

Diplomarbeit

**Age and gender related differences in morphology of
cuff-tear arthropathy.**

eingereicht von

Patrick Johannes Brandstätter

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

**Institut für Orthopädie am Ordensklinikum der Barmherzigen
Schwestern Linz**

unter der Anleitung von

Priv.-Doz. Dr. Reinhold Ortmaier

und

Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr.med.univ. et scient.med. Patrick Sadoghi

Linz am 25.Mai 2020

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Linz, am 25.05.2020

Patrick Johannes Brandstätter eh.

Danksagungen

Ich möchte mich an dieser Stelle bei meinen Betreuern Herrn Priv.-Doz. Dr. Reinhold Ortmaier und Herrn Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr.med.univ. et scient.med. Patrick Sadoghi für ihre tatkräftige Unterstützung bedanken.

Großer Dank geht ebenso an meine Familie, die mir das Studium ermöglicht und mich durch diese gesamte Zeit stets unterstützt hat.

Zusammenfassung

Hintergrund

Die Cuff-tear Arthropathie stellt die führende Indikation zur Implantation einer inversen Schulterprothese dar und obwohl Untersuchungen zeigen, dass Frauen sowohl höhere Inzidenzen, als auch ein schlechteres Outcome nach Implantation aufweisen, fehlen Analysen zur präoperativen morphologischen Ausprägung der Cuff-tear Arthropathie.

Ziel der Arbeit ist es Alters- und Geschlechterspezifische Unterschiede in der morphologischen Ausprägung der Cuff-tear Arthropathie unter der Zuhilfenahme von gängigen Klassifikationen zu untersuchen.

Methoden

Wir untersuchten retrospektiv die präoperativen radiologischen Aufnahmen von 342 Schultergelenken (257 weiblich, 85 männlich), die im Zeitraum von 10 Jahren im Ordensspital der Barmherzigen Schwestern Linz der Implantation einer inversen Schulterprothese unterzogen wurden. Dazu beurteilten wir die Ausprägung der Cuff-tear Arthropathie mittels Seebauer und Hamada Klassifikationen. Das Glenoid wurde durch die Klassifizierung nach Favard und Walch sowie durch die Vermessung des Critical-Shoulder-Angle und der Version beurteilt. Zur Beurteilung der Humeruskopfstellung wurden der akromiohumere Index und der akromiohumere Abstand gemessen. Die muskuläre Situation klassifizierten wir nach Habermeyer, Goutallier, Thomazeau und Patte. Anschließend wurden die gesammelten Daten auf geschlechter- und altersspezifische Unterschiede untersucht.

Ergebnisse

In unserem Kollektiv zeigten sich keine geschlechterspezifischen Unterschiede, mit Ausnahme einer höheren fettigen Infiltration nach Goutallier im weiblichen Kollektiv ($p=0,006$). Im Vergleich der Altersgruppen (Grenze 74,5 Jahre), zeigten sich eine weiter fortgeschrittene Erkrankung in Bezug auf die fettige Infiltration nach Goutallier ($p=0,001$) und weiter fortgeschrittene Rupturen nach Patte ($p=0,003$) und nach Habermeyer ($p=0,000$). Außerdem zeigten sich ein verringerter akromiohumeraler Abstand ($p=0,042$), sowie eine stärker ausgeprägte Cuff-tear Arthropathie nach Seebauer ($p=0,006$).

Konklusion

Es zeigen sich keine klinisch relevanten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Ausprägung der Cuff-tear Arthropathie zwischen Patientinnen und Patienten, die vor der Implantation einer inversen Schulterprothese stehen. Die signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen sind einhergehend mit den zu erwartenden Folgeerscheinungen, die mit fortgeschrittenem Alter im Rahmen der Cuff-tear Arthropathie entstehen.

Abstract

Background

The cuff-tear arthropathy is one of the main indications for implantation of reverse shoulder arthroplasty (RSA). Even though previous investigations show as well higher risks of disease as worse outcomes after implantation in females, data about differences in the preoperative morphological characteristics of the cuff-tear arthropathy is scarce.

The objectives of that survey were to further investigate age and gender related differences in the morphology of cuff-tear arthropathy with the aid of popular classification systems.

Methods

We investigated retrospectively the preoperative radiologic images of 342 shoulders (257 females, 85 males), which received a RSA over a period of 10 years.

Therefore, we evaluated the severity of cuff-tear arthropathy using the Seebauer and Hamada classifications. The glenoid was assessed by classifications of Favard and Walch and by measuring of the Critical-Shoulder-Angle and the version of the glenoid. The humerus head position was surveyed by measuring the acromiohumeral index and the acromiohumeral distance. The muscular situation was examined by the classifications of Habermeyer, Goutallier, Thomazeau and Patte. Subsequently we analysed the collected data to determine if disparities between age and gender groups exist.

Results

During our investigations, we could not find genderspecific differences, with one exception, which showed higher stages of fatty infiltration, classified by Goutallier, in our female cohort ($p=0,006$). Comparing the two age groups (limit 74,5 years) further progressed disease can be found in elderly, relating to the fatty infiltration by Goutallier ($p=0,001$), muscle retraction after ruptures as described by Patte ($p=0,003$) and the location of the ruptures by Habermeyer ($p=0,000$). Furthermore, the elderly patients showed lower acromiohumeral distances ($p=0,042$), such as higher stages of cuff-tear arthropathy classified by Seebauer ($p=0,006$).

Conclusion

In our survey we could find no clinically relevant gender specific differences in the morphology of cuff-tear arthropathy in patients undergoing implantation of RSA.

The significant disparities between younger and older patients are congruent with the expected sequelae, which arise at advanced age as part of the cuff-tear arthropathy.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	ii
Zusammenfassung	iii
Abstract	iv
1 Einleitung	1
1.1 Anatomie des Schultergelenks/Articulatio glenohumeralis	1
1.1.1 Knöcherner Strukturen.....	1
1.1.2 Kapsel und Bandapparat.....	2
1.1.3 Muskulatur und Sehnen.....	4
1.2 Funktion des Schultergelenks	5
1.3 Rotatorenmanschettenruptur (RMR)	8
1.3.1 Definition.....	8
1.3.2 Ätiopathogenese.....	9
1.3.3 Epidemiologie.....	11
1.4 Cuff-tear Arthropathie (CTA)	11
1.4.1 Definition.....	11
1.4.2 Ätiopathogenese.....	12
1.4.3 Epidemiologie.....	14
1.4.4 Therapieansätze.....	14
1.5 Diagnostik der Schulter	16
1.5.1 Anamnese.....	16
1.5.2 Klinische Untersuchung.....	17
1.5.3 Bildgebende Diagnostik.....	18
1.6 Radiologische Klassifikation	18
1.6.1 Critical-Shoulder-Angle (CSA).....	18
1.6.2 Acromion-Index (AI).....	19
1.6.3 Hamada.....	20
1.6.4 Favard.....	21
1.6.5 Walch.....	22
1.6.6 Patte.....	23
1.6.7 Habermeyer.....	23
1.6.8 Goutallier.....	24
1.6.9 Thomazeau.....	25
1.7 Endoprothetik	25
1.7.1 Inverse Schulterprothese.....	26
1.8 Studienziele	28
2 Material und Methoden	29
2.1 Studiendesign	29
2.2 Messmethoden	30
2.2.1 Critical-Shoulder-Angle.....	30
2.2.2 Acromiohumeraler Abstand.....	32
2.2.3 Acromiohumeraler Index.....	33
2.2.4 Version des Glenoids.....	34
2.2.5 Walch.....	34
2.2.6 Seebauer.....	38
2.2.7 Hamada.....	39
2.2.8 Favard.....	40
2.2.9 Patte.....	41

2.2.10 Goutallier.....	42
2.2.11 Habermeyer.....	43
2.2.12 Thomazeau.....	44
2.3 Statistik.....	45
3 Ergebnisse - Resultate.....	46
3.1 Altersverteilung.....	46
3.2 Aufarbeitung der metrischen Variablen.....	46
3.2.1 Critical-Shoulder-Angle.....	46
3.2.2 Akromiohumeraler Abstand.....	48
3.2.3 Akromiohumeraler Index.....	50
3.2.4 Version des Glenoids.....	52
3.3 Aufarbeitung der kategorialen Variablen.....	53
3.3.1 Favard Klassifikation.....	53
3.3.2 Habermeyer Klassifikation.....	54
3.3.3 Modifizierte Walch Klassifikation.....	55
3.3.4 Seebauer Klassifikation.....	56
3.3.5 Hamada Klassifikation.....	58
3.3.6 Patte Klassifikation.....	59
3.3.7 Thomazeau Klassifikation.....	60
3.3.8 Goutallier Klassifikation.....	62
4 Diskussion.....	64
5 Literaturverzeichnis.....	66

Glossar und Abkürzungen

Art.	-	Articulatio
M.	-	Musculus
Mm.	-	Musculi
Lig.	-	Ligamentum
Proc.	-	Processus
bzw.	-	beziehungsweise
kg	-	Kilogramm
etc.	-	et cetera
MR	-	Magnetresonanz
MRT	-	Magnetresonanztomographie
CT	-	Computertomographie
SD	-	Standardabweichung
CTA	-	Cuff-tear Arthropathie
RMR	-	Rotatorenmanschettenruptur
RM	-	Rotatorenmanschette
RSA	-	Reverse Shoulder Arthroplasty

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1.1: Schultergürtel von ventral. Aus: Schünke et al. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem (5)	2
Abbildung 1.1.2.a: Ansicht des Kapselapparates von ventral. Aus: Schünke et al. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem (5)	3
Abbildung 1.1.2.b: Ansicht des Bandapparates von ventral. Aus: Schünke et al. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem (5)	3
Abbildung 1.1.3.a: Rotatorenmanschette von ventral. Aus: Schünke et al. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem (5)	4
Abbildung 1.1.3.b: Rotatorenmanschette von dorsal. Aus: Schünke et al. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem (5)	4
Abbildung 1.2 Aus: Habermeyer, Schulterchirurgie, 5. Auflage 2017 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München(8)	7
Abbildung 1.3.1: Partialruptur Rissformen (Aus: Habermeyer, Schulterchirurgie, 5. Auflage 2017 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)(8)	8
Abbildung 1.6.1: Critical-Shoulder-Angle	19
Abbildung 1.6.2: Acromion-Index (AI); Quelle: Kum et al. (1)	20
Abbildung 1.6.3: Hamada Klassifikation; Quelle: Frank and Levine (58)	21
Abbildung 1.6.4: Favard Klassifikation	22
Abbildung 1.6.5: Modifizierte Walch-Klassifikation; Quelle: Bercik et al. (63)	23
Abbildung 1.6.6: Patte Klassifikation	23
Abbildung 1.6.8: Goutallier Klassifikation	25
Abbildung 2.1: Geschlechtsverteilung der Schultergelenke	30
Abbildung 2.2.1: Messmethode des Critical Shoulder Angle	31
Abbildung 2.2.2: Messmethode des AHA	32
Abbildung 2.2.3: Messmethode des AHI	33
Abbildung 2.2.4: Messmethode der Version des Glenoids	34
Abbildung 2.2.5.a: Walch A1	35
Abbildung 2.2.5.b: Walch A2	35
Abbildung 2.2.5.c: Walch B1	36
Abbildung 2.2.5.d: Walch B2	36
Abbildung 2.2.5.e: Walch B3	37
Abbildung 2.2.5.f: Walch C	37
Abbildung 2.2.5.g: Walch D	38
Abbildung 2.2.6: Seebauer Klassifikation	39
Abbildung 2.2.7.a: Hamada Grad 1: AHA über 6mm	39
Abbildung 2.2.7.b: Hamada Grad 2: AHA unter 5mm	39
Abbildung 2.2.7.c: Hamada Grad 3: AHA unter 5mm und Acetabularisierung des Acromions	40
Abbildung 2.2.7.d: Hamada Grad 4: Grad 3 plus glenohumerale Erosion	40
Abbildung 2.2.7.e: Hamada Grad 5: Grad 4 plus kollabierter Humeruskopf	40
Abbildung 2.2.8: Favard Klassifikation	41
Abbildung 2.2.9: Patte Klassifikation, Retraktion der Supraspinatussehne	41
Abbildung 2.2.10: Goutallier Klassifikation der fettigen Infiltration	42
Abbildung 2.2.11: Habermeyer Klassifikation der Rotatorenmanschette	43
Abbildung 2.2.12: Thomazeau Klassifikation	44
Abbildung 3.1: Altersverteilung in den Geschlechtergruppen	46
Abbildung 3.2.1.a: Geschlechtsverteilung CSA	47
Abbildung 3.2.1.b: Altersverteilung CSA	48
Abbildung 3.2.2.a: Geschlechterverteilung AHA	49
Abbildung 3.2.2.b: Altersverteilung AHA	49
Abbildung 3.2.2.c: Die lineare Regression zeigt das Absinken des AHA mit fortgeschrittenem Alter	50
Abbildung 3.2.3.a: Geschlechterverteilung AHI	51
Abbildung 3.2.3.b: Altersverteilung AHI	51
Abbildung 3.2.4.a: Geschlechterverteilung Version des Glenoids	52
Abbildung 3.2.4.b: Altersverteilung Version des Glenoids	52

Abbildung 3.3.1.a: Geschlechterverteilung Favard Klassifikation	53
Abbildung 3.3.1.b: Altersverteilung Favard Klassifikation	53
Abbildung 3.3.2.a: Einzelergebnisse der Habermeyer Klassifikation	54
Abbildung 3.3.2.b: Geschlechterverteilung Habermeyer Klassifikation	55
Abbildung 3.3.2.c: Altersverteilung Habermeyer Klassifikation	55
Abbildung 3.3.3.a: Geschlechterverteilung Walch Klassifikation	56
Abbildung 3.3.3.b: Altersverteilung Walch Klassifikation	56
Abbildung 3.3.4.a: Einzelergebnisse Seebauer Klassifikation	57
Abbildung 3.3.4.b: Geschlechterverteilung Seebauer Klassifikation	57
Abbildung 3.3.4.c: Altersverteilung Seebauer Klassifikation	58
Abbildung 3.3.5.a: Geschlechterverteilung Hamada Klassifikation	58
Abbildung 3.3.5.b: Altersverteilung Hamada Klassifikation	59
Abbildung 3.3.6.a: Einzelergebnisse der Patte Klassifikation	59
Abbildung 3.3.6.b: Geschlechterverteilung der Patte Klassifikation	60
Abbildung 3.3.6.c: Altersverteilung der Patte Klassifikation	60
Abbildung 3.3.7.a: Einzelergebnisse Altersvergleich Thomazeau Klassifikation	61
Abbildung 3.3.7.b: Geschlechterverteilung Thomazeau Klassifikation	61
Abbildung 3.3.7.c: Altersverteilung Thomazeau Klassifikation	61
Abbildung 3.3.8.a: Geschlechterverteilung Goutallier Klassifikation	62
Abbildung 3.3.8.b: Altersverteilung Goutallier Klassifikation	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung nach Ellman (In Anlehnung an Liem und Scheibel)(2)	8
Tabelle 2: Einteilung nach Snyder (In Anlehnung an Liem und Scheibel)(2)	9
Tabelle 3: Outcome der inversen Schulterprothese bei CTA (In Anlehnung an Schwyzer et al.)(3)	14
Tabelle 4: Rerupturraten versch. Studien (in Anlehnung an Rugg et al., 2018)(4)	15

1 Einleitung

1.1 Anatomie des Schultergelenks/Articulatio glenohumeralis

1.1.1 Knöcherne Strukturen

Der große Bewegungsumfang unseres Armes im Schultergelenk resultiert aus dem Zusammenspiel von insgesamt fünf Gelenken, genauer gesagt drei echten und zwei sogenannten Nebengelenken, die gemeinsam den Schultergürtel bilden.

Zu den echten Gelenken zählen die Art. humeri (Humeroskapulargelenk), die Art. acromioclavicularis (Akromioklavikulargelenk) und die Art. sternoclavicularis (Sternoklavikulargelenk). (5) (siehe Abb. 1.1.1)

Das subakromiale Nebengelenk stellt ein Gleitlager dar, das sich zwischen dem Schulterdach (Fornix humeri) und der Rotatorenmanschette befindet. Das zweite Nebengelenk stellt sich als Gleitlager zwischen dem M. subscapularis und dem M. serratus anterior dar. (siehe Abb. 1.1.1)

Die Art. humeri besteht aus den artikulierenden Elementen des Caput humeri und der Cavitas glenoidalis, die sich hier zu einem Kugelgelenk formieren. Dieses stellt eine Besonderheit im menschlichen Körper dar, da die Gelenksfläche des Caput humeri etwa drei- bis viermal größer ist. Ein solches Missverhältnis, welches durch das ca. 5mm breite Labrum glenoidale etwas ausgeglichen wird, führt einerseits zu dem hohen Bewegungsumfang, andererseits aber auch zu einer gewissen Instabilität der artikulierenden Skelettelemente. Das Caput humeri, in seiner ursprünglich runden Form, erhält durch den hyalinen Knorpelüberzug eine ovale Form. (6) Der Neigungswinkel des Humeruskopfes gegen die Schaftachse zeigt sich bei etwa 130° bis 150° relativ konstant. Der Retrotorsionswinkel (der Winkel um den der Humeruskopf gegenüber dem distalen Humerusende nach dorsal torquiert ist), zeigt sich in der Literatur als sehr variabel und liegt nach Habermeyer et al. bei durchschnittlich 48,6° bei Männern und 57,3° bei Frauen. (7)

Die Art. sternoclavicularis besteht aus zwei sattelförmigen Gelenksflächen am Manubrium sterni und der Clavicula. Aufgrund der Inkongruenz der Gelenksflächen findet man hier einen Discus articularis, der den Gelenkraum in zwei Hälften teilt. Als Pfanne dient die leicht konkave Oberfläche am Sternum und als Kopf die Extremitas sternalis der Clavicula. (5,6)

verstärkt. Dieses hat den Ursprung an der Basis des Proc. coracoideus, teilt sich im Verlauf entzwei, führt und sichert die durchlaufende lange Bizepssehne und setzt an den Tubercula majus und minus an. (5,6)

An der Vorderseite verstärkt wird die Kapsel durch die Ligg. glenohumeralia (superius, medium und inferius). Das Lig. glenohumerale superius verläuft vom kranialen Pfannenrand zum Tuberculum minus, sowie zum Sulcus intertubercularis, wo sie gemeinsam mit dem Lig. coracohumerale die Rotatorenintervallschlinge bildet und die Bizepssehne sichert. Das Lig. coracohumerale medium zieht vom kranialen Pfannenrand zum Collum anatomicum des Humerus. Das Lig. glenohumerale inferius besteht aus drei Teilen: Einem anterioren, einem posterioren und einem dazwischenliegenden axillären Anteil, der dem Recessus axillaris gleichzusetzen ist. Alle drei Faserzüge entspringen vom kaudalen Pfannenrand und ziehen zum medialen Hals des Humerus. (siehe Abb 1.1.2.b) Funktionell sind Ligg. glenohumeralia besonders für die Stabilität des Gelenks in der Endstellung von Außenrotation und Abduktion wichtig. (5,7)

Das Schulterdach (Fornix humeri), bestehend aus dem Lig. coracoacromiale, dem Acromion und dem Proc. coracoideus, dient der Lagesicherung des Humeruskopfes in der Pfanne, gleichzeitig begrenzt dieses Dach aber auch die Bewegung des Humeruskopfes nach kranial.

Die Gelenkhöhle steht in Verbindung mit den umgebenden Schleimbeuteln, wie der Bursa subtendinea m. subscapularis und der Bursa subcoracoidea. Außerdem steht die Vagina tendinis intertubercularis (Sehnscheide der langen Bizepssehne) in direkter Verbindung zur Gelenkhöhle. (5,7)

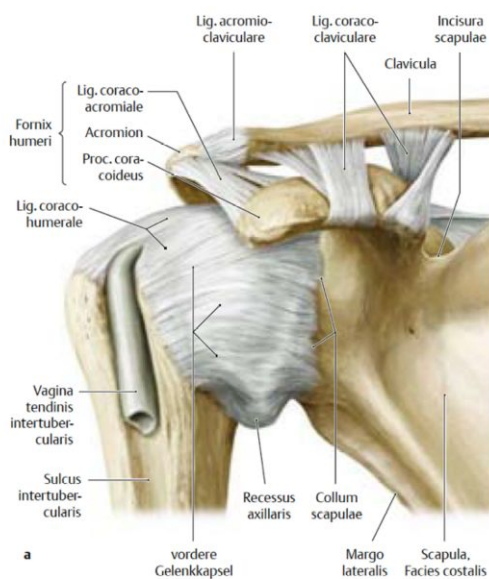


Abbildung 1.1.2.a: Ansicht des Kapselapparates von ventral (5)

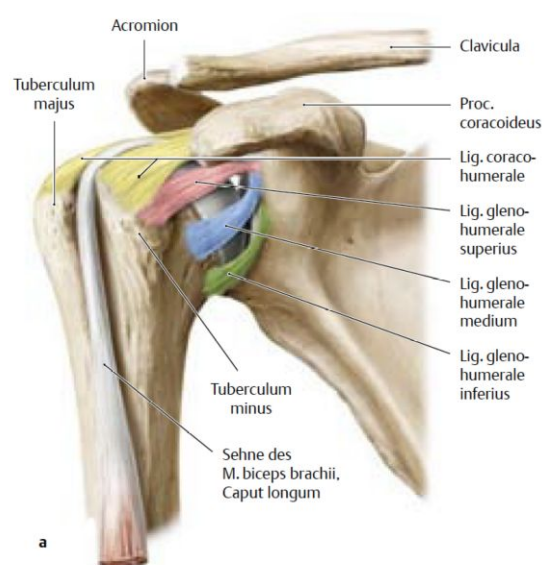


Abbildung 1.1.2.b: Ansicht des Bandapparates von ventral (5)

1.1.3 Muskulatur und Sehnen

Um die Gelenkskapsel spannen sich manschettenartig vier Muskeln, die als Schulterrotatoren dienen und gemeinsam die sogenannte Rotatorenmanschette bilden. Bestehend aus dem M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor und dem M. subscapularis ist diese Manschette erheblich an der Stabilisierung des Schultergelenks beteiligt. Drei der Muskeln haben ihren Ansatz am Tuberculum majus des Humerus, alleinig der M. subscapularis zieht zum Tuberculum minus. Der M. supraspinatus entspringt an der Fossa supraspinata der Scapula, zieht proximal zum Tuberculum majus des Humerus und führt somit eine Abduktionsbewegung aus. Etwas weiter distal setzt der M. infraspinatus mit Ursprung an der Fossa infraspinata der Scapula an, wodurch die Hauptfunktion einer Außenrotation entspricht. Der M. teres minor mit Ursprung an der Margo lateralis der Scapula setzt am weitesten distal am Tuberculum majus an und führt neben der Außenrotation auch eine geringe Adduktion durch. (siehe Abb. 1.1.3.b) Als einzig ventral liegender Muskel der Rotatorenmanschette entspringt der M. subscapularis in der gleichnamigen Fossa subscapularis und zieht zum Tuberculum minus des Humerus, wodurch dieser Muskel für die Innenrotation zuständig ist. (siehe Abb. 1.1.3.a) (5–7)

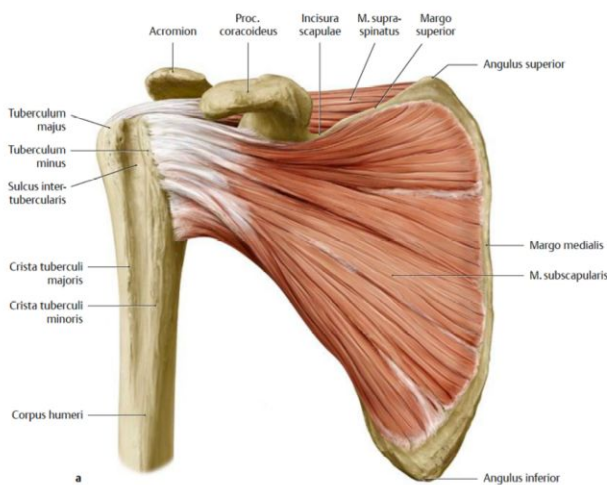


Abbildung 1.1.3.a: Rotatorenmanschette von ventral (5)

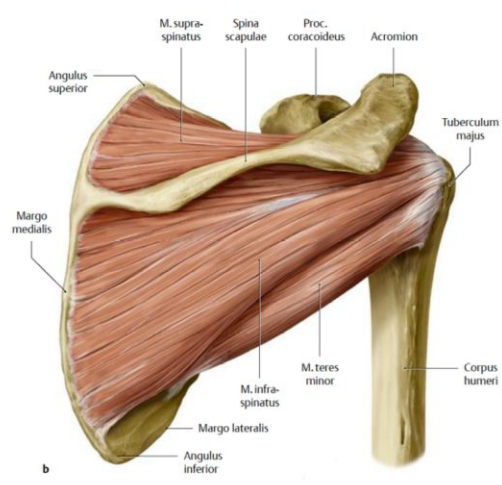


Abbildung 1.1.3.b: Rotatorenmanschette von dorsal (5)

Über der Rotatorenmanschette kommt der M. deltoideus zu liegen. Dieser fächert sich auf und umschließt das Schultergelenk von ventral, kranial und dorsal fast komplett.

Unterscheiden kann man drei Anteile: Pars claviculae mit Ursprung am lateralen Drittel der Clavicula, die Pars acromialis entspringt am Acromion und die Pars spinalis am Unterrand der Spina scapulae. Als gemeinsamer Ansatz dient die Tuberositas deltoidea am Humerus. Aufgrund seiner Ausdehnung erfüllt der M. deltoideus mehrere Funktionen,

unter anderem ist er der wichtigste Muskel für die Abduktion. Bei hängendem Arm verläuft lediglich die Pars acromialis über der Abduktionsachse, so wirken die zwei anderen Teile bis 60° als Antagonisten. Erst über 60° Abduktion wandern sie über die Achse und können synergistisch wirken. Die Pars clavicularis und spinalis wirken also unter 60° Abduktion als Adduktoren und darüber als Abduktoren. Zusätzlich führen die Pars clavicularis eine Anteversion und die Pars spinalis eine Retroversion durch. Hierbei werden sie von den jeweils ventralen und dorsalen Faserzügen der Pars acromialis unterstützt. In Adduktionsstellung kann die Pars clavicularis den Humerus aus einer Außenrotation zurück nach innen drehen und die Pars spinalis einen Innenrotierten Arm wieder in die Neutralstellung nach außen drehen. (5–7)

Der M. teres major entspringt am Margo lateralis der Scapula, nahe dem Angulus inferior, und setzt an der Crista tuberculi minoris des Humerus an. Somit kann er neben der Retroversion den Arm auch nach innen rotieren und adduzieren. Mitbeteiligt an der Adduktion ist auch der M. latissimus dorsi, welcher sich mit dem M. teres major die Ansatzstelle an der Crista tuberculi minoris teilt und durch seine vier Anteile (Pars vertebralis, Pars iliaca, Pars costalis, Pars scapularis) den Arm auch noch retrovertieren und innenrotieren kann. (5–7)

Im Gegenzug zu diesen Muskeln wirkt an der Rumpfvorderseite der M. pectoralis major, der sich dreigeteilt darstellt. Seine Ursprünge findet er an der medialen Hälfte der Clavicula (Pars clavicularis), dem Sternum, bzw. den 2.- 6. Rippenknorpeln (Pars sternocostalis) und an der Lamina anterior der Rectusscheide (Pars abdominalis). Durch seinen Ansatz an der Crista tuberculi majoris besteht eine der Hauptfunktionen aus der Innenrotation des Humerus, gleichzeitig kann er aber den Arm auch adduzieren. Die Pars clavicularis und sternocostalis können zusätzlich noch eine Anteversion ausführen.

Der M. coracobrachialis zieht vom Proc. coracoideus an den Humerus, distal der Crista tuberculi minoris. Von hier aus wirkt er als Adduktor, Innenrotator und antevertiert den Arm. (5–7)

1.2 Funktion des Schultergelenks

Auch wenn sich diese Arbeit auf das Schultergelenk, also die Art. humeri im Speziellen bezieht, muss man für die Funktion und Kinematik der Schulter den gesamten Schultergürtel miteinbeziehen. Die meisten Bewegungen in der Schulter bestehen aus einem Zusammenspiel aller Gelenke des Schultergürtels, lediglich kleine Bewegungsausschläge können von der Art. humeri alleinig ausgeführt werden. (7)

Grundsätzlich sind Bewegungen in drei Freiheitsgraden möglich: In der Sagittal-, Frontal-, und Vertikalebene.

