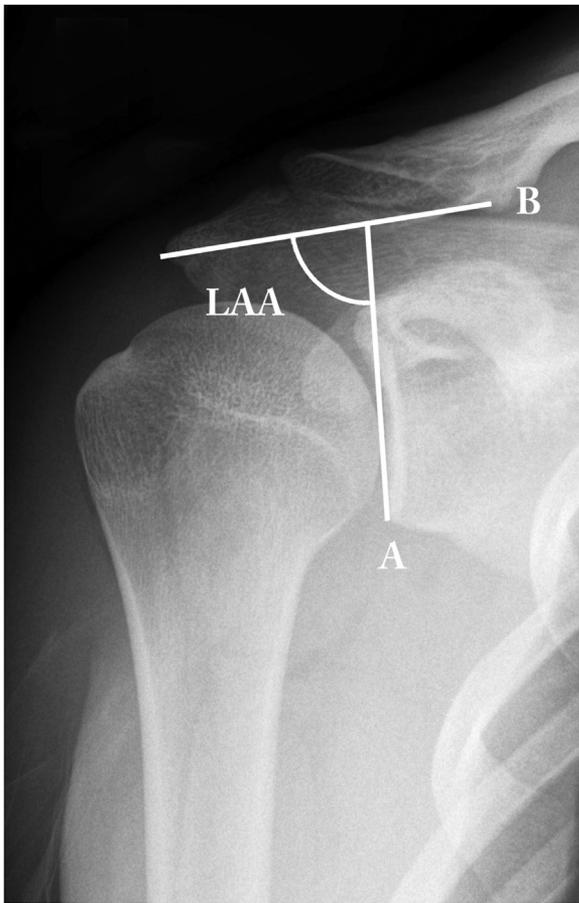


Fig 3. Radiograph of the right shoulder in true antero-posterior projection. Lateral acromion angle (LAA): angle between line A and B (line A defines the glenoid plane, and line B is parallel to the undersurface of the acromion).

to achieve a flat undersurface of the acromion without any anterior spur.^{36,37}

Inclusion criteria were the performance of the aforementioned procedure, age >18 years and high-quality preoperative and postoperative radiographs in the true anteroposterior and outlet view projection performed at our clinic before and after the operation, according to the criteria of Suter and Henninger.³⁸

Exclusion criteria were the presence of obvious bony deformity, previous surgery, recent trauma, or any other medical history with the potential to change the morphology of the glenohumeral joint.

After application of the inclusion and exclusion criteria, $n = 707$ patients were found to be eligible to undergo quality assessment of the radiographs. After application of the Suter-Henninger criteria to preoperative and postoperative radiographs, $n = 435$ subjects could be included in the final assessment. All measurements were independently performed by the first and second author in a blinded fashion with a more than a 7-day time interval between repetition on a computer using specific PACS software (dicomPACS

View, version 5.2.11, Oehm and Rehbein, Rostock, Germany). Disagreement was solved by discussion with a final decision of the senior author.

On the antero-posterior radiographs, the following measurements were performed: acromion index (AI)¹² (Fig 1), critical shoulder angle (CSA)³⁹ (Fig 2), lateral acromial angle (LAA)⁴⁰ (Fig 3), beta angle⁴¹ (Fig 4), the frontal supraspinatus outlet angle (FSOW)⁴² (Fig 5), and the acromio-humeral distance (AHD), according to Petersson⁴³ (Fig 6).

On the radiographs in the outlet view projection, the Aoki angle⁴⁴ (Fig 7) was measured and the acromion type, according to Bigliani,⁸ was determined.

The beta angle is supposed to be unchanged by an acromioplasty because the reference points and lines remain untouched by the operative procedure. Therefore, the beta angle served as an internal control to identify any projection errors despite the aforementioned measures.

SPSS software (version 27.0; IBM Corp., Armonk, NY) was used for statistical analysis. Measurement values were reported as means \pm SD and range with 95% confidence intervals. The normality of data was tested by visual inspection using boxplots and scatterplots and statistically using the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests. As the normality assumption was uncertain in portions of the data, the U-test, according to Mann-Whitney *U*-test, and the Wilcoxon

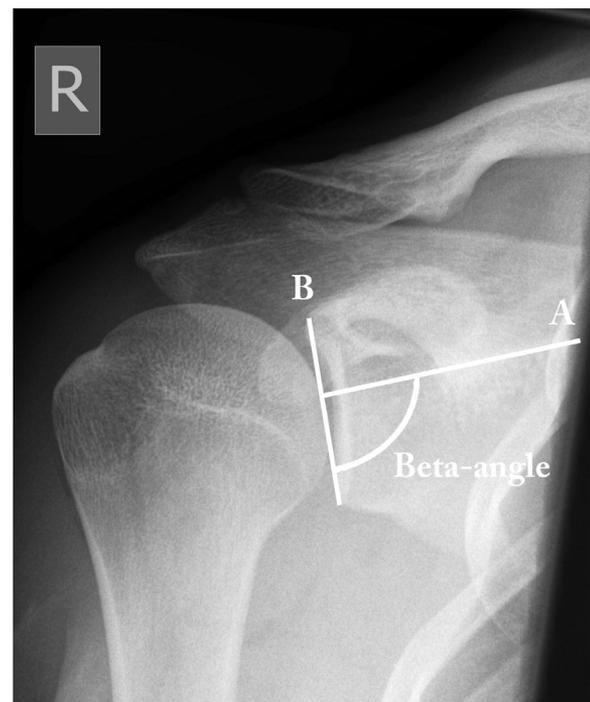


Fig 4. Radiograph of the right shoulder in true antero-posterior projection. Beta angle: angle between line A and B (line A is in line with the floor of the supraspinatus fossa, and line B defines the glenoid plane).

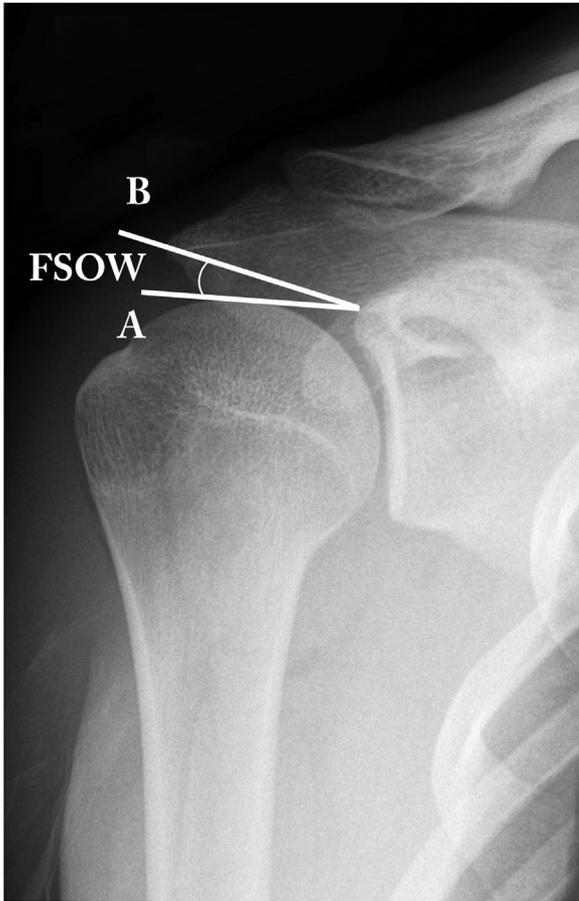


Fig 5. Radiograph of the right shoulder in true anteroposterior projection. Frontal supraspinatus outlet angle (FSOW): angle between line A and B (line A is a tangent to the superior humeral head surface and starts at the superior glenoid pole, and line B connects at the superior glenoid pole and the lateral border of the acromion).

rank test were used to compare means of groups and categorical data. Interobserver and intraobserver reproducibility of the measurements was quantified with the intraclass correlation coefficient (ICC) using a mixed pairwise correlation model with absolute agreement. The ICC was classified from fair to excellent.^{45,46} *P* values below .05 were considered to be statistically significant. Power calculations were performed using G-Power software (G-Power version 3.1.9.2, Franz Faul, University of Kiel, Germany).

Results

During the study period, *n* = 967 patients underwent the index procedure, of which *n* = 707 met the inclusion criteria, of which *n* = 435 subjects could be included in the final assessment of preoperative and postoperative radiographs.

The mean age of the patients was 59.2 years (range: 18.1-87.1, SD 11.3), mean height was 1.73 meters (range: 1.50-1.98, SD 0.09), mean weight was 80.2 kg

(range: 37.0-133.0, SD 16.68), and mean body mass index was 26.6 kg/m² (range: 0.0-46.1, SD 4.73). Female patients (*n* = 218) were significantly smaller, had less weight, and a smaller body mass index than male patients (*n* = 217) (*P* = .001) but were at the same age at the time of surgery (*P* = .4, alpha-power = 0.37).

The interobserver and intraobserver reliability was good to excellent in the majority of measured values (Table 1).

The beta angle and the CSA did not significantly change after the operation (alpha-power 0.32 and 0.11, respectively) (Table 2). In a subgroup analysis of patients with a pathological CSA >35° (*n* = 194), the CSA changed from 38.62 (range: 35.08-47.52, SD 2.83) to 38.04 (range: 29.18-48.12, SD 3.77) postoperatively (*P* = .028). All other measured and assessed parameters significantly changed from preoperatively to postoperatively (Table 2).

Discussion

The most important finding of our study is the fact that the performed arthroscopic anterolateral



Fig 6. Radiograph of the right shoulder in true anteroposterior projection. Acromio-humeral distance (AHD): the smallest distance between the undersurface of the acromion and the humeral head.

