

Aus dem Lehrstuhl
für Unfallchirurgie
Direktor: Prof. Dr. Dr. Volker Alt
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

**Analyse MR-graphisch bestimmbarer anatomischer Dimensionen des
Schultergelenks im Hinblick auf die Entstehung von Pathologien der langen
Bizepssehne**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Laura Hechinger

Aus dem Lehrstuhl
für Unfallchirurgie
Direktor: Prof. Dr. Dr. Volker Alt
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

**Analyse MR-graphisch bestimmbarer anatomischer Dimensionen des
Schultergelenks im Hinblick auf die Entstehung von Pathologien der langen
Bizepssehne**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Laura Hechinger

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Maximilian Kerschbaum

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Sebastian Geis

Tag der mündlichen Prüfung: 08.10.2025

Teile dieser Arbeit wurden bereits veröffentlicht in:

Gerhardinger K, Klute L, Pfeifer C, Straub J, **Hechinger L**, Riedl M, Alt V, Kerschbaum M, Henssler L. Is the Tendon-to-Groove Ratio Associated with Elevated Risk for LHB Tendon Disorders?-A New Approach of Preoperative MR-Graphic Analysis for Targeted Diagnosis of Tendinopathy of the Long Head of Biceps. J Clin Med. 2024 May 13;13(10):2860. doi: 10.3390/jcm13102860. PMID: 38792401; PMCID: PMC11121934.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
1.1 Hinführung zum Thema	3
1.2 Anatomie der Schulter	3
1.3 Anatomie des <i>M. biceps brachii</i>	4
1.4 Anatomie der langen Bizepssehne	4
1.5 Mechanik der langen Bizepssehne	5
1.6 Pathologien der langen Bizepssehne	6
1.6.1 Pulley-Läsion	6
1.6.2 SLAP-Läsion	7
1.6.3 Tendinitis	9
1.7 Therapie der Pathologien der langen Bizepssehne	10
1.8 Abschließende Fragestellung und Einordnung in den Kontext der Literatur	11
2. Methodik	12
2.1 Studiendesign und -population	12
2.2 MRT Aufnahmetechnik	13
2.3 Definition der MR-graphisch bestimmten anatomischen Parameter	14
2.3.1 Anatomie des Glenohumeralgelenks	14
2.3.1.1 Critical Shoulder Angle	14
2.3.1.2 Glenohumerales Offset	15
2.3.1.3 Akromion-Index	16
2.3.2 Anatomie des Humeruskopfes und Sulcus bicipitalis	17
2.3.2.1 Coronale Dimensionen	17
2.3.2.1.1 Head-Shaft-Angle	17
2.3.2.1.2 Breite des Sulcus in der coronalen Schicht (auf Höhe des ersten Messpunkts)	18
2.3.2.1.3 Tiefe des Sulcus in der coronalen Schicht (auf Höhe des ersten Messpunkts)	19
2.3.2.2 Axiale Dimensionen	20
2.3.2.2.1 Medialer Wall Angle	20
2.3.2.2.2 Breite des Sulcus in der axialen Schicht	21
2.3.2.2.3 Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht	22
2.3.2.2.4 Winkel Tuberculum majus/ minus	23
2.3.2.2.4.1 Alpha	23
2.3.2.2.4.2 Beta	24
2.3.2.2.4.3 Gamma	25
2.3.2.2.4.4 Delta	26
2.3.3 Anatomie der langen Bizepssehne	27
2.3.3.1 Coronale Dimensionen	27
2.3.3.1.1 Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts in der coronalen Schicht	27
2.3.3.1.2 Länge bis zum muskulotendinösen Übergang	28
2.3.3.2 Axiale Dimensionen	29
2.3.3.2.1 Intraartikuläre Länge	29
2.3.3.2.2 Dicke am SLAP	30
2.3.3.2.3 Durchmesser der Sehne im Sulcus	31
2.3.4 Berechnung der Flächen und Einführung des neuen Parameters der Tendon-to-Groove-Ratio	32

3. Ergebnisse.....	34
3.1 Kollektiv.....	34
3.2 Anatomie des Glenohumeralgelenks.....	34
3.3 Anatomie des Humeruskopfes und Sulcus bicipitalis	34
3.4 Anatomie der langen Bizepssehne.....	35
3.5 Flächen und Flächenverhältnisse.....	36
3.6 Intra- und Inter-Rater-Reliabilität	37
4. Diskussion.....	38
4.1 Zusammenhang zwischen Bizepssehnen-Instabilität und Morphologie des Sulcus bicipitalis.....	39
4.2 Querschnitte von LBS und SB, Verhältnis der beiden Größen	41
4.3 Wahl des bildgebenden Verfahrens als Basis der Analyse	42
4.4 Intra- und Inter-Rater-Reliabilität	44
4.5 Limitationen.....	45
5. Zusammenfassung.....	45
6. Anhang.....	47
6.1 Abbildungsverzeichnis.....	47
6.2 Tabellenverzeichnis.....	49
6.3 Abkürzungsverzeichnis.....	50
7. Literaturverzeichnis	51
Danksagung	

1. Einleitung

1.1 Hinführung zum Thema

Die Anatomie des Sulcus bicipitalis (SB) wurde schon in früheren Studien im Hinblick auf einen Zusammenhang mit Instabilität der langen Bizepssehne (LBS) mit unterschiedlichen Ergebnissen untersucht (1,2). Jedoch wurde dabei die anatomische Konfiguration der Sehne außen vor gelassen. In dieser Arbeit wurden sowohl der Sulcus bicipitalis als auch die lange Bizepssehne in ihren anatomischen Variationen untersucht und diese Ergebnisse im Hinblick auf daraus resultierende Pathologien ausgewertet.