Um die Sagittalachse kann der Arm bis zu einem Ausmaß von ca. 150-170° eine Anteversion und bis etwa 40-50° Retroversion ausführen. Die Anteversion geschieht schon ab der Neutral-Null-Stellung nur unter einem Mitgleiten der Scapula nach dorsal, die sich ab einem Winkel von etwa 45° nach ventral mit verschiebt. Besonders die Anteversion über einen Winkel von 90° hinaus erfordert ein Mitwirken des gesamten Schultergürtels. Die Bewegungen um die Frontalachse bestehen aus Adduktion und Abduktion, wobei eine Abduktion über 90° auch Elevation genannt wird. Die Adduktion wird in der Literatur bis 75° beschrieben, wobei hier eine deutliche Verschiebung der Scapula mitbeteiligt ist. Viel mehr Aufmerksamkeit gilt der Abduktion und Elevation, da der Bewegungsablauf zwischen Schulter, Scapula und Clavicula hier sehr genau erforscht wurde. Bis zur Abduktion von 30° verrichtet noch das Schultergelenk die Hauptarbeit, darüber hinaus zeigt sich die Bewegung bis zur maximalen Elevation von 160-180° als Zusammenspiel zwischen Scapula und Art. humeri. Die Scapula verschiebt sich hierbei in ihrem Gleitspalt um 60°, die restlichen 120° Bewegung können sogar im Schultergelenk ermöglicht werden. Grundsätzlich würde das Fornix humeri eine Bewegung im Schultergelenk ab 90° Abduktion hemmen, durch die Drehung der Scapula kommt es aber zu einer Lageveränderung der Cavitas glenoidalis, wodurch sich die Bewegungsfreiheit erhöht. Verantwortlich für die Verschiebungen in der Scapula während dieses Bewegungsablaufes sind die Pars clavicularis und die Pars acromialis des M. deltoideus, die Pars descendens des M. trapezius, der M. supraspinatus und die Pars convergens des M. serratus anterior. Da die Clavicula die einzige knöcherne Verbindung der Scapula zum Thorax darstellt, hängt die Beweglichkeit des Schulterblattes direkt von den beiden Claviculargelenken ab. Betrachtet man den Verlauf der Elevation können die 60° Verschiebung der Scapula durch eine Mitbewegung um ca. 35° im Sternoclaviculargelenk und um 25° im Acromioclaviculargelenk ermöglicht werden. (6,7)

In der Vertikalebene, also in Innen- und Außenrotation, zeigt sich die geringste Abhängigkeit des Schultergelenks von ihrem Schultergürtel. Die Innenrotation erfolgt völlig autonom, bis sich die Scapula erst in der Endphase leicht von der Thoraxwand abpreizt. Insgesamt beträgt die Bewegungsfreiheit nach innen zwischen 40-60°.

Umgekehrt übt die Scapula in der Außenrotation erst in Endstellung bei ca. 90° einen Druck gegen die Thoraxwand aus und der Humerus dreht sich weitgehend autonom. (7)

Die erwähnten Achsen zeigen sich in bisherigen Untersuchungen allerdings nicht so konstant, wie es in vielen anderen Gelenken der Fall ist, da es im Schultergelenk zu verschiedenen Roll- und Gleitbewegungen kommt, die während der verschiedenen Bewegungsabläufe zu tragen kommen. So kommt es laut Habermeyer et al (7) zu einer Achsverschiebung um bis zu 5mm. Die Kinematik der Schulter und deren einzelner Muskeln lässt sich zudem auch aufgrund der mit der Gelenkstellung variablen Hebelarme nur schwer darstellen. Eine Schemenhafte Darstellung der Kraftvektoren wurde von Habermeyer et al erstellt. (siehe Abb. 1.2) (7)

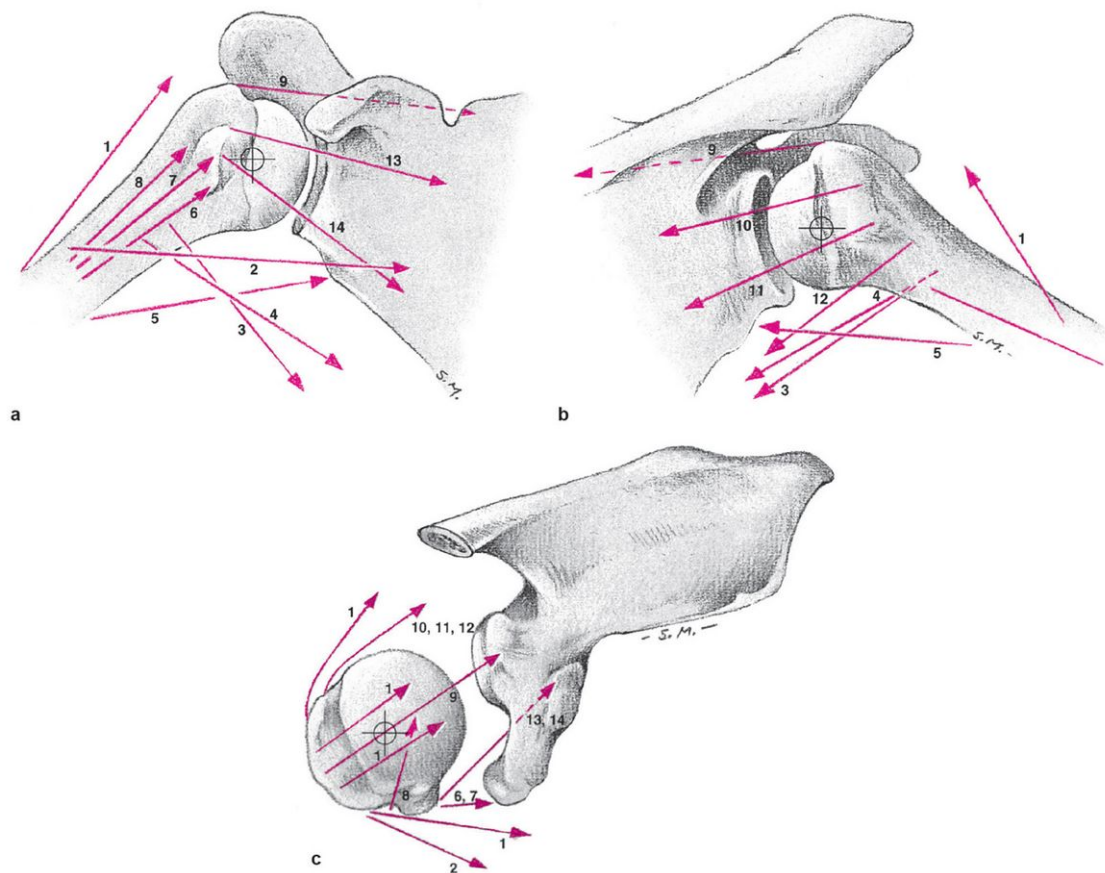


Abbildung 1.2 Quelle: Schulterchirurgie Habermeyer et al (8)

a) Ventralansicht

b) Dorsalansicht

c) Kranialansicht [L228]

- 1 M. deltoideus
- 2 M. pectoralis major
- 3 M. latissimus dorsi
- 4 M. teres major
- 5 M. triceps brachii, Caput longum
- 6 M. coracobrachialis
- 7 M. biceps brachii, Caput breve
- 8 M. biceps brachii, Caput longum
- 9 M. supraspinatus
- 10 M. infraspinatus, oberer Anteil
- 11 M. infraspinatus, unterer Anteil
- 12 M. teres minor
- 13 M. subscapularis, oberer Anteil
- 14 M. subscapularis, unterer Anteil

1.3 Rotatorenmanschettenruptur (RMR)

Da die Ruptur einer oder mehrerer Muskeln der Rotatorenmanschette eine ausschlaggebende Rolle für die Pathogenese einer CTA darstellt, muss auch diese berücksichtigt werden, um das resultierende Krankheitsbild vollständig zu verstehen.

1.3.1 Definition

Als Rotatorenmanschettenruptur (RMR) bezeichnet man den Riss von Sehnen oder Muskeln aus dem Apparat der Rotatorenmanschette. Diese Ruptur kann einen oder mehrere Muskeln betreffen und zur Einschränkung der Funktion, beziehungsweise bei Massenrupturen bis zum Funktionsverlust im Glenohumeralgelenk führen. Unterschieden werden die inkompletten von den kompletten Rupturen.

Inkomplette Rupturen, oder auch Partialrupturen genannt, können bursaseitig, intralaminär, artikularseitig oder in Kombination aus diesen auftreten. (2)(siehe Abb. 1.3.1)

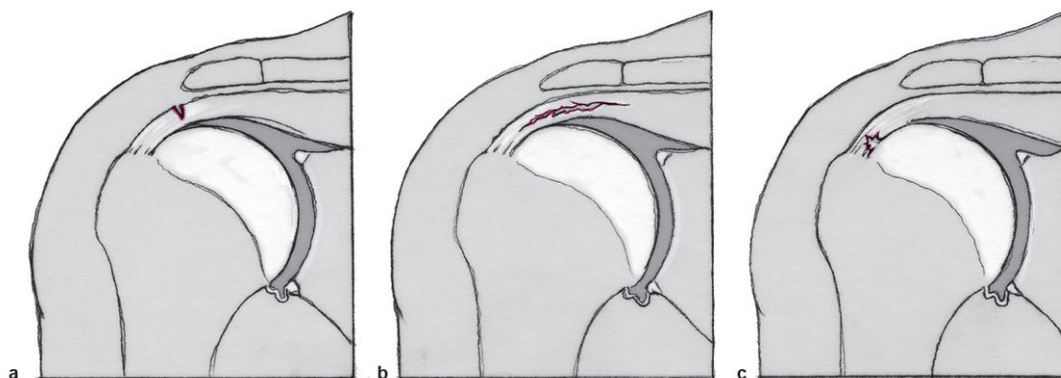


Abbildung 1.3.1: Partialruptur Rissformen (Quelle: Habermeyer et al. Schulterchirurgie (8))

Klassifiziert werden die Partialrupturen häufig nach Ellman (9), der den Grad nach der Tiefe der Ruptur, in Bezug auf die Dicke der Sehne, einteilt. (siehe Tabelle 1)

Grad	Beschreibung
1	< 3mm oder 25% der Sehnendicke
2	3-6mm oder 50% der Sehnendicke
3	> 6mm oder > 50% der Sehnendicke

Tabelle 1: Einteilung nach Ellman (In Anlehnung an Liem und Scheibel)(2)

Eine arthroskopische Klassifikation stellt die nach Snyder dar, die den Zustand der Sehnenoberseite und -unterseite zur Einteilung heranzieht. (siehe Tabelle 2)

Grad	Beschreibung
<i>0</i>	Normale Sehne mit glattem Synovia- und Bursaüberzug
<i>I</i>	Lokale oberflächliche Auffaserungen von Bursa, Synovia und Sehne in einem begrenzten Areal < 1 cm
<i>II</i>	Oberflächlicher Substanzdefekt < 2cm
<i>III</i>	Tiefer Substanzdefekt mit Fragmentation < 3cm
<i>IV</i>	Fortgeschrittene Partialruptur, in der Regel mit Fragmentation und Lappenbildung, meist ausgedehnt

Tabelle 2: Einteilung nach Snyder (In Anlehnung an Liem und Scheibel)(2)

Die Bezeichnung der kompletten Rupturen, oder auch Totalrupturen, decken ein großes Spektrum an Zustandsbildern ab. So kann es sich um eine Läsion einer einzelnen Sehne handeln, die eventuell keine oder kaum Retraktion aufweist, aber auch um Massenrupturen mit Funktionsverlust des Schultergelenks und massiver Atrophie der Muskeln. Neben der Atrophie kommt es bei Komplettrupturen oft auch zu einer fettigen Infiltration der betroffenen Muskulatur und einer massiven Retraktion, sowie in Folge zu der anterosuperioren Instabilität, die bei der CTA oft beschrieben wird. (2)

Den verschiedenen Klassifikationen der Totalrupturen wird in dieser Arbeit unter dem Punkt 1.5 noch vertiefte Aufmerksamkeit gewidmet, da hier die diagnostischen Methoden näher erläutert werden.

1.3.2 Ätiopathogenese

Aus Ätiopathologischer Sicht können Rotatorenmanschettenrupturen in 5 Gruppen eingeteilt werden. Die erste Gruppe stellt die atraumatischen, degenerativen Rupturen dar, die aufgrund altersbedingter Faktoren und natürlichem Verschleiß entstehen. Brewer (10) hat 1979 die Sehnen der Rotatorenmanschette an Leichen von 20-, 50- und 70-jährigen untersucht und dabei eine deutliche Degeneration aller tendinösen Elemente mit fortschreitendem Alter nachweisen können. So kam es zur Abnahme der Elastizität, der Nährstoffversorgung und der Qualität der Ansatzstelle der Sehne. (10) Außerdem verlieren die Faserbündel mit fortschreitendem Alter an Integrität, die Zellularität reduziert sich und es kommt zu einem Anstieg des Typ-III Kollagens in der Sehne.

Bei bereits vorhandener degenerativer Veränderung der Sehne, kann es durch ein Trauma zum Abriss dieser kommen, was die zweite Gruppe hier darstellt. Bei abnehmender Sehnenqualität verringert sich die Zugkraft, aber auch die Widerstandsfähigkeit, weshalb oft schon harmlosere Traumen zu einer Ruptur führen. Diese Gruppe lässt sich von den rein degenerativ rupturierten Sehnen oft nur schwer abgrenzen. (2)

Erkrankungen wie das Impingement Syndrom können durch wiederholte hohe Reibung an der Sehne mikrotraumatische Läsionen verursachen, was zu einer beschleunigten Degeneration und bis zum Riss der betroffenen Sehne führen kann. (2)

Jüngere Patientinnen und Patienten mit erhaltener Sehnenqualität sind eher von traumatischen Läsionen und RMR betroffen. Einen Eindruck zur Zugfestigkeit der menschlichen Rotatorenmanschette zeigt eine Untersuchung von Rickert et al. (11) aus 1998. Sie untersuchten 25 frische Leichenschultern im Alter von 23-94 Jahren, an denen sie die Supraspinatussehnen in physiologischer Richtung bis zum Versagen beansprucht haben. Hier ergab sich ein Maximalwert von 1850N, außerdem wurde auch hier ein signifikanter Rückgang der Reißfestigkeit im Alter beobachtet. (32,35)

Zu einer traumatischen Ruptur können zahlreiche Verletzungsmechanismen führen, wie auch die Luxation und Subluxation des Schultergelenks, die oft eine Ruptur der Supraspinatus- oder Subscapularissehne zur Folge haben. Als weitere potentielle Ursachen gelten eine axiale Stauchung, wie bei einem Sturz auf den nach hinten gestreckten Arm, eine passive Innen- oder Außenrotation bei anliegendem oder abgespreiztem Arm, zum Beispiel durch das Festhalten bei einem Sturz oder eine passive Traktion nach kaudal, ventral oder medial. (2)

Die letzte ätiopathogenetische Gruppe stellen Rupturen mit spezifischen Ursachen, wie entzündlich-rheumatischen Veränderungen dar.

In den letzten Jahren deutet immer mehr darauf hin, dass auch systemische Erkrankungen und Faktoren für ein vermehrtes Auftreten von RMR verantwortlich sind. So wird ein Zusammenhang zwischen Kardiovaskulären Risikofaktoren und dem Risiko für RMR vermutet. Djerbi (13) hat eine erhöhte Prävalenz für RMR in Gruppen die Rauchen oder eine Hyperlipidämie haben, nachweisen können. Außerdem zeigt die Studie auf, dass Patientinnen und Patienten, die Rauchen, unter arterieller Hypertonie leiden, oder bereits ein kardiovaskuläres Ereignis hinter sich haben, höhere Schweregrade aufweisen. (13) Auch genetische Faktoren scheinen nach aktueller Datenlage sowohl in der Entstehung als auch in der Progression der RMR eine tragende Rolle zu spielen, was auch von der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie in ihrer Leitlinie zur Rotatorenmanschettenruptur aufgenommen wurde.

1.3.3 Epidemiologie

Symptomatische Rotatorenmanschettenrupturen:

Die Prävalenz von symptomatischen RMR steigt signifikant mit zunehmendem Alter an: (14)

- Allgemeine Prävalenz: 20 – 35%
- 3. Lebensjahrzehnt: 2,5 %
- 4. Lebensjahrzehnt: 6 %
- 5. Lebensjahrzehnt: 13 %
- 6. Lebensjahrzehnt: 26 %
- 7. Lebensjahrzehnt: 46 %
- 8. Lebensjahrzehnt: 50 %

Asymptomatische komplette Rupturen:

- Allgemeine Prävalenz: 16 –23%
- 5. Lebensjahrzehnt: 13%
- 6. Lebensjahrzehnt: 20%
- 7. Lebensjahrzehnt: 31%
- 8. Lebensjahrzehnt: 51% (17,19,38,39)

1.4 Cuff-tear Arthropathie (CTA)

1.4.1 Definition

Die Cuff-tear Arthropathie, kurz CTA, gehört zu den sekundären Formen der Omarthrose und stellt einen wesentlichen Teil der Indikationen zur Implantation einer Inversen Schulterprothese dar.

Die ersten glenohumeralen Arthrosen, die aufgrund einer Rotatorenmanschettenruptur entstanden sind, wurden bereits 1850 von Adams und Smith beschrieben. (18)

Neer et al. aber waren es, die zum ersten Mal den Begriff der „arthropathy of the rotator cuff“ (19) verwendeten und dabei die typische Kombination der CTA beschrieben:

Rotatorenmanschettenruptur, Migration des Humeruskopfes nach oben, der dadurch entstehenden Femoralisation des Humerus und der Acetabularisierung des Acromions, Erosion des Glenoids und in manchen Fällen sogar ein Kollaps des Humeruskopfes. (5) Halverson et al. (21) beschrieben 1981 ein ähnliches Krankheitsbild, die sogenannte

„Milwaukee shoulder“, mit dem Unterschied, dass hier das Vorliegen von Hydroxylapatit-Kristallen in der Art. humeri genannt wurden. Neer war der Meinung, dass es sich um dasselbe Krankheitsbild wie die CTA handle. (22)

Patientinnen und Patienten leiden gewöhnlicher Weise an chronischen, progredient zunehmenden Schmerzen, die besonders nachts und bei Bewegung des Gelenks auftreten. Funktionell zeigt sich die Schulter zumeist besonders in der Elevation eingeschränkt, sowie aber auch in der Außenrotation. Diese Symptome, zusammen mit der oft auftretenden Schwellung der Schulter, resultieren in einer stark eingeschränkten aktiven und passiven Beweglichkeit des Schultergelenks. (18,19,22–25)

Eine typische Erscheinung für das Bild einer CTA kann auch das sogenannte „fluid sign“ darstellen, welches aufgrund von Austritt der Synovialflüssigkeit aus der Art. humeri in den Subacromialraum auftritt. In schweren Fällen kann dieses Zustandsbild bis zu einer Pseudoparalyse der Schulter führen. (22)

1.4.2 Ätiopathogenese

Wichtig für das Verständnis und die richtige Einteilung der CTA ist, dass sie aus einer chronischen Rotatorenmanschettenruptur entsteht, unabhängig davon, ob die Ursache degenerativer oder traumatischer Natur ist. Laut Neer et al. (19) entwickeln nur etwa 4% aller Patientinnen und Patienten mit kompletten Rotatorenmanschettenrupturen eine CTA. Somit muss es noch weitere Ursachen für die Entwicklung dieser geben.

Wie bereits unter Punkt 1.1.3 beschrieben, erfüllt die Rotatorenmanschette eine dynamische stabilisierende Funktion in der Art. humeri und hält den Humeruskopf in Position am Glenoid. Bei Teil- oder Komplettrupturen in dieser Manschette kann das Gleichgewicht aus dem Lot geraten und der Humeruskopf aus der Pfanne wandern. Im Fall der CTA verschiebt sich dieses typischerweise nach oben und vorne (superiore, anteriore Migration). Die ersten Beschreibungen der Pathogenese einer CTA beschränkten sich auf biologische und vor allem mechanische Faktoren. So wurde auch von Neer et al. (19) postuliert, dass für die Entstehung der CTA aus einer chronischen Rotatorenmanschettenruptur ein Zusammenspiel aus biologischen, nutritiven und mechanischen Ursachen verantwortlich sei. Aus biologischer Sicht kommt es durch den Verlust des umschlossenen Gelenkraums zum Austritt und einer Verminderung von Synovialflüssigkeit zwischen den Gelenkflächen, daraus resultierend einer beeinträchtigten Nährstoffversorgung, einem veränderten intraartikulären Druck und durch die Inaktivität zu einer lokalen Osteoporose am Humeruskopf, wodurch dieser auch

kollabieren kann. (19,22) Aus mechanischer Sicht spielt laut Neer vor allem die gestörte Funktion der rupturierten Rotatorenmanschette eine große Rolle, die den Humeruskopf normalerweise an das Glenoid presst und in alle Richtungen stabilisiert. Dieser wandert durch die fehlende Stabilisierung nach superior und anterior und kann somit Verletzungen und abnormale Erosionen an sich selbst, den Gelenksknorpeln der Art. humeri, dem Glenoid, Acromion, Coracoid und Acromioclaviculargelenk verursachen. (5,8)

Die Theorie der „Milwaukee shoulder“ von Halverson et al. sieht, wie bereits beschrieben, als biologische Komponente Hydroxylapatit-Kristalle als wichtige Ursache. (21) Diese liegen besonders in Schultergelenken mit massiven Rotatorenmanschettenrupturen vermehrt vor und werden anschließend in der Synovia phagozytiert, wodurch es zur Freisetzung von Kollagenasen und Proteasen kommt, die in weiterer Folge den Gelenkknorpel und das umliegende Weichteilgewebe angreifen und destruieren können. Dieser Weichteilabbau aktiviert wiederum eine verstärkte Bildung von Hydroxylapatit-Kristallen, wodurch es zu weiteren Abbauvorgängen kommt. (21,22,26,27)

Seither wurden diese Theorien in verschiedenen Publikationen aufgefasst, kombiniert und bestätigt, so auch von Collins und Harryman. (28) Sie beschrieben, dass ausgehend von einer massiven Rotatorenmanschettenruptur eine glenohumerale Instabilität entsteht, mit all ihren mechanischen Folgen und Erosionen. Der Humeruskopf migriert so nach proximal und anterior, wodurch sich der acromiohumerale Abstand verringert und die knöchernen Strukturen aneinander schleifen können. Durch diese Erosionen bilden sich laut ihnen Kristalle und Abrieb der Gelenkflächen im Gelenkraum, wodurch die Abnutzung beschleunigt wird. Auch sie sind überzeugt, dass durch die Instabilität eine Freisetzung von verschiedenen biochemischen Stoffen, welche zur Destruktion der Gelenkstrukturen beitragen, in der Synovialis angeregt wird. (28)

Während dieses Prozesses kommt es auch innerhalb der Muskeln zu Veränderungen, die in verschiedenen Studien evaluiert wurden. So haben Gibbons et al. (29) und Silldorff et al. (30) während Operationen an der Rotatorenmanschette Biopsien entnommen und diese untersucht. In Muskeln mit erhöhter fettiger Infiltration, laut Goutallier Stufe 2-4, zeigte sich die Extrazellulärmatrix stark vermehrt und passend dazu eine Verminderung der biomechanisch wirksamen Anteile. Außerdem findet sich laut Gibbons et al. in degenerativen Muskeln ein deutlicher Anstieg an proinflammatorischen Zellen, was möglicherweise ein wichtiger Faktor für das Fortschreiten der chronischen Degeneration der Muskeln ist. (29,30)

1.4.3 Epidemiologie

Wie oben bereits beschrieben, geht man davon aus, dass die CTA aus chronischen Rotatorenmanschettenrupturen entsteht, weshalb sich auch die Epidemiologie überschneidet. Aus allen gefundenen Reviews und Studien geht klar hervor, dass die Prävalenz für Rotatorenmanschettenrupturen mit steigendem Alter zunimmt. Sher et al. (15) haben dazu 96 asymptomatische Patientinnen und Patienten im MRT auf Rotatorenmanschettenrupturen untersucht. In der Gruppe unter 40 Jahren wiesen in etwa 4% eine Teil- oder Kompletttraktur einer oder mehrerer Rotatorenmanschettenmuskeln auf. In einem Alter von über 60 Jahren konnte man bereits bei 54% der Patientinnen und Patienten Rupturen nachweisen. (15,31)

Tempelhof et al. (16) führten eine klinische Studie durch, in der 411 freiwillige asymptomatische Patientinnen und Patienten klinisch und sonographisch auf Rotatorenmanschettenrupturen untersucht wurden. Unter den Patientinnen und Patienten im Alter von 50-59 Jahren wiesen 13% Rupturen auf. In der Gruppe zwischen 60 und 69 Jahren bereits 20%, zwischen 70 und 79 Jahren 31% und unter den Probandinnen und Probanden im Alter von 80 bis 89 Jahren wiesen bereits 51% eine oder mehrere Rupturen auf. (16)

Eine höhere Prävalenz der CTA scheint unter der weiblichen Bevölkerung zu herrschen, dies wird auch durch unsere Daten bestätigt. So besteht unser Kollektiv aus 550 Patientinnen und Patienten, die sich auf 395 Frauen und 155 Männer aufteilen.

1.4.4 Therapieansätze

Ein Schlüsselement in der erfolgreichen Behandlung der CTA ist die Behebung der Glenohumeralen Instabilität, weswegen sich für dieses Krankheitsbild auch die konventionelle anatomische Schulterprothese als ungeeignet herausstellt. Im Falle einer anatomischen Prothese, würde die verbleibende Instabilität zu einer zunehmenden Lockerung der Glenoidkomponente führen, was bereits von Franklin et al. (32) 1988 als „Rocking-Horse“-Effekt beschrieben wurde. (3)

Die CTA stellt derzeit die Hauptindikation für inverse Schulterprothesen dar, welche laut jetzigem Wissensstand auch die einzige Therapie ist, die auf Dauer konstant zufriedenstellende Resultate, bezogen auf Schmerz und Funktionsumfang, erbringt. (3)

Schwyzer et al. (3) veröffentlichten eine Zusammenfassung über das Outcome der inversen Schulterprothese bei der Indikation einer CTA. Diese zeigt, hier adaptiert in Tabelle 3, eine deutliche Besserung im Bewegungsumfang und Constant Score:

Autoren	Pathologie	Anzahl Patienten	Follow-up (Jahre)	Aktive Elevation Prä-/postop. (°)	Constant Score prä-/postop. (Punkte)	Komplikationsrate (%)
Sirveaux et al. 2004	CTA	80	3,7	73/138	23/64	–
Levigne et al. 2008	CTA, Massenruptur, Trauma	337	3,9	70/125	23/58	–
Favard et al. 2011	CTA, Massenruptur	506	> 5	69/129	24/62	–
Flury et al. 2011	Revision	20	3,8	43/97	17/56	38
Sadoghi et al. 2011	CTA nach RMR	29	3,5	36/127	33/60	14

Tabelle 3: Outcome der inversen Schulterprothese bei CTA (In Anlehnung an Schwyzer et al.) (3)

Auch wenn in manchen Definitionen der CTA von einer massiven irreparablen Rotatorenmanschettenruptur gesprochen wird, gab und gibt es sehr viele Versuche diese operativ zu versorgen. Abhängig von der Beschaffenheit der Muskulatur, in Bezug auf Atrophie und fettige Infiltration, zeigt diese Methode sehr unterschiedliche Erfolge. So beläuft sich die Rate der Reruptur einer „massive cuff repair“ in manchen Studien auf bis zu 94% innerhalb von zwei Jahren (33), andere hingegen sprechen von weniger als 25% Rerupturen. Die meisten Rerupturen geschehen in den ersten 3 Monaten nach Operation und sind assoziiert mit präoperativ erhöhter fettiger Infiltration, weiter Retraktion der rupturierten Sehnenenden, hohem Alter und weit ausgedehnten Rupturen. (4) Rugg et al. (4) haben verschiedene Studien gesammelt und die Raten für Rerupturen verglichen, wie in folgender Tabelle 4 zu sehen ist:

Studie	Fallzahl (N.)	Follow-Up (Monate)	Mittlers Alter (Jahre)	Technik	Intakt (%)
Jung, 2017 (34)	64	30	78	Offen	74
Denard, 2012 (35)	56	14	63	Arthroskopisch	NA
Chung, 2013 (36)	108	32	64	Arthroskopisch	60
Park, 2013 (37)	36	38	62	Arthroskopisch	75
Kim, 2012 (38)	66	26	62	Arthroskopisch	58
Yamaguchi, 2011 (39)	29	43	66	Offen	92
Hanusch, 2009 (40)	24	27	60	Minimal-Invasiv/ offen	83

Burkhart, 2007 (41)	22	39	67	Arthroskopisch	NA
--------------------------------	----	----	----	----------------	----

Tabelle 4: Rerupturraten versch. Studien (in Anlehnung an Rugg et al., 2018)(4)

Zusammengefasst lässt sich der Schluss ziehen, wie bereits von Schwyzer et al. (3) beschrieben, dass die inverse Schulterprothese als einzige Therapie konstant zufriedenstellende Ergebnisse zeigt.

1.5 Diagnostik der Schulter

1.5.1 Anamnese

Anhand der Anamnese können bereits wichtige Faktoren eruiert werden, die auf eine RMR hinweisen, wie vorhergegangene Traumata, der Unfallmechanismus, Patientenalter, Schmerzen, Bewegungseinschränkungen, Kraftminderung, Vorschäden, häufige Überkopfarbeiten oder bestimmte Sportarten, wie Kraftsport oder Überkopfsport. Laut Dahmer (42) kann mittels einer symptomorientierte Anamnese bereits in 50% der Fälle das korrekte Krankheitsbild diagnostiziert werden. Außerdem führt eine ausführliche Anamnese zu einer gesteigerten Compliance, die sich als unabdingbar für eine schnelle Rehabilitation darstellt. (43)

Das Patientenalter hat, wie die ätiologischen Faktoren und die epidemiologische Verteilung zeigt einen großen Einfluss auf die Prävalenz von Cuff-tear Arthropathien oder RMR, weshalb dies Bestandteil jeder Anamnese sein sollte. (44)

Ebenfalls erfragt man die Hauptbeschwerden der Patientin/des Patienten und hinterfragt den Beschwerdebeginn, Verlauf und die aktuelle Symptomatik. Auch auf die Schmerzsymptomatik sollte gezielt eingegangen werden um Lokalisation, Ausstrahlung, Intensität und den Zeitpunkt des Schmerzmaximums zu eruieren. So kann ein Nachtschmerz hinweisend für Probleme im Subacromialraum oder der Rotatorenmanschette sein. Bewegungsschmerzen und die Schmerzlokalisierung lassen eine genauere Einschätzung über die Problematik zu, so können ausstrahlende Schmerzen auch zervikalem Ursprung sein. (44)

Zur Beurteilung der Schmerzintensität hat sich neben der VAS hier der Constant-Score bewährt, der erlaubt die Schulterschmerzen objektiv und subjektiv zu beurteilen. Hierfür werden die Beschwerden auf einer Skala von 1-15 eingestuft, wobei „1“ den stärksten Schmerzen und „15“ quasi keinen Schmerzen entspricht. (45)

Um die Ursachen der aktuellen Problematik abzuklären, sind neben der Vorerkrankungen, um zum Beispiel ein rheumatisches Geschehen zu erkennen, auch die Abklärung eines möglichen Traumas oder wiederholten Bewegungsabläufen in der Vergangenheit zu erheben. Neben auffälligeren Traumata wie bei einem Sturz, können auch repetitive Mikrotraumata durch Überkopfarbeiten oder manche Sportarten entstehen. Auch können Fehlhaltungen und Fehlbelastungen beim Arbeiten oder Sport zu Problemen in der Schulter führen. (44)

Die Frage nach bisher durchgeführten Maßnahmen kann Aufschluss darüber erbringen, ob konservative Behandlungsmethoden bereits ausgereizt wurden und im Falle von bereits durchgeführten Injektionen kann je nach Häufigkeit von einer stärkeren Degeneration der Sehnen ausgegangen werden.