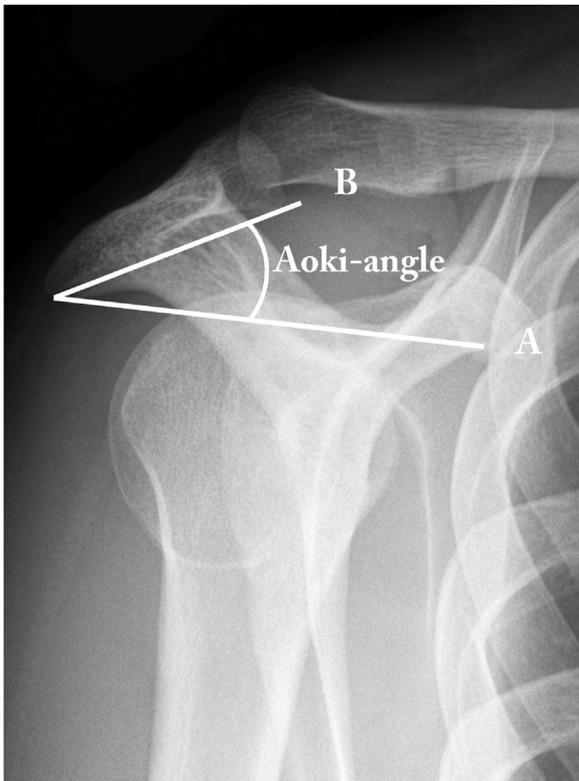


Fig 7. Radiograph of the left shoulder in outlet-view projection. Aoki angle: angle between line A and B (line A connects the lower border of the base of the coracoid process and the posterior border of the acromion undersurface, and line B connects the posterior border of the acromion and the anterior border of the acromion undersurface).

acromioplasty in a standardized fashion did not significantly change the CSA from preoperation to postoperation in the entire study sample. The CSA could only be significantly decreased for patients with a pathological CSA value above 35° before operation, but only with a difference of 0.58° and to a mean value of 38.04° which is still 3° above the range for normal CSA values that are considered to be uncritical by most authors (Fig 8).^{18,39}

The acromion index, as the second established measurement tool for the assessment of the lateral extension over the humeral head, was significantly changed from 0.69, a value outside the range considered to be normal in the original publication by Nyffeler et al., to 0.68, which is still above the threshold of 0.64 ± 0.06 for the normal population (Fig 9).¹²

These results raise the question of whether the study quality is sufficient to answer the question or whether the amount of resected bone during the performed acromioplasty was too minimal to prove a significant change. The fact that the interobserver and intraobserver reliability tests were excellent for the CSA measurements and the strict application of the quality

criteria of Suter and Henninger, which led to the exclusion of about one-third of the otherwise eligible cases are reassuring about the quality and reliability of the data. The beta angle, as an internal control, is supposed to be unchanged by an acromioplasty because the reference points and lines remain untouched by the operative procedure. This is one advantage to the other studies conducted by Girard et al., Billaud et al., and MacLean et al, who did not use an additional internal control to check for rotation errors on postoperative radiographs.³⁰⁻³²

The absence of a significant difference on preoperative and postoperative radiographs further underlines the quality and validity of the data.

The second question, whether the amount of resected bone from the acromion was enough to show a difference in preoperative and postoperative CSA values, can be answered by the significant change in the other relevant items. The acromio-humeral distance (AHD), according to Petersson, the lateral acromion angle (LAA) according to Banas, the frontal supraspinatus angle (FSOW), according to Schleberger, and the Aoki angle all significantly changed from preoperation to postoperation ($P = .001$) and confirm that a sufficient amount of bone had been resected.^{40,42-44}

The results of our study contrast the findings of Girard et al. and Billaud et al.^{31,32} Girard et al. reported about $n = 112$ arthroscopic anterior acromioplasties in a comparable age group that significantly reduced the

Table 1. Intra- and Interobserver Reliability of the Data Preoperatively and Postoperatively

	Intraobserver Reliability		Interobserver Reliability	
	ICC	<i>P</i>	ICC	<i>P</i>
Preoperatively				
AHD	0.975	.001	0.95	.001
AI	0.987	.001	0.936	.001
CSA	0.985	.001	0.961	.001
Beta angle	0.98	.001	0.765	.001
LAA	0.98	.001	0.907	.001
FSOW	0.8	.001	0.790	.001
Aoki angle	0.954	.001	0.762	.001
Acromion type	0.878	.001	0.654	.001
Postoperatively				
AHD	0.961	.001	0.945	.001
AI	0.968	.001	0.957	.001
CSA	0.986	.001	0.958	.001
Beta angle	0.975	.001	0.846	.001
LAA	0.986	.001	0.883	.001
FSOW	0.987	.001	0.969	.001
Aoki angle	0.955	.001	0.897	.001
Acromion type	0.925	.001	0.766	.001

Intraclass correlation coefficient (ICC) using a mixed pairwise correlation model with absolute agreement. *P* value < .05 considered significant. AHD, acromio-humeral distance; AI, acromion index; CSA, critical shoulder angle; FSOW, frontal supraspinatus outlet angle; LAA, lateral acromial angle.

Table 2. Measurement Results Preoperatively and Postoperatively

	Preoperatively				Postoperatively				P Value
	Mean	Minimum	Maximum	STD	Mean	Minimum	Maximum	STD	
AHD	9.81	2.00	18.00	2.38	11.26	3.00	21.07	2.76	.001
AI	0.69	0.45	0.96	0.08	0.68	0.46	0.96	0.09	.001
CSA	35.07	22.25	47.52	4.42	34.97	23.36	50.83	4.64	.339
Beta angle	78.83	53.38	97.33	7.53	78.40	56.62	97.97	7.32	.368
LAA	80.76	54.38	102.81	7.19	80.08	50.72	105.46	8.23	.039
FSOW	6.42	-15.67	28.67	7.01	9.60	-21.72	29.93	7.43	.001
Aoki angle	32.17	14.78	47.63	5.85	34.69	16.17	50.43	5.84	.001

AHD, acromio-humeral distance; AI, acromion index; CSA, critical shoulder angle; FSOW, frontal supraspinatus outlet angle; LAA, lateral acromial angle.

preoperative CSA values from $36.1^\circ \pm 4.5$ to $33.4^\circ \pm 4.1$.³² Billaud et al. reported about $n = 90$ patients with an arthroscopic anterior acromioplasty in a comparable age group and a reduction of preoperative CSA values of $35.9^\circ \pm 3.7$ to $33^\circ \pm 3.5$.³¹ The preoperative CSA in our study with $35.07^\circ \pm 4.4$ is slightly smaller compared to Girard et al. and Billaud et al., and subsequently, the change is smaller too. It needs to be noted that the standard deviation in all studies for the preoperative values is higher than the change from preoperation to postoperation in all the studies, which limits the clinical relevance of the results.

MacLean et al. failed to prove a statistical change of CSA after anterolateral acromioplasty in a group of $n = 38$ patients (reduction from preop $35.5^\circ \pm 4.4$ to $34.5^\circ \pm 3.8$). The study sample was very small, and the post hoc calculated alpha power was only 0.41. Another point that might be relevant is the time frame of 17 months ± 29 between the preoperative and postoperative radiographs, which gives room for bias.

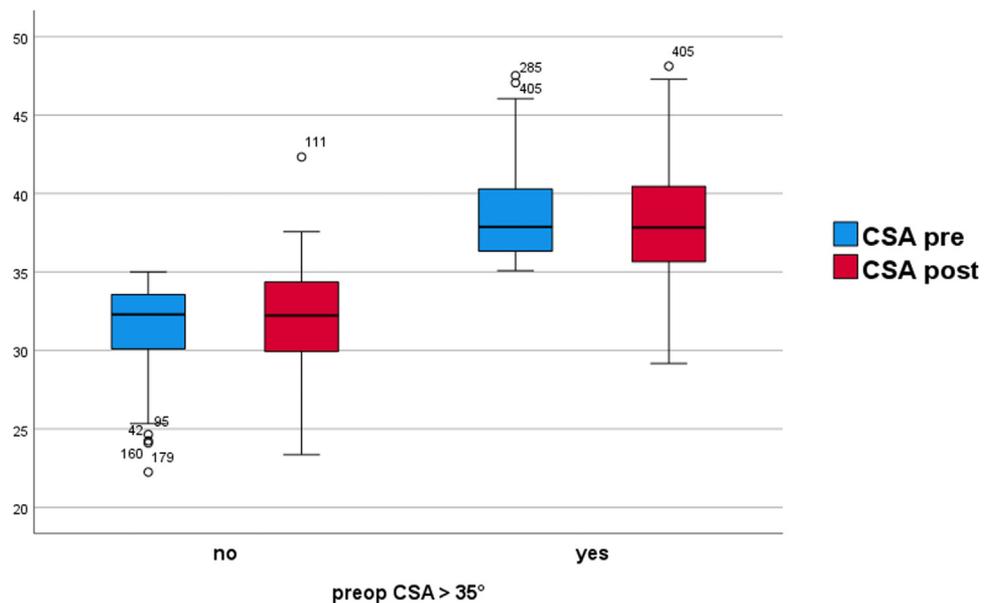
Suter and Henninger described an 89% probability to predict the CSA on radiographs with an accuracy of 2° , if their strict exclusion criteria for malrotated images were applied.³³

A change of the CSA by anterolateral acromioplasty of 2.9° and 2.6° , as described by Billaud et al. and Girard et al., respectively, and of 0.1° in our study for the entire study population and 0.57° for the group with pathological CSA $>35^\circ$, respectively, is very close to or below this 2° threshold.

The number of radiographs in clinical practice that are not eligible for a correct CSA measurement due to malrotation or other reasons is high and was reported by Girard et al. to account for about 13% of the cases; it was 35% by Billaud et al. and 38% in our study.^{31,32}

These findings limit the application of a standard anterolateral acromioplasty in order to reduce the CSA as a relevant parameter in relation to the risk for rotator cuff lesions in clinical practice.

Fig 8. Preoperative and postoperative results of the critical shoulder angle (CSA) as box plots. The box plots span the interquartile range. The horizontal line inside the box represents the mean. The whiskers extend to the highest and lowest observations. The left two boxes represent cases with a non-pathological preop CSA $\leq 35^\circ$; the right two boxes represent cases with pathological preop CSA $> 35^\circ$.



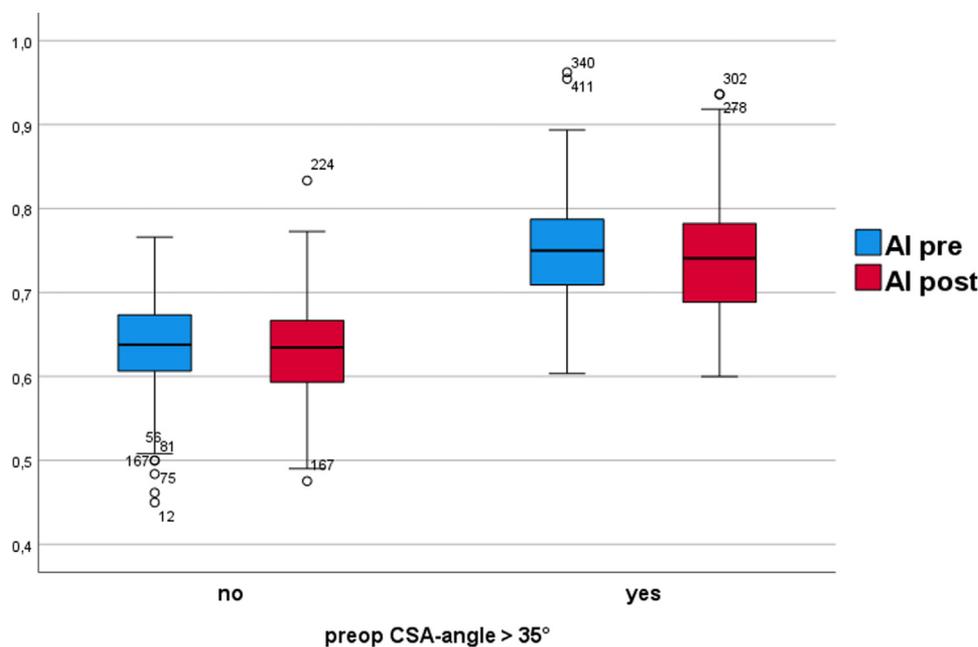


Fig 9. Preoperative and post-operative results of the acromion index (AI) as box plots. The box plots span the interquartile range. The horizontal line inside the box represents the mean. The whiskers extend to the highest and lowest observations. The left two boxes represent cases with a nonpathological preop CSA $\leq 35^\circ$; the right two boxes represent cases with pathological preop CSA $> 35^\circ$.