1.2 Anatomie der Schulter

Die Schulter setzt sich insgesamt aus fünf verschiedenen Gelenken zusammen: Die Articulatio sternoclavicularis, die Articulatio acromioclavicularis und die Articulatio humeri, stellen die drei sogenannten echten Gelenke der Schulter dar, während das subakromiale Nebengelenk und das Schulterblatt-Thorax-Gelenk als Gleitlager ohne die typischen Charakteristika eines echten Gelenks zur Beweglichkeit des Schultergürtels beitragen.

Wenn man im Allgemeinen vom Schultergelenk spricht, ist in aller Regel die Articulatio humeri gemeint. Diese verbindet den Oberarmknochen (Humerus) mit dem Schulterblatt (Scapula). Dabei artikuliert der Humeruskopf (Caput humeri) mit der Cavitas glenoidalis, die sich lateral an der Scapula befindet (3).

Das Schultergelenk ist als Kugelgelenk das beweglichste Gelenk des menschlichen Körpers. Dieses hohe Bewegungsausmaß kommt zustande, indem sich die zwei artikulierenden Gelenkpartner in ihrer knöchernen Artikulationsfläche stark unterscheiden, so ist die Artikulationsfläche der Cavitas glenoidalis drei- bis viermal kleiner als die Artikulationsfläche des Humerus. Daraus resultiert eine geringe knöcherne Führung (4,5).

Um diese geringe knöcherne Stabilität auszugleichen, sind an der Stabilisierung des Schultergelenks vor allem die periartikulären Bandstrukturen beteiligt. Diese können unter dem Begriff „kapsulolabraler Komplex“ zusammengefasst werden (4). Dazu zählen die Gelenkkapsel mit ihrem Recessus axillaris sowie den verstärkenden Bändern, den Ligamenta glenohumeralia superius, medius et inferius. Durch den

Rezessus kann besonders bei Abspreizbewegungen einer Einschränkung durch die Kapsel entgegengewirkt werden (3,4). Diese Bandstrukturen sorgen besonders bei Abduktions- und Außenrotationsbewegungen durch zunehmende Anspannung für Stabilität (6).

Neben den genannten passiven Stabilisatoren wird die Schulter zusätzlich durch die Muskeln der Rotatorenmanschette stabilisiert. Die Rotatorenmanschette setzt sich aus den Muskeln M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. subscapularis und M. teres minor zusammen (3). Bei Anspannung der Rotatorenmanschette wird der Humeruskopf in die Fossa glenoidalis gepresst, was zu einer stabilisierenden Wirkung der Muskelgruppe führt (6).

1.3 Anatomie des M. biceps brachii

Da in dieser Arbeit primär die lange Bizepssehne betrachtet werden soll, ist es unumgänglich, genauer auf die Anatomie des Musculus biceps brachii und besonders seiner langen Sehne einzugehen. Der zweiköpfige Muskel bildet gemeinsam mit dem M. brachialis die Oberarmbeugemuskulatur. Der Muskel entspringt mit dem Caput longum an der Cavitas glenoidalis der Scapula, genauer am kranialen Rand, dem Tuberculum supraglenoidale aus dem superiorioren Labrum glenoidale. Das Caput breve hat seinen Ursprung am Processus coracoideus der Scapula. Nach dem Verlauf nach kaudal setzt der M. biceps brachii mit der distalen Bizepssehne an der Tuberositas radii des Radius an (3). Dieser Ansatz ist bei den meisten Menschen halbmondförmig, bei manchen jedoch auch oval (7).

1.4 Anatomie der langen Bizepssehne

Die lange Bizepssehne lässt sich in einen intraartikulären horizontalen und einen extraartikulären vertikalen Anteil einteilen (8). Nach ihrem Ursprung aus dem Labrum glenoidale verläuft sie über den Oberarmkopf durch das Schultergelenk nach lateral, bis der extraartikuläre Anteil mit dem Eintritt in den Sulcus bicipitalis zwischen Tuberculum majus und Tuberculum minus beginnt (8).

Neben der knöchernen Führung im Sulcus bicipitalis wird die lange Bizepssehne am Eintritt in den Sulcus durch eine bindegewebige Haltestruktur aus mehreren Anteilen (dem sog. „Biceps Pulley Komplex“) stabilisiert. Zwischen Oberrand des M. subscapularis und Vorderrand des M. supraspinatus findet man das Rotatorenintervall.

In dieser anatomischen Struktur bilden das Ligamentum glenohumerale superius (SGHL) und das Ligamentum coracohumerale den Bizepssehnenpulley (3). Dieser Bizeps-Pulley setzt sich aus Fasern des Ligamentum glenohumerale superius und des Ligamentum coracohumerale und aus Fasern der Mm. supraspinatus und subscapularis zusammen (9). Von anterior wird die lange Bizepssehne durch das Ligamentum coracohumerale, das Ligamentum glenohumerale superius und die Sehnen der Mm. subscapularis und supraspinatus unterstützt. Das Ligamentum coracohumerale ist außerdem bedeutend für die Stabilisierung der langen Bizepssehne. In ihrem Verlauf durch den Sulcus intertubercularis wird die lange Bizepssehne von einer Sehnenscheide umgeben, welche eine Fortsetzung der Gelenkkapsel ist.