1.5.2 Klinische Untersuchung

Inspektorisch kann oft recht schnell eine Bewegungseinschränkung auffallen, sowie etwaige Asymmetrien in der Schulterkontur und der Schulterstand. Bei chronischen Rupturen der Supraspinatus- oder Infraspinatussehne kann eine Atrophie in der jeweiligen Fossa sichtbar werden. (42,44)

Palpatorisch bestehen oft Druckschmerzen an den Ansatzstellen der Sehnen am Tuberculum majus oder im Falle einer Subscapularisruptur am Tuberculum minus. Eine grobe Einschätzung des Bewegungsumfangs kann mittels des Schürzengriffs, zur Beurteilung der Innenrotation und des Nackengriffs, zur Beurteilung der Außenrotation und Abduktion, erfolgen. Wichtig in der Funktionsprüfung ist die Unterscheidung der glenohumeralen Beweglichkeit von der Gesamtbeweglichkeit der Schulter. Deswegen sollte hierbei auch der Codmann-Griff angewandt werden, um den isolierten Bewegungsumfang im Glenohumeralgelenk zu prüfen und eine Überlagerung durch Elevationsbewegungen zu vermeiden. Eine genauere Bewegungsanalyse kann nach der Neutral-Null-Methode erfolgen und sollte immer im Seitenvergleich aktiv und passiv durchgeführt werden. Weiter kommen spezifische Tests zur Beurteilung der einzelnen Sehnen zum Einsatz. (44)

Die Sehne des M. supraspinatus kann mittels Jobe Test, oder 0° Abduktionstest untersucht werden. Für eine Ruptur der Sehne des M. infraspinatus sprechen das Außenrotations-Lag-Zeichen oder das Hornblower-Zeichen. Um die Sehne des M. subscapularis einzuschätzen, können der Belly-Press-, der Bear-Hug- sowie der Lift-Off-Test genutzt werden. Ein positives Innenrotations-Lag-Zeichen hingegen würde sich bei einer Ruptur des M. subscapularis zeigen. (38,42)

1.5.3 Bildgebende Diagnostik

Als Basis in der bildgebenden Diagnostik sollte eine Röntgenaufnahme im Stehen, bei entspanntem Arm in 0° Rotation unter anteroposteriorem Strahlengang erfolgen. (14) Hier kann besonders der acromiohumerale Abstand oder eine Migration des Humeruskopfes auf Läsionen der Rotatorenmanschette hinweisen. Eine zusätzliche Outlet Aufnahme hilft in der Beurteilung des Acromions und Subacromialraumes. (48) Zur weiteren Beurteilung können mithilfe einer Sonographie die Sehnen auf Veränderungen untersucht werden, im Falle einer Ruptur kann hier auch die Retraktion der Sehne beschrieben werden. (14) Im MRT kann eine genaue Beurteilung der Rupturen, Rupturformen, Retraktion, der fettigen Infiltration und der Atrophie des Muskels erfolgen, die besonders zur OP Planung herangezogen wird. Alternativ können eine Computertomographie, eine CT- und eine MR-Arthrographie durchgeführt werden, die eine genauere Diagnostik von Partialrupturen (MR-Arthrographie) und der knöchernen Strukturen (CT) erlauben. (14) Näheres zur radiologischen Beurteilung und den Klassifikationen der CTA und RMR ist unter Punkt 1.6 zu finden.

1.6 Radiologische Klassifikation

1.6.1 Critical-Shoulder-Angle (CSA)

Wie wir bereits wissen existieren verschiedene extrinsische Faktoren, wie der acromiohumerale Abstand und die Morphologie des Acromions, welche relevante Ursachen der RMR darstellen. (49) Doch der aktuellen Literatur zufolge zeigen auch andere morphologische Veränderungen der Scapula und des Acromions einen Zusammenhang mit der Entstehung von RMR und infolge der CTA. Zum Beispiel wären dies die laterale Ausdehnung des Acromions, sowie die Inklination des Glenoids nach oben. (50) Der Critical-Shoulder-Angle (CSA) fasst diese beiden Veränderungen zusammen und beschreibt den Winkel zwischen der Glenoidoberfläche und einer Geraden, die vom inferioren Rand des Glenoids zur lateralen Spitze des Acromions gezogen wird. (51) Ausgewertet wird dieser Winkel anhand von Röntgenaufnahmen im anteroposterioren Strahlengang.

Gerber et al. (52) zeigen in ihrer Studie, dass durch veränderte CSA deutliche Unterschiede in den Kraftvektoren des Glenohumeralgelenks entstehen. Durch ein Acromion das weiter nach lateral reicht, rückt auch der Ursprung des M. deltoideus nach lateral, wodurch sich

der Anpressdruck des Humerus an das Glenoid verringert. Bei einer Erhöhung des CSA über 38° muss der M. supraspinatus 35% mehr Kraft aufbringen, um die gleiche Stabilität zu erreichen, die in einer Schulter mit normaler Anatomie herrscht. (52)

Moor et al. fanden in einer Studie, dass die Probandinnen und Probanden, die weder Arthrosezeichen noch RMR hatten, einen CSA zwischen 30° und 35° aufwiesen. (51)

Werte über 35° wurden somit mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für RMR in Verbindung gebracht, Winkel unter 30° hingegen mit höherer Prävalenz für Arthrose im Glenohumeralgelenk. (53)

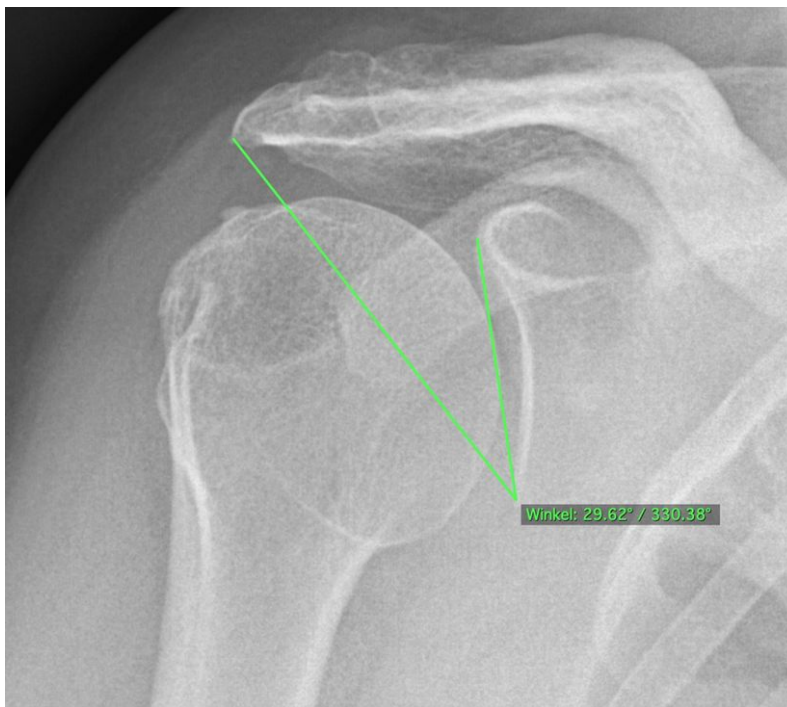


Abbildung 1.6.1: Critical-Shoulder-Angle

1.6.2 Acromion-Index (AI)

Der Acromion-Index (siehe Abbildung 1.6.2) wird definiert als der Abstand des Glenoids zum lateralen Acromionrand, dividiert durch die Distanz zwischen Glenoid und lateraler Rand des Humeruskopfes. (50)

Nyffeler et al. haben in ihrer Studie bewiesen, dass ein höherer AI mit RMR in Verbindung steht. Sie untersuchten die Schultern in drei Gruppen, bestehend aus einer Gruppe mit bestehenden RMR, einer Gruppe mit Arthrosezeichen ohne RMR und einer asymptomatischen Gruppe ohne RMR. Unter diesem Kollektiv fanden sie AI Werte zwischen 0,52 und 0,79, wobei die höheren Werte eher mit einer RMR einhergingen und niedrige Werte eher mit der Arthrose des Glenohumeralgelenks. (50)

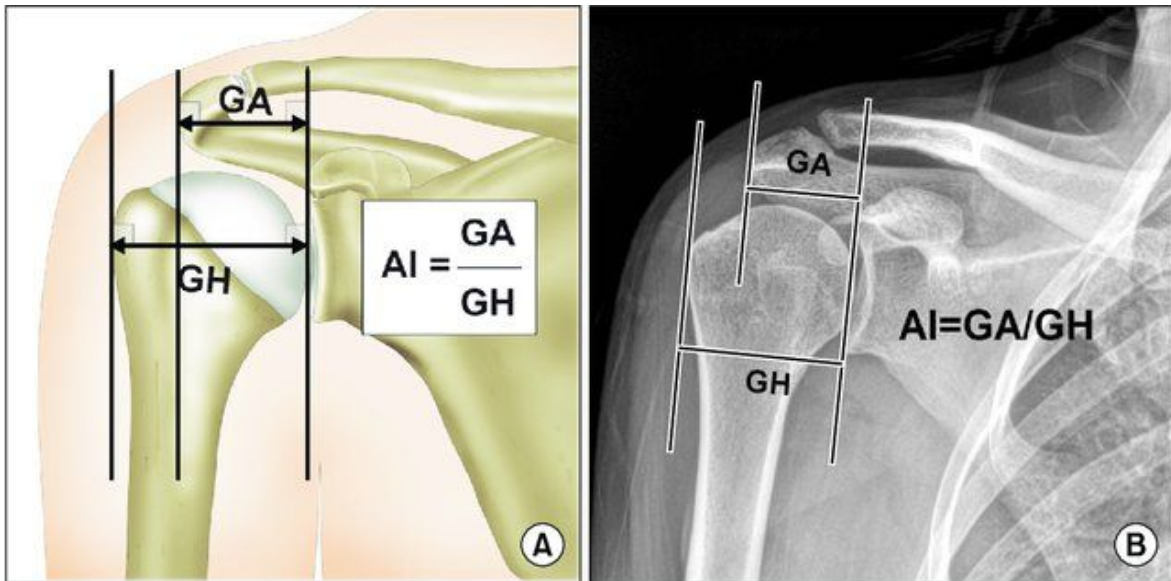


Abbildung 1.6.2: Acromion-Index (AI); Quelle: Kum et al. (1)

1.6.3 Hamada

Die Hamada Klassifikation basiert zu großen Teilen auf dem Acromiohumeralen Abstand (AHA), der bereits zuvor als sensitiver Marker für RMR eingesetzt wurde. (54,55)

Zuvor galten oft noch 6-7mm AHA als Grenze, in der Hamada Klassifikation wurde aber die Grenze zwischen 5 und 6 mm gelegt.(56) Unterteilt wurde die Klassifikation in 5 Grade, die später in einer überarbeiteten Version durch Walch et al. um die Grade 4a und 4b ergänzt wurden. (57) Grad 1 kennzeichnet sich durch einen erhaltenen AHA von über 6mm, Grad 2 durch einen Abstand unter 5mm. Kennzeichen von Grad 3 ist ein Abstand unter 5mm mit zusätzlicher konkaver Deformität der Acromionunterfläche beziehungsweise einer Acetabularisierung des Acromions. Grad 4 weist zusätzlich zu den Grad 3 Veränderungen eine Verschmälerung des glenohumeralen Gelenkspaltes auf. Grad 5 wird durch das zusätzliche Kollabieren des Humeruskopfes charakterisiert. (56) Grad 4a und 4b unterscheiden bei vorliegender Gelenkspaltverschmälerung im Glenohumeralgelenk zwischen den Formen ohne Acetabularisierung (4a) und mit Acetabularisierung (4b). (58)

Intra- und Interobserver Reliabilität spielt auch in der Klassifikation nach Hamada eine große Rolle. Hierzu untersuchten Kappe et al. sowie auch Iannotti et al. beide Faktoren unter Schulterspezialisten und Orthopäden. Hierbei fanden sich Intraobserver-Werte zwischen 0,49 und 1, sowie Interobserver-Werte zwischen 0,407 und 0,429. Die Hamada

Klassifikation wurde aber als suffizient für die klinische und wissenschaftliche Praxis gewertet. (56,59,60)

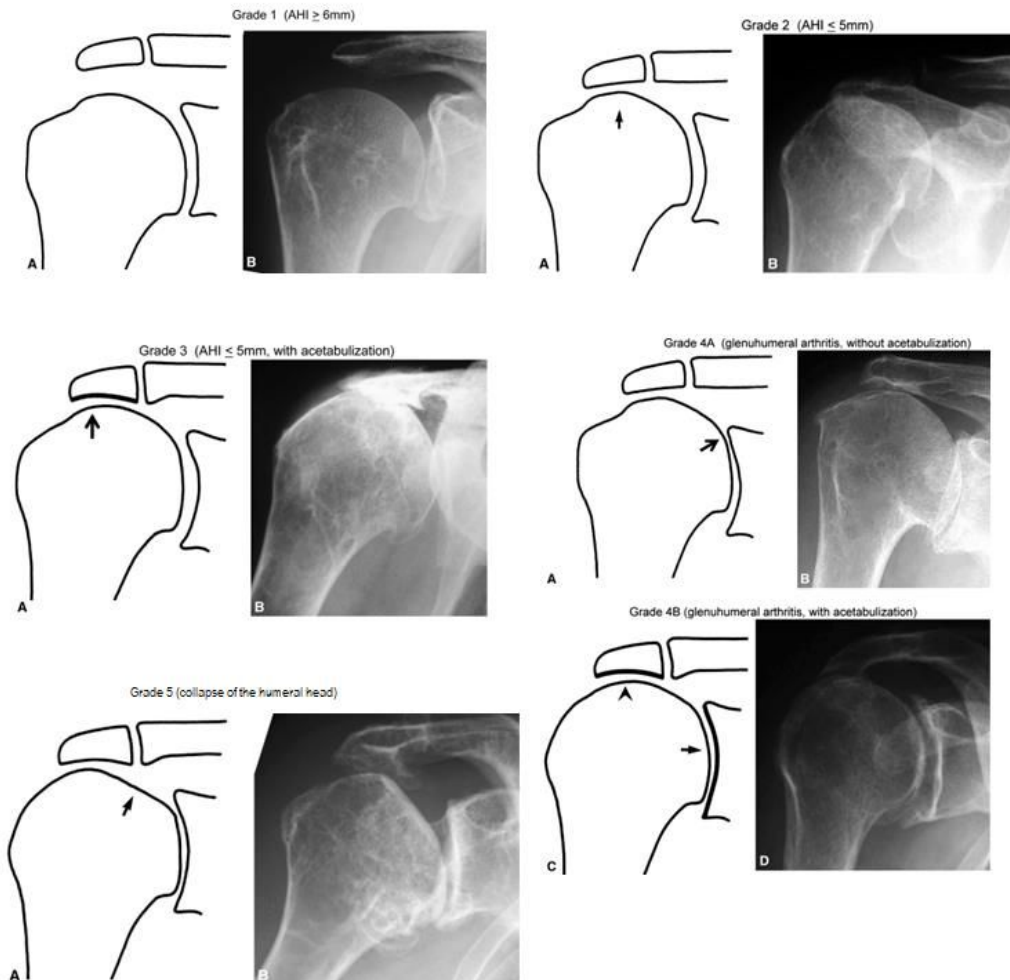


Abb. 1.6.3: Hamada Klassifikation; Quelle: Frank and Levine (58)

1.6.4 Favard

Die Erosionen am Glenoid können Aufschluss über die Kraftvektoren im Glenohumeralgelenk und die Migration des Humeruskopfes geben. Im Falle einer CTA kommt es häufig zu Inkongruenzen im Glenohumeralgelenk und infolge zu Erosionen am Glenoid. In der Einteilung nach Favard konzentriert man sich auf Erosionen, die in der Frontalebene erscheinen, wodurch man das anteroposteriore Röntgenbild oder auch Tomographien zur Klassifikation heranziehen kann. Eingeteilt werden die Erosionen, bei vorliegender CTA und superiorer Migration, in 5 Typen. E0 beschreibt das Ausbleiben von Glenoiderosionen, wohingegen E1 eine mittige Erosion mit konzentrischem Substanzverlust bezeichnet (siehe Abb. 1.6.4). Kommt es isoliert zu einer Erosion am superioren Anteil des Glenoids spricht man vom Typ E2. Falls sich die Erosion vom

superioren Anteil ausdehnt und bis in den inferioren Anteil reicht spricht man von einem Typ E3. E4 hingegen wurde erst später in der Klassifikation ergänzt, da man vermehrt isoliert inferiore Erosionen am Glenoid gefunden hat. (61)

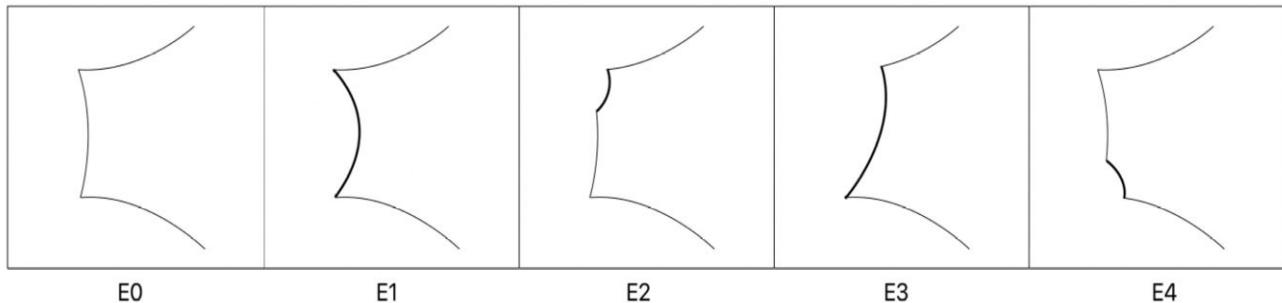


Abbildung 1.6.4: Favard Klassifikation

1.6.5 Walch

Eine weitere Methode zur Klassifikation der Glenoidmorphologie bietet die Version von Walch et al. aus 1999 (62), die von Bercik et al. 2016 (63) überarbeitet und erweitert wurde. Beurteilt werden hier die Version der Scapula, beziehungsweise des Glenoids, dessen Erosion und die Subluxationen des Humeruskopfes. Ursprünglich geschah die Auswertung anhand von 2D CT-Bildern im Axialschnitt, inzwischen hat sich aber die Auswertung anhand von 3D Aufnahmen als effizienter herausgestellt. 3D Aufnahmen bieten die Möglichkeit die Scapula in korrigiertem Axialschnitt darzustellen und erlauben bessere Beurteilbarkeit der Version und Subluxation. (63)

Eingeteilt wird nach der modifizierten Walch-Klassifikation in insgesamt 7 Glenoidformen, statt der ursprünglichen 5 (siehe Abb. 1.6.5). A1 stellt sich durch einen zentrierten Humeruskopf mit minimalen Erosionen dar. Ein A2-Glenoid zeichnet sich durch einen zentrierten Humeruskopf, jedoch mit deutlicher zentraler Erosion aus. B1 beschreibt eine posteriore Subluxation ohne Substanzverlust am Knochen. Eine posteriore Subluxation mit Substanzverlust am Glenoid wird als B2 eingestuft, hier entsteht durch die posteriore Erosion auch eine Bikonkavität des Glenoids. Als B3 wird das Glenoid klassifiziert, wenn eine Monokonkavität mit einer Retroversion von über 15° oder eine posteriore Subluxation von über 70% vorliegt. Ein dysplastisches Glenoid mit einer Retroversion von mindestens 25° wird unabhängig von der Erosion als C-Glenoid eingestuft. Als Typ-D-Glenoid werden alle Glenoidformen mit Anteversion bezeichnet, sowie alle anterioren Subluxationen. (62,63)

In der Originalklassifikation nach Walch existierten Typ-B3 und Typ-D noch nicht, diese wurden aufgrund der klinischen Erfahrung und dem Auftreten bis dato noch nicht beschriebener Glenoidformen von Bercik et al. ergänzt. (63)

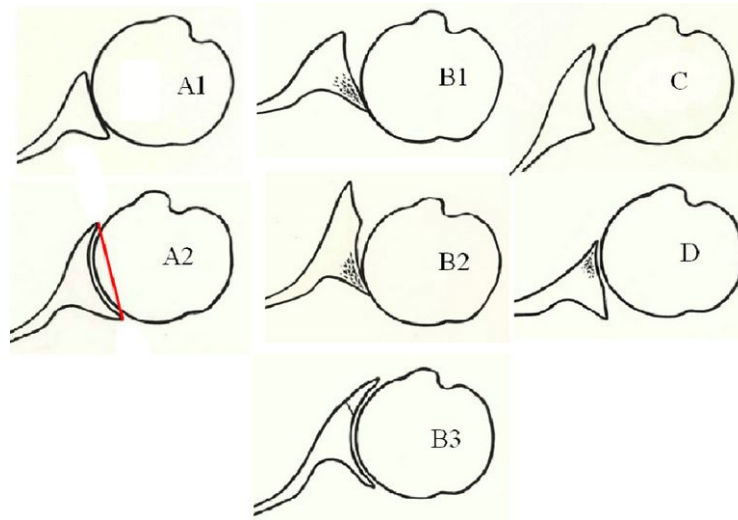


Abbildung 1.6.5: Modifizierte Walch-Klassifikation; Quelle: Bercik et al. (62)

1.6.6 Patte

Die Patte Klassifikation beschreibt das Ausmaß der Retraktion nach einer Kompletttraktur des M. supraspinatus. Die Retraktion entsteht durch Verkürzung des Muskels und der Sehnenanteile nach vollständiger Ruptur. Eingeteilt wird die Retraktion in drei Stufen, bezogen auf die Lage des proximalen Sehnenstumpfes in der Frontalebene. In Stufe 1 liegt der Sehnenstumpf noch nah an der Insertionsstelle. Stufe 2 bedeutet, dass der Sehnenstumpf auf Höhe des Humeruskopfes liegt und Stufe 3 auf Höhe des Glenoids oder weiter proximal. (64)

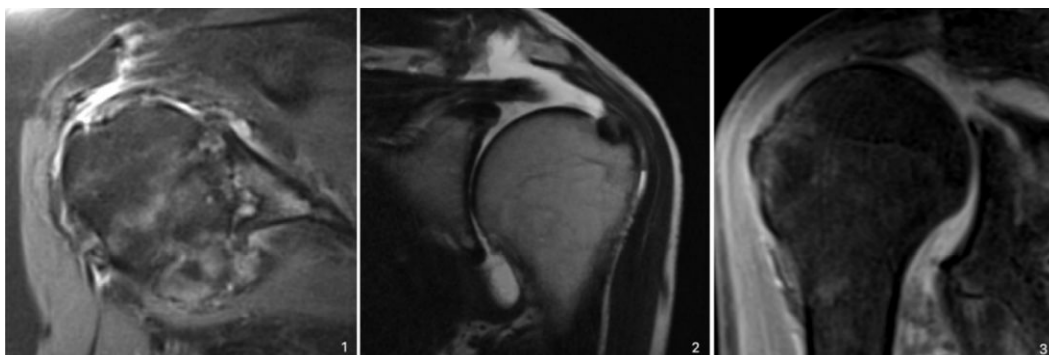


Abbildung 1.6.6: Patte Klassifikation

1.6.7 Habermeyer

In der Klassifikation nach Habermeyer geht es um die Lokalisation von Rotatorenmanschettenrupturen in der Sagittalebene. Eingeteilt wird in die drei Sektoren A, B und C. Sektor A ist im anterioren Bereich lokalisiert und umfasst die Subscapularissehne gemeinsam mit dem Rotatorenintervall und der langen Bizepssehne. Der Sektor B umfasst zentral-superiore Läsionen mit der Supraspinatussehne. Sektor C liegt im posterioren Bereich und besteht aus den Sehnen des Infraspinatus und Teres minor. Sektor B und Sektor C werden durch die verlängerte Linie der Spina scapulae voneinander getrennt. Sektor A und B hingegen trennen sich am oberen Rand des Rotatorenintervalls. (65)

1.6.8 Goutallier

Bei Vorliegen einer tendinösen Desinsertion kann es zur Atrophie, fettigen Infiltration, Elastizitätsverlust und zur Fibrose kommen. (2) Im Hasen Modell untersuchten Björkenheim et al. die fettige Infiltration nach Durchtrennung der Supraspinatussehne und fanden nach 4 Wochen in der histologischen Untersuchung deutliche Fetteinlagerungen im Muskelbauch.(66) Im darauffolgenden Jahr berichteten Goutallier et al., dass sich unter den CT-Bildern von Patientinnen und Patienten, die sich einer Rotatorenmanschettenreparatur unterzogen, höhere Fettanteile im Muskelbauch finden ließen, als unter gesunden Schultern. (67)

So beschäftigte sich Goutallier (68) mit seiner Arbeitsgruppe 1994 mit der Klassifikation der fettigen Infiltration im CT-Schnittbild. Die fettige Infiltration bezeichnet den Fettanteil innerhalb des Muskelquerschnitts. Nach Ruptur und Atrophie der Rotatorenmanschettenmuskeln kommt es zur Verkürzung der Faserlänge und dem extrazellulären Einbau von Fettgewebe, weshalb auch die Rekonstruktion bei fortgeschrittener Atrophie nicht effizient möglich ist. (2)

Untersucht wird die Infiltration des Muskelbauches ursprünglich in CT-Schnittbildern in der Sagittalebene. Eingeteilt wird diese Infiltration mit Fett in fünf Grade, von 0 bis 4, wobei 0 dem Normalzustand entspricht, an dem keine fettige Infiltration vorliegt. Grad 1 bedeutet das Vorhandensein von Fettstreifen, auch genannt „fatty streaks“ innerhalb des Muskels. Im Grad 2 besteht eine deutliche fettige Infiltration, wobei der Querschnitt noch mehr Muskel als Fett ausmacht. Bei Grad 3 teilen sich Fett und Muskulatur den Querschnitt zu je 50%. Wenn der Querschnitt zu mehr als 50% Fett besteht, spricht man von Grad 4 der fettigen Infiltration nach Goutallier. (2)

Später wurde die Klassifikation auch öfters an MRT-Bildern angewandt, beziehungsweise von Thomazeau an das MRT angepasst. (siehe Kapitel 1.6.9) Fuchs et al. beschreiben sogar eine höhere Interobserver-Übereinstimmung in der Klassifikation mittels MRT gegenüber dem klassischen CT. (67)

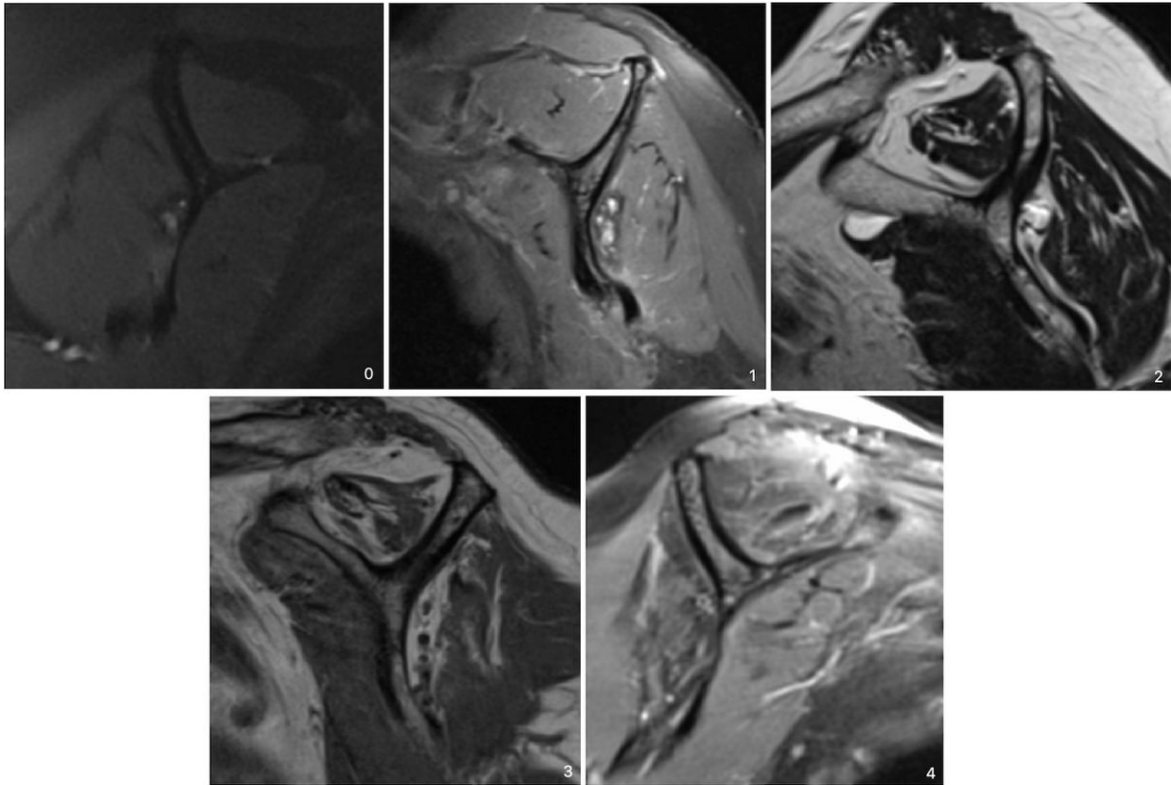


Abbildung 1.6.8: Goutallier Klassifikation

1.6.9 Thomazeau

Thomazeau et al. beschäftigten sich vermehrt mit MRT Bildern, erachteten diese als zuverlässiger und entwickelten eine Klassifikation um die Muskelatrophie (unabhängig von der fettigen Infiltration) zu beurteilen. (2)

In der Klassifikation nach Thomazeau geht es im Speziellen um den Querschnitt des M. supraspinatus im Sagittalschnitt der MRT. Genauer wird hier das Verhältnis zwischen Muskel und der Fossa supraspinata gemessen, beziehungsweise errechnet. Dazu misst man die Fläche des Muskels im Sagittalschnitt und dividiert den Wert durch die Fläche der Fossa. Eingeteilt wird anschließend in 3 Grade: Grad 1 kann einen normalen Muskel oder mit nur geringer Atrophie beschreiben mit einem Verhältnis von Muskel/Fossa zwischen 1 und 0,6. Grad 2 bedeutet mäßige Atrophie mit einem Verhältnis Muskel/Fossa zwischen 0,6 und 0,4. Grad 3 stellt die schwerste Form der Atrophie dar mit einem Verhältnis Muskel/Fossa unter 0,4. (2)

1.7 Endoprothetik

Indikationen zum prothetischen Gelenksersatz stellen neben der CTA, auch die gewöhnliche Omarthrose ohne RMR, die avaskuläre Nekrose, rheumatoide Arthritis, Instabilitätsarthrosen, sekundäre Osteoarthrosen, postinfektiöse Arthropathien und traumatische Arthropathien dar. So vielfältig wie die Indikationen, zeigt sich auch die Endoprothetik selbst, wo man grob zwischen Total- und Hemiprothesen unterscheidet. Unter den Totalendoprothesen differenziert man weiter die inverse von der anatomischen Schulterprothese. Unser Kollektiv besteht aus Patientinnen und Patienten, die eine inverse Schulterprothese erhalten haben, weswegen hier auch nur auf diese näher eingegangen wird.