In our study, we were not able to reduce pathological CSA values above 35° to normal with an arthroscopic anterolateral acromioplasty, which is of clinical relevance. The relevance of the concept of a significant impact of the lateral extension of the acromion over the humeral head, as expressed by the CSA, is challenged by some authors in clinical practice.^{24,47-50} Many other authors have found an association of pathological CSA values with rotator cuff tears and retears after repair.^{14-16,18-20,22,24,25,29,51,52}

Lateral acromioplasty has been shown to potentially reduce the CSA to normal levels in cadaver studies, as well as in small clinical series.⁵³⁻⁵⁹ Other authors have reported about the failure to reduce the CSA to normal in patients with preoperation values of $>40^\circ$.⁶⁰

The accuracy of CSA measurements could be substantially increased if 3D-CT-scans with specific software would be used.^{15,38,59} Given the sheer number of performed anterolateral acromioplasties in the developed countries, a routine application of CT scans as a clinical routine does not seem to be justified in terms of extra costs and substantial radiation exposure to the patients.

A main advantage of our study is that all operations were performed by only one surgeon and all radiographs were taken directly before and after the surgery, which led to an excellent interobserver and intraobserver reliability.

Limitations

This study has several limitations. As pointed out earlier, although substantial efforts had been made to only assess high-quality radiographs, measurement

errors, projection errors, and intraobserver and interobserver variations cannot be fully excluded and might still be relevant given the small amount of changes that are measured on preoperative and postoperative images. Even though a greater sample size was used compared to the other three studies on the subject, the alpha power still remains weak.³⁰⁻³²

Conclusion

Anterolateral acromioplasty producing a flat acromion undersurface did not result in a significant change of the CSA in the study population. Pathological preoperative CSA values of $>35^\circ$ were significantly reduced but not to normal values and only by a small amount that puts the clinical relevance into question.

References

1. Milgrom C, Schaffler M, Gilbert S, van Holsbeeck M. Rotator-cuff changes in asymptomatic adults. The effect of age, hand dominance and gender. *J Bone Joint Surg* 1995;77-B:296-298.
2. Teunis T, Lubberts B, Reilly BT, Ring D. A systematic review and pooled analysis of the prevalence of rotator cuff disease with increasing age. *J Shoulder Elbow Surg* 2014;23:1913-1921.
3. Yamaguchi K, Ditsios K, Middleton WD, Hildebolt CF, Galatz LM, Teefey SA. The demographic and morphological features of rotator cuff disease. A comparison of asymptomatic and symptomatic shoulders. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:1699-1704.
4. Keener JD, Skelley NW, Stobbs-Cucchi G, et al. Shoulder activity level and progression of degenerative cuff disease. *J Shoulder Elbow Surg* 2017;26:1500-1507.

5. Yamamoto A, Takagishi K, Osawa T, et al. Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19:116-120.
6. Ozaki J, Fujimoto S, Nakagawa Y, Masuhara K, Tamai S. Tears of the rotator cuff of the shoulder associated with pathological changes in the acromion. A study in cadavera. *J Bone Joint Surg Am* 1988;70:1224-1230.
7. Petersson CJ, Gentz CF. Ruptures of the supraspinatus tendon. The significance of distally pointing acromioclavicular osteophytes. *Clin Orthop Relat Res* 1983;174:143-148.
8. Bigliani LU, Morrison DS, April EW. The morphology of the acromion and its relationship to rotator cuff tears. *Orthop Trans* 1986;10:228.
9. Gumina S, Candela V, Passaretti D, et al. The association between body fat and rotator cuff tear: the influence on rotator cuff tear sizes. *J Shoulder Elbow Surg* 2014;23:1669-1674.
10. Tashjian RZ, Farnham JM, Albright FS, Teerlink CC, Cannon-Albright LA. Evidence for an inherited predisposition contributing to the risk for rotator cuff disease. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91:1136-1142.
11. Loew M, Magosch P, Lichtenberg S, Habermeyer P, Porschke F. How to discriminate between acute traumatic and chronic degenerative rotator cuff lesions: An analysis of specific criteria on radiography and magnetic resonance imaging. *J Shoulder Elbow Surg* 2015;24:1685-1693.
12. Nyffeler RW, Werner CM, Sukthankar A, Schmid MR, Gerber C. Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:800-805.
13. Moor BK, Kuster R, Osterhoff G, et al. Inclination-dependent changes of the critical shoulder angle significantly influence superior glenohumeral joint stability. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2016;32:268-273.
14. Song JG, Yun SJ, Song YW, Lee SH. High performance of critical shoulder angle for diagnosing rotator cuff tears on radiographs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019;27:289-298.
15. Zeng YM, Xu C, Zhang K, Yu DG, Zhang J. Prediction of rotator cuff injury associated with acromial morphology: A three-dimensional measurement study. *Orthop Surg* 2020;12:1394-1404.
16. Tang Y, Hou J, Li Q, et al. The effectiveness of using the critical shoulder angle and acromion index for predicting rotator cuff tears: Accurate diagnosis based on standard and nonstandard anteroposterior radiographs. *Arthroscopy* 2019;35:2553-2561.
17. Kim JH, Min YK, Gwak HC, Kim CW, Lee CR, Lee SJ. Rotator cuff tear incidence association with critical shoulder angle and subacromial osteophytes. *J Shoulder Elbow Surg* 2019;28:470-475.
18. Moor BK, Wieser K, Slankamenac K, Gerber C, Bouaicha S. Relationship of individual scapular anatomy and degenerative rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2014;23:536-541.
19. İncesoy MA, Yıldız K, Türk Ö, et al. The critical shoulder angle, the acromial index, the glenoid version angle and the acromial angulation are associated with rotator cuff tears. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021;29:2257-2263.
20. Docter S, Khan M, Ekhtiari S, et al. The relationship between the critical shoulder angle and the incidence of chronic, full-thickness rotator cuff tears and outcomes after rotator cuff repair: A systematic review. *Arthroscopy* 2019;35:3135-3143.e3134.
21. Scheiderer B, Imhoff FB, Johnson JD, et al. Higher critical shoulder angle and acromion index are associated with increased retear risk after isolated supraspinatus tendon repair at short-term follow up. *Arthroscopy* 2018;34:2748-2754.
22. Sheehan AJ, Sa D, Woolnough T, Cognetti DJ, Kay J, Burkhart SS. Does an increased critical shoulder angle affect re-tear rates and clinical outcomes following primary rotator cuff repair? A systematic review. *Arthroscopy* 2019;35:2938-2947.e2931.
23. Li H, Chen Y, Chen J, Hua Y, Chen S. Large critical shoulder angle has higher risk of tendon retear after arthroscopic rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 2018;46:1892-1900.
24. Chalmers PN, Salazar D, Steger-May K, Chamberlain AM, Yamaguchi K, Keener JD. Does the critical shoulder angle correlate with rotator cuff tear progression? *Clin Orthop Relat Res* 2017;475:1608-1617.
25. Opsomer GJ, Verstuyft L, Muermans S. Long-term follow-up of patients with a high critical shoulder angle and acromion index: Is there an increased retear risk after arthroscopic supraspinatus tendon repair? *JSES Int* 2020;4:882-887.
26. Garcia GH, Liu JN, Degen RM, et al. Higher critical shoulder angle increases the risk of retear after rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg* 2017;26:241-245.
27. Misir A, Uzun E, Kizkapan TB, Ozcamdalli M, Sekban H, Guney A. Factors associated with the development of early- to mid-term cuff-tear arthropathy following arthroscopic rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg* 2021;30:1572-1580.
28. Harada N, Gotoh M, Ishitani E, et al. Combination of risk factors affecting retear after arthroscopic rotator cuff repair: A decision tree analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 2021;30:9-15.
29. Jung W, Lee S, Hoon Kim S. The natural course of and risk factors for tear progression in conservatively treated full-thickness rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2020;29:1168-1176.
30. MacLean IS, Gowd AK, Waterman BR, et al. The effect of acromioplasty on the critical shoulder angle and acromial index. *Arthrosc Sports Med Rehabil* 2020;2:e623-e628.
31. Billaud A, Cruz-Ferreira E, Pesquer L, Abadie P, Carlier Y, Flurin PH. Does the critical shoulder angle decrease after anterior acromioplasty? *Arch Orthop Trauma Surg* 2019;139:1125-1132.
32. Girard M, Colombi R, Azoulay V, et al. Does anterior acromioplasty reduce critical shoulder angle? *Orthop Traumatol Surg Res* 2020;106:1101-1106.
33. Suter T, Gerber Popp A, et al. The influence of radiographic viewing perspective and demographics on the critical shoulder angle. *J Shoulder Elbow Surg* 2015;24:e149-e158.
34. Henninger HB, Suter T, Chalmers PN. Editorial commentary: Is your critical shoulder angle accurate? Only if you can verify that you have the correct images. *Arthroscopy* 2021;37:447-449.