Im Sulcus intertubercularis wird die Sehne von einem transversalen Band, dem Ligamentum transversum humeri, stabilisiert (3,8). Die lange und kurze Bizepssehne gehen dann jeweils in das Caput longum bzw. Caput breve des M. biceps brachii über, bevor sie sich zum M. biceps brachii vereinigen.

1.5 Mechanik der langen Bizepssehne

In einer Position der Abduktion und Außenrotation des Schultergelenks ist die lange Bizepssehne maßgeblich an der Stabilisierung des Gelenks beteiligt. Dies kommt daher zustande, dass bei erhöhtem Bizepstonus das Glenohumeralgelenk zunehmend torsionsstabiler wird. Dadurch wirkt die lange Bizepssehne einer Dislokation durch zu starke Außenrotation entgegen (10). Die Rolle der langen Bizepssehne bei der Schulterbewegung ist dennoch umstritten, was unter anderem auf elektromyographische Untersuchungen zurückzuführen ist. Hier wurde festgestellt, dass die lange Bizepssehne nicht an Schulterbewegungen beteiligt ist, sondern mehr eine Rolle bei Bewegungen des Ellenbogengelenks spielt (11). Die lange Bizepssehne wird durch den Halteapparat aus SLAP und Pulley-Komplex stabilisiert. Wenn dieses System durch eine Verletzung einer der beteiligten Strukturen gestört wird, kommt es zu Veränderungen der Kräfte und damit zu Problemen. Patzer et al. fanden heraus, dass es durch SLAP-Läsionen zu einer vermehrten Translation der langen Bizepssehne auf dem Humeruskopf und somit zu einer größeren Belastung der Sehne kommt (12). Die daraus resultierende anteriore LBS-Instabilität kann eine mögliche Ursache für Knorpelläsionen am Humeruskopf sein (12).

1.6 Pathologien der langen Bizepssehne

Die lange Bizepssehne ist allgemein als Auslöser von Schulterschmerzen bekannt (13). Ihre Beteiligung bei Schmerzen in der Schulter wurde schon in früheren Publikationen untersucht (14). Bei Untersuchungen zur Innervation wurde herausgefunden, dass die lange Bizepssehne durch einen großen Teil an sensorischen und sympathischen Fasern innerviert wird, welche nicht mit Blutgefäßen in Verbindung stehen. Außerdem ist anzumerken, dass die lange Bizepssehne am Ursprung deutlich stärker innerviert ist, als am distaleren Anteil, was auch die Rolle der langen Bizepssehne bei anterioren Schulterschmerzen erklärt (15,16). Im Folgenden soll auf die relevanten Pathologien der langen Bizepssehne genauer eingegangen werden.

1.6.1 Pulley-Läsion

Pulley-Läsionen sind oft mit persistierenden anterioren Schulterschmerzen assoziiert (17). Ihr Vorkommen ist bei arthroskopischen Schulteroperationen mit circa einem Drittel der Fälle, laut Braun et al., beziehungsweise 7% der untersuchten Patienten laut Baumann et al. relativ häufig (17,18). Diese unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich durch den Aufbau der Studien erklären. Braun et al. inkludierten in ihrer Studie Patienten, die wegen Beschwerden des Bizeps-Pulley, der langen Bizepssehne, der Sehnen der Rotatorenmanschette und des Rotatorenintervalls arthroskopisch untersucht wurden (17). Im Gegensatz dazu inkludierten Baumann et al. nur Patienten mit einer arthroskopisch bestätigten Pulley-Läsion als primäre Diagnose. Dabei wurde eine Inzidenz von 7,1% für Pulley-Läsionen bei Patienten, die zur Abklärung von ungeklärten Beschwerden der Schulter eine Arthroskopie bekamen, bestimmt (18). Pulley-Läsionen haben verschiedene Ursachen wie repetitive Mikrotraumata, Makrotraumata oder degenerative Veränderungen (18). Eine Pulley-Läsion entsteht durch einen fortschreitenden pathologischen Prozess, der in einem gelenkseitigen Sehnenriss der angrenzenden Sehnen des M. supraspinatus und M. subscapularis (in Nachbarschaft des Rotatorenintervalls) endet. Auch ein abruptes Abbremsen bei der Wurfbewegung wird als Ursache diskutiert. Pulley-Läsionen sind oft mit einer Bizepssehnen-Instabilität assoziiert (18). Habermeyer et al. haben diese Pulley-

Läsionen anhand der Beteiligung der benachbarten Rotatorenmanschettensehnen in 4 Gruppen mit zunehmendem Instabilitätsgrad eingeteilt: Gruppe 1 entspricht isolierten Läsionen des Ligamentum glenohumerale superius ohne Rotatorenmanschettenläsion. Gruppe 2 entspricht Läsionen des Ligamentum glenohumerale superius mit partiellem gelenkseitigem Riss der Sehne des M. supraspinatus (SSP), sodass eine laterale Instabilität der langen Bizepssehne resultiert. Gruppe 3 entspricht Läsionen des Ligamentum glenohumerale superius mit partiellem gelenkseitigem Riss der Sehne des M. subscapularis (SSC), die eine mediale Instabilität der langen Bizepssehne verursacht. Gruppe 4 entspricht Läsionen des Ligamentum glenohumerale superius mit kombiniertem partiellem, gelenkseitigem Riss der Supraspinatus-Sehne und Rissen der Subscapularis-Sehne (19) mit konsekutiver bilateraler Instabilität der Bizepssehne.