1.7.1 Inverse Schulterprothese

1.7.1.1 Indikationen und Kontraindikationen

Als Hauptindikation zur Implantierung einer inversen Schulterprothese gilt allen voran die CTA. Radiologisch schwer abgrenzbar zeigt sich hier die Omarthrose mit sekundärer RMR als weitere Indikation, wobei hier bei erhaltener Zentrierung des Humeruskopfes auf eine anatomische Prothese zurückgegriffen werden kann. Außerdem wird die inverse Prothese ebenfalls bei Frakturen, posttraumatischen Zuständen, rheumatoider Arthritis sowie zur Revision bei fehlgeschlagener anatomischer Prothese eingesetzt. (3) Neben der beschriebenen Indikationen sollte die individuelle Indikation einer endoprothetischen Versorgung immer in Abhängigkeit der bisherigen Therapiemaßnahmen, dem persönlichen Leidensdruck, der zu erwartenden Verbesserung der Lebensqualität sowie den begleitenden Risikofaktoren gestellt werden. Darüber hinaus muss die Patientin/der Patient über die möglichen Risiken und Komplikationen, die über den Verlauf der Operation und der Nachbehandlung entstehen können, sowie über mögliche Alternativen aufgeklärt werden.

Da es sich um einen elektiven Eingriff handelt, der große Tragweite nach sich ziehen kann, sollte die Aufklärung auch sehr seltene Komplikationen enthalten und unter anderem folgende Punkte ansprechen: Verletzung des Armplexus, inklusive des N. axillaris und der axillären Gefäße, Infektionen, intraoperative Frakturen, Scapular Notching, postoperative Instabilität und Luxationen sowie Dislokationen der Prothesenkomponenten. Auch muss die erwartete Standzeit der Prothese und mögliche periprothetische Frakturen angesprochen werden. (3)

Aktuell geltende absolute Kontraindikation ist neben akuten Infektionen im Operationsgebiet auch die Parese des M. deltoideus, der im Falle einer Implantation einer inversen Prothese funktionstüchtig sein muss, da er für die Stabilität und Funktion dieser maßgebend ist. (3) Daneben gelten natürlich auch die allgemeinen Kontraindikationen aus internistischer und anästhesiologischer Sicht, da die Implantation einer inversen Prothese üblicherweise unter Vollnarkose durchgeführt wird.

Relative Kontraindikationen stellen alle Zustände dar, die eine sichere Implantation der Prothese verhindern, wie ausgeprägte knöcherne Defekte. In solchen unsicheren Fällen sollte immer genau abgewogen werden und notfalls eine anatomische Prothese bereitgelegt werden. (3)

Bei Patientinnen und Patienten unter 70 Jahren sollte die Indikation mit Zurückhaltung gestellt werden, da zum aktuellen Zeitpunkt noch keine ausreichenden Langzeiterkenntnisse über die Haltbarkeit der Prothesen vorliegen. (3)

1.7.1.2 Biomechanik

Wie der Name inverse Prothese schon verstehen lässt, wird bei diesem Verfahren, im Gegensatz zur anatomischen Prothese, die Anatomie des Schultergelenks umgekehrt. Aus Pfannenseite wird der Gelenkkopf und am Humerus wird die Pfannenkomponente implantiert. Dies bewirkt die Verschiebung des Rotationszentrums nach medial und dessen Fixierung, was eine Dezentrierung des Humeruskopfes und das „Rocking-Horse-Phänomen“ verhindern soll. Gleichzeitig wird dabei der Humerus distalisiert und somit der Hebelarm des M. deltoideus vergrößert, wodurch eine bessere Abduktionsfähigkeit entsteht. Einerseits verringert sich der Kraftaufwand für die Abduktion um bis zu 33%, andererseits hilft die gesteigerte Muskelvorspannung, durch Verlängerung des Armes, die Abduktionsbewegung aus der Ruheposition in Gang zu setzen und somit den M. supraspinatus in dieser Funktion zu ersetzen. (3)

Die Medialisierung des Drehzentrums führt aber auch zu einer passiven Bewegungseinschränkung im Glenohumeralgelenk, ausgelöst durch knöchernes Anschlagen des Humerus an der Scapula. Laut Middernacht et al. (69) und Walker et al. (70) kommt es allerdings kompensatorisch zu einer verstärkten Beweglichkeit scapulothorakal, wodurch die Bewegungseinschränkung zum Teil wieder ausgeglichen werden kann. Besonders relevant ist das knöcherne Anschlagen bei weit fortgeschrittenen Glenoiderosionen, Glenoiddysplasien, knöchernen Defekten am Glenoid oder einem hohen akromiohumeralen Index, weshalb hier in der präoperativen Planung immer auf die

verschiedenen Anschlagpositionen Rücksicht genommen werden muss. Auf Basis dieser Erkenntnisse kann durch verschiedene Maßnahmen intraoperativ die passive Beweglichkeit verbessert werden, sei dies durch eine Lateralisierung des Rotationszentrums, Varisierung oder Valgisierung des Inklinationwinkels oder die Wahl einer größeren oder kleineren Glenosphäre. (3)

Die Stabilität des Schultergelenks kann durch den Stabilitätsquotienten angegeben werden, der sich wie folgt berechnen lässt: Maximale Subluxationskraft durch die maximale Gelenkskompressionskraft. Ein höherer Quotient spricht für ein stabileres Gelenk, wobei mit einer Prothese weit höhere Werte erzielt werden können als physiologisch erreicht werden. Ein physiologisches Schultergelenk erzielt in etwa einen Quotienten von 0,5, eine anatomische Prothese 1,0 und eine inverse Prothese Werte über 2,0. Somit ergeben sich Werte, die darauf schließen lassen, dass inverse Prothesen weit stabiler als anatomische sind, jedoch zeigte sich bereits in verschiedenen Studien, dass inverse Prothesen eine bis zu 31% höhere Wahrscheinlichkeit der Luxation aufweisen. (71–78) Dies zeigt, dass die Stabilität nach Implantation einer Prothese noch von weiteren Faktoren abhängig sein muss, die bisher noch nicht gänzlich geklärt sind. Laut Gutierrez et al. (79) ist der Anpressdruck, der durch die übrig gebliebenen Rotatorenmanschette sowie den M. deltoideus erzeugt wird, hauptverantwortlich für die Stabilität des Gelenks. Bei fehlender Rotatorenmanschette obliegt es dem M. deltoideus allein, die Spannung aufrechtzuerhalten. (3)

Erhöht werden kann die Stabilität durch eine Lateralisierung des Rotationszentrums, da hier die verbliebene Rotatorenmanschette sowie der M. deltoideus eine höhere Kraft nach medial ausrichten können. Ist keine Rotatorenmanschette mehr vorhanden muss die Spannung des M. deltoideus erhöht werden, was wiederum durch eine Distalisierung der Humeruskomponente und somit einer Verlängerung der Extremität geschehen kann. (3) Neben dem Anpressdruck sind noch andere Faktoren für die Stabilität verantwortlich, auf die der Operateur/die Operateurin Einfluss hat. Hier zu nennen sind die Größe und Tiefe des Liners, der inferiore Überhang der Glenosphäre, der Inklinationwinkel, die Version der Basisplatte und der Glenosphäre und die Version der Humeruskomponente. (73,80–82)

1.8 Studienziele

Ziel der Arbeit ist es Alters- und Geschlechterspezifische Unterschiede in der morphologischen Ausprägung der Cuff-tear Arthropathie unter der Zuhilfenahme von gängigen Klassifikationen zu untersuchen. Dazu wurden die radiologischen Aufnahmen aller Patientinnen und Patienten, die über einen Zeitraum von etwa 10 Jahren am Ordensspital der Barmherzigen Schwestern Linz der Implantation einer inversen Schulterprothese unterzogen wurden, auf entsprechende Unterschiede analysiert. Die Analyse geschah mithilfe verschiedener metrischer Variablen, wie Winkel und Abstände, sowie auch durch verschiedene Klassifizierungswerkzeuge, denen klinische und wissenschaftliche Bedeutung in Bezug auf die CTA zukommt. Erkenntnisse über morphologische Unterschiede zwischen Geschlechter- oder Altersgruppen könnten helfen über die Genese und den Progress einer Rotatorenmanschetten bedingten Arthrose Aufschluss zu bekommen. Darüber hinaus könnten präoperative Rückschlüsse zur Implantationstechnik gemacht werden. Weiters können die Erkenntnisse Anlass für weitere Forschungsbestrebungen sein.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Diese Studie ist retrospektiver Natur. Es wurden die präoperativen Aufnahmen aller Patientinnen und Patienten, die sich im Zeitraum von 01.01.2009 bis zum 30.09.2019 der Implantation einer inversen Schulterprothese unterzogen haben analysiert. Untersucht wurden folgende 12 Parameter: Der Acromiohumerale Abstand, der Acromiohumerale Index (50), der Critical Shoulder Angle (51), die Version des Glenoids und die Klassifizierungen nach Walch (63), Favard (61), Hamada (56), Seebauer (83), Goutallier (68), Thomazeau (84), Habermayr (65) und Patte (64). In den genannten Zeitraum fällt ein PatientInnenkollektiv aus insgesamt 550 Probandinnen und Probanden, die sich auf 395 weibliche und 155 männliche Testpersonen aufteilen. Eingeschlossen wurden grundsätzlich alle, die in dem genannten Zeitraum eine primäre inverse Schulterprothese erhalten haben, unabhängig von Alter und BMI. Als Ausschlusskriterien haben wir Vorerkrankungen und Voroperationen definiert, die einen Einfluss auf Anatomie und Morphologie der Schulter und deren Muskelmanschette haben können. Hier zählen neben Frakturen im unmittelbaren Nahbereich des Schultergelenks, auch rheumatische Veränderungen des Gelenks. Auch Wechsel- und Reimplantationsoperationen wurden in

der Studie nicht berücksichtigt, da hier keine ausreichenden Rückschlüsse auf die ursprüngliche Anatomie getätigt werden können. Noch vor Analyse der radiologischen Aufnahmen wurden alle Patientinnen und Patienten ausgeschlossen, von denen keine Aufnahmen, oder nur in unzureichender Qualität vorlagen.

Insgesamt trafen die gewählten Kriterien auf 342 Schultern (133 links, 209 rechts) von 309 operierten Patientinnen und Patienten zu. 257 der Schultergelenke waren von weiblichen Testpersonen, die restlichen 85 von männlichen. Von insgesamt 77 Schultern lagen CT-Aufnahmen vor, von 166 Schultern MRT-Aufnahmen und von 300 Schultern Röntgenaufnahmen. Für die unterschiedlichen zu untersuchenden Variablen wurde individuell entschieden ob die Aufnahmequalität ausreichend war um die Winkel, Abstände, beziehungsweise Klassifizierungen nach den geltenden Standards messen und bestimmen zu können.

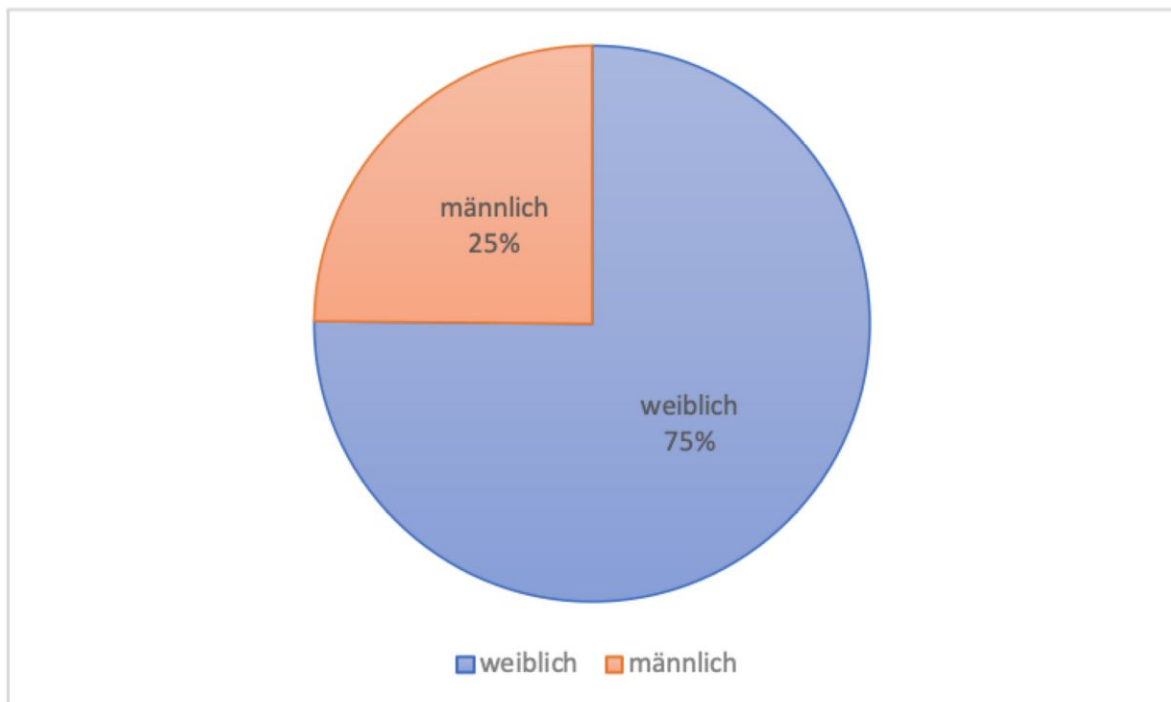


Abb. 2.1: Geschlechtsverteilung der Schultergelenke

2.2 Messmethoden

2.2.1 Critical-Shoulder-Angle

Für 300 Schultergelenke liegen uns Röntgenaufnahmen vor, 294 davon in korrektem anteroposterioren Strahlengang, um den Winkel messen zu können. Als Kriterien für eine gute Aufnahme wurden folgende herangezogen:

1. Es muss zu einer überlagerungsfreien Darstellung des Humeruskopfes und des Schultergelenks kommen.
2. Die Gelenkspfanne sollte strichförmig bis schmal oval zur Darstellung kommen.
3. Der Subacromialraum muss gut einsehbar sein.

Gemessen wurde mithilfe des Programms OsiriX, hierzu wurde die Aufnahme zuerst nach den oben erwähnten Standards bewertet. Bei ausreichender Qualität wurde mithilfe des Winkel-Werkzeugs eine Linie vom Oberrand bis zum Unterrand über die Oberfläche des Glenoids gezogen, sowie eine Linie vom inferioren Rand des Glenoids zur lateralen Spitze des Acromions. (siehe Abb. 2.2.1) Der nun entstandene Winkel entspricht dem CSA.

Beeinflusst wird die Messung des CSA durch verschiedene Faktoren, wie dem Acromiontyp nach Bigliani (85) oder auch etwaigen Verkalkungen am Ursprung des Pars acromialis des M. deltoideus, die bei der Messung berücksichtigt wurden. (51)

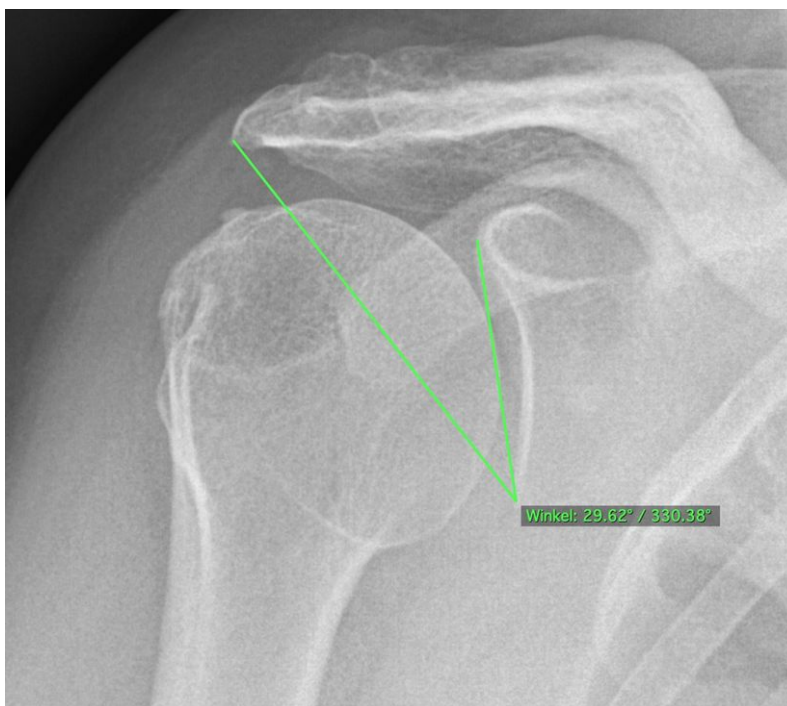


Abbildung 2.2.1: Messmethode des Critical Shoulder Angle

2.2.2 Acromiohumeraler Abstand

Bisheriger Untersuchungen, die verschiedene Messmethoden des akromiohumeralen Abstandes untersuchten, zeigen eine moderate Evidenz, dass die Messung mittels CT und MRT ausreichende Qualität liefert, weswegen auch wir hauptsächlich diese 2 Methoden verwendet haben. In wenigen Fällen wurden auch Röntgenaufnahmen, zu denen ausreichende Metadaten vorhanden waren, ausgewertet. (86)

Für 272 Schultern liegen uns qualitativ ausreichende Aufnahmen vor, sodass der AHA gemessen werden kann. Dazu wird im Frontalschnitt das Schichtbild mit dem geringsten Abstand zwischen Acromion und Humerus gesucht und hier mit einem einfachen Distanzwerkzeug der Abstand von Corticalis zu Corticalis bestimmt (siehe Abbildung 2.2.2). Beeinflusst wird diese Messung, neben dem Humerushochstand, auch von Spornen am Acromion, beziehungsweise dessen Form. So verringert sich der AHA bei einem Acromion Typ 3 nach Bigliani (85) zum Beispiel typischerweise.

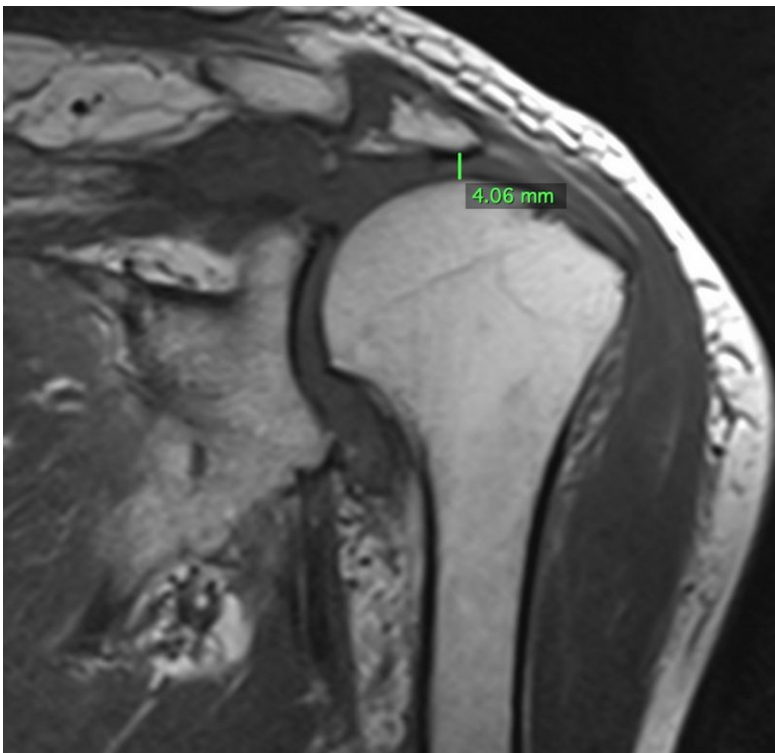


Abbildung 2.2.2: Messmethode des AHA

2.2.3 Acromiohumeraler Index

Der Acromiohumerale Index wurde ebenfalls aus insgesamt 287 der 300 vorhandenen Röntgenaufnahmen ausgewertet. 13 Schultern wurden hier ausgeschlossen, aufgrund von Subluxationen oder Rotationen des Humerus in der anteroposterioren Aufnahme.

Die Messung erfolgte in der a.p.-Aufnahme des Schultergelenks, in der eine Hilfslinie entlang des Glenoids eingezeichnet wurde. Von dieser Hilfslinie ausgehend wurde im rechten Winkel der Abstand zum lateralen Humerusrand, sowie zur Acromionspitze gemessen (siehe Abb. 2.2.3). Um den Index zu bestimmen wurde anschließend der Abstand von Glenoid und Acromion durch den Abstand von Glenoid zu Humerus dividiert.

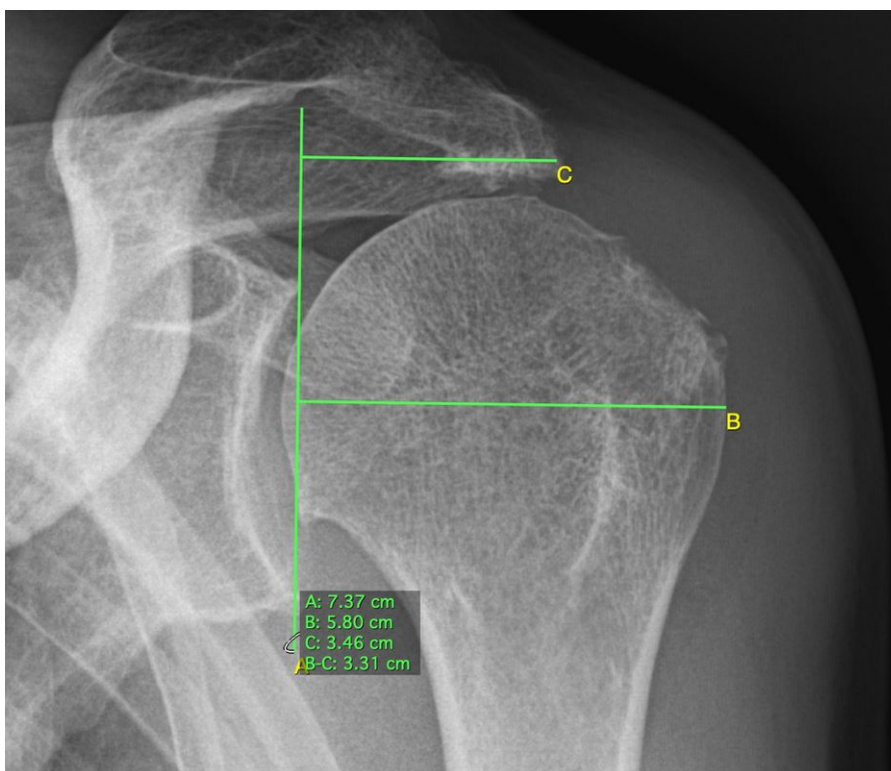


Abbildung 2.2.3: Messmethode des AHI

2.2.4 Version des Glenoids

Um die Version des Glenoids zu bestimmen wurden die CT- und MRT- Aufnahmen aus 232 Schultergelenken untersucht. Die Messung erfolgt im 2D-Axialschnitt. In diesem Schnitt sucht man die Scapula mit dem Glenoid auf, wie in Abbildung 2.2.4 zu sehen und legt eine Gerade durch die Scapula anhand von zwei Referenzpunkten. Der erste Punkt ist der, an dem die Spina scapulae an den medialen Rand der Scapula trifft. Von hier aus zieht man die Linie durch das Zentrum des Glenoids. Die zweite Gerade wird an die Oberfläche des Glenoids gelegt, der somit entstandene Winkel beschreibt die Version des Glenoids. Unterschieden wird die Anteversion von der Retroversion, wobei ein Großteil der Glenoide nach posterior rotiert sind, also retrovertiert. In unseren Untersuchungen werden deshalb retrovertierte Winkel als positive und antevertierte Winkel als negative Werte angeführt.

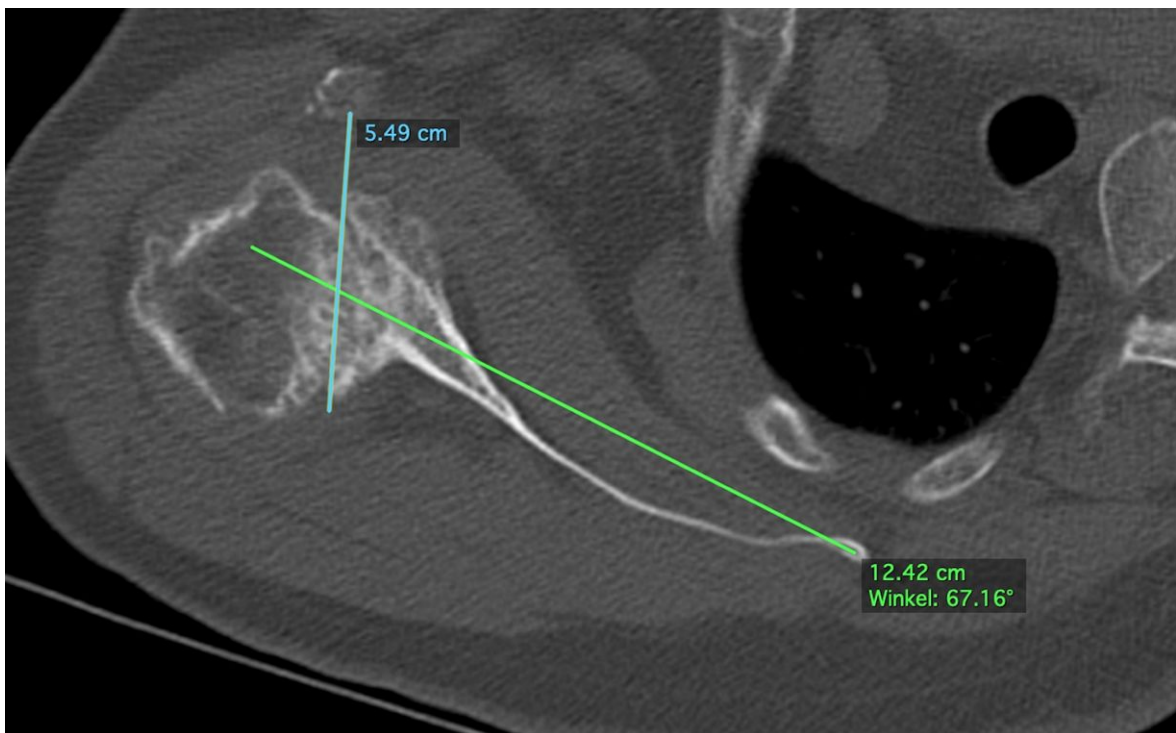


Abbildung 2.2.4: Messmethode der Version des Glenoids

2.2.5 Walch

Die Walch Klassifikation wird, wie die Version des Glenoids aus den 2D-Axialaufnahmen der MRT- und CT- Untersuchungen erhoben. Die weiter oben erwähnte Dreidimensionale Untersuchung wurde aufgrund von technischen Begebenheiten nicht durchgeführt, weswegen man bei der klassischen und bewährten 2D-Methode verblieb. In 238 Schultern

konnte die Klassifizierung erhoben werden, die anhand der Referenzbeispiele der Originalliteratur eingeteilt wurde.

Beurteilt wurde, wie in Punkt 1.6.5 bereits beschrieben, die Stellung des Humeruskopfes zum Glenoid, sowie die Formation des Glenoids.

Unter die Gruppe A1 fallen in unserer Studie alle Schultern, die in der axialen Ansicht einen zentrierten Humeruskopf mit minimalen Glenoiderosionen aufweisen, wie in Abbildung 2.2.5.a zu sehen ist.