35. Kim JH, Gwak HC, Kim CW, Lee CR, Kwon YU, Seo HW. Difference of critical shoulder angle (CSA) according to minimal rotation: Can minimal rotation of the scapula be allowed in the evaluation of CSA? *Clin Orthop Surg* 2019;11:309-315.
36. Ellman H. Arthroscopic subacromial decompression: analysis of one- to three-year results. *Arthroscopy* 1987;3: 173-181.
37. Caspari RB, Thal R. A technique for arthroscopic subacromial decompression. *Arthroscopy* 1992;8:23-30.
38. Suter T, Krähenbühl N, Howell CK, Zhang Y, Henninger HB. Viewing perspective malrotation influences angular measurements on lateral radiographs of the scapula. *J Shoulder Elbow Surg* 2020;29:1030-1039.
39. Moor BK, Bouaicha S, Rothenfluh DA, Sukthankar A, Gerber C. Is there an association between the individual anatomy of the scapula and the development of rotator cuff tears or osteoarthritis of the glenohumeral joint?: A radiological study of the critical shoulder angle. *Bone Joint J* 2013;95-b:935-941.
40. Banas MP, Miller RJ, Totterman S. Relationship between the lateral acromion angle and rotator cuff disease. *J Shoulder Elbow Surg* 1995;4:454-461.
41. Maurer A, Fucentese SF, Pfirrmann CW, et al. Assessment of glenoid inclination on routine clinical radiographs and computed tomography examinations of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg* 2012;21:1096-1103.
42. Schleberger YR. *Die Morphologie des Rotator-ennmanschettendefektes im Zusammenhang mit der Radiobiometrie der Schulter* [Dissertation]. Ruhr-Universität Bochum, Universitätsbibliothek: Medizinische Fakultät, Ruhr-Universität Bochum, Medizinische Fakultät; 2019.
43. Petersson CJ, Redlund-Johnell I. The subacromial space in normal shoulder radiographs. *Acta Orthop Scand* 1984;55: 57-58.
44. Aoki M, Ishii S, Usui M. The slope of the acromion and rotator cuff impingement. *Orthop Trans* 1986;10:228.
45. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med* 2016;15:155-163.
46. Cicchetti C. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychol Assess* 1994;6:284-290.
47. Bjarnason AO, Sørensen TJ, Kallemoose T, Barfod KW. The critical shoulder angle is associated with osteoarthritis in the shoulder but not rotator cuff tears: A retrospective case-control study. *J Shoulder Elbow Surg* 2017;26: 2097-2102.
48. Chalmers PN, Beck L, Miller M, et al. Acromial morphology is not associated with rotator cuff tearing or repair healing. *J Shoulder Elbow Surg* 2020;29:2229-2239.
49. Lädermann A. The law of use and disuse: Critical shoulder angle and rotator cuff tears—Association does not imply causation. *Arthroscopy* 2020;36:2342-2343.
50. Maalouly J, Tawk A, Aouad D, et al. Association of acromial morphological parameters and rotator cuff tears, and evaluation of the influence of age and gender on the parameters and impact on cuff tears: A study on a Middle Eastern population. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol* 2020;20:17-23.
51. Mantell MT, Nelson R, Lowe JT, Endrizzi DP, Jawa A. Critical shoulder angle is associated with full-thickness rotator cuff tears in patients with glenohumeral osteoarthritis. *J Shoulder Elbow Surg* 2017;26:e376-e381.
52. Smith GCS, Liu V, Lam PH. The critical shoulder angle shows a reciprocal change in magnitude when evaluating symptomatic full-thickness rotator cuff tears versus primary glenohumeral osteoarthritis as compared with control subjects: A systematic review and meta-analysis. *Arthroscopy* 2020;36:566-575.
53. Altintas B, Kaab M, Greiner S. Arthroscopic lateral acromion resection (ALAR) optimizes rotator cuff tear relevant scapula parameters. *Arch Orthop Trauma Surg* 2016;136:799-804.
54. Katthagen JC, Marchetti DC, Tahal DS, Turnbull TL, Millett PJ. The effects of arthroscopic lateral acromioplasty on the critical shoulder angle and the anterolateral deltoid origin: An anatomic cadaveric study. *Arthroscopy* 2016;32: 569-575.
55. Marchetti DC, Katthagen JC, Mikula JD, et al. Impact of arthroscopic lateral acromioplasty on the mechanical and structural integrity of the lateral deltoid origin: A cadaveric study. *Arthroscopy* 2017;33:511-517.
56. Gerber C, Catanzaro S, Betz M, Ernstbrunner L. Arthroscopic correction of the critical shoulder angle through lateral acromioplasty: A safe adjunct to rotator cuff repair. *Arthroscopy* 2018;34:771-780.
57. Tauber M, Habermeyer P, Zumbansen N, Martetschläger F. Lateral acromioplasty for correction of the critical shoulder angle. *Obere Extremität* 2020.
58. Franceschetti E, Giovannetti de Sanctis E, Palumbo A, et al. Lateral Acromioplasty has a positive impact on rotator cuff repair in patients with a critical shoulder angle greater than 35 degrees. *J Clin Med* 2020;9:3950.
59. Karns MR, Jacxsens M, Uffmann WJ, Todd DC, Henninger HB, Burks RT. The critical acromial point: the Anatomic location of the lateral acromion in the critical shoulder angle. *J Shoulder Elbow Surg* 2018;27:151-159.
60. Olmos MI, Boutsiadis A, Swan J, et al. Lateral acromioplasty cannot sufficiently reduce the critical shoulder angle if preoperatively measured over 40°. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021;29:240-249.

3. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss einer anterolateralen Akromioplastik im Rahmen einer arthroskopischen subakromialen Dekompression auf den CSA und AI sowie weiteren radiobiometrischen Parametern zu ermitteln, die die Morphologie und insbesondere den lateralen Abstand des Akromions abbilden. Die Aussagekraft sollte durch die Auswertung eines möglichst großen Patientenkollektivs bei gleichzeitig möglichst hoher Qualität der auszuwertenden Röntgenbilder erhöht werden. Zur Beurteilung der Relevanz für die klinische Praxis wurde die Messung der Parameter in den vorliegenden prä- und postoperativen Röntgenbildern durchgeführt.

3.1 CSA und AI

In der vorliegenden Arbeit veränderte sich der Mittelwert des CSA in der Gesamtgruppe mit $-0,1^\circ$ nicht signifikant nach anterolateraler Akromioplastik von $35,07^\circ$ präoperativ auf $34,97^\circ$ postoperativ. Lediglich in der Subgruppenanalyse der Fälle mit einem pathologischen CSA $>35^\circ$ zeigte sich eine statistisch signifikante Reduktion von $-0,57^\circ$ auf einen mittleren postoperativen CSA von $38,4^\circ$, sodass trotz statistischer Signifikanz keine Korrektur des CSA auf einen gemeinhin als unkritisch erachteten Wert von $\leq 35^\circ$ gelang [10].

Der Akromionindex, der ebenso den lateralen Abstand des Akromions über dem Glenoid abbildet, lag mit einem Mittelwert von 0,69 präoperativ außerhalb des von Nyffeler ermittelten Normbereiches von $0,64 \pm 0,06$. Der AI reduzierte sich in dieser Studie durch die ASD zwar statistisch signifikant, liegt mit einem postoperativen Mittelwert von 0,68 jedoch weiterhin oberhalb des gemäß Nyffeler anzustrebenden Bereiches [9].

Darüber hinaus veränderten sich postoperativ ebenfalls signifikant die Mittelwerte des AHA (Differenz $+1,45\text{mm}$), LAA ($-0,68^\circ$), FSOW ($+3,18^\circ$) und Aoki-Winkels ($+2,52^\circ$). Der als Kontrollparameter für die Vergleichbarkeit von prä- und postoperativen Aufnahmen in Hinblick auf Inklinationsphänomene gemessene β -Winkel veränderte sich nicht signifikant [84].

Somit kann die unter anderem von Billaud et al., Girard et al. und Lin et al. beschriebene signifikante Reduktion des CSA durch diese Arbeit nicht bestätigt werden.

Im Vergleich ist der präoperative CSA in der Gesamtgruppe dieser Arbeit mit $35,07^\circ \pm 4,4$ kleiner als die präoperativen Werte von Billaud et al. ($35,9^\circ \pm 3,7^\circ$), Girard et al. ($36,1^\circ \pm 4,5^\circ$) und Lin et al. ($38,4^\circ \pm 6,0^\circ$), was eine entsprechend kleinere, nicht mehr signifikante CSA-Veränderung begründen könnte [79, 81, 82].

Die Sinnhaftigkeit einer anterolateralen Akromioplastik insbesondere als Maßnahme zur CSA-Reduktion wird durch die vorliegende Arbeit stark in Frage gestellt.

Die in dieser Arbeit ermittelte signifikante CSA-Reduktion bei Ausgangswerten $>38^\circ$ ohne Korrektur auf unkritische Werte $<38^\circ$ stützen die Ergebnisse von Olmos et al., die ebenfalls insbesondere bei Werten $>40^\circ$ zwar eine signifikante Reduktion, überwiegend jedoch keine Korrektur auf $<38^\circ$ erreichen konnten [85]. Auch Lin et al. ermittelten eine deutlich größere CSA-Reduktion für die Fälle mit präoperativen Werten $>38^\circ$ gegenüber $<38^\circ$, respektive $-4,1^\circ \pm 4,1^\circ$ gegenüber $-1,0^\circ \pm 3,9^\circ$. Ebenso konnte in der Arbeit von Lin et al. weder für die Subgruppe mit $>38^\circ$ noch für die Gesamtgruppe eine Korrektur des CSA auf einen postoperativen Wert $<35^\circ$ erreicht werden [79].

Es stellt sich weiterhin die Frage, inwiefern die nicht signifikante CSA-Änderung mit der signifikanten AI-Änderung in Einklang zu bringen ist. Bei der sehr geringen AI-Differenz von postoperativ $-0,01$ ist eine Erklärungsmöglichkeit, dass in den vorliegenden Messungen Rotationsphänomene des Humerus nicht berücksichtigt werden, die sich aber möglicherweise auf den gemessenen glenohumeralen Abstand und somit auf den Quotienten auswirken, sodass sich ein signifikanter Unterschied darstellt. Eine derartige Anfälligkeit für Messfehler bei der Bestimmung des AI wurde bereits in der Erstveröffentlichung von Nyffeler et al. kritisch bewertet, nachdem sich der AI in Kadaverschultern bei außenrotiertem Humerus um durchschnittlich $0,03$ im Vergleich zum in Neutralstellung gemessenen AI vergrößerte. Zwischen Innenrotation und Neutralstellung zeigte sich kein signifikanter Unterschied [9]. Diese Anfälligkeit des AI sollte insbesondere in Hinblick auf die Anwendbarkeit im klinischen Alltag bei Messung des AI anhand konventioneller Röntgenbilder als Limitation berücksichtigt werden.

3.2 Limitationen: Fallzahl und Qualität der Röntgenaufnahmen

Die vorliegende Arbeit hat einige limitierende Faktoren. Dazu gehören das retrospektive Studiendesign und die Tatsache, dass alle erhobenen radiologischen Parameter naturgemäß einen intrinsischen Messfehler aufweisen und, wie weiter oben ausgeführt, stark abhängig sind von der korrekten Aufnahmetechnik der Röntgenbilder.