Gruppe	Klassifikation der Läsion
1	SGHL Läsion
2	SGHL Läsion + SSP
3	SGHL Läsion + SSC
4	SGHL Läsion + SSP + SSC

Tabelle 1: Klassifikation der Läsionen nach Habermeyer et al. (19)

1.6.2 SLAP-Läsion

Als SLAP wird das **s**uperiore **L**abrum **a**nterior und **p**osterior am kranialen Rand der Cavitas glenoidalis bezeichnet. Hier kommt es häufig zu Verletzungen, oft ausgelöst durch ein akutes Trauma, eine chronische Überbelastung wie bei Sportlern, die täglich Überkopfwürfe ausführen, aber auch altersbedingte Degenerationserscheinungen spielen eine Rolle bei der Entstehung von SLAP-Läsionen (20). Oft sind SLAP-Läsionen mit anderen Verletzungen wie Bankart-Läsionen oder Rotatorenmanschettenrupturen assoziiert (21). Man muss deutlich Pathologien von anatomischen Anomalien unterscheiden (22). Obwohl die SLAP-Läsion erstmals 1985 von Andrews beschrieben wurde, stammt die am häufigsten verwendete Klassifikation von Snyder aus dem Jahr 1990 (23,24). Hier werden Läsionen des SLAP in vier Kategorien eingeteilt. Die erste Kategorie beinhaltet Läsionen, bei denen das superiore Labrum ausgefranst ist, das periphere Labrum aber trotzdem noch am Glenoid

befestigt ist und der Bizepssehnen-Anker intakt ist. Kategorie 2 zeigt die gleichen Ausfransungen und degenerativen Veränderungen wie Kategorie 1, mit zusätzlicher Ablösung des superioren Labrums und Bizepssehnenursprungs vom Glenoid mit Instabilität des Bizepsankers. Bei Kategorie 3 tritt ein Korbhenkelriss mit zentraler Ablösung des Labrums auf, wobei das periphere Labrum sowie der Bizepssehnenanker intakt bleiben. In der vierten Kategorie kann man den gleichen Korbhenkelriss wie in Kategorie 3 ausmachen, mit zusätzlicher Ablösung des Labrums und Riss des Bizepssehnenankers mit Versetzung ins Gelenk. Am häufigsten kommen SLAP-Läsionen der Kategorie 2 vor (23). Die Einteilung kann anhand einer Magnetresonanztomographie (MRT) erfolgen, jedoch sollte während der Schulterarthroskopie eine Reevaluation der Kategorien-Zugehörigkeit erfolgen, da bei dieser die Verletzung genauer ersichtlich ist (21). Bei der MRT-Untersuchung gibt es verschiedene Kriterien, die auf das Vorliegen einer SLAP-Läsion hinweisen, dazu zählt eine paralabrale Zyste, die sich vom superioren Labrum aus ausbreitet und verschiedene signalverstärkte Linien im superioren Labrum in der coronalen Aufnahme (25). Es gibt verschiedene Tests, mit denen der Untersucher die Diagnose einer SLAP-Läsion stellen kann, jedoch bleibt der Goldstandard die MRT-Untersuchung beziehungsweise die Magnetresonanz(MR)-Arthrographie, bei der das Kontrastmittel die Ablösung des superioren Labrums genau darstellt (21). Verschiedene Autoren weisen auf die Vorteile der MR-Arthrographie mit Kontrastmittelgabe bei der Diagnostik von kleinen Läsionen gegenüber der konventionellen MRT-Aufnahmetechnik ohne Kontrastmittelgabe hin (26,27). Zu den Tests zur Feststellung einer SLAP-Läsion gehören der O'Brien- und der Crank-Test, welche in einer Metaanalyse von Dean et al. zu den Tests mit der höchsten Sensitivität gehörten (20). Um zu einem aussagekräftigen Ergebnis zu kommen, ist es sinnvoll mehrere Tests in Serie oder mehrere Tests parallel zu prüfen, wobei 3 Test in Kombination zu einer deutlich aussagekräftigeren Diagnose führen als 2 Tests, zusätzliche Tests über 3 hinaus jedoch das Ergebnis nicht weiter beeinflussen. Dabei führt Serien-Testung zu einer erhöhten Spezifität und Parallel-Testung zu einer erhöhten Sensitivität (20). Trotzdem bleibt eine Diagnosefindung allein anhand dieser Tests schwierig, da eine Läsion des Labrums selten mechanische Symptome auslöst. Patzer et al. untersuchten in einer Studie, wie sich SLAP-Läsionen auf die lange Bizepssehne auswirken (12). Dabei fanden sie heraus, dass durch SLAP-Läsionen eine vermehrte Translation der langen Bizepssehne und damit einhergehend eine

vermehrte Instabilität der LBS hervorgerufen werden. Dies ist besonders bei der anterioren und anteroinferioren Translation zu beobachten, da hier der SLAP-Komplex den höchsten Anteil der stabilisierenden Funktion beiträgt. Diese Instabilität und der erhöhte Druck der Sehne auf dem Humeruskopf können zu Pathologien der langen Bizepssehne und des Knorpels im glenohumeralen Gelenk führen (12).