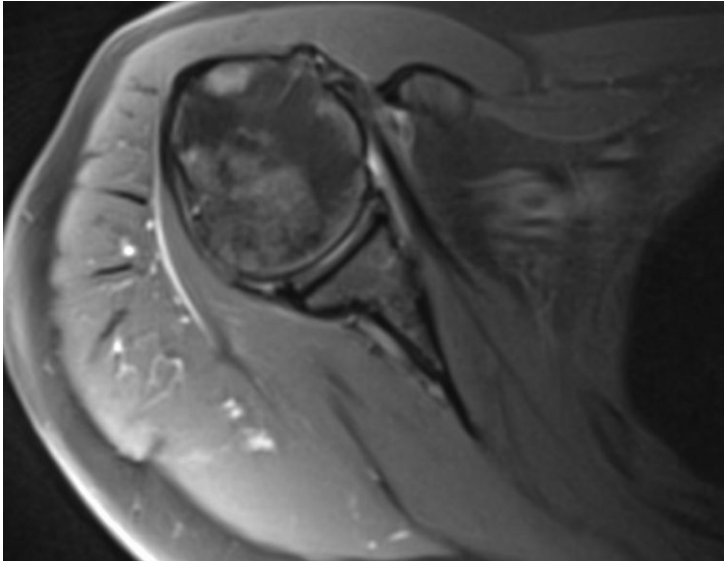


Abbildung 2.2.5.a: Walch A1

Bei ebenfalls zentriertem Humeruskopf, mit allerdings fortgeschrittenen Erosionen sprechen wir vom A2 Glenoid, wie in Abbildung 2.2.5.b zu sehen.

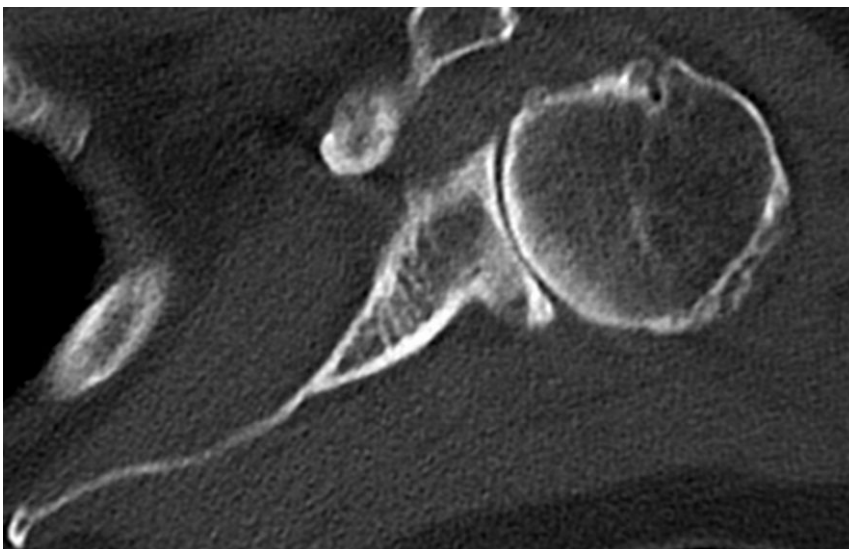


Abbildung 2.2.5.b: Walch A2

In Abbildung 2.2.5.c sieht man ein Beispiel aus unserem Kollektiv für eine typische B1 Formation mit posterior subluxiertem Humeruskopf ohne weitreichende Erosionen am Glenoid.

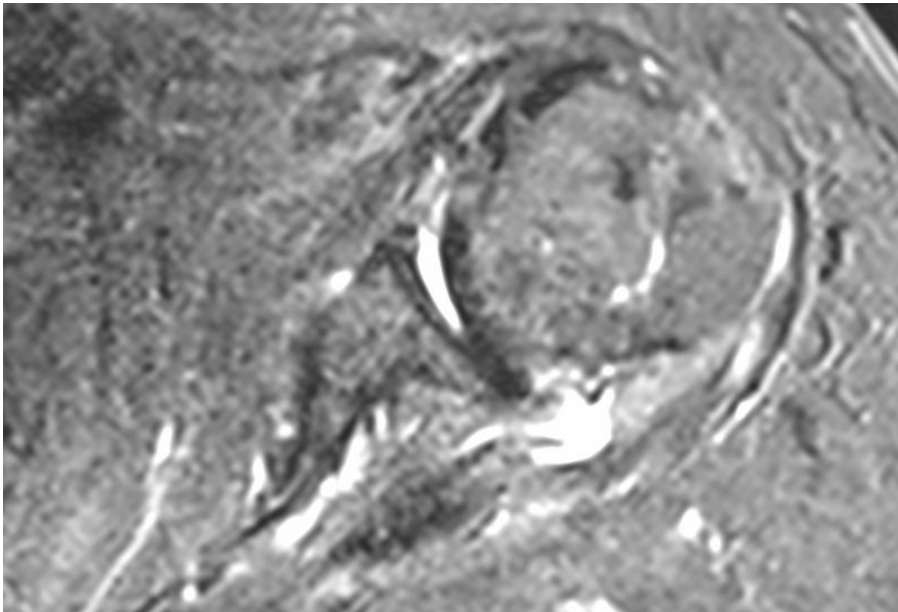


Abbildung 2.2.5.c: Walch B1

Bei posteriorer Subluxation mit größeren Erosionen entsteht das Bild einer Bikonkavität, was wir als B2 eingestuft haben und in Abbildung 2.2.5.d zu sehen ist.

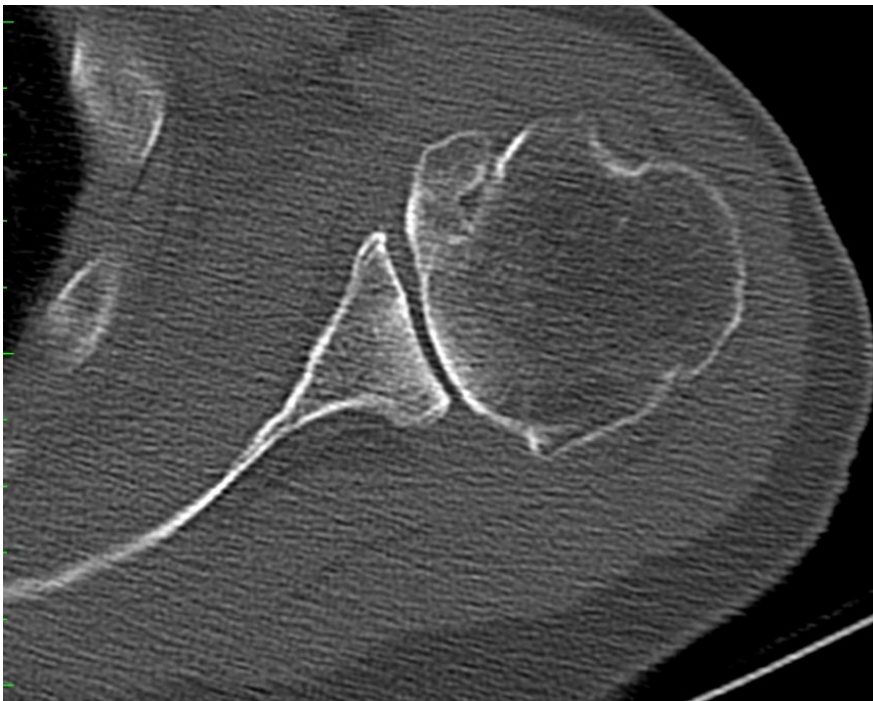


Abbildung 2.2.5.d: Walch B2

Besteht hingegen eine Monokonkavität und zugleich eine Retroversion über 15 Grad, wie in Abbildung 2.2.5.e, stuften wir die Schulter unter B3 ein.

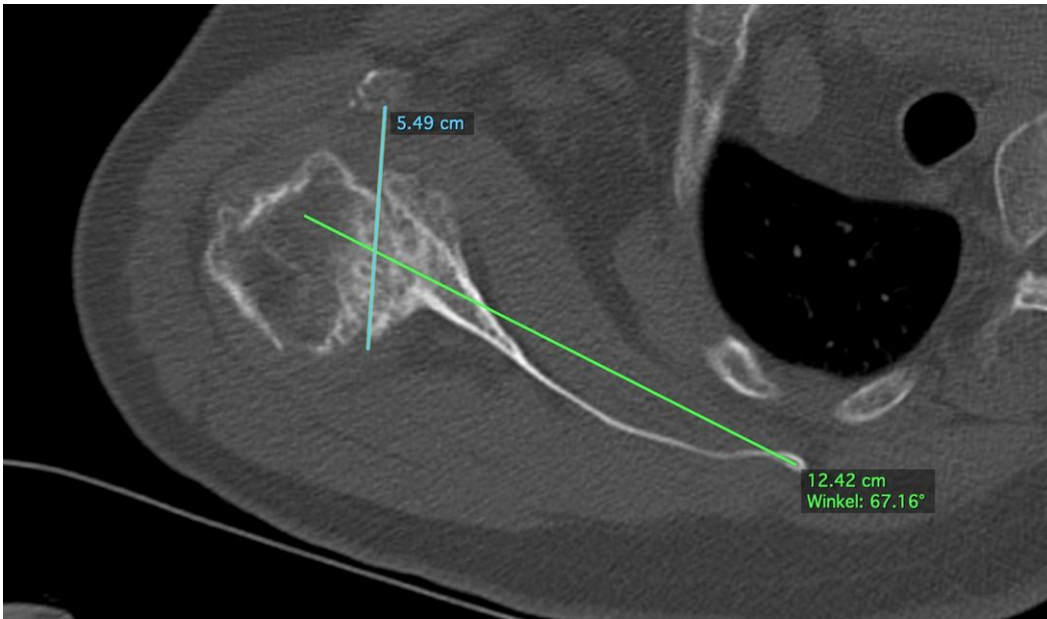


Abbildung 2.2.5.e: Walch B3

Bei noch größerer Retroversion über 25 Grad handelt es sich um ein dysplastisches Glenoid und die Einteilung erfolgte, unabhängig von der Erosion, in die Gruppe C. Ein Beispiel aus unserem Kollektiv ist in Abbildung 2.2.5.f zu sehen.

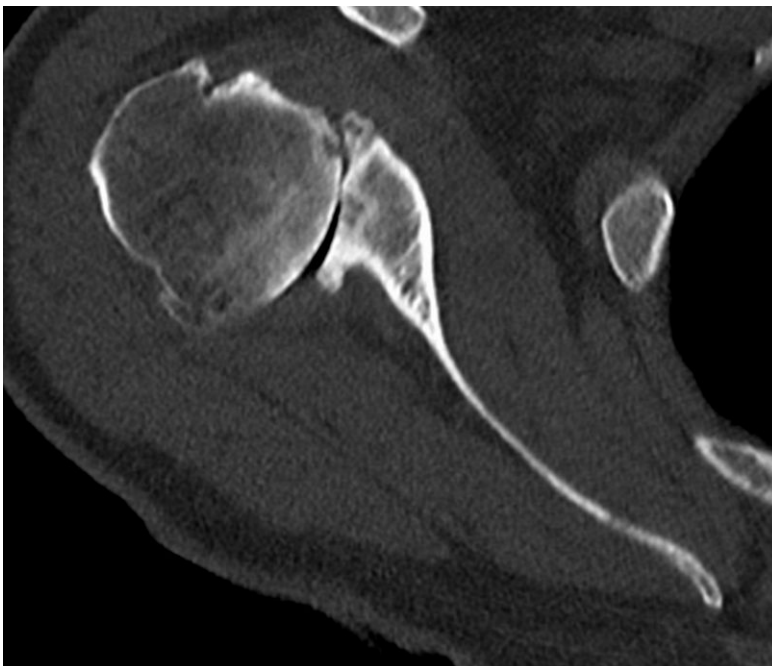


Abbildung 2.2.5.f: Walch C

In die Gruppe D stuften wir alle Formationen ein, die eine Anteversion oder anteriore Subluxation aufwiesen. In Abbildung 2.2.5.g sieht man erneut ein Beispiel einer Patientin aus unserem Kollektiv.

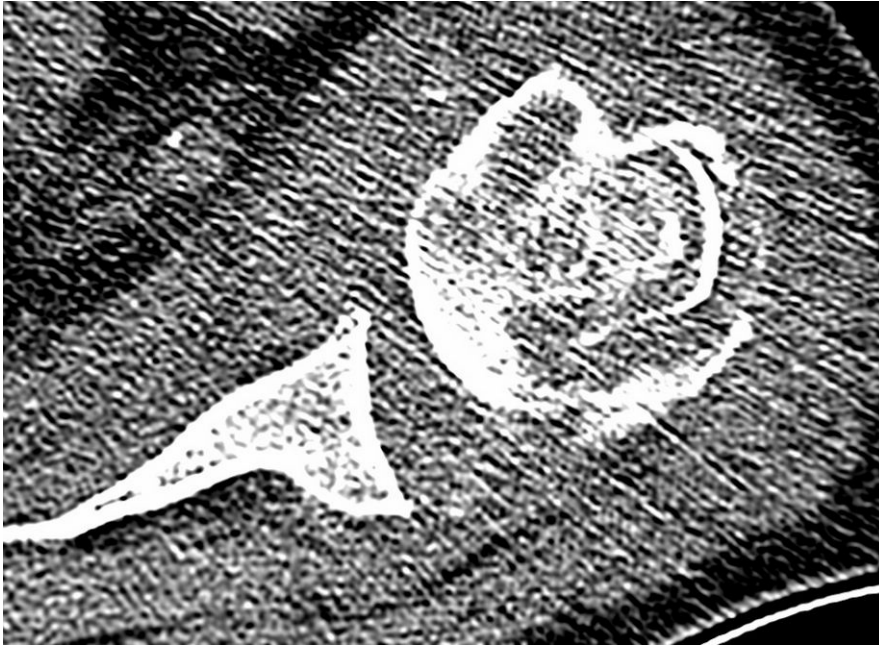


Abbildung 2.2.5.g: Walch D

2.2.6 Seebauer

Die Seebauer Klassifikation wurde von 341 Schultergelenken in unserem Kollektiv erhoben. Hauptsächlich geschah dies durch Analyse der Röntgenaufnahmen und Durchsicht der CT- und MRT-Bilder. Eingeteilt wurde nach originaler Klassifikation in 1A: zentralisiert und stabil, 1B: zentralisiert und medialisiert, 2A: dezentralisiert und begrenzt stabil und 2B: dezentralisiert und instabil. Beispiele aus unserem PatientInnenkollektiv sind in Abbildung 2.2.6 zu sehen.



Abbildung 2.2.6: Seebauer Klassifikation

2.2.7 Hamada

Die Hamada Klassifikation konnte in insgesamt 329 Schultern evaluiert werden, dazu verwendet wurde einerseits der AHA, sowie hauptsächlich Röntgenaufnahmen und in wenigen Fällen MRT und CT Schnittbilder zur Beurteilung der Erosionen. Die Grade 1 bis 5 sind anhand von Beispielen unseres Kollektivs in Abbildung 2.2.7.a-e zu sehen.



Abb. 2.2.7.a: Hamada Grad 1:
AHA über 6mm



Abb. 2.2.7.b: Hamada Grad 2:
AHA unter 5mm



Abb. 2.2.7.c: Hamada Grad 3: AHA unter 5mm und Acetabularisierung des Acromions



Abbildung 2.2.7.d: Hamada Grad 4: Grad 3 plus glenohumerale Erosion



Abb. 2.2.7.e: Hamada Grad 5: Grad 4 plus kollabierter Humeruskopf

2.2.8 Favard

Die Favard Klassifikation konnten wir an allen 342 Schultern anwenden, anhand der Auswertung von Röntgen-, MRT- und CT- Aufnahmen. Eingeteilt haben wir in die klassischen Stadien E0, E1, E2, E3 und E4. In der Abbildung 2.2.8 sind Beispiele aus unserem PatientInnenkollektiv zu sehen.

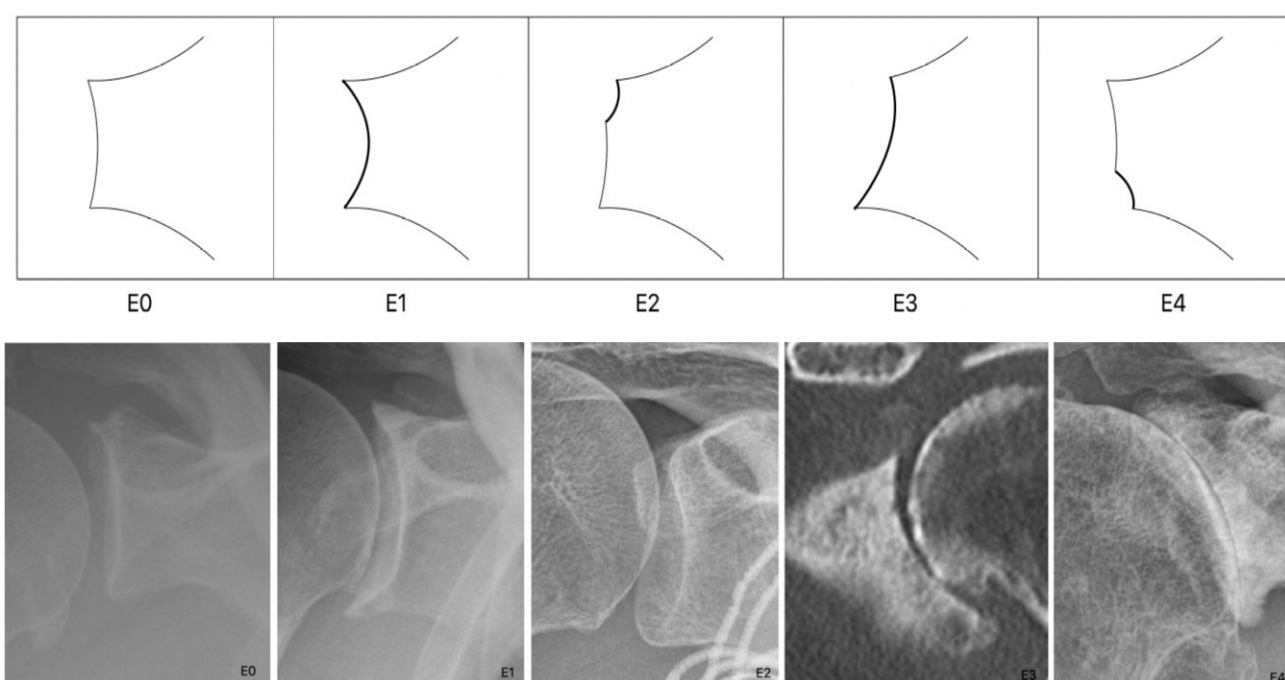


Abbildung 2.2.8: Favard Klassifikation

2.2.9 Patte

Nach der Patte Klassifikation konnten wir 163 Schultern durch Beurteilung des Supraspinatussehnenstumpfs in MRT-Aufnahmen beurteilen. Die Einteilung geschah, wie bereits in Punkt 1.6.6 erwähnt, anhand der Lage des Sehnenstumpfes im Schnittbild in der Frontalebene. Abbildung 2.2.9 zeigt die Stufen 1-3 im Vergleich, eine zusätzliche Einteilung in Stufe 0 haben wir in dieser Arbeit bei intakter Supraspinatussehne herangezogen.

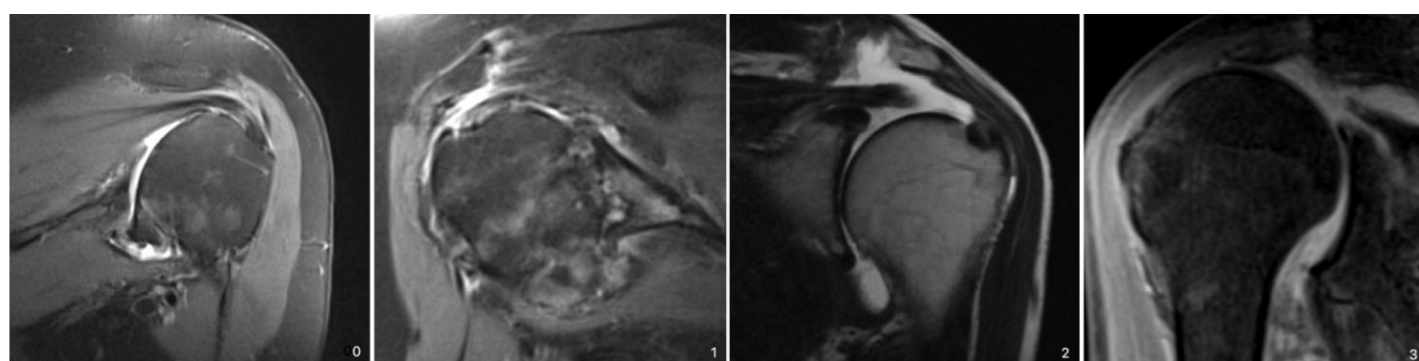


Abbildung 2.2.9: Patte Klassifikation, Retraktion der Supraspinatussehne

2.2.10 Goutallier

Die fettige Infiltration der Rotatorenmanschette, wie von Goutallier ursprünglich anhand von CT-Aufnahmen beschrieben, wurde wie bereits in Punkt 1.6.8 erwähnt über die Jahre auch anhand von MRT-Aufnahmen evaluiert. Diese Technik haben auch wir für 166 Schultern verwendet, da sich die Qualität der vorhandenen CT-Aufnahmen dafür nicht als ausreichend herausgestellt hat. Die Unterteilung und Einstufung der Grade 0 bis 4 blieb der Originalklassifikation entsprechend aufrecht. In Abbildung 2.2.10 sind wieder Beispiele aus unserem Kollektiv zu sehen.

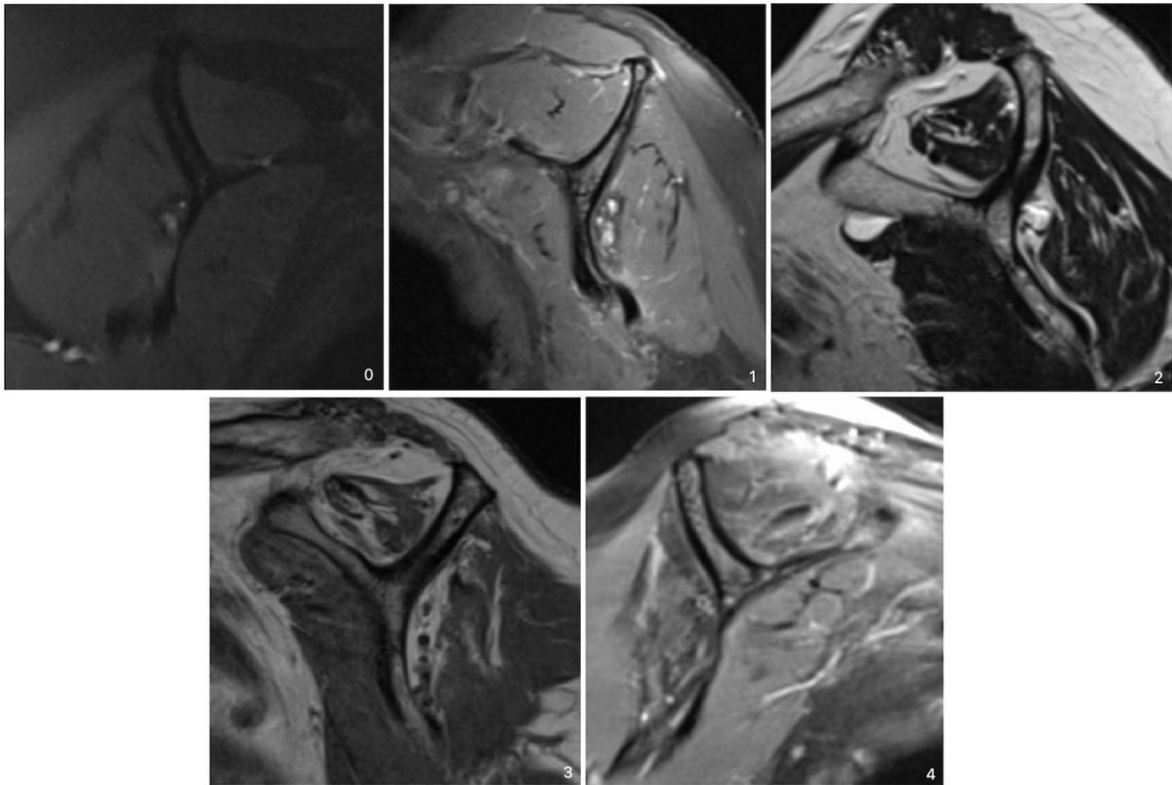


Abbildung 2.2.10: Goutallier Klassifikation der fettigen Infiltration

2.2.11 Habermeyer

Die Rotatorenmanschetten von insgesamt 159 Schultern konnten von uns anhand von MRT-Aufnahmen nach Habermeyer klassifiziert werden. Dazu wurde das Schichtbild in der Sagittalebene gewählt, in dem die gesamte Rotatorenmanschette, um den Humeruskopf zu sehen ist, wie in Abbildung 2.2.11 zu sehen ist. Die Manschette wurde anschließend laut der Originalklassifikation in drei Zonen unterteilt, wie bereits in Punkt 1.6.8 beschrieben. Eingeteilt wurde je nach Rissen in der Manschette in die Gruppen 0, was für eine intakte RM spricht und die Zonen A, B und C, die auch kombiniert auftreten können.

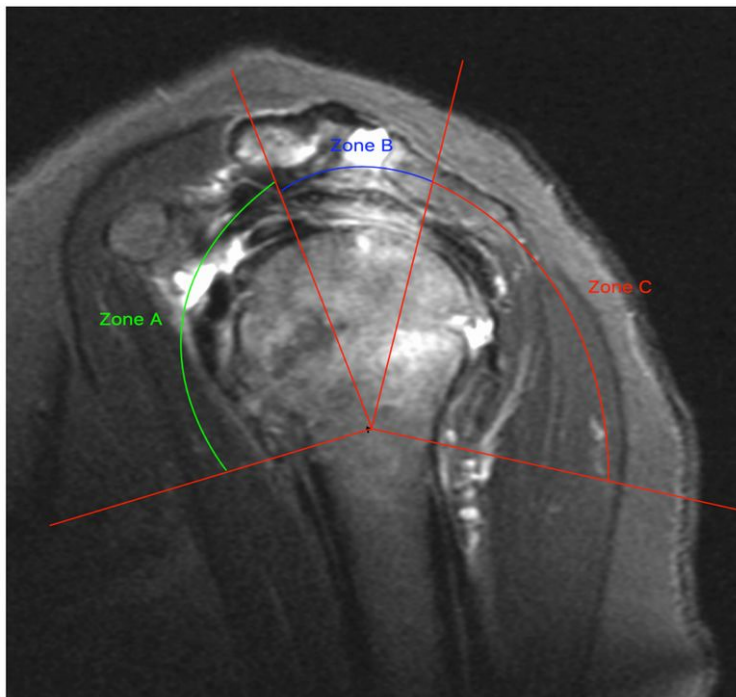
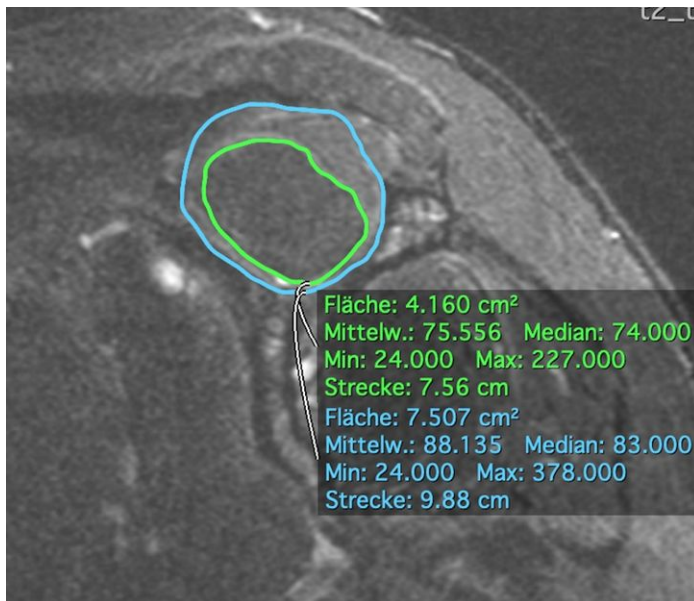


Abbildung 2.2.11: Habermeyer Klassifikation der Rotatorenmanschette

2.2.12 Thomazeau

In 165 der 342 Schultern aus unserem Kollektiv war es uns möglich die Thomazeau Klassifikation anzuwenden, um die Atrophie der Rotatorenmanschette zu beurteilen. Berechnet wurde das Verhältnis aus der Fläche des M. supraspinatus und der Fossa supraspinata. Herangezogen wurden dafür dieselben MRT-Schichtbilder wie für die Goutallier Klassifikation. In Abbildung 2.2.12 ist ein Beispiel zur Berechnung dargestellt.



Verhältnis $R=S1/S2$
Stadium 1: $R=0,6-1$
Stadium 2: $R=0,4-0,6$
Stadium 3: $R<0,4$

Abbildung 2.2.12: Thomazeau Klassifikation: Fläche des M. supraspinatus dividiert durch die Fläche der Cavitas Glenoidalis ergibt einen Quotienten von 0,55, was dem Stadium 2, bzw. moderater Atrophie entspricht.

2.3 Statistik

Die Daten zu den Patientinnen und Patienten, sowie den gesammelten Variablen wurden mittels Microsoft Excel® in Tabellen eingetragen und mittels IBM SPSS® statistisch ausgewertet. Die Gruppen wurden unterteilt in männlich und weiblich, sowie in zwei Altersgruppen, getrennt durch den Median, der bei 74,5 Jahren liegt.

Es wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der metrischen Variablen (CSA, Version, AHA, AHI) ermittelt und diese anschließend mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung geprüft. Falls eine Normalverteilung vorlag wurde eine zweifaktorielle ANOVA (Varianzanalyse) mit den Faktoren Alter und Geschlecht durchgeführt. Für den Fall, dass keine Normalverteilung vorlag, wurde ein Mann-Whitney-U-Test herangezogen.