3.2.1 Fallzahl

Um die Aussagekraft dieser Arbeit zu erhöhen, wurde die Fallzahl so hoch wie möglich gewählt und fällt mit $n=435$ deutlich höher aus als die Vergleichsstudien mit $n=112$ bei Girard et al., $n=90$ bei Billaud et al. und $n=38$ bei Mac Lean et al.

Aus einer post-hoc-Analyse mit den beobachteten Messwerten ergibt sich rechnerisch eine Fallzahl von $n=13211$ Fällen, die notwendig gewesen wäre, um eine als sehr gut einzuschätzende α -Power von 0,8 zu erreichen, was sich in der klinischen Praxis allerdings nicht umsetzen ließe. Ein multizentrisches Studiendesign mit anderen teilnehmenden High-Volume-Kliniken wäre zwar in der Lage, die Fallzahl und damit die zu erwartende α -Power zu erhöhen, allerdings unter Inkaufnahme einer erhöhten Variabilität und damit geringerer Vergleichbarkeit der subakromialen Dekompression als dem zu untersuchenden Einflussfaktor.

3.2.2 Projektionsfehler und Messungenauigkeit

In Anbetracht der Debatte um die diagnostische Aussagekraft und ätiopathogenetische Rolle des CSA in der Entstehung von RM-Läsionen gab Lädermann 2020 in Bezugnahme auf Suter et al. zu bedenken, dass der CSA eine zweidimensionale Abbildung eines komplexen dreidimensionalen Geschehens ist. Dadurch können in konventionellen a.p. Röntgenaufnahmen bereits minimale Abweichungen in der skapulären Ausrichtung zu deutlichen CSA-Veränderungen aufgrund von Projektionsfehlern führen [68, 86]. Gleiches gilt laut Suter et al. für weitere radiobiometrische Parameter der akromialen Morphologie [87].

Suter und Henninger zufolge kann der CSA bei Anwendung strengster Kriterien für die a.p.-Projektion mit 89% Wahrscheinlichkeit auf 2° genau gemessen werden. Die Autoren ermittelten eine Abweichung des CSA von $>2^\circ$ bei Projektionsabweichungen der Scapula von bereits 5° Anteversion, 8° Retroversion, 15° Flexion und 26° Extension gegenüber einer strengen *true a.p.* Aufnahme [86, 88].

Aufgrund dieses Umstandes wurde in dieser Studie ein höchstmögliches Augenmerk auf die korrekte Aufnahmetechnik gelegt und die Suter-Henninger Kriterien in der Auswahl der Röntgenbilder angewandt, wodurch von den ursprünglich eingeschlossenen $n=707$ PatientInnen nur $n=435$ in die Auswertung eingeschlossen werden konnten. Relativ bedeutet dies, dass 38% der Aufnahmen nicht den Qualitätskriterien nach Suter-Henninger entsprachen.

Zudem wurden in dieser Arbeit ausschließlich unmittelbare prä- und postoperative Aufnahmen untersucht.

Im Gegensatz zu dieser Arbeit legten MacLean et al. keine zusätzlichen Kriterien an die Auswahl der a.p.-Aufnahmen an. Zudem geben die Autoren eine vergleichsweise lange Zeitspanne zwischen den prä- und postoperativen Röntgenaufnahmen von 17 Monaten \pm 29 an. Die Autoren konnten ebenfalls keine signifikante Veränderung des CSA ermitteln, es sollten jedoch die kleine Fallzahl und fehlende Selektion der Röntgenaufnahmen als Limitationen berücksichtigt werden.

Girard et al. schlossen 13% der Bilder aufgrund mangelhafter Projektion aus. Billaud et al. orientierten sich bei der Bildbeurteilung an der Vorgehensweise von Blonna et al. zur Vermeidung von Rotationsfehlern, woraus ein Ausschluss von 35% der Fälle resultierte [89]. Auch Lin et al. gaben an, sich in der Beurteilung der Bildqualität an Blonna et al. orientiert zu haben, schlossen jedoch nur 6,5% ihrer Bilder aus [79].

Lediglich in der Studie von Chalmers et al. kam es zu einer höheren Bildausschlussquote als in der vorliegenden Arbeit, wobei ebenfalls die Kriterien nach Suter-Henninger angewandt wurden. In der longitudinalen Studie von Chalmers et al. zur Messung des CSA und Korrelation mit der Progression von RM-Defekten in anhand von 1433 Röntgenbildern von $n=432$ PatientInnen wurden nach Anwendung der Suter-Henninger Kriterien in der Gruppe mit RM-Defekten 43% der PatientInnen ausgeschlossen, in der Kontrollgruppe sogar 56% [90].

Aus der vorliegenden Arbeit und der Studie von Chalmers et al. lässt sich also ableiten, dass unter Beachtung der Suter-Henninger Kriterien ein beachtlicher Anteil der prä- und postoperativen a.p.-Aufnahmen in der klinischen Praxis für eine valide Messung des CSA ungeeignet ist.

Zudem ist zu beachten, dass die von Billaud et al., Girard et al. und Lin et al. ermittelten statistisch signifikanten CSA-Differenzen sehr nah an dem Messungenauigkeitsbereich von Suter und Henniger liegen. Der postoperative CSA reduzierte sich bei Billaud et al. im Mittel um $2,9^\circ$ und bei Girard et al. und Lin et al. um $2,6^\circ$, womit beide Werte nur sehr geringfügig über dem Messfehlerbereich von 2° liegen [79, 81, 82].

In der vorliegenden Arbeit lagen die CSA-Differenzen mit Reduktion um $0,01^\circ$ für die Gesamtgruppe und $0,57^\circ$ für die Gruppe mit einem präoperativen CSA $>35^\circ$ innerhalb des Messfehlerbereichs der Suter-Henninger-Studie.

Die Klärung der Fragestellung dieser Arbeit bzw. Vergleichbarkeit ähnlicher Arbeiten wäre vermutlich durch die Erhöhung der Messgenauigkeit mittels Verwendung von 3D-CT Aufnahmen statt Röntgenaufnahmen erreichbar. In Anbetracht der hohen Fallzahl durchgeführter ASDs im klinischen Alltag, der Strahlenbelastung für die PatientInnen sowie der entstehenden Kosten scheint der Einsatz routinemäßiger prä- und postoperativer CT-Aufnahmen jedoch nicht gerechtfertigt.

2021 publizierten Hou et al. eine Arbeit, in der anhand des Parameters RTL (*ratio of transverse to longitudinal diameter of glenoid projection*) die Reliabilität des CSA in nicht standardisierten a.p. Röntgenbildern eingeschätzt werden und dadurch die Nutzbarkeit konventioneller Röntgenaufnahmen im klinischen Alltag für die CSA-Messung verbessert werden soll. Laut Hou et al. ist der CSA auch in malrotierten Aufnahmen reliabel, solange der RTL, also das Verhältnis des transversalen zu longitudinalem Durchmesser des Glenoids, $< 0,25$ beträgt. Ermittelt wurde dies allerdings anhand eigens aus 3D-CT Aufnahmen konstruierten malrotierten Aufnahmen, sodass es weiterer Studien bedarf, um

die Aussagekraft des RTL und damit die Nutzbarkeit des CSA in realen fehlprojizierten a.p. Röntgenaufnahmen zu validieren [91].

Jedoch stellte Pandey bereits 2019 kritisch zur Debatte, wie notwendig und zielführend die Optimierung bestehender und Implementierung neuer Messwinkel und Indizes insbesondere zur Minimierung von Projektionsfehlern überhaupt ist. Er plädierte dafür, die tatsächliche Relevanz der bestehenden Parameter für die Risikoreduktion für RM-Re-Rupturen nach Akromioplastik in sorgfältig angelegten Studien unter Verwendung der Standardbildgebung zu untersuchen, statt sich mit möglichen neuen Kombinationen diverser Bildgebungsmodalitäten auseinanderzusetzen [92].

3.2.3 Intrinsische Qualitätskontrolle

Eine weitere Besonderheit dieser Arbeit liegt in der Verwendung einer Testbatterie an weiteren radiobiometrischen Normwerten (AHA, LAA, FSOW, β -Winkel, Aoki-Winkel), die bestimmt und als intrinsische Qualitätskontrolle mitgeführt wurden.

Die geringe Varianz besonders des AHA und AI unterstreicht die hohen methodischen Qualitätsstandards dieser Studie und sichern die Vergleichbarkeit von prä- und postoperativen Aufnahmen.

Die Berücksichtigung des β -Winkel als zusätzlicher interner Kontrollparameter stellt ein Alleinstellungsmerkmal dieser Studie im Vergleich zu den Arbeiten von Girard et al., MacLean et al. und Billaud et al. dar. Somit ist in dieser Arbeit in besonderem Maße gewährleistet, dass die geringen gefundenen Unterschiede mit großer Verlässlichkeit korrekt und nicht zufällig sind.

Die beobachtete geringe α -Power von 0,11 ist folglich nicht methodisch verursacht, sondern auf die geringen Unterschiede, also die geringe Effektgröße in Relation zu den gemessenen Werten, in den prä- und postoperativen Werten zurückzuführen.

Die signifikante Veränderung von AI, AHA, LAA, FSOW und Aoki-Winkel lässt außerdem den Schluss zu, dass prinzipiell eine ausreichende Resektion von Knochenmaterial stattgefunden hat, um röntgenologisch messbare Unterschiede herbeizuführen.

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich eine gute bis sehr gute *Inter- und Intraobserver*-Reliabilität aller erhobenen Messwerte, was die Qualität der vorliegenden Daten unterstreicht und die Wertigkeit im Vergleich zur publizierten Literatur deutlich erhöht. So machen z.B. die Autoren Olmos et al., MacLean et al., Gerber et al., Altintas et al. und Tauber et al. keinerlei Angaben dazu in ihren Publikationen oder berufen sich lediglich auf von anderen Autoren beschriebene *Intra- und Interobserver*-Reliabilitätswerte [19, 20, 76, 83, 85].

3.3 Ausführung der ASD

Eine weitere Stärke dieser Arbeit liegt darin, dass die anterolaterale Akromioplastik bei sämtlichen PatientInnen durch den gleichen erfahrenen Operateur durchgeführt wurden. Das Risiko einer gewissen Variabilität in der technischen Umsetzung, wie man sie bei mehreren OperateurInnen annehmen könnte, scheint somit deutlich geringer.

Im Vergleich dazu waren an der Studie von Lin et al. zwei Operateure beteiligt und in der Arbeit von Billaud et al. drei OperateurInnen beteiligt, die die Akromioplastik in einer standardisierten Art und Weise durchführten. Bei Maclean et al. waren vier OperateurInnen beteiligt. Girard et al. gaben ein monozentrisches Studiendesign an, jedoch ohne Angabe der Anzahl an beteiligten OperateurInnen [79, 81-83].