1.6.3 Tendinitis

Die Tendinitis, auch Tendosynovitis, ist eine entzündliche Erkrankung der langen Bizepssehne und ihrer Sehnenscheide im Sulcus bicipitalis, ausgelöst durch inflammatorische und degenerative Prozesse. Einhergehend sind eine Synovitis, ein Ödem der Bizepssehne, eine verringerte Axonenzahl im distalen Anteil der Sehne, verstärkte Vaskularisierung, fibrotische Veränderungen sowie optional Verklebungen zwischen Sehne und Sehnenscheide, was zu degenerativen Veränderungen führen kann (28,29). Grundsätzlich können zwei Arten der Tendinitis unterschieden werden: die primäre Tendinitis, die ohne Begleitpathologien auftritt und die sekundäre Tendinitis, die in Assoziation mit anderen Pathologien wie Rotatorenmanschettenläsionen, Bizepssehneninstabilität durch SLAP- oder Pulley-Läsionen und dem Impingement-Syndrom auftritt. Die sekundäre Form tritt dabei signifikant häufiger auf als die isolierte Form (29,30). In Bezug auf die Symptomatik zeigt sich eine Tendinitis der langen Bizepssehne durch starke Schmerzen in der anterioren Schulter, im Sulcus bicipitalis lokalisiert, aber auch ein Ausstrahlen in Richtung des M. deltoideus ist möglich, wobei die Schmerzen sich meist beim Heben des Armes in Anteversion intensivieren. Durch die Schmerzsymptomatik ist oft auch das Bewegungsausmaß der Schulter beeinträchtigt (29,31). Obwohl klinische Tests im Allgemeinen eher ungeeignet zur sicheren Diagnose von Pathologien der langen Bizepssehne sind, kann ein positiver Test ein erster Hinweis auf das Vorliegen einer Bizepssehnenpathologie sein. Hierzu sind unter anderem der Yergason- und der Speed-Test geeignet (28,31). Um eine eindeutige Diagnose für Pathologien der langen Bizepssehne zu stellen, gilt die Arthroskopie als der Goldstandard (28). Dabei sollte auch der extraartikuläre Teil der Sehne in das Gelenk gezogen werden, um die Sehne in ihrer ganzen Länge zu untersuchen (28,31). Währenddessen sollte auf Zeichen einer LBS-Pathologie geachtet werden, wie eine Auffaserung der Sehne oder eine

Abnutzung am Knorpel (28). Bei Vorliegen einer Tendinitis kann man eine Verdickung der Sehne und eine Hypervaskularisation erkennen (32).

Die Ultraschalluntersuchung wurde als günstigere und nichtinvasive Alternative hierzu genannt, erwies sich aber als sehr untersucherabhängig (31,33).

1.7 Therapie der Pathologien der langen Bizepssehne

Die Therapie von Pathologien der langen Bizepssehne folgt initial einem konservativen Ansatz. Dazu zählen Ruhigstellung, nichtsteroidale Antirheumatika (NSAID) zur Schmerzregulierung, Kühlen der Schulter und später Kräftigungsübungen mit unterstützender Physiotherapie. Eine lokale Injektion von Steroiden in den Gelenkspalt kann zur akuten Therapie sinnvoll sein (28). Bei persistierenden Beschwerden über drei Monate hinaus trotz konservativem Ansatz sollte ein chirurgischer Eingriff in Betracht gezogen werden (34,35). Die Behandlungsmöglichkeiten von SLAP-Läsionen sind vielfältig, neben konservativen Versorgungen gibt es verschiedene chirurgische Ansätze wie Debridement des superioren Labrums, Verankerung des superioren Labrums am Glenoid, Tenotomie oder Tenodese der langen Bizepssehne sowie Kombinationen aus diesen Versorgungen. Bei der Tenotomie handelt es sich um einen simplen Eingriff, bei dem die lange Bizepssehne von ihrem Ursprung gelöst wird. Die Vorteile eines solchen Eingriffes sind die schnelle Operationszeit, gute Verträglichkeit und verkürzte postoperative Rehabilitationszeit. Als Nachteile werden oft eine kosmetische Deformität im Sinne eines sog. „Popeye-Zeichens“ durch eine Distalisation der Sehne und des Muskelbauchs, vermehrte Krämpfe und Ermüdungsschmerzen genannt (34,36,37). Um diese Nebenwirkungen zu umgehen, wurde das Verfahren der Tenodese eingeführt. Hierbei wird die vorher durchtrennte Sehne am Humerus befestigt. Zur Befestigung der Sehne gibt es verschiedene Möglichkeiten, die gängigsten sind durch einen Anker oder eine Interferenzschraube. Dieses Vorgehen hat den Vorteil von verbesserten kosmetischen Ergebnissen und verminderten Muskelkrämpfen. Es gibt jedoch auch implantatassoziierte Komplikationen wie Frakturen, Implantatverlagerungen, Nervverletzungen sowie persistierende Schmerzen im Sulcus bicipitalis. Außerdem ist dieser Eingriff mit einer längeren und aufwändigeren Operation, vermehrten Kosten und einer längeren Rehabilitationszeit verbunden (35,36,38,39). Um die Vorteile von Tenotomie und Tenodese zu verbinden, führten Kerschbaum et al. die sogenannte Loop-Tenodese