Für die kategorialen Variablen (Walch, Favard, Hamada, Seebauer, Habermeyer, Goutallier, Thomazeau, Patte) wurde der Chi-Quadrat-Test durchgeführt.

Das Signifikanzlevel wurde mit $p \leq 0,05$ festgelegt. Zusätzlich wurde die Effektstärke berechnet, um die praktische Relevanz der Ergebnisse zu verdeutlichen. Nach Erhalt der Ergebnisse wurde eine post-hoc Poweranalyse bezugnehmend auf die wesentlichen Endpunkte nach Hoenig and Heisey durchgeführt. (87)

3 Ergebnisse – Resultate

3.1 Altersverteilung

Das mittlere Alter der eingeschlossenen Patientinnen und Patienten lag bei 73 Jahren (SD=8,4, Range 40-91), der Median bei 74,5 Jahren. Im weiblichen Kollektiv betrug das mittlere Alter zum Untersuchungszeitpunkt 74,37 Jahre, im männlichen Kollektiv 70,11 Jahre (siehe Abbildung 3.1.a). Das Alter zeigte sich im Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt ($p=0,000$) und der Unterschied in der Altersverteilung zwischen den Geschlechtern war im Mann-Whitney-U-Test signifikant ($p=0,001$).

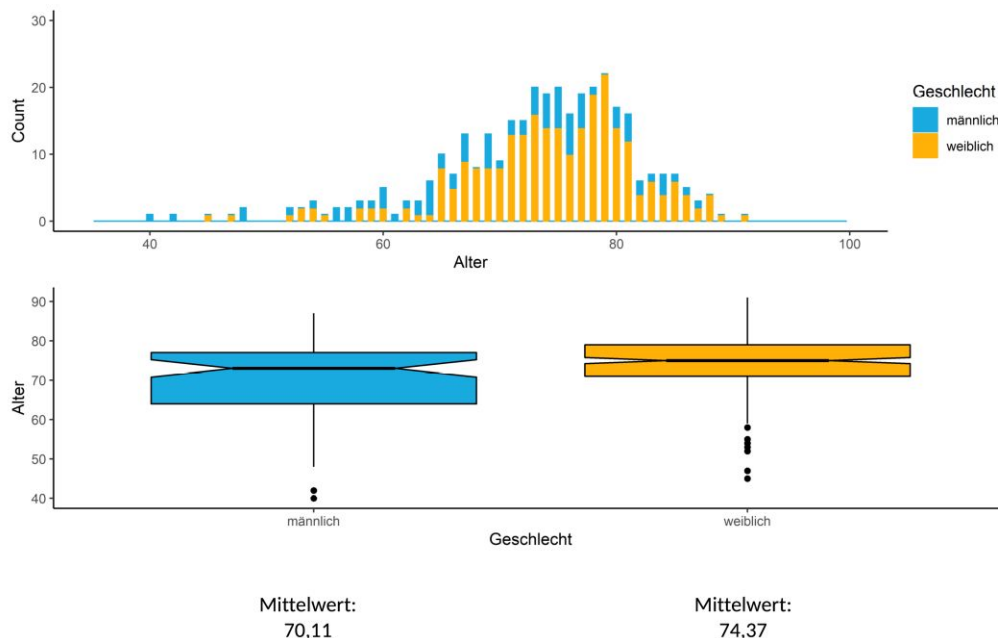


Abbildung 3.1: Altersverteilung in den Geschlechtergruppen

3.2 Aufarbeitung der metrischen Variablen

3.2.1 Critical-Shoulder-Angle

Aus den 294 gemessenen Winkeln waren 220 aus dem weiblichen Kollektiv und 74 aus dem männlichen. 150 wurden in die Altersgruppe der älteren und 144 der Altersgruppe der jüngeren zugeordnet. Der Mittelwert des Gesamtkollektivs beträgt 31,76 (SD=4,95, Range 18,3-43,9).

Der CSA zeigt sich mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt ($p=0,049$).

Im Mann-Whitney-U-Test zeigen sich allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtergruppen ($p=0,843$), sowie den Altersgruppen ($p=0,123$). In den folgenden Abbildungen sind die Verteilungen und Mittelwerte nach Geschlecht (Abb.3.2.1.a) und Alter (Abb.3.2.1.b) zu sehen.

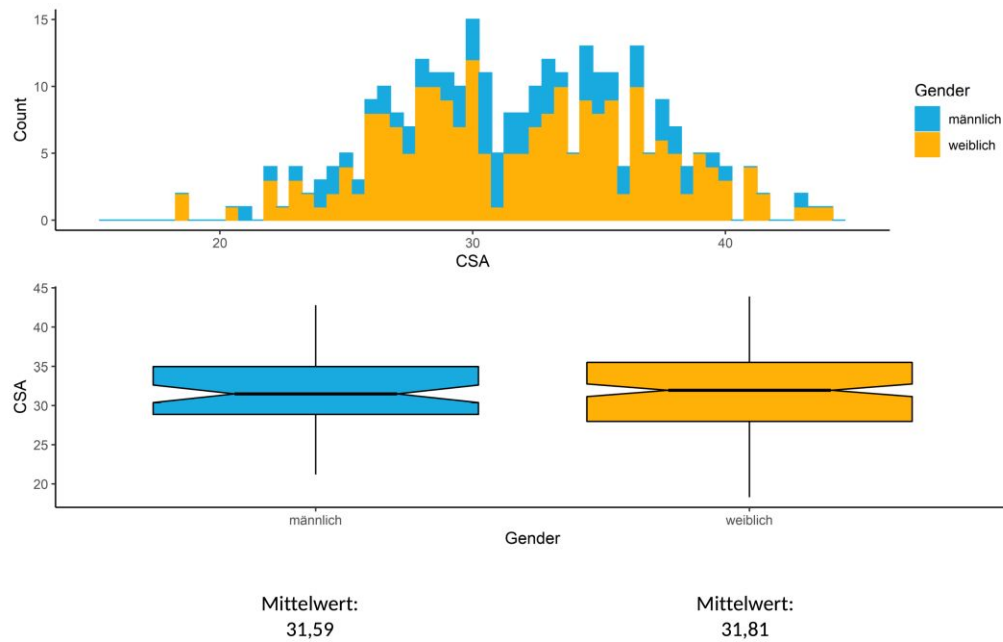


Abbildung 3.2.1.a: Geschlechtsverteilung CSA

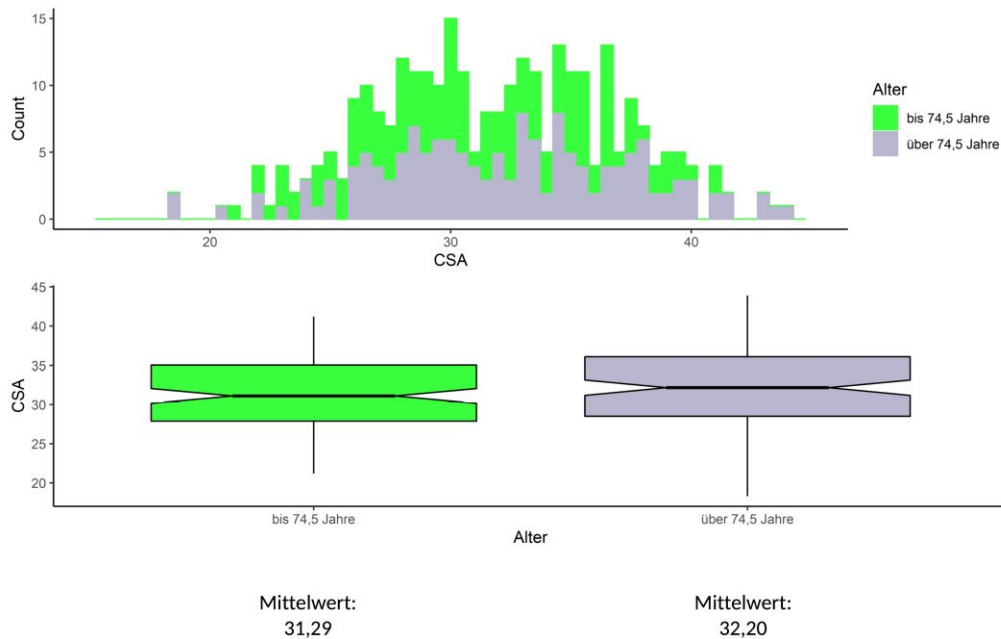


Abbildung 3.2.1.b: Altersverteilung CSA

3.2.2 Akromiohumeraler Abstand

Die 272 Schultern, an denen der AHA gemessen wurde, teilen sich auf in 203 weibliche und 69 männliche Schultern. In die ältere Altersgruppe fallen 126 Schultern und in die jüngere 146. Der Mittelwert im Gesamtkollektiv beträgt 4,9mm (SD=3,2mm, Range 0-17,6). Die Variable ist im Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt ($p=0,000$), weshalb der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt wurde. Im männlichen Geschlecht zeigen sich tendenziell höhere Werte des AHA, allerdings nicht im signifikanten Bereich ($p=0,076$). Im jüngeren Kollektiv zeigen sich signifikant höhere AHA-Werte ($p=0,001$), allerdings bei einer niedrigen Effektstärke von 0,11. Die Verteilung für die Geschlechtergruppen ist in Abbildung 3.2.2.a und für die Altersgruppen in Abbildung 3.2.2.b zu sehen.

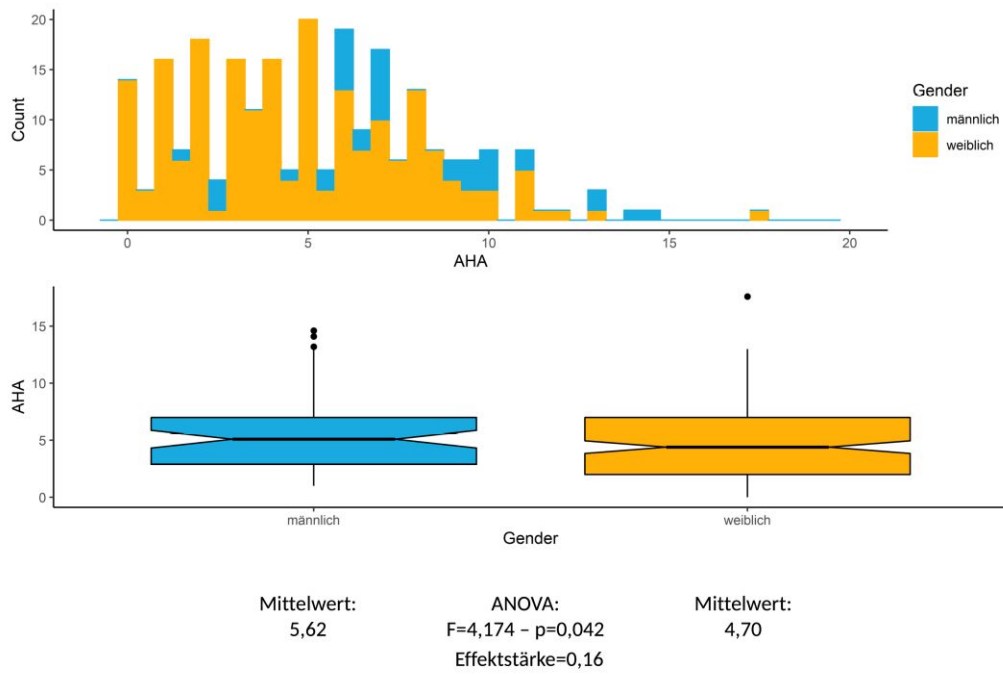


Abbildung 3.2.2.a: Geschlechterverteilung AHA

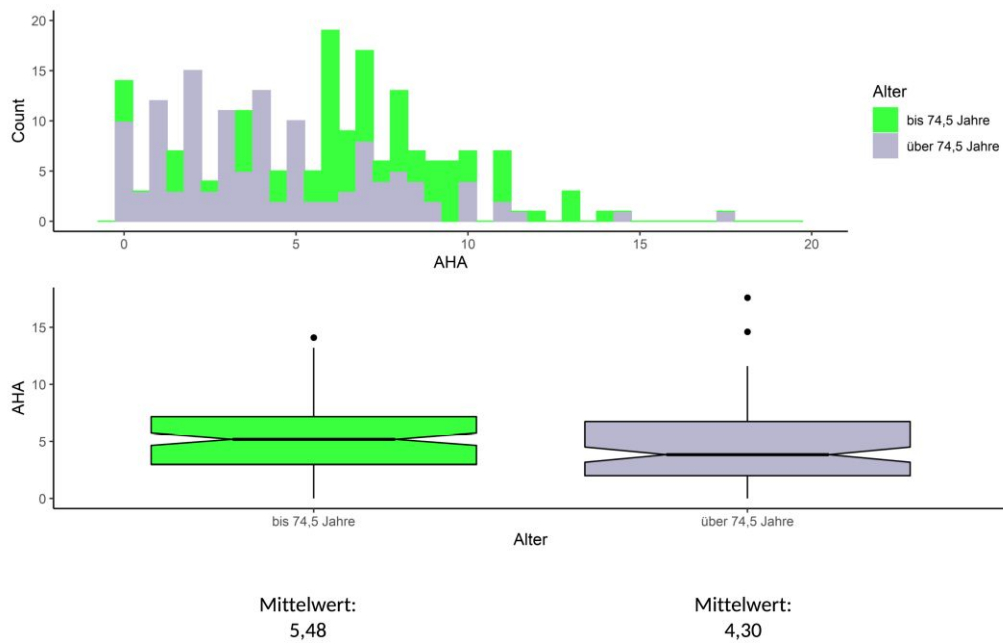


Abbildung 3.2.2.b: Altersverteilung AHA

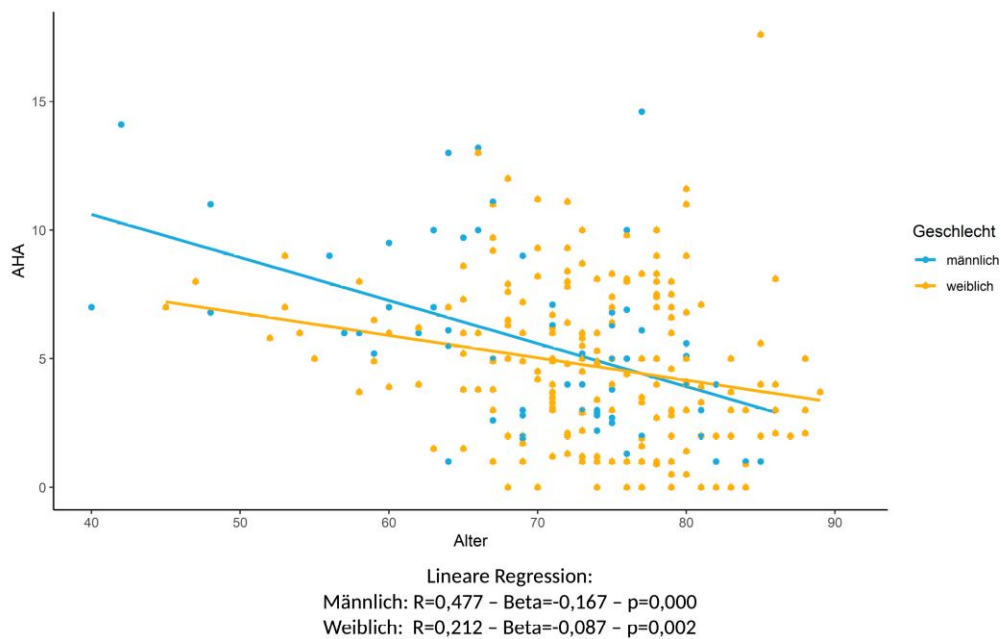


Abbildung 3.2.2.c: Die lineare Regression zeigt das Absinken des AHA mit fortgeschrittenem Alter im Vergleich zwischen den Geschlechtergruppen. Aufgrund der fehlenden Normalverteilung ist dieser Graph mit Vorsicht zu interpretieren.

3.2.3 Akromiohumeraler Index

Die 287 Schultern an denen der AHI errechnet werden konnte teilen sich in 214 weibliche und 73 männliche Schultern auf. 144 Schultern fallen in die ältere Gruppe und 143 in die jüngere. Der Mittelwert liegt bei 0,71 (SD=0,11, Range 0,41-1,25) und das Kollektiv zeigt sich normalverteilt ($p=0,200$), weshalb eine zweifaktorielle ANOVA durchgeführt wurde. Im Ergebnis zeigt sich kein signifikanter Interaktionseffekt ($p=0,545$), sowie kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtergruppen ($p=0,219$) und den Altersgruppen ($p=0,397$). Die Grafiken, zur Veranschaulichung der Verteilung sind in Abbildung 3.2.3.a und 3.2.3.b zu sehen.

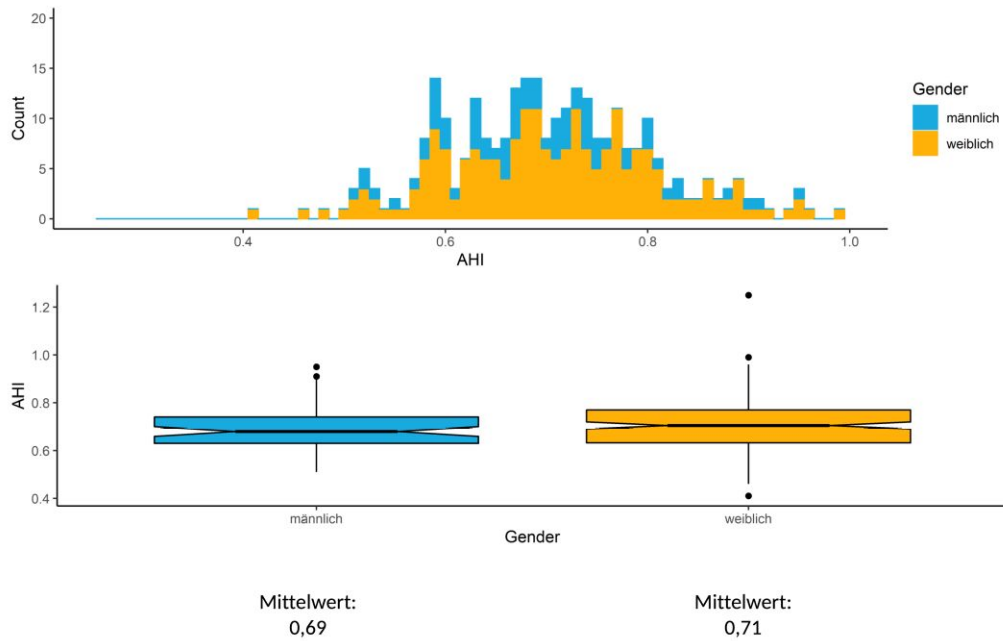


Abbildung 3.2.3.a: Geschlechterverteilung AHI

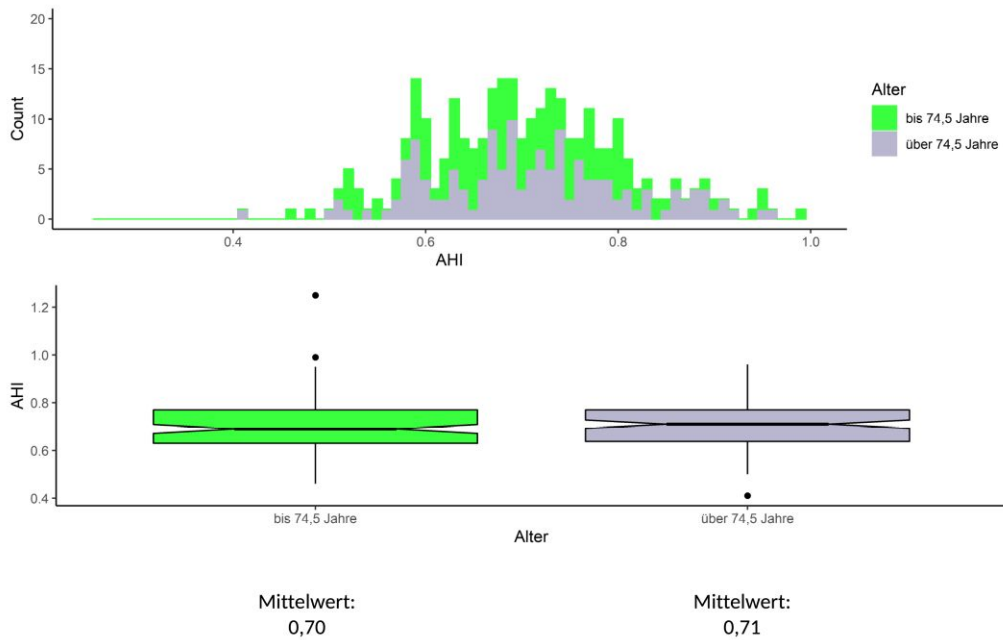


Abbildung 3.2.3.b: Altersverteilung AHI

3.2.4 Version des Glenoids

Aus den 232 vermessenen Winkeln fallen 178 in das weibliche Kollektiv und 54 in das männliche, 103 in die ältere Altersgruppe und 129 in die jüngere. Der Mittelwert liegt bei $5,6^\circ$ (SD=8,8, Range 0-39). Das Gesamtkollektiv zeigt sich nicht normalverteilt, weshalb wieder ein parameterfreies Testverfahren mittels Mann-Whitney-U Test angewendet wurde. Hier zeigte sich im Vergleich der Geschlechtergruppen eine nicht signifikante Tendenz ($p=0,144$), dass Männer eher höhere Versionswinkel aufweisen. Im Vergleich der Altersgruppen lässt sich keine wahre Tendenz herauslesen ($p=0,482$).

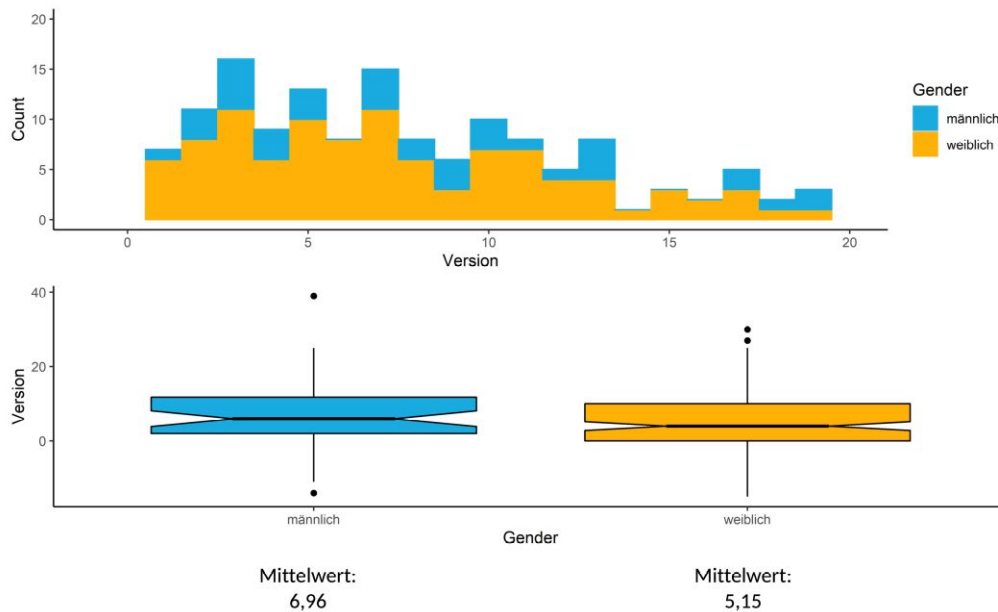


Abbildung 3.2.4.a: Geschlechterverteilung Version des Glenoids

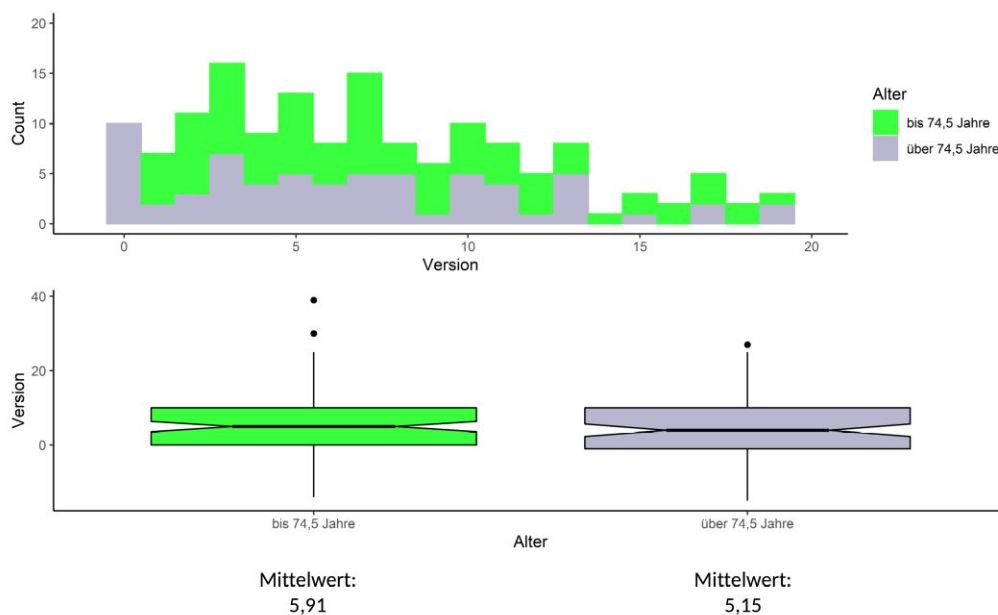
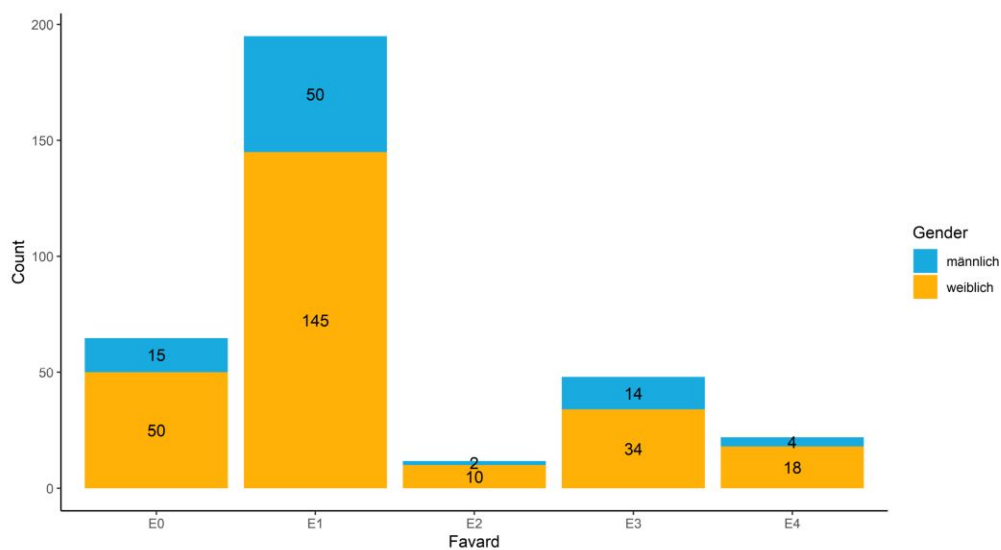


Abbildung 3.2.4.b: Altersverteilung Version des Glenoids

3.3 Aufarbeitung der kategorialen Variablen

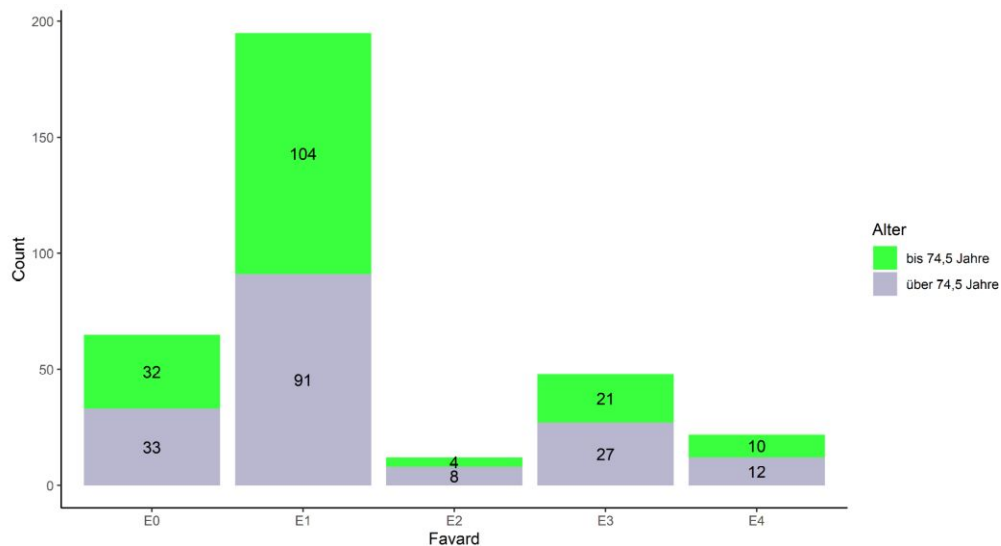
3.3.1 Favard Klassifikation

Das Kollektiv für die Analyse der Favard Klassifikation besteht aus 257 Schultern weiblicher Probandinnen und 85 Schultergelenken männlicher Probanden. Das Alter verteilt sich gleichmäßig mit jeweils 171 Schultern im jungen und alten Kollektiv. Zum Vergleich der Gruppen wurde ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt, hier zeigte sich allerdings weder eine Abhängigkeit zwischen der Favard Klassifikation mit dem Geschlecht ($p=0,807$), noch mit dem Alter ($p=0,534$).