Bei den im Vergleich reell sehr geringen Unterschieden der ermittelten CSA-Veränderung von wenigen Grad in den diskutierten Studien sowie der in dieser Arbeit berücksichtigten Messungengenauigkeit ist anzunehmen, dass schon eine geringfügige Variabilität in der Umsetzung der ASD statistisch ausschlaggebenden Einfluss auf die gemessenen Veränderungen nehmen kann.

3.4 Zusammenfassung und Fazit

In der Zusammenschau aller Ergebnisse dieser Arbeit lässt sich schlussfolgern, dass eine heutzutage durchgeführte klassische anterolaterale Akromioplastik nicht zu einer klinisch signifikanten Reduktion des CSA und AI führt und dass besonders bei Patienten mit pathologischen CSA-Werten keine Normalisierung erzielt werden kann. OperateurInnen, die eine gezielte Reduktion des CSA bzw. des AI herbeiführen wollen, sollten alternative chirurgische Techniken wie z.B. eine arthroskopische laterale Akromioplastik verwenden.

Ob eine laterale Akromioplastik tatsächlich ein geeignetes Mittel darstellt, das Krankheitsgeschehen der Entstehung und des Fortschreitens von RM-Läsionen zu beeinflussen, bleibt offen und ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Anzumerken ist jedoch, dass der laterale Akromionausstand nur einen singulären externen Risikofaktor in einem komplexen multifaktoriellen Geschehen darstellt, der von vielen AutorInnen als untergeordnet betrachtet wird. Zudem ist unklar, inwieweit sich aus der Korrelation dieses Faktors mit RM-Defekten eine eindeutige Kausalität ableiten lässt. Die weiter oben ausgeführten Studien lassen daran, und mitunter sogar schon an der Korrelation, Zweifel aufkommen. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass in Röntgenaufnahmen gemessene radiobiometrische Parameter eine statische zweidimensionale Größe darstellen, die nur begrenzt ein dynamisches dreidimensionales

Geschehen abbilden können. Die oben genauer ausgeführten Probleme der Standardisierung der Röntgenaufnahmen für valide Messungen der Akromion-Schultergelenk-Morphologie, welche in einer hohen Anzahl nicht verwertbarer Aufnahmen resultierte, relativiert sehr stark die Sinnhaftigkeit von Messungen des CSA und AI als therapeutische Kriterien in der täglichen klinischen Praxis.

Diese Umstände begründen eine kritische Hinterfragung der Aussagekraft jener Arbeiten, die von einer erfolgreichen CSA- Reduktion durch Akromioplastik berichten. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass sich aufgrund unterschiedlicher Bildgebungsmodalitäten, Bildauswahlkriterien und Fallzahlgrößen sowie unterschiedlicher akromioplastischer Techniken eine sehr heterogene Studienlage bezüglich des CSA und AI ergibt, die die Vergleichbarkeit der Arbeiten miteinander und die Aussagekraft einzelner Arbeiten deutlich einschränkt.

Mittels lateraler Akromioplastik könnte eine röntgenologisch messbare und klinisch signifikante Reduktion von CSA und AI herbeigeführt werden [73]. Vor dem Hintergrund der nicht abschließend eruierten Rolle des CSA und AI in der Ätiopathogenese von RM-Läsionen bleibt allerdings fraglich, ob die gezielte Reduktion dieser Parameter als vorrangiges Therapieziel tatsächlich postuliert werden sollte.

4. Quellenverzeichnis

4.1 Literaturverzeichnis

1. Habermeyer, P., S. Lichtenberg, and P. Magosch, *Schulterchirurgie*. 4 ed. 2010: Elsevier.
2. Yamaguchi, K., et al., *The Demographic and Morphological Features of Rotator Cuff Disease - A Comparison of Asymptomatic and Symptomatic Shoulders*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 2006. **88-A**(8): p. 1699-1704.
3. Liem, D., et al., *The prevalence of rotator cuff tears: is the contralateral shoulder at risk?* Am J Sports Med, 2014. **42**(4): p. 826-30.
4. Yamamoto, A., et al., *Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population*. J Shoulder Elbow Surg, 2010. **19**(1): p. 116-20.
5. Meyer, A.W., *Further evidences of attrition in the human body*. American Journal of Anatomy, 1924. **34**(1): p. 241-267.
6. Neer II, C.S., *Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder*. 1972. J Bone Joint Surg Am, 2005 Jun. **87**(6): p. 1399.
7. Bigliani, L.U., D.S. Morrison, and E.W. April, 10, 228., *The Morphology of the Acromion and Its Relationship to Rotator Cuff Tears*. Orthopaedic Transactions. 1986(10): p. 228.
8. Banas, M.P., R.J. Miller, and S. Totterman, *Relationship between the lateral acromion angle and rotator cuff disease*. J. Shoulder Elbow Surg. , 1995. **4**(6): p. 454-451.
9. Nyffeler, R.W., et al., *Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears*. J Bone Joint Surg Am, 2006. **88**(4): p. 800-5.
10. Moor, B.K., et al., *Is there an association between the individual anatomy of the scapula and the development of rotator cuff tears or osteoarthritis of the glenohumeral joint?: A radiological study of the critical shoulder angle*. Bone Joint J, 2013. **95-B**(7): p. 935-41.
11. Fujisawa, Y., et al., *Three-dimensional analysis of acromial morphologic characteristics in patients with and without rotator cuff tears using a reconstructed computed tomography model*. Am J Sports Med, 2014. **42**(11): p. 2621-6.
12. Van Parys, M., et al., *Three-dimensional evaluation of scapular morphology in primary glenohumeral arthritis, rotator cuff arthropathy, and asymptomatic shoulders*. J Shoulder Elbow Surg, 2021. **30**(8): p. 1803-1810.
13. Billaud, A., et al., *How much acromial bone should be removed to decrease the critical shoulder angle? A 3D CT acromioplasty planning study*. Arch Orthop Trauma Surg, 2022. **142**(12): p. 3909-3915.
14. Kim, M.S., et al., *Anteroposterior and Lateral Coverage of the Acromion: Prediction of the Rotator Cuff Tear and Tear Size*. Clin Orthop Surg, 2022. **14**(4): p. 593-602.
15. Chalmers, P.N., et al., *Acromial morphology is not associated with rotator cuff tearing or repair healing*. J Shoulder Elbow Surg, 2020. **29**(11): p. 2229-2239.
16. Caffard, T., et al., *High Acromial Slope and Low Acromiohumeral Distance Increase the Risk of Retear of the Supraspinatus Tendon After Repair*. Clin Orthop Relat Res, 2023. **481**(6): p. 1158-1170.
17. Ma, Q., et al., *Morphological Characteristics of Acromion and Acromioclavicular Joint in Patients with Shoulder Impingement Syndrome and Related Recommendations: A Three-Dimensional Analysis Based on Multiplanar Reconstruction of Computed Tomography Scans*. Orthop Surg, 2021. **13**(4): p. 1309-1318.
18. Matsen, F.A., et al., *Rockwood and Matsen's The Shoulder*. 6 ed. 2022: Elsevier.
19. Tauber, M., et al., *Lateral acromioplasty for correction of the critical shoulder angle*. Obere Extremität, 2020. **15**(3): p. 228-232.
20. Altintas, B., M. Kaab, and S. Greiner, *Arthroscopic lateral acromion resection (ALAR) optimizes rotator cuff tear relevant scapula parameters*. Arch Orthop Trauma Surg, 2016. **136**(6): p. 799-804.
21. Habermeyer, P., et al., *Schulterchirurgie*. 5. Auflage ed. Science direct / German Medical Collection [68]. 2017: Urban & Fischer in Elsevier.

22. Netter, F.H., *Atlas der Anatomie*. 7 ed. 2020, München: Urban & Fischer in Elsevier.
23. Jung, W., S. Lee, and S. Hoon Kim, *The natural course of and risk factors for tear progression in conservatively treated full-thickness rotator cuff tears*. J Shoulder Elbow Surg, 2020. **29**(6): p. 1168-1176.
24. Uhthoff, H., et al., *Ätiologie und Pathogenese von Rupturen der Rotatorenmanschette*. Hefte Unfallheilkd, 1986(180): p. 3-9.
25. Teunis, T., et al., *A systematic review and pooled analysis of the prevalence of rotator cuff disease with increasing age*. J Shoulder Elbow Surg, 2014. **23**(12): p. 1913-1921.
26. Heuberger, P.R., et al., *Critical shoulder angle combined with age predict five shoulder pathologies: a retrospective analysis of 1000 cases*. BMC Musculoskelet Disord, 2017. **18**(1): p. 259.
27. Milgrom, C., et al., *Rotator-cuff changes in asymptomatic adults. The effect of age, hand dominance and gender*. J Bone Joint Surg Br, 1995. **77**(2): p. 296-8.
28. Codman, E.A., *The Shoulder. Rupture of the Supraspinatus Tendon and Other Lesions in or About the Subacromial Bursa*. 1934, Boston, Mass, USA: Thomas Todd.
29. Schleberger, Y.R., *Die Morphologie des Rotatorenmanschettendefektes im Zusammenhang mit der Radiobiometrie der Schulter*. 2018, Ruhr-Universität Bochum: Bochum.
30. Gumina, S., et al., *The association between body fat and rotator cuff tear: the influence on rotator cuff tear sizes*. J Shoulder Elbow Surg, 2014. **23**(11): p. 1669-74.
31. Baumgarten, K.M., et al., *Cigarette smoking increases the risk for rotator cuff tears*. Clin Orthop Relat Res, 2010. **468**(6): p. 1534-41.
32. Tashjian, R.Z., et al., *Evidence for an inherited predisposition contributing to the risk for rotator cuff disease*. J Bone Joint Surg Am, 2009. **91**(5): p. 1136-42.
33. Keener, J.D., et al., *Shoulder activity level and progression of degenerative cuff disease*. J Shoulder Elbow Surg, 2017. **26**(9): p. 1500-1507.
34. Hughes, R.E., et al., *Glenoid inclination is associated with full thickness rotator cuff tears* Clin Orthop Relat Res, 2003(407): p. 86-91.
35. Petersson, C.J. and I. Redlund-Johnell, *The subacromial space in normal shoulder radiographs*. Acta Orthop Scand, 1984. **55**: p. 57-58.
36. Moor, B.K., et al., *Relationship of individual scapular anatomy and degenerative rotator cuff tears*. J Shoulder Elbow Surg, 2014. **23**(4): p. 536-41.
37. Aoki, M., S. Ishii, and M. Usui, *The slope of the acromion and rotator cuff impingement*. Orthop Trans, 1986. **10**(228).
38. Mantell, M.T., et al., *Critical shoulder angle is associated with full-thickness rotator cuff tears in patients with glenohumeral osteoarthritis*. J Shoulder Elbow Surg, 2017. **26**(12): p. e376-e381.
39. İncesoy, M.A., et al., *The critical shoulder angle, the acromial index, the glenoid version angle and the acromial angulation are associated with rotator cuff tears*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021. **29**(7): p. 2257-2263.
40. Maalouly, J., et al., *Association of acromial morphological parameters and rotator cuff tears, and evaluation of the influence of age and gender on the parameters and impact on cuff tears: A study on a Middle Eastern population*. Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol, 2020. **20**: p. 17-23.
41. Bjarnison, A.O., et al., *The critical shoulder angle is associated with osteoarthritis in the shoulder but not rotator cuff tears: a retrospective case-control study*. J Shoulder Elbow Surg, 2017. **26**(12): p. 2097-2102.
42. Docter, S., et al., *The Relationship Between the Critical Shoulder Angle and the Incidence of Chronic, Full-Thickness Rotator Cuff Tears and Outcomes After Rotator Cuff Repair: A Systematic Review*. Arthroscopy, 2019. **35**(11): p. 3135-3143 e4.
43. Kircher, J., et al., *Is there an association between a low acromion index and osteoarthritis of the shoulder?* Int Orthop, 2010. **34**(7): p. 1005-10.
44. Kircher, J., et al., *Do anatomic variants of the acromion shape in the frontal plane influence pain and function in calcifying tendinitis of the shoulder?* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2012. **20**(2): p. 368-72.