ein. Hierbei wird die tenotomierte Sehne durch das arthroskopische Portal nach extrakorporal gezogen, ein kleiner proximaler Teil reseziert und dann eine Schlaufe kreiert, indem das proximale Ende gefaltet und mit einer Naht fixiert wird, die Sehne wird dann wieder in den Gelenkspalt entlassen, wo sie durch einen vergrößerten Durchmesser im Sulcuseingang im Sinne einer Autotenodese von selbst hält (40). Die Verfahren Tenotomie und Tenodese wurden oft gegenüberstellend verglichen, wobei keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Schulterfunktion, Schulterschmerzen und Biceps-related Strength oder postoperativer Zufriedenheit festgestellt wurden. Der einzige Vorteil der Tenodese gegenüber der Tenotomie waren deutlich weniger Vorfälle eines Popeye-Zeichens und bessere Ergebnisse hinsichtlich des Cramp-Pain-Indexes (36–38). So ist die Tenotomie bei älteren Patienten (>40 Jahre) mit höherem Body-Mass-Index (BMI) und weniger Ansprüchen an ästhetische Ergebnisse und zukünftige sportliche Aktivität das Mittel der Wahl und die Tenodese bei jüngeren Patienten (<40 Jahre) mit dünneren Armen und höheren Ansprüchen an das Ergebnis in ästhetischer und sportlich-funktioneller Hinsicht (34,41). Die Versorgung einer SLAP-Läsion hängt sowohl von individuellen Patientenfaktoren wie Alter, Erwartungshaltung, Aktivitätslevel als auch von der Schwere der Verletzung ab, weswegen im Falle einer SLAP-Läsion die beste Versorgungsmöglichkeit für den Patienten individuell für den Patienten entschieden werden muss, wobei Richtlinien zur Orientierung dienen (21). Bei der Behandlung der Tendinitis der langen Bizepssehne sollte zuerst auf ein nicht-invasives Konzept zurückgegriffen werden. Dieses setzt sich aus Ruhigstellung der betroffenen Schulter, NSAIDs und Physiotherapie zusammen. Die chirurgische Intervention bei Verletzungen der langen Bizepssehne kann entweder aus einer Tenodese oder Tenotomie bestehen, mit zusätzlicher Behandlung von eventuellen Begleitpathologien. Die Operation kann entweder offen oder arthroskopisch erfolgen, wobei ein arthroskopischer Eingriff inzwischen Standard ist. Welches Verfahren dabei das Mittel der Wahl ist, hängt individuell vom Patienten ab und ist behandlerabhängig umstritten (28).

1.8 Abschließende Fragestellung und Einordnung in den Kontext der Literatur

Da Verletzungen des Bizeps-Pulley-Systems an präoperativen MRT-Aufnahmen schwer zu diagnostizieren sind und sich auch aus der klinischen Untersuchung kein klarer Beweis einer Bizepssehnenpathologie ableiten lässt, wäre es von Vorteil, schon

anhand prädisponierender anatomischer Konfigurationen einen Hinweis auf das Vorliegen einer Pathologie bei Patienten mit Beschwerden der langen Bizepssehne zu erhalten. Diese Fragestellung wurde schon in früheren Studien untersucht. Dabei wurde auch der Zusammenhang mit Pathologien und Instabilität der langen Bizepssehne mit teils widersprüchlichen Ergebnissen beschrieben (1,2,42). So fanden Abboud et al. keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Morphologie des Opening Angle (OA) oder des Medial Wall Angle (MWA) und intraoperativ gefundenen Pathologien der LBS (1). Laut Fischetti et al. stabilisiert ein tieferer Sulcus bicipitalis die Sehne bei Bewegungen der Schulter besser als ein flacherer Sulcus, eine abnehmende Sulcustiefe führt zu geringerer Stabilität (2). Diese Aussage wird durch eine Studie von Kavak et al. unterstützt (42). Laut dieser Studie kann man anhand bestimmter anatomischer Parameter die Prävalenz einer Bizepssehneninstabilität erkennen. So hatten Patienten mit einer Instabilität der LBS einen flacheren SB, einen kleineren MWA und einen größeren Total Opening Angle (TOA) (42). Bis jetzt wurde in den veröffentlichten Studien allerdings nur ein flacher Sulcus bicipitalis als prädisponierender Faktor für eine Instabilität der langen Bizepssehne untersucht (43). Der Einfluss der Dimensionen der langen Bizepssehne selbst und deren Verhältnis zum Sulcus bicipitalis wurden in den bisher verfügbaren Arbeiten nicht beachtet. Deshalb hat sich diese Arbeit zum Ziel gesetzt, die Morphologie des Sulcus bicipitalis und der langen Bizepssehne zu untersuchen und deren Querschnittsflächen zu ermitteln und im Kontext zueinander zu betrachten. Dabei wurde auch untersucht, wie genau verschiedene Untersucher das Verhältnis von Sehne zu Sulcus an präoperativen MRT-Aufnahmen bestimmen. Das andere Ziel der Arbeit war herauszufinden, inwiefern sich dieser neue Parameter als prognostischer Faktor für das Vorliegen einer Bizepssehnenpathologie verwenden lässt, was bei der Diagnosefindung und individuellen Patientenbehandlung hilfreich wäre.