Chi-Quadrat-Test (df=4) = 1,608 - $p = 0,807$

Abbildung 3.3.1.a: Geschlechterverteilung Favard Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=4) = 3,147 - $p = 0,534$

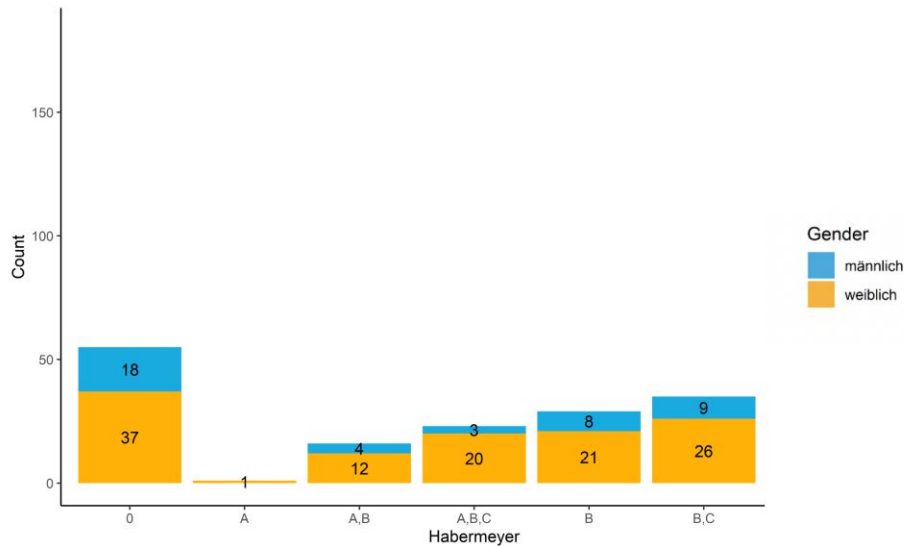
Abbildung 3.3.1.b: Altersverteilung Favard Klassifikation

3.3.2 Habermeyer Klassifikation

Aus den 159 Schultern, die nach der Habermeyer Klassifikation eingeteilt wurden, stammen 117 aus dem weiblichen Kollektiv und 42 aus dem männlichen. 61 der Schultern stammen von Patientinnen und Patienten über 74,5 Jahren und 98 Schultern aus dem jüngeren Kollektiv. Im Chi-Quadrat-Test zeigen sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Alter und Grad der Habermeyer Klassifikation ($p=0,652$). In der Analyse der zwei Altersgruppen zeigen sich signifikante Zusammenhänge zwischen Alter und RMR nach Habermeyer ($p=0,000$), bei einer Effektstärke von 0,31, was einem mittleren Effekt entspricht. In der Abbildung 3.3.2.a sind die Ergebnisse einzeln angeführt. In der jüngeren Altersgruppe zeigen sich deutlich mehr Schultern ohne Rupturen in der RM, die hier zu erwartende Anzahl wäre 27,5, tatsächlich liegt der Wert aber bei 39. Gleichzeitige Rupturen in allen drei Sektoren hingegen fallen mehr als zu erwarten in die Gruppe der Älteren.

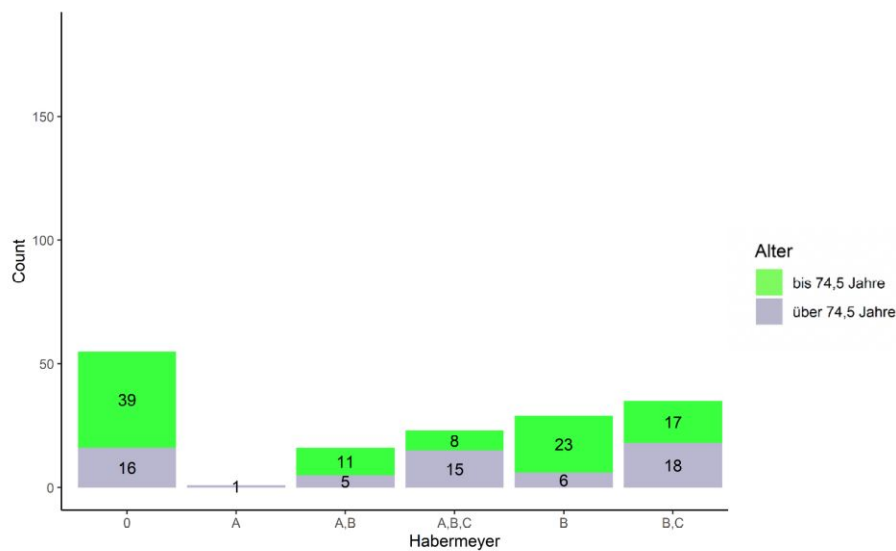
		Altersgruppen		Total
		bis 74,5 Jahre	über 74,5 Jahre	
Habermeyer	Count	73	110	183
	Expected Count	91,5	91,5	183,0
0	Count	39	16	55
	Expected Count	27,5	27,5	55,0
A	Count	0	1	1
	Expected Count	,5	,5	1,0
A,B	Count	11	5	16
	Expected Count	8,0	8,0	16,0
A,B,C	Count	8	15	23
	Expected Count	11,5	11,5	23,0
B	Count	23	6	29
	Expected Count	14,5	14,5	29,0
B,C	Count	17	18	35
	Expected Count	17,5	17,5	35,0
Total	Count	171	171	342
	Expected Count	171,0	171,0	342,0

Abbildung 3.3.2.a: Einzelergebnisse der Habermeyer Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=6) = 4,184 - p = 0,652

Abbildung 3.3.2.b: Geschlechterverteilung Habermeyer Klassifikation

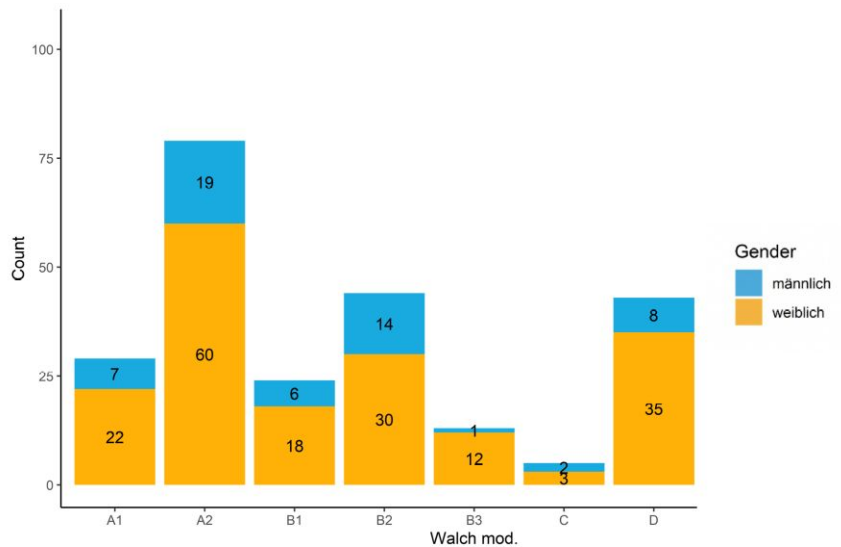


Chi-Quadrat-Test (df=6) = 32,474 - p = 0,000
Effektstärke = 0.31

Abbildung 3.3.2.c: Altersverteilung Habermeyer Klassifikation

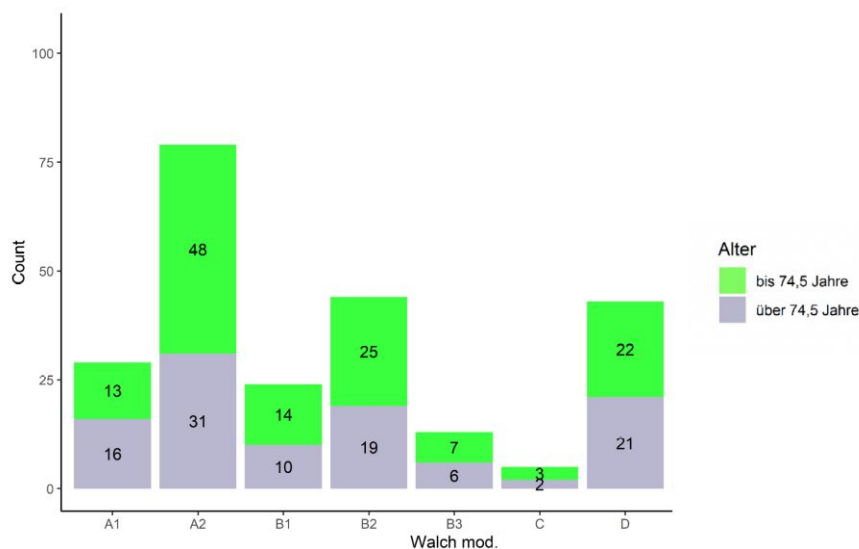
3.3.3 Modifizierte Walch Klassifikation

Die 238 untersuchten Schultern nach der Walch Klassifikation teilen sich in 180 weibliche und 58 männliche auf. 106 der Schultern stammen aus der älteren und 132 aus der jüngeren Gruppe. Im Chi-Quadrat-Test zeigen sich weder mit dem Alter ($p=0,107$), noch mit dem Geschlecht ($p=0,686$) signifikante Zusammenhänge. In Abbildung 3.3.3.a und 3.3.3.b sind die Verteilungen in den Alters- und Geschlechtergruppen veranschaulicht.



Chi-Quadrat-Test (df=7) = 4,783 - p = 0,686

Abbildung 3.3.3.a: Geschlechterverteilung Walch Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=7) = 11,795 - p = 0,107

Abbildung 3.3.3.b: Altersverteilung Walch Klassifikation

3.3.4 Seebauer Klassifikation

Das Kollektiv für die Seebauer Klassifikation setzt sich aus 256 weiblichen Schultern und 85 männlichen Schultern zusammen. Aus der jüngeren Altersgruppe stammen 170 der analysierten Schultern und aus der älteren Gruppe 171.

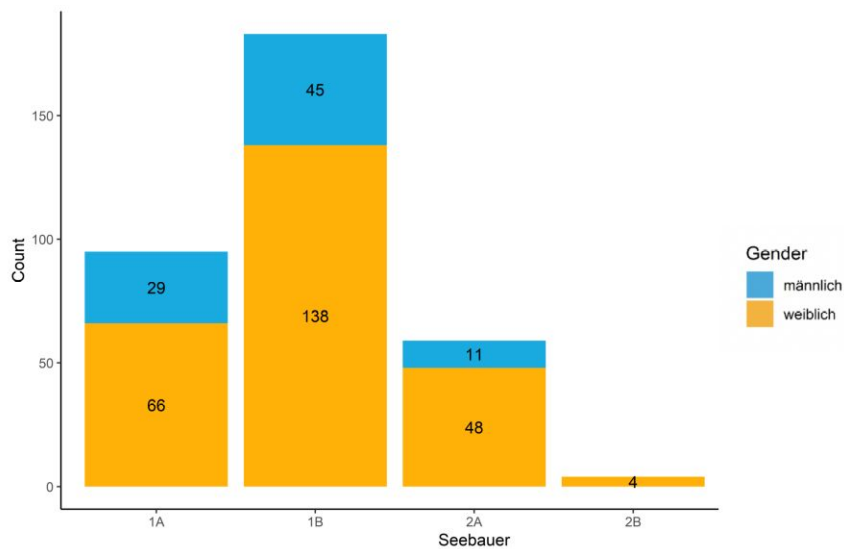
Im Chi-Quadrat-Test zeigen sich keine Zusammenhänge zwischen Geschlecht und der Einstufung nach Seebauer ($p=0,341$).

Mit dem Alter zeigt sich allerdings ein signifikanter Zusammenhang ($p=0,006$), so ist die Anzahl der 2A und 2B Klassifizierungen in der älteren Personengruppe deutlich höher, als

statistisch erwartet. Insgesamt verteilen sich somit die jüngeren Schultern vermehrt auf die niedrigeren Klassifikationen 1A und 1B wie in Abbildung 3.3.4.a zu sehen ist. Die Effektstärke ist mit 0,21 jedoch eher im niedrigen Effektbereich.

		Altersgruppen		Total
		bis 74,5 Jahre	über 74,5 Jahre	
Seebauer	Count	1	0	1
	Expected Count	,5	,5	1,0
1A	Count	52	43	95
	Expected Count	47,5	47,5	95,0
1B	Count	99	84	183
	Expected Count	91,5	91,5	183,0
2A	Count	19	40	59
	Expected Count	29,5	29,5	59,0
2B	Count	0	4	4
	Expected Count	2,0	2,0	4,0
Total	Count	171	171	342
	Expected Count	171,0	171,0	342,0

Abbildung 3.3.4.a: Einzelergebnisse Seebauer Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=4) = 4,515 – p = 0,341

Abbildung 3.3.4.b: Geschlechterverteilung Seebauer Klassifikation

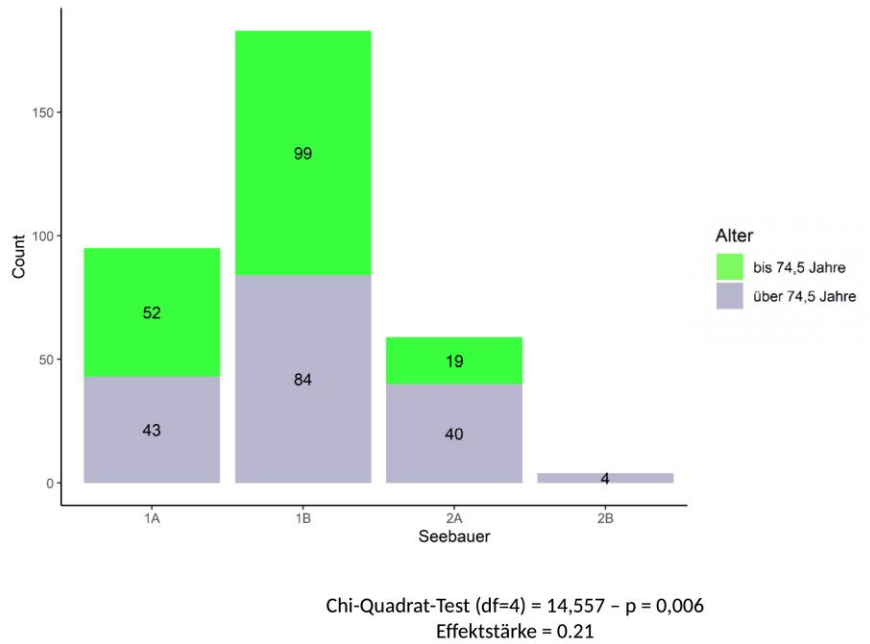


Abbildung 3.3.4.c: Altersverteilung Seebauer Klassifikation

3.3.5 Hamada Klassifikation

Aus den 329 Schultern, die nach Hamada klassifiziert wurden, stammen 248 aus dem weiblichen Kollektiv und 81 aus dem männlichen. 166 Schultern gehören dem älteren Kollektiv an und 163 dem jüngeren.

In der statistischen Auswertung mittels Chi-Quadrat-Test zeigen sich keine Zusammenhänge mit Alter (p=0,417) oder Geschlecht (p=0,483).

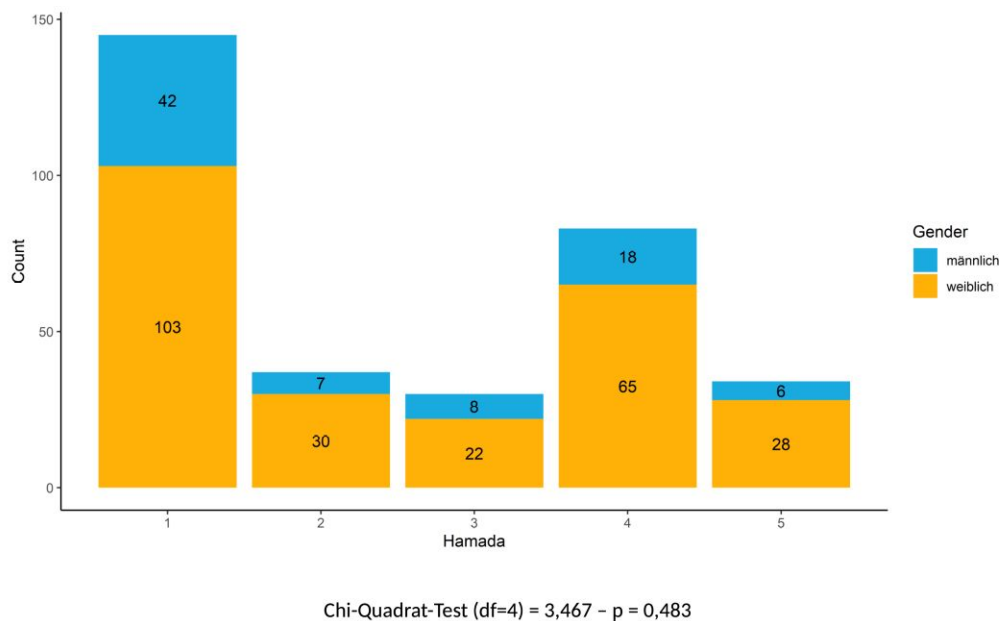
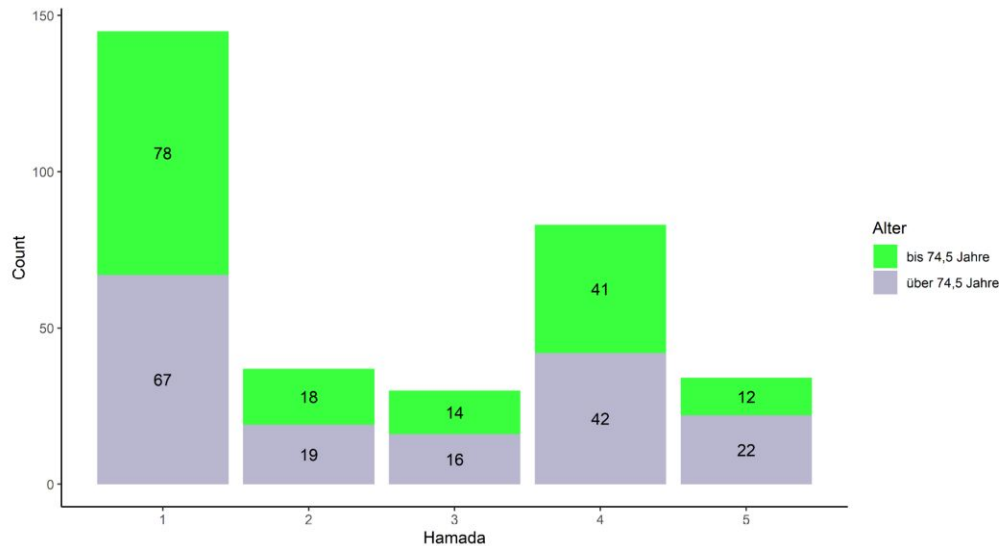


Abbildung 3.3.5.a: Geschlechterverteilung Hamada Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=4) = 3,921 - p = 0,417

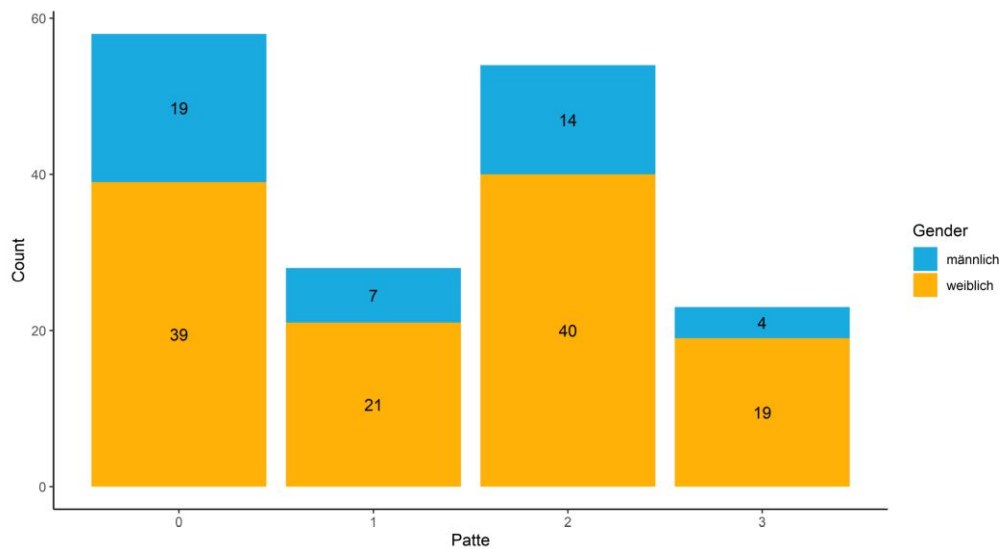
Abbildung 3.3.5.b: Altersverteilung Hamada Klassifikation

3.3.6 Patte Klassifikation

Die 163 Schultern aus der Patte Klassifikation verteilen sich mit 119 Schultern auf das weibliche und 44 Schultern auf das männliche Kollektiv. In der Gruppe der Älteren sind 62 Schultern und in der Gruppe der jüngeren 101. Im Geschlechtervergleich mittels Chi-Quadrat-Test können keine Zusammenhänge festgestellt werden. Im Zusammenhang mit dem Alter sieht man in der älteren Gruppe eine erhöhte Anzahl der Grade 2 und 3, in der jüngeren Gruppe hingegen vermehrte Grad 1 Rupturen, beziehungsweise gar keine Rupturen (Grad 0). Im Chi-Quadrat-Test zeigt sich eine deutliche Signifikanz (p=0,003) bei einer mittleren Effektstärke von 0,29.

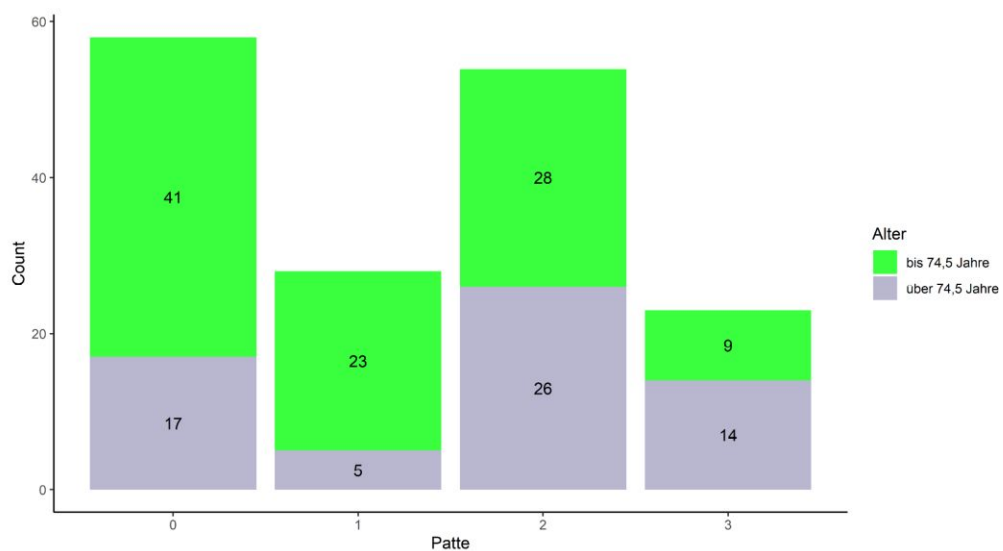
		Altersgruppen		Total	
		bis 74,5 Jahre	über 74,5 Jahre		
Patte	,00	Count	41	17	58
		Expected Count	35,9	22,1	58,0
1,00		Count	23	5	28
		Expected Count	17,3	10,7	28,0
2,00		Count	28	26	54
		Expected Count	33,5	20,5	54,0
3,00		Count	9	14	23
		Expected Count	14,3	8,7	23,0
Total		Count	101	62	163
		Expected Count	101,0	62,0	163,0

Abbildung 3.3.6.a: Einzelergebnisse der Patte Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=3) = 2,142 - p = 0,543

Abbildung 3.3.6.b: Geschlechterverteilung der Patte Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=3) = 14,142 - p = 0,003
Effektstärke = 0.29

Abbildung 3.3.6.c: Altersverteilung der Patte Klassifikation

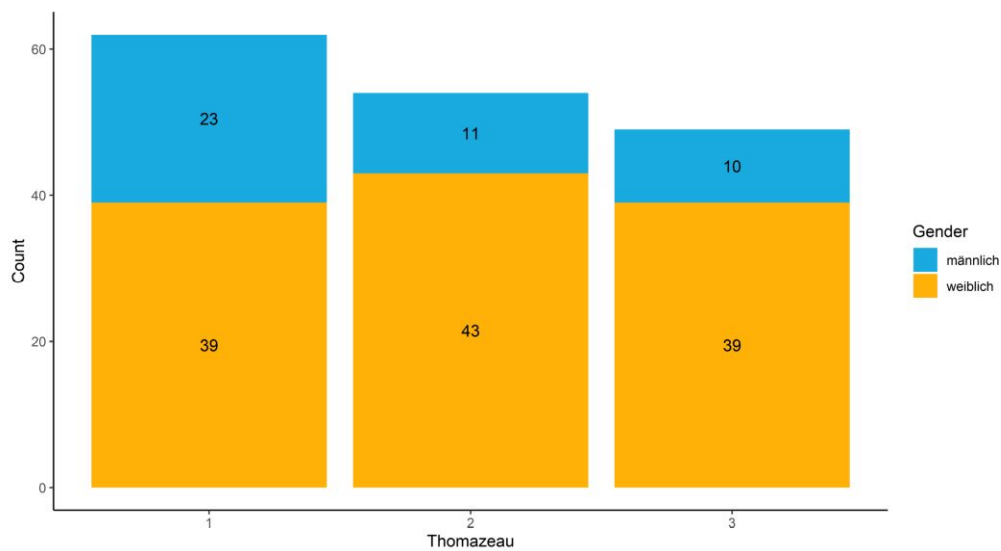
3.3.7 Thomazeau Klassifikation

Die Thomazeau Klassifikation wurde an 121 Schultern aus dem weiblichen Kollektiv und 44 aus dem männlichen ausgewertet. 62 stammen aus der älteren und 103 aus der jüngeren Gruppe. Im Geschlechtervergleich zeigt sich eine leicht höhere Anzahl an männlichen Schultern, die als Grad 1 eingestuft wurden, allerdings lässt sich statistisch keine Signifikanz festmachen (p=0,063). Im Vergleich der Altersgruppen zeigt sich, dass jüngere

Schultern in erhöhter Anzahl als Grad 1 eingestuft werden und die älteren vermehrt als Grad 3 (siehe Abb. 3.3.7.a). Hier zeigt sich auch im Chi-Quadrat-Test eine Signifikanz ($p=0,037$) bei einer Effektstärke von 0,21.

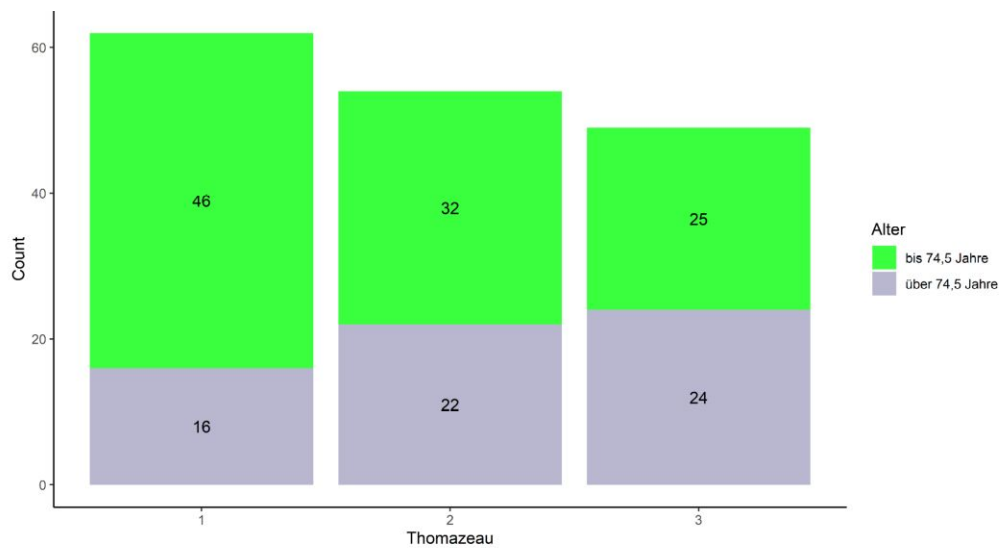
		Altersgruppen		Total
		bis 74,5 Jahre	über 74,5 Jahre	
Thomazeau 1,00	Count	46	16	62
	Expected Count	38,7	23,3	62,0
2,00	Count	32	22	54
	Expected Count	33,7	20,3	54,0
3,00	Count	25	24	49
	Expected Count	30,6	18,4	49,0
Total	Count	103	62	165
	Expected Count	103,0	62,0	165,0

Abbildung 3.3.7.a: Einzelergebnisse Altersvergleich Thomazeau Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=2) = 5,525 - $p = 0,063$

Abbildung 3.3.7.b: Geschlechterverteilung Thomazeau Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=2) = 6,609 - $p = 0,037$
Effektstärke = 0.21

Abbildung 3.3.7.c: Altersverteilung Thomazeau Klassifikation

3.3.8 Goutallier Klassifikation

Die 166 Schultern für die Goutallier Klassifikation teilen sich auf 121 weibliche und 45 männliche auf. 63 stammen aus der älteren Gruppe und 103 aus der jüngeren.

Im Chi-Quadrat-Test konnte sowohl mit dem Geschlecht ($p=0,006$, Effektstärke=0,29) als auch mit dem Alter ($p=0,001$, Effektstärke=0,33) ein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Betrachtet man das Geschlecht fällt ein vermehrtes Vorkommen von Grad 2 und 3 im weiblichen Kollektiv auf, im männlichen hingegen vermehrt Grad 0 Klassifikationen (siehe Abb. 3.3.8.a). In Bezug auf das Alter fällt ein vermehrtes Aufkommen von Grad 0 und 1 in der jüngeren Gruppe und vermehrt die Grade 2, 3 und 4 im älteren Kollektiv auf (siehe Abb. 3.3.8.b).