45. Pandey, V., et al., *Does scapular morphology affect the integrity of the rotator cuff?* J Shoulder Elbow Surg, 2016. **25**(3): p. 413-21.
46. Loew, M., et al., *How to discriminate between acute traumatic and chronic degenerative rotator cuff lesions: an analysis of specific criteria on radiography and magnetic resonance imaging.* J Shoulder Elbow Surg, 2015. **24**(11): p. 1685-93.
47. Moor, B.K., et al., *Inclination-dependent changes of the critical shoulder angle significantly influence superior glenohumeral joint stability.* Clin Biomech (Bristol, Avon), 2016. **32**: p. 268-73.
48. Gomide, L.C., et al., *Relationship between the critical shoulder angle and the development of rotator cuff lesions: a retrospective epidemiological study.* Rev Bras Ortop, 2017. **52**(4): p. 423-427.
49. Kaur, R., et al., *Correlation of acromial morphology in association with rotator cuff tear: a retrospective study.* Pol J Radiol, 2019. **84**: p. e459-e463.
50. Ozaki, J., et al., *Tears of the rotator cuff of the shoulder associated with pathological changes in the acromion. A study in cadavera.* J Bone Joint Surg Am, 1988. **70**(8): p. 1224-30.
51. Rhee, S.M., et al., *The critical shoulder angle: can it be sufficient to reflect the shoulder joint without the humeral head?* J Shoulder Elbow Surg, 2019. **28**(4): p. 731-741.
52. Shinagawa, K., et al., *Critical shoulder angle in an East Asian population: correlation to the incidence of rotator cuff tear and glenohumeral osteoarthritis.* J Shoulder Elbow Surg, 2018. **27**(9): p. 1602-1606.
53. Thiesemann, S., et al., *Antero-lateral acromioplasty does not change the Critical Shoulder Angle and Acromion Index in a clinically relevant amount.* Arthroscopy, 2022.
54. Watanabe, A., et al., *Association between the Critical Shoulder Angle and Rotator Cuff Tears in Japan.* Acta Med Okayama, 2018. **72**(6): p. 547-551.
55. Song, J.G., et al., *High performance of critical shoulder angle for diagnosing rotator cuff tears on radiographs.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019. **27**(1): p. 289-298.
56. Tang, Y., et al., *The Effectiveness of Using the Critical Shoulder Angle and Acromion Index for Predicting Rotator Cuff Tears: Accurate Diagnosis Based on Standard and Nonstandard Anteroposterior Radiographs.* Arthroscopy, 2019. **35**(9): p. 2553-2561.
57. Kim, J.H., et al., *Rotator cuff tear incidence association with critical shoulder angle and subacromial osteophytes.* J Shoulder Elbow Surg, 2019. **28**(3): p. 470-475.
58. Zeng, Y.M., et al., *Prediction of Rotator Cuff Injury Associated with Acromial Morphology: A Three-Dimensional Measurement Study.* Orthop Surg, 2020. **12**(5): p. 1394-1404.
59. Garcia, G.H., et al., *Higher critical shoulder angle increases the risk of retear after rotator cuff repair.* J Shoulder Elbow Surg, 2017. **26**(2): p. 241-245.
60. Scheiderer, B., et al., *Higher Critical Shoulder Angle and Acromion Index Are Associated With Increased Retear Risk After Isolated Supraspinatus Tendon Repair at Short-Term Follow Up.* Arthroscopy, 2018. **34**(10): p. 2748-2754.
61. Li, H., et al., *Large Critical Shoulder Angle Has Higher Risk of Tendon Retear After Arthroscopic Rotator Cuff Repair.* Am J Sports Med, 2018. **46**(8): p. 1892-1900.
62. Opsomer, G.J., L. Verstuyft, and S. Muermans, *Long-term follow-up of patients with a high critical shoulder angle and acromion index: is there an increased retear risk after arthroscopic supraspinatus tendon repair?* JSES Int, 2020. **4**(4): p. 882-887.
63. Lin, C.L., et al., *Accuracy of the Critical Shoulder Angle for Predicting Rotator Cuff Tears in Patients With Nontraumatic Shoulder Pain.* Orthop J Sports Med, 2020. **8**(5): p. 2325967120918995.
64. Harada, N., et al., *Combination of risk factors affecting retear after arthroscopic rotator cuff repair: a decision tree analysis.* J Shoulder Elbow Surg, 2021. **30**(1): p. 9-15.
65. Miyazaki, A.N., et al., *Comparison between the acromion index and rotator cuff tears in the Brazilian and Japanese populations.* J Shoulder Elbow Surg, 2011. **20**(7): p. 1082-6.
66. Sheehan, A.J., et al., *Does an Increased Critical Shoulder Angle Affect Re-tear Rates and Clinical Outcomes Following Primary Rotator Cuff Repair? A Systematic Review.* Arthroscopy, 2019. **35**(10): p. 2938-2947 e1.

67. Lädermann, A., et al., *Scapula morphology. Chicken and egg debate?* JSES Open Access, 2019. **3**(4): p. 254-255.
68. Lädermann, A., *The Law of Use and Disuse: Critical Shoulder Angle and Rotator Cuff Tears-Association Does Not Imply Causation.* Arthroscopy, 2020. **36**(8): p. 2342-2343.
69. Smith, G.C.S., V. Liu, and P.H. Lam, *The Critical Shoulder Angle Shows a Reciprocal Change in Magnitude When Evaluating Symptomatic Full-Thickness Rotator Cuff Tears Versus Primary Glenohumeral Osteoarthritis as Compared With Control Subjects: A Systematic Review and Meta-analysis.* Arthroscopy, 2020. **36**(2): p. 566-575.
70. Björnsson Hallgren, H.C. and L. Adolfsson, *Neither critical shoulder angle nor acromion index were related with specific pathology 20 years later!* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021. **29**(8): p. 2648-2655.
71. Ellman, H., *Arthroscopic Subacromial Decompression: Analysis of One- to Three-Year Results.* Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery, 1987. **3**(3): p. 173-181.
72. Caspari, R.B. and R. Thal, *A Technique for Arthroscopic Subacromial Decompression.* Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery, 1992. **8**(1): p. 23-30.
73. Zhang, M., et al., *Does the critical shoulder angle decrease after acromioplasty? A systematic review and meta-analysis.* J Orthop Surg Res, 2022. **17**(1): p. 28.
74. Familiari, F., et al., *Is acromioplasty necessary in the setting of full-thickness rotator cuff tears? A systematic review.* J Orthopaed Traumatol 2015. **16**: p. 167–174.
75. Woodmass, J.M., et al., *Arthroscopic Rotator Cuff Repair with and without Acromioplasty in the Treatment of Full-Thickness Rotator Cuff Tears: Long-Term Outcomes of a Multicenter, Randomized Controlled Trial.* J Bone Joint Surg Am, 2022. **104**(23): p. 2101-2107.
76. Gerber, C., et al., *Arthroscopic Correction of the Critical Shoulder Angle Through Lateral Acromioplasty: A Safe Adjunct to Rotator Cuff Repair.* Arthroscopy, 2018. **34**(3): p. 771-780.
77. Franceschetti, E., et al., *Lateral Acromioplasty has a Positive Impact on Rotator Cuff Repair in Patients with a Critical Shoulder Angle Greater than 35 Degrees.* J Clin Med, 2020. **9**(12).
78. Katthagen, J.C., et al., *The Effects of Arthroscopic Lateral Acromioplasty on the Critical Shoulder Angle and the Anterolateral Deltoid Origin: An Anatomic Cadaveric Study.* Arthroscopy, 2016. **32**(4): p. 569-75.
79. Lin, C.L., et al., *Acromioplasty reduces critical shoulder angle in patients with rotator cuff tear.* PLoS One, 2021. **16**(6): p. e0253282.
80. Karns, M.R., et al., *The critical acromial point: the anatomic location of the lateral acromion in the critical shoulder angle.* J Shoulder Elbow Surg, 2018. **27**(1): p. 151-159.
81. Billaud, A., et al., *Does the critical shoulder angle decrease after anterior acromioplasty?* Arch Orthop Trauma Surg, 2019. **139**(8): p. 1125-1132.
82. Girard, M., et al., *Does anterior acromioplasty reduce critical shoulder angle?* Orthop Traumatol Surg Res, 2020. **106**(6): p. 1101-1106.
83. MacLean, I.S., et al., *The Effect of Acromioplasty on the Critical Shoulder Angle and Acromial Index.* Arthrosc Sports Med Rehabil, 2020. **2**(5): p. e623-e628.
84. Maurer, A., et al., *Assessment of glenoid inclination on routine clinical radiographs and computed tomography examinations of the shoulder.* J Shoulder Elbow Surg, 2012. **21**(8): p. 1096-103.
85. Olmos, M.I., et al., *Lateral acromioplasty cannot sufficiently reduce the critical shoulder angle if preoperatively measured over 40 degrees.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021. **29**(1): p. 240-249.
86. Suter, T., et al., *The influence of radiographic viewing perspective and demographics on the critical shoulder angle.* J Shoulder Elbow Surg, 2015. **24**(6): p. e149-58.
87. Suter, T., et al., *Viewing perspective malrotation influences angular measurements on lateral radiographs of the scapula.* J Shoulder Elbow Surg, 2020. **29**(5): p. 1030-1039.
88. Kim, J.H., et al., *Difference of Critical Shoulder Angle (CSA) According to Minimal Rotation: Can Minimal Rotation of the Scapula Be Allowed in the Evaluation of CSA?* Clin Orthop Surg, 2019. **11**(3): p. 309-315.
89. Blonna, D., et al., *Predominance of the critical shoulder angle in the pathogenesis of degenerative diseases of the shoulder.* J Shoulder Elbow Surg, 2015. **25**(8): p. 1328-1336.