2. Methodik

2.1 Studiendesign und -population

Um die Fragestellung zu bearbeiten, wurde eine retrospektive Studie durchgeführt. Hierzu wurden präoperative MRT-Aufnahmen von 35 Patienten, die sich wegen akuten oder degenerativen Verletzungen der Rotatorenmanschette oder anderen

labroligamentären Strukturen der Schulter vorgestellt haben, ausgewertet. Davon waren 30 Patienten männlich und 5 Patienten weiblich, mit einem durchschnittlichen Alter von 46 ± 14 Jahren. Inklusionskriterien waren anteriore Schulterschmerzen mit gleichzeitigem klinischem Hinweis auf eine Bizeps-Tendinopathie, Alter der Patienten über 18 Jahre und Anfertigung der MRT-Aufnahmen am Institut der Studie. Exklusionskriterien waren externe MRT-Aufnahmen, Diagnose einer entzündlichen Arthritis oder fortgeschrittenen Osteoarthritis sowie eine Vorgeschichte von signifikantem Trauma oder vorhergegangenen offenen oder arthroskopischen operativen Eingriffen an der betroffenen Schulter.

2.2 MRT Aufnahmetechnik

Die Patienten wurden auf dem Rücken liegend in einem MRT-Gerät (MAGNETOM Skyra, Siemens Healthineers AG, Forchheim, Deutschland) positioniert. Die Arme wurden dabei mit durchgestreckten Ellbogen und einer neutralen Rotation des Unterarms am Körper angelegt. Alle in dieser Studie verwendeten Aufnahmen wurden mit demselben MRT-Gerät durchgeführt. Mit einer spezialisierten Schulter-Spule wurden Standard-Schultersequenzen aufgenommen. Dabei wurde die Protonendichte (PD) miteinbezogen, um Aufnahmen in der axialen Schichtung zu generieren (Wiederholungszeit/Echozeit Bereich: 3000-3220/33 ms; Schichtdicke: 3 mm; Sichtfeld: 15 cm), auf denen der Fokus dieser Untersuchung lag. Die Auswertung der Aufnahmen wurde mithilfe des syngo PACS viewers (Siemens Healthineers AG, Forchheim, Deutschland) durchgeführt. Dabei wurde die Position der langen Bizepssehne in Relation zur gesamten Länge des Sulcus bicipitalis an axialen PD-gewichteten Aufnahmen bestimmt, wobei die Messungen einmal am Eingang zum Sulcus bicipitalis auf Höhe des Pulley-Komplexes (Messpunkt 1) und einmal in der Mitte des Sulcus, definiert durch dessen tiefste Stelle, (Messpunkt 2) durchgeführt wurden.

Die MRT-Aufnahmen der Patienten wurden jeweils im Hinblick auf die Anatomie des Glenohumeralgelenks und die Anatomie der langen Bizepssehne und des Sulcus bicipitalis untersucht. Diese Werte wurden von 3 Untersuchern zwei Mal im Abstand von einer Woche zur Bestimmung der Intraobserver-Reliabilität sowie der Interobserver-Reliabilität gemessen. Die Flächenverhältnisse wurden danach von den jeweiligen Untersuchern in Gruppen eingeteilt, wobei anhand dieser Einteilung in

Gruppen sowohl die Interobserver-Reliabilität als auch die Intraobserver-Reliabilität bestimmt wurden. Im Folgenden soll nun genauer auf das jeweilige Vorgehen bei der Erhebung der radiologischen Parameter eingegangen werden.

2.3 Definition der MR-graphisch bestimmten anatomischen Parameter

In dieser Arbeit wurden einige gängige anatomische Parameter zur Vermessung der Schulter bestimmt.