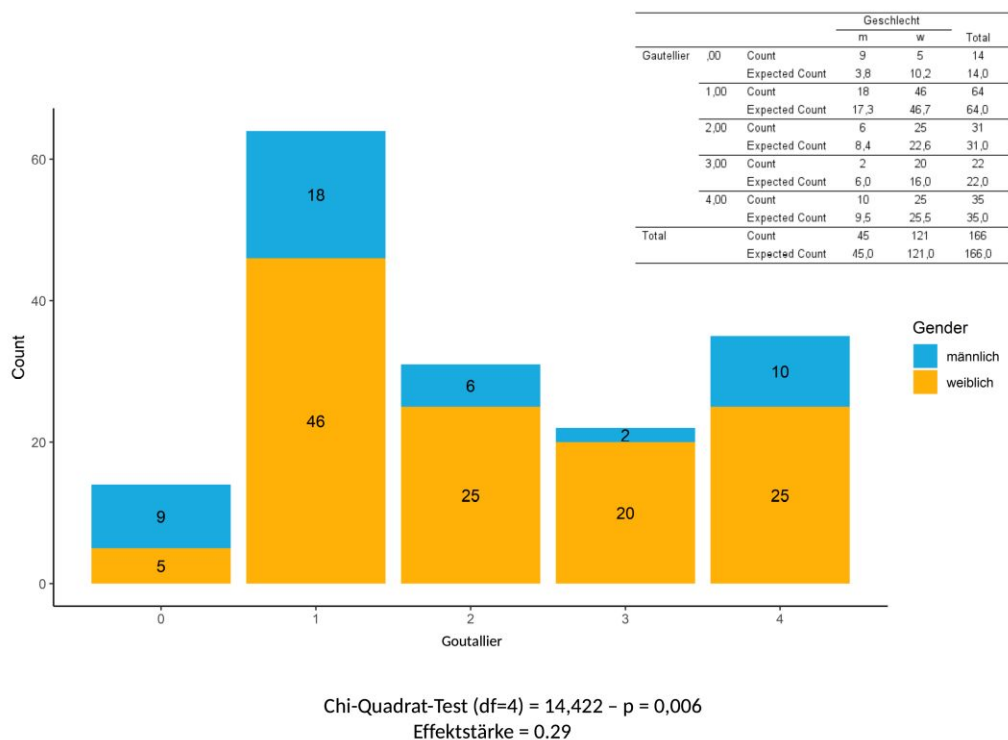
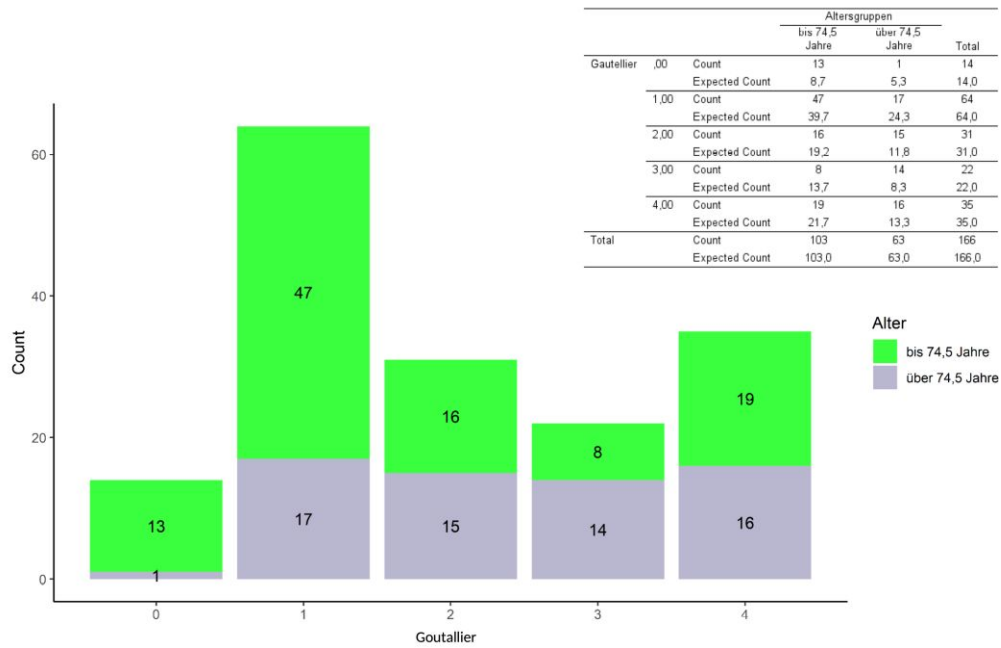


Abbildung 3.3.8.a: Geschlechterverteilung Goutallier Klassifikation



Chi-Quadrat-Test (df=4) = 17,661 - p = 0,001
Effektstärke = 0.33

Abbildung 3.3.8.b: Altersverteilung Goutallier Klassifikation

Eine post-hoc Poweranalyse nach Hoenig und Heisey (87) ergab bezüglich des Endpunktes der fettigen Degeneration nach Goutallier bei einem p=0,006 eine Power größer als 80% bei 257 weiblichen und 85 männlichen Patienten.

4 Diskussion

Unser Kollektiv zur Bestimmung der Ausprägung der CTA und der anatomischen Gegebenheiten verteilte sich auf 257 Schultergelenke von weiblichen und 85 von männlichen Personen. Auch vor Ausschluss anhand der oben beschriebenen Kriterien lag die Zahl der Frauen, welche im Ordensspital der Barmherzigen Schwestern Linz der Implantation einer inversen Prothese unterzogen wurden, deutlich höher als die der Männer (395 zu 155). Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass auch im Raum Linz eine höhere Prävalenz der CTA im weiblichen Kollektiv liegt.

Auch zeigt sich eine typische Mehrheit an der vorwiegend dominanten rechten Extremität, auf die 209 der 342 Operationen fallen.

Im weiblichen Kollektiv zeigte sich mit 74 Jahren ein höheres mittleres Alter zum Operationszeitpunkt als im männlichen Kollektiv (70 Jahre). In Anbetracht der fehlenden signifikanten Unterschiede in der Ausprägung der CTA, kann daher nur der Schluss gefasst werden, dass Frauen tendenziell eher später aber dennoch öfter unter einer CTA leiden.

Bei Betrachtung der Ergebnisse konnten von uns in unserem Kollektiv, bis auf eine Ausnahme, keine relevanten Unterschiede in der Ausprägung der CTA zwischen dem männlichen und weiblichen Kollektiv ausgemacht werden. Einzig die fettige Infiltration der Rotatorenmanschette nach Goutallier gemessen, zeigt sich im weiblichen Kollektiv höher als im Männlichen ($p=0,006$). Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass Männer im Mittel eine höhere Muskelmasse aufweisen als Frauen und somit der prozentuale Anteil der fettigen Infiltration geringer ausfällt.

Betrachtet man die Ergebnisse aus dem Vergleich der jüngeren mit der älteren Altersgruppe, fallen einige signifikante Unterschiede auf. Hier zeigt sich grundsätzlich in der älteren Gruppe, wie zu erwarten, eine weiter fortgeschrittene Erkrankung in Bezug auf die muskuläre Situation, die fettige Infiltration (Goutallier, $p=0,001$) und Rupturen nach Habermeyer ($p=0,000$) und Patte ($p=0,003$) betreffend, sowie der CTA klassifiziert nach Seebauer ($p=0,006$). Auch der akromiohumerale Abstand zeigt sich mit fortgeschrittenem Alter erniedrigt ($p=0,042$). Die Ergebnisse lassen sich höchstwahrscheinlich auf das natürliche Fortschreiten der CTA mit fortgeschrittenem Alter zurückführen.

Zusammengefasst zeigen sich keine klinisch relevanten Unterschiede in unserem Kollektiv, zwischen jüngeren und älteren Patientinnen und Patienten.

Vergleicht man unser Kollektiv mit anderen in der Literatur erwähnten, sieht man eine ähnliche Verteilung nach Alter und Geschlecht. Der Anteil des weiblichen Kollektivs zeigt sich in anderen Untersuchungen konstant höher und liegt zumeist zwischen 60 und 80%, in unserem Fall liegt der Anteil bei etwa 75%. (88)

Das mittlere Alter lag in unserem Kollektiv bei 73,3 Jahren, in vergleichbaren Studien liegt der Schnitt auf ähnlichem Niveau, wie zum Beispiel aus einer Untersuchung der Medizinischen Universität Boston hervorgeht, wo aus über 14000 inversen Schulterprothesen ein mittleres Alter von 72,6 Jahren hervorging. In der selbigen Untersuchung zeigt sich ein Frauenanteil von 63,6%. (89)

Unsere Ergebnisse in Bezug auf die muskulären Veränderungen im Alter decken sich mit ähnlichen Untersuchungen, wie von Milgrom et al. (17), die besagen, dass besonders RMR eine höhere Inzidenz mit steigendem Alter aufweisen. Unterschiede zwischen Geschlechtern konnten hier keine festgestellt werden. In einer Untersuchung von Gueniche und Bierry (90) konnte ebenfalls eine Korrelation zwischen steigendem Alter und erhöhter fettiger Infiltration der RM festgestellt werden.

Schlussendlich lässt sich aus unseren Untersuchungen, bezogen auf die geschlechterspezifischen Unterschiede, statistisch kein Muster erkennen. Die erhöhte fettige Infiltration im weiblichen Kollektiv kann auf die geschlechterspezifischen Unterschiede in der muskulären Ausprägung zurückzuführen sein.

Die signifikanten Ergebnisse im Vergleich der Altersgruppen deckt sich mit bisherigen Untersuchungen und dem bisherigen Verständnis der Pathogenese, wonach es mit fortgeschrittenem Alter zu einer stetigen Zunahme der Gelenksdestruktionen und der muskulären Atrophie kommt.

5 Literaturverzeichnis

1. Kum DH, Kim JH, Park KM, Lee ES, Park YB, Yoo JC. Acromion Index in Korean Population and Its Relationship with Rotator Cuff Tears. *Clin Orthop Surg*. 2017;9(2):218.
2. Liem D, Scheibel M. Kapitel 3 - Pathologie und Pathomechanik des Subakromialraums und der Rotatorenmanschette (inkl. lange Bizepssehne). In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Loew M, Magosch P, Martetschläger F, Tauber M, Herausgeber. *Schulterchirurgie (Fünfte Ausgabe)* [Internet]. Munich: Urban & Fischer; 2017. S. 35–55. Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9783437223426000039>
3. Schwyzer H-K, Flury M, Durchholz H, Jung C, Kolling C. Kapitel 23 - Die inverse Schulterprothese. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Loew M, Magosch P, Martetschläger F, Tauber M, Herausgeber. *Schulterchirurgie (Fünfte Ausgabe)* [Internet]. Munich: Urban & Fischer; 2017. S. 721–51. Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9783437223426000234>
4. Rugg CM, Gallo RA, Craig EV, Feeley BT. The pathogenesis and management of cuff tear arthropathy. *J Shoulder Elbow Surg*. Dezember 2018;27(12):2271–83.
5. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K, Herausgeber. *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 182 Tabellen*. 3., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2011. 607 S. (Prometheus).
6. Platzer W, Spitzer G, Platzer W. *Bewegungsapparat*. 10., überarb. und erg. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2009. 467 S. (Taschenatlas der Anatomie).
7. Putz R, Müller-Gerbl M. Kapitel 1 - Topografie und funktionelle Anatomie des Schultergürtels und des Schultergelenks. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Loew M, Magosch P, Martetschläger F, Tauber M, Herausgeber. *Schulterchirurgie (Fünfte Ausgabe)* [Internet]. Munich: Urban & Fischer; 2017. S. 1–18. Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9783437223426000015>
8. Habermeyer P, Lichtenberg S, Loew M, Magosch P, Martetschläger F, Tauber M, u. a., Herausgeber. *Schulterchirurgie*. 5. Auflage. München: Elsevier; 2017. 868 S.
9. Ellman H. Diagnosis and treatment of incomplete rotator cuff tears. *Clin Orthop*. Mai 1990;(254):64–74.
10. Brewer BJ. Aging of the rotator cuff. *Am J Sports Med*. April 1979;7(2):102–10.
11. Rickert M, Georgousis H, Witzel U. Die native Reißfestigkeit der Sehne des M. supraspinatus beim Menschen: Eine biomechanische Untersuchung. *Unfallchirurg*. April 1998;101(4):265–70.
12. Liem D, Scheibel M. Pathologie und Pathomechanik des Subakromialraums und der Rotatorenmanschette (inkl. lange Bizepssehne). In: *Schulterchirurgie* [Internet]. Elsevier; 2017 [zitiert 27. Januar 2020]. S. 35–55. Verfügbar unter: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9783437223426000039>
13. Djerbi I, Chammas M, Mirous M-P, Lazerges C, Coulet B, French Society For Shoulder and Elbow (SOFEC). Impact of cardiovascular risk factor on the prevalence and severity of symptomatic full-thickness rotator cuff tears. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR*. Oktober 2015;101(6 Suppl):S269-273.
14. Brunner U, Liem D. AWMF: Detail [Internet]. [zitiert 28. Januar 2020]. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/033-041.html>
15. Sher JS, Uribe JW, Posada A, Murphy BJ, Zlatkin MB. Abnormal findings on magnetic resonance images of asymptomatic shoulders. *J Bone Joint Surg Am*. Januar 1995;77(1):10–5.
16. Tempelhof S, Rupp S, Seil R. Age-related prevalence of rotator cuff tears in asymptomatic shoulders. *J Shoulder Elbow Surg*. Juli 1999;8(4):296–9.

17. 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 Br.* März 1995;77(2):296–8.
18. Feeley BT, Gallo RA, Craig EV. Cuff tear arthropathy: Current trends in diagnosis and surgical management. *J Shoulder Elbow Surg.* Mai 2009;18(3):484–94.
19. Neer CS, Craig EV, Fukuda H. Cuff-tear arthropathy. *J Bone Joint Surg Am.* Dezember 1983;65(9):1232–44.
20. Fávaro RC, Abdulahad M, Filho SM, Valério R, Superti MJ. Rotator cuff arthropathy: what functional results can be expected from reverse arthroplasty? *Rev Bras Ortop.* Oktober 2015;50(5):523–9.
21. Halverson PB, Cheung HS, McCarty DJ, Garancis J, Mandel N. „Milwaukee shoulder“--association of microspheroids containing hydroxyapatite crystals, active collagenase, and neutral protease with rotator cuff defects. II. Synovial fluid studies. *Arthritis Rheum.* März 1981;24(3):474–83.
22. Macaulay AA, Greiwe RM, Bigliani LU. Rotator Cuff Deficient Arthritis of the Glenohumeral Joint. *Clin Orthop Surg.* 2010;2(4):196.
23. Ecklund KJ, Lee TQ, Tibone J, Gupta R. Rotator cuff tear arthropathy. *J Am Acad Orthop Surg.* Juni 2007;15(6):340–9.
24. Jensen KL, Williams GR, Russell IJ, Rockwood CA. Rotator cuff tear arthropathy. *J Bone Joint Surg Am.* September 1999;81(9):1312–24.
25. Zeman CA, Arcand MA, Cantrell JS, Skedros JG, Burkhead WZ. The rotator cuff-deficient arthritic shoulder: diagnosis and surgical management. *J Am Acad Orthop Surg.* Dezember 1998;6(6):337–48.
26. Garancis JC, Cheung HS, Halverson PB, McCarty DJ. „Milwaukee shoulder“--association of microspheroids containing hydroxyapatite crystals, active collagenase, and neutral protease with rotator cuff defects. III. Morphologic and biochemical studies of an excised synovium showing chondromatosis. *Arthritis Rheum.* März 1981;24(3):484–91.
27. McCarty DJ, Halverson PB, Carrera GF, Brewer BJ, Kozin F. „Milwaukee shoulder“--association of microspheroids containing hydroxyapatite crystals, active collagenase, and neutral protease with rotator cuff defects. I. Clinical aspects. *Arthritis Rheum.* März 1981;24(3):464–73.
28. Collins DN, Harryman DT. Arthroplasty for arthritis and rotator cuff deficiency. *Orthop Clin North Am.* April 1997;28(2):225–39.
29. Gibbons MC, Sato EJ, Bachasson D, Cheng T, Azimi H, Schenk S, u. a. Muscle architectural changes after massive human rotator cuff tear. *J Orthop Res.* Dezember 2016;34(12):2089–95.
30. Silldorff MD, Choo AD, Choi AJ, Lin E, Carr JA, Lieber RL, u. a. Effect of Supraspinatus Tendon Injury on Supraspinatus and Infraspinatus Muscle Passive Tension and Associated Biochemistry: *J Bone Jt Surg-Am Vol.* Oktober 2014;96(20):e175-1–7.
31. Clement ND, Nie YX, McBirnie JM. Management of degenerative rotator cuff tears: a review and treatment strategy. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol SMARTT.* 14. Dezember 2012;4(1):48.
32. Franklin JL, Barrett WP, Jackins SE, Matsen FA. Glenoid loosening in total shoulder arthroplasty. *J Arthroplasty.* 1988;3(1):39–46.
33. Paxton ES, Teefey SA, Dahiya N, Keener JD, Yamaguchi K, Galatz LM. Clinical and Radiographic Outcomes of Failed Repairs of Large or Massive Rotator Cuff Tears: Minimum Ten-Year Follow-up. *J Bone Jt Surg.* April 2013;95(7):627–32.
34. Jung HJ, Sim G-B, Bae KH, Kekatpure AL, Chun J-M, Jeon I-H. Rotator cuff surgery in patients older than 75 years with large and massive tears. *J Shoulder Elbow Surg.* Februar 2017;26(2):265–72.
35. Denard PJ, Brady PC, Adams CR, Tokish JM, Burkhart SS. Preliminary Results of

- Arthroscopic Superior Capsule Reconstruction with Dermal Allograft. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* Januar 2018;34(1):93–9.
36. Chung SW, Kim JY, Kim MH, Kim SH, Oh JH. Arthroscopic Repair of Massive Rotator Cuff Tears: Outcome and Analysis of Factors Associated With Healing Failure or Poor Postoperative Function. *Am J Sports Med.* Juli 2013;41(7):1674–83.
37. Park J-Y, Lhee S-H, Oh K-S, Moon SG, Hwang J-T. Clinical and Ultrasonographic Outcomes of Arthroscopic Suture Bridge Repair for Massive Rotator Cuff Tear. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* Februar 2013;29(2):280–9.
38. Kim JR, Cho YS, Ryu KJ, Kim JH. Clinical and Radiographic Outcomes After Arthroscopic Repair of Massive Rotator Cuff Tears Using a Suture Bridge Technique: Assessment of Repair Integrity on Magnetic Resonance Imaging. *Am J Sports Med.* April 2012;40(4):786–93.
39. Yamaguchi H, Kanaya F, Suenaga N, Oizumi N, Hosokawa Y. Open repair for massive rotator cuff tear with a modified transosseous-equivalent procedure: preliminary results at short-term follow-up. *J Orthop Sci.* Juli 2011;16(4):398–404.
40. Hanusch BC, Goodchild L, Finn P, Rangan A. Large and massive tears of the rotator cuff: FUNCTIONAL OUTCOME AND INTEGRITY OF THE REPAIR AFTER A MINI-OPEN PROCEDURE. *J Bone Joint Surg Br.* Februar 2009;91-B(2):201–5.
41. Burkhart SS, Barth JRH, Richards DP, Zlatkin MB, Larsen M. Arthroscopic Repair of Massive Rotator Cuff Tears With Stage 3 and 4 Fatty Degeneration. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* April 2007;23(4):347–54.
42. Dahmer J, Krüger M. Anamnese und Befund: die symptom-orientierte Patientenuntersuchung als Grundlage klinischer Diagnostik ; ein interaktives Taschenbuch für Studium und Praxis ; [fächerübergreifend - interaktiv - praxisbezogen ; neu: Patientenbeschwerden als Leitsymptome]. 10., völlig überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2006. 664 S.
43. Wirth C-J, Abdolvahab F, Herausgeber. *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie.* 3., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2014. 1140 S.
44. Brunner UH, Scheibel M. Kapitel 4 - Klinische Untersuchung der Schulter. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Loew M, Magosch P, Martetschläger F, Tauber M, Herausgeber. *Schulterchirurgie (Fünfte Ausgabe)* [Internet]. Munich: Urban & Fischer; 2017. S. 57–87. Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9783437223426000040>
45. Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop.* Januar 1987;(214):160–4.
46. Harrasser N, Eisenhart-Rothe R, Biberthaler P, Herausgeber. *Facharztwissen Orthopädie Unfallchirurgie* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2016 [zitiert 29. Januar 2020]. Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-44463-4>
47. Brunner UH, Scheibel M. Klinische Untersuchung der Schulter. In: *Schulterchirurgie* [Internet]. Elsevier; 2017 [zitiert 28. Januar 2020]. S. 57–87. Verfügbar unter: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9783437223426000040>
48. Wambacher M, Oberladstätter J, Rieger M. Kapitel 5 - Konventionelle Radiologie und Computertomografie der Schulter. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Loew M, Magosch P, Martetschläger F, Tauber M, Herausgeber. *Schulterchirurgie (Fünfte Ausgabe)* [Internet]. Munich: Urban & Fischer; 2017. S. 89–129. Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9783437223426000052>
49. Neer CS. Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder. 1972. *J Bone Joint Surg Am.* Juni 2005;87(6):1399.
50. Nyffeler RW, Werner CML, Sukthankar A, Schmid MR, Gerber C. Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am.*

April 2006;88(4):800–5.

51. 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 Jt J.* Juli 2013;95-B(7):935–41.
52. Gerber C, Snedeker JG, Baumgartner D, Viehöfer AF. Supraspinatus tendon load during abduction is dependent on the size of the critical shoulder angle: A biomechanical analysis: CSA DEPENDENT SUPRASPINATUS LOAD. *J Orthop Res.* Juli 2014;32(7):952–7.
53. Cherchi L, Ciornohac JF, Godet J, Clavert P, Kempf J-F. Critical shoulder angle: Measurement reproducibility and correlation with rotator cuff tendon tears. *Orthop Traumatol Surg Res.* September 2016;102(5):559–62.
54. Cotton RE, Rideout DF. TEARS OF THE HUMERAL ROTATOR CUFF; A RADIOLOGICAL AND PATHOLOGICAL NECROPSY SURVEY. *J Bone Joint Surg Br.* Mai 1964;46:314–28.
55. Weiner DS, Macnab I. Superior migration of the humeral head. A radiological aid in the diagnosis of tears of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Br.* August 1970;52(3):524–7.
56. Brolin TJ, Updegrave GF, Horneff JG. Classifications in Brief: Hamada Classification of Massive Rotator Cuff Tears. *Clin Orthop Relat Res.* November 2017;475(11):2819–23.
57. Walch G, Edwards TB, Boulahia A, Nové-Josserand L, Neyton L, Szabo I. Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: clinical and radiographic results of 307 cases. *J Shoulder Elbow Surg.* Juni 2005;14(3):238–46.
58. Frank R, Levine W. Rotator Cuff Arthropathy - Shoulder & Elbow - Orthobullets [Internet]. [zitiert 31. Januar 2020]. Verfügbar unter: <https://www.orthobullets.com/shoulder-and-elbow/3044/rotator-cuff-arthropathy>
59. Kappe T, Cakir B, Reichel H, Elsharkawi M. Reliability of radiologic classification for cuff tear arthropathy. *J Shoulder Elbow Surg.* Juni 2011;20(4):543–7.
60. Iannotti JP, McCarron J, Raymond CJ, Ricchetti ET, Abboud JA, Brems JJ, u. a. Agreement study of radiographic classification of rotator cuff tear arthropathy. *J Shoulder Elbow Surg.* Dezember 2010;19(8):1243–9.
61. Lévine C, Boileau P, Favard L, Garaud P, Molé D, Sirveaux F, u. a. Scapular notching in reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* November 2008;17(6):925–35.
62. Walch G, Badet R, Boulahia A, Khoury A. Morphologic study of the Glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis. *J Arthroplasty.* September 1999;14(6):756–60.
63. Bercik MJ, Kruse K, Yalozis M, Gauci M-O, Chaoui J, Walch G. A modification to the Walch classification of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis using three-dimensional imaging. *J Shoulder Elbow Surg.* Oktober 2016;25(10):1601–6.
64. Patte D. Classification of rotator cuff lesions. *Clin Orthop.* Mai 1990;(254):81–6.
65. Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P. Classifications and Scores of the Shoulder. New York: Springer Berlin · Heidelberg; 2006.
66. Björkenheim J-M. Structure and function of the rabbit's supraspinatus muscle after resection of its tendon. *Acta Orthop Scand.* Januar 1989;60(4):461–3.
67. Somerson JS, Hsu JE, Gorbaty JD, Gee AO. Classifications in Brief: Goutallier Classification of Fatty Infiltration of the Rotator Cuff Musculature. *Clin Orthop Relat Res.* Mai 2016;474(5):1328–32.
68. Goutallier D, Postel J-M, Bernageau J, Lavau L, Voisin M-C. Fatty Muscle Degeneration in Cuff Ruptures: Pre- and Postoperative Evaluation by CT Scan. *Clin*

Orthop. Juli 1994;NA;(304):78??83.

69. Middernacht B, De Roo P-J, Van Maele G, De Wilde LF. Consequences of Scapular Anatomy for Reversed Total Shoulder Arthroplasty. *Clin Orthop*. Juni 2008;466(6):1410–8.
70. Walker D, Matsuki K, Struk AM, Wright TW, Banks SA. Scapulohumeral rhythm in shoulders with reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. Juli 2015;24(7):1129–34.
71. Kempton LB, Ankersen E, Wiater JM. A complication-based learning curve from 200 reverse shoulder arthroplasties. *Clin Orthop*. September 2011;469(9):2496–504.
72. Sirveaux F, Favard L, Oudet D, Huquet D, Walch G, Molé D. Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff. Results of a multicentre study of 80 shoulders. *J Bone Joint Surg Br*. April 2004;86(3):388–95.
73. Cuff D, Pupello D, Virani N, Levy J, Frankle M. Reverse shoulder arthroplasty for the treatment of rotator cuff deficiency. *J Bone Joint Surg Am*. Juni 2008;90(6):1244–51.
74. Gerber C, Pennington SD, Nyffeler RW. Reverse total shoulder arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg*. Mai 2009;17(5):284–95.
75. Guery J, Favard L, Sirveaux F, Oudet D, Mole D, Walch G. Reverse total shoulder arthroplasty. Survivorship analysis of eighty replacements followed for five to ten years. *J Bone Joint Surg Am*. August 2006;88(8):1742–7.
76. Van Seymortier P, Stoffelen D, Fortems Y, Reynders P. The reverse shoulder prosthesis (Delta III) in acute shoulder fractures: technical considerations with respect to stability. *Acta Orthop Belg*. August 2006;72(4):474–7.
77. Matsen FA, Boileau P, Walch G, Gerber C, Bicknell RT. The reverse total shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. März 2007;89(3):660–7.
78. Berliner JL, Regalado-Magdos A, Ma CB, Feeley BT. Biomechanics of reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. Januar 2015;24(1):150–60.
79. Gutiérrez S, Keller TS, Levy JC, Lee WE, Luo Z-P. Hierarchy of Stability Factors in Reverse Shoulder Arthroplasty. *Clin Orthop*. März 2008;466(3):670–6.
80. Gutiérrez S, Luo Z-P, Levy J, Frankle MA. Arc of motion and socket depth in reverse shoulder implants. *Clin Biomech Bristol Avon*. Juli 2009;24(6):473–9.
81. Favre P, Sussmann PS, Gerber C. The effect of component positioning on intrinsic stability of the reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. Juni 2010;19(4):550–6.
82. Henninger HB, Barg A, Anderson AE, Bachus KN, Tashjian RZ, Burks RT. Effect of deltoid tension and humeral version in reverse total shoulder arthroplasty: a biomechanical study. *J Shoulder Elbow Surg*. April 2012;21(4):483–90.
83. Visotsky JL, Basamania C, Seebauer L, Rockwood CA, Jensen KL. Cuff tear arthropathy: pathogenesis, classification, and algorithm for treatment. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86-A Suppl 2:35–40.
84. Thomazeau H, Rolland Y, Lucas C, Duval JM, Langlais F. Atrophy of the supraspinatus belly. Assessment by MRI in 55 patients with rotator cuff pathology. *Acta Orthop Scand*. Juni 1996;67(3):264–8.
85. Bigliani LU, Ticker JB, Flatow EL, Soslowsky LJ, Mow VC. The relationship of acromial architecture to rotator cuff disease. *Clin Sports Med*. Oktober 1991;10(4):823–38.
86. McCreesh KM, Crotty JM, Lewis JS. Acromiohumeral distance measurement in rotator cuff tendinopathy: is there a reliable, clinically applicable method? A systematic review. *Br J Sports Med*. März 2015;49(5):298–305.
87. Hoenig JM, Heisey DM. The Abuse of Power: The Pervasive Fallacy of Power Calculations for Data Analysis. *Am Stat*. Februar 2001;55(1):19–24.
88. Guerra-Soriano F, Encalada-Díaz MI, Ruiz-Suárez M, Valero-González FS.

- [Rotator cuff tear athropathy prevalence]. *Acta Ortop Mex.* Oktober 2017;31(5):228–32.
89. Botros M, Curry EJ, Yin J, Jawa A, Eichinger JK, Li X. Reverse shoulder arthroplasty has higher perioperative implant complications and transfusion rates than total shoulder arthroplasty. *JSES Open Access.* Juli 2019;3(2):108–12.
90. Gueniche J, Bierry G. Rotator cuff muscles fatty infiltration increases with age: retrospective review of 210 patients with intact cuff on computed tomography arthrography. *J Shoulder Elbow Surg.* April 2019;28(4):617–24.