90. Chalmers, P.N., et al., *Does the Critical Shoulder Angle Correlate With Rotator Cuff Tear Progression?* Clin Orthop Relat Res, 2017. **475**(6): p. 1608-1617.
91. Hou, J., et al., *The Ratio of the Transverse to Longitudinal Diameter of the Glenoid Projection Is of Good Predictive Value for Defining the Reliability of Critical Shoulder Angle in Nonstandard Anteroposterior Radiographs.* Arthroscopy, 2021. **37**(2): p. 438-446.
92. Pandey, V., *Editorial Commentary: Angles, Ratios, and Rotation-Is It Worth Splitting Hairs Over the Critical Shoulder Angle?* Arthroscopy, 2019. **35**(9): p. 2562-2564.

4.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ansicht von lateral auf die Scapula mit Fornix humeri, gebildet aus Akromion, Proc. coracoideus und dem sie verbindenden Lig. coracoacromiale, mit darunter verlaufenden Anteilen des M. supraspinatus und langer Bizepssehne [21]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Rüdiger Himmelhan, Heidelberg aus: Habermeyer, Schulterchirurgie, 5. Auflage 2017 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München
- Nr. (Originalpublikation): Abb. 3.1 a)
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): Supraspinatus-Outlet: die kraniale Begrenzung wird durch den korakoakromialen Bogen, die kaudale durch den Oberarmkopf und das Tuberculum majus gebildet. Dazwischen laufen die Sehne des M. supraspinatus, die LBS und das Lig. coracohumerale.

Abb. 2: Kaudalisierung und Zentrierung des Humeruskopfes während der Abduktion durch das Zusammenspiel des a) koronaren Kräftepaars (M. supraspinatus und M. subscapularis) und des b) transversalen Kräftepaars (M. infraspinatus und M. teres minor) der Rotatorenmanschettenmuskulatur [21]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Rüdiger Himmelhan, Heidelberg aus: Habermeyer, Schulterchirurgie, 5. Auflage 2017 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München
- Nr. (Originalpublikation): Abb. 3.4. a) b)
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): Die Rotatorenmanschette gewährleistet eine Kaudalisierung und Zentrierung des Oberarmkopfs in der Fossa glenoidalis durch ein Gleichgewicht des koronaren (a) und transversalen (b) Kräftepaars

Abb. 3: Elevation des Armes aus Neutralstellung mit Komprimierung der Bursa subacromialis, der Supraspinatussehne und des Rotatorenintervalls inklusive der langen Bizepssehnen [21]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Rüdiger Himmelhan, Heidelberg aus: Habermeyer, Schulterchirurgie, 5. Auflage 2017 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München
- Nr. (Originalpublikation): Abb. 3.1. c) d)
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): c) und d) Mechanismus des subakromialen Impingement-Syndroms: Bei Elevation des Arms aus der Neutralstellung kann es zu einer Kompression unter dem anterolateralen Akromion und zu sekundären Veränderungen der Bursa subacromialis, des korakoakromialen Bogens, der Rotatorenmanschette und des Rotatorenintervalls mit der LBS kommen.

Abb. 4: AHA nach Petersson [35]

- Mit Genehmigung von Urheberrechtshalter Informa UK Limited / Taylor & Taylor & Francis group aus: Petersson, C.J. and I. Redlund-Johnell, *The subacromial space in normal shoulder radiographs*. Acta Orthop Scand, 1984. **55**: p. 57-58.
- Nr. (Originalpublikation): *Figure 1*
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): *Measuring Site*

Abb. 5: Akromionkonfiguration nach Bigliani [21]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Rüdiger Himmelhan, Heidelberg aus: Habermeyer, Schulterchirurgie, 5. Auflage 2017 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München
- Nr. (Originalpublikation): Abb. 3.2
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): Akromionkonfiguration nach Bigliani. Die Klassifikation erfolgt entsprechend der Neigungsebene: Typ I: flach, Typ II: bogenförmig, Typ III: hakenförmig (Bigliani et al. 1986) [L108]

Abb. 6: LAA nach Banas et al. in Skizze (A) und MRT (B) [8]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Elsevier Science & Technology Journals aus: Banas, M.P., R.J. Miller, and S. Totterman, *Relationship between the lateral acromion angle and rotator cuff disease*. J. Shoulder Elbow Surg. , 1995. **4**(6): p. 454-451. Genehmigung vermittelt von Copyright Clearance Center, Inc.
- Nr. (Originalpublikation): *Fig. 2 A, B*
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): *Figure 2A, Lateral acromion formed by intersection of line parallel to acromion undersurface and second line parallel to farthest lateral extension of superior and inferior bony glenoid. B, Coronal magnetic resonance image (repetition time, 2000 msec; echo time, 20msec) of right glenohumeral joint noting lateral acromion angle of 85°. Supraspinatus muscle and tendon is seen passing below acromion.*

Abb. 7: Aoki Winkel in Outlet View Aufnahme [53]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Elsevier Science & Technology Journals aus: Thiesemann, S., et al., *Antero-lateral acromioplasty does not change the Critical Shoulder Angle and Acromion Index in a clinically relevant amount*. Arthroscopy, 2022. Genehmigung vermittelt von Copyright Clearance Center, Inc.
- Nr. (Originalpublikation): *Fig 7*
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): *Radiograph of the left shoulder in outlet-view projection. Aoki angle: angle between line A and B (line A connects the lower border of the base of the coracoid process and the posterior border of the acromion undersurface, and line B connects the posterior border of the acromion and the anterior border of the acromion undersurface.*

Abb. 8: AI nach Nyffeler et al. [9]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Wolters Kluwer Health, Inc. aus: Nyffeler, R.W., et al., *Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears*. J Bone Joint Surg Am, 2006. **88**(4): p. 800-5. Genehmigung vermittelt von Copyright Clearance Center, Inc.
- Nr. (Originalpublikation): *Fig. 1*
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): *The lateral extension of the acromion was quantified by measuring the acromion index on true anteroposterior radiographs. The acromion index (AI) was calculated by dividing the distance from the glenoid plane to the acromion (GA) by the distance from the glenoid plane to the lateral aspect of the humeral head (GH). The larger the lateral extension of the acromion, the higher the acromion index.*

Abb. 9: CSA nach Moor et al. [10]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter British Editorial Society of Bone & Joint Surgery aus: Moor, B.K., et al., *Is there an association between the individual anatomy of the scapula and the development of rotator cuff tears or osteoarthritis of the glenohumeral joint?: A radiological study of the critical shoulder angle*. Bone Joint J, 2013. **95-B**(7): p. 935-41. Genehmigung vermittelt von Copyright Clearance Center, Inc.
- Bildbearbeitung: Darstellung der Winkelscheitel in weiß
- Nr. (Originalpublikation): *Fig. 2a*
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): *Sample radiographs of glenohumeral joints showing the assessment of the critical shoulder angle (CSA; measured between a line connecting the inferior with the superior border of the glenoid fossa and another connecting the inferior border of the glenoid with the most inferolateral point of the acromion), a) in a shoulder with a full-thickness tear of supraspinatus tendon (CSA 43°) and b) in a shoulder with osteoarthritis and an intact rotator cuff (CSA 22°).*

Abb. 10: FSOW nach Schleberger [29]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Dr. med. Yannic Schleberger aus: Schleberger, Y.R., *Die Morphologie des Rotatorenmanschettendefektes im Zusammenhang mit der Radiobiometrie der Schulter*. 2018, Ruhr-Universität Bochum: Bochum.
- Nr. (Originalpublikation): Abbildung 29
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): Schematische Darstellung Messung des FSOW

Abb. 11: Akromioplastik nach Caspari, Ablösung des Lig. coracoacromiale über die Resektion ventraler Akromionanteile [72]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Elsevier Science & Technology Journals aus: Caspari, R.B. and R. Thal, *A Technique for Arthroscopic Subacromial Decompression*. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 1992. **8**(1): p. 23-30. Genehmigung vermittelt von Copyright Clearance Center, Inc.
- Nr. (Originalpublikation): *Fig. 4A*
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): *Coracoacromial ligament release is accomplished by sectioning the anterior margin of the acromion rather than cutting the ligament itself.*

Abb. 12: Akromioplastik nach Caspari, Ermittlung des Resektionswinkels über Anlage des Acromionizers am posteroinferioren Akromion [72]

- Mit Genehmigung vom Urheberrechtshalter Elsevier Science & Technology Journals aus: Caspari, R.B. and R. Thal, *A Technique for Arthroscopic Subacromial Decompression*. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 1992. **8**(1): p. 23-30. Genehmigung vermittelt von Copyright Clearance Center, Inc.
- Nr. (Originalpublikation): *FIG. 6A*
- Titel/Unterschrift (Originalpublikation): *The tip of the burr is placed at the deepest point of the concavity of the acromion. Bone is resected by sweeping the cutter from lateral to medial and progressing anteriorly while maintaining the angle of the burr, using the angle of the posterior acromion as a guide.*

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Beteiligten von Herzen meinen Dank aussprechen, die zur erfolgreichen Umsetzung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Kircher für die Überlassung des Themas und die hervorragende Betreuung während des gesamten Prozesses.

Herrn PD Dr. med. Bittersohl und nachfolgend Herrn PD Dr. med. Latz danke ich vielmals für die Co-Betreuung.

Ich danke Frau Schröder und Frau Pannier sowie Herrn PD Dr. med. Hedtmann und Herrn PD Dr. med. Muschik und Mitarbeiterinnen für das herzliche Willkommen, die stete Bereitstellung eines Arbeitsplatzes und das angenehme Miteinander in den Räumlichkeiten der ATOS Klinik Fleetinsel in Hamburg.

Herrn Kirchner habe ich für die Durchführung der Interobserver-Messungen und den fachlichen Austausch im Rahmen der Publikation zu danken.

Nicht zuletzt danke ich von Herzen meiner Familie und engen Freundinnen für die liebevolle Begleitung in bewegten Zeiten.