2.3.1 Anatomie des Glenohumeralgelenks

2.3.1.1 Critical Shoulder Angle

In früheren Studien wurden für den Critical Shoulder Angle (CSA) durchschnittlich $33,6^\circ$ von Gumina et al. gemessen, wobei die Werte zwischen 24° und 50° rangierten (44). Auch Suter et al. bestimmten den durchschnittlichen CSA in einer Studie mit $33 \pm 4^\circ$ ($23-44^\circ$) (45). Der CSA spielt eine Rolle in der Erkennung von Prävalenzen für bestimmte Pathologien der Schulter. Moor et al. fanden heraus, dass ein CSA größer als 35° mit einem Risiko für Rupturen der Rotatorenmanschette assoziiert ist, ein kleinerer CSA ($<30^\circ$) mit Osteoarthritis (46,47). Auch Cherchi et al. fanden einen deutlich größeren CSA bei Patienten mit Rupturen der Rotatorenmanschette (48). Blonna et al. konnten ebenfalls eine Korrelation zwischen größerem CSA und Rotatorenmanschettenläsionen und kleinerem CSA und Osteoarthritis nachweisen (49). Bjarnison et al. fanden zwar einen Zusammenhang zwischen CSA und dem Vorliegen von Osteoarthritis bei einem CSA kleiner als 30° , konnten jedoch keine Assoziation zwischen dem CSA und Rupturen der Rotatorenmanschette finden (50). Der Critical Shoulder Angle (CSA) wurde wie von Moor et al. beschrieben in der Koronalebene gemessen (47). Hierzu wurde eine Linie am Glenoid vom Tuberculum infraglenoidale zum Tuberculum supraglenoidale gezogen und dann vom Tuberculum infraglenoidale aus eine Linie zum lateralsten kaudalsten Punkt des Akromions gezogen. Der Winkel zwischen diesen beiden Linien mit Scheitel am Tuberculum infraglenoidale und 1. Schenkel am Glenoid und 2. Schenkel am Akromion wird als der Critical Shoulder Angle gemessen. Da der Parameter in der Originalpublikation für konventionelle Röntgenaufnahmen beschrieben wurde, wurde zur Messung in MRT-Aufnahmen eine Schicht verwendet, in der die genannten Strukturen, v.a. der lateralste Punkt des Acromions, auf einem Bild erkennbar waren.

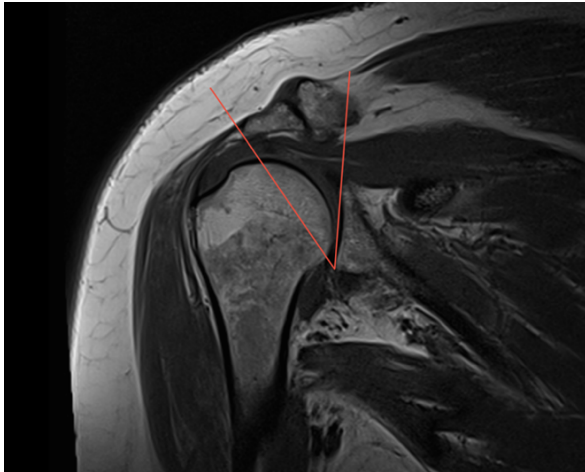


Abbildung 1: Messung des CSA am MRT

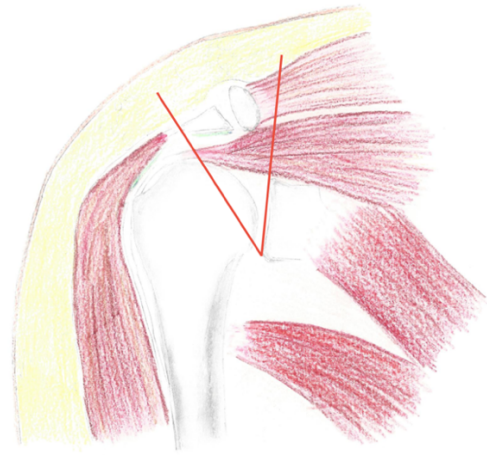


Abbildung 2: Darstellung der Messung des CSA an einer Zeichnung

2.3.1.2 Glenohumerales Offset

Angelehnt an andere Veröffentlichungen wurde das glenohumerale Offset leicht modifiziert gemessen (51,52). Das glenohumerale Offset wurde in der Koronalebene gemessen, in der gleichen Schicht wie der CSA. Hierzu wurde eine Linie vom Tuberculum infraglenoidale zum Tuberculum supraglenoidale gezogen. Parallel dazu wurde eine Linie gezogen, die den lateralsten Punkt des Humeruskopfes tangiert. Dieser Abstand zwischen den beiden Linien beschreibt das glenohumerale Offset.



Abbildung 3: Messung des glenohumeralen Offsets am MRT

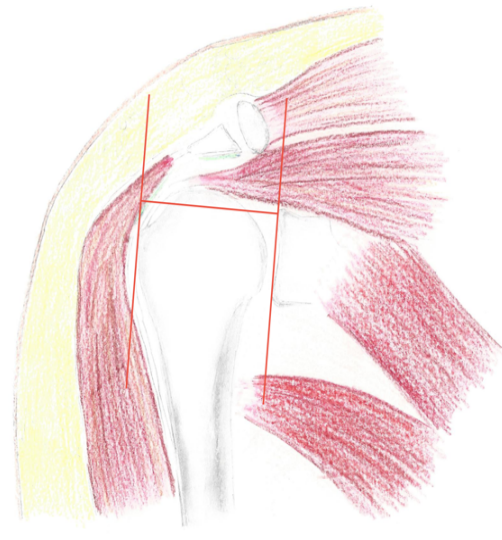


Abbildung 4: Darstellung der Messung des glenohumeralen Offsets an einer Zeichnung

2.3.1.3 Akromion-Index

Der Akromion-Index (AI) wurde wie von Nyffeler et al. beschrieben gemessen (53). Dazu wurde die Koronalebene betrachtet. Parallel zur lateralen Linie des glenohumeralen Offsets wurde eine Linie gezogen, die den lateralsten Punkt des Akromions tangiert. Der Akromion-Index ergibt sich aus dem Verhältnis des Abstandes von Glenoidlinie zu Akromionlinie zum Abstand von Glenoidlinie zu Humeruskopflinie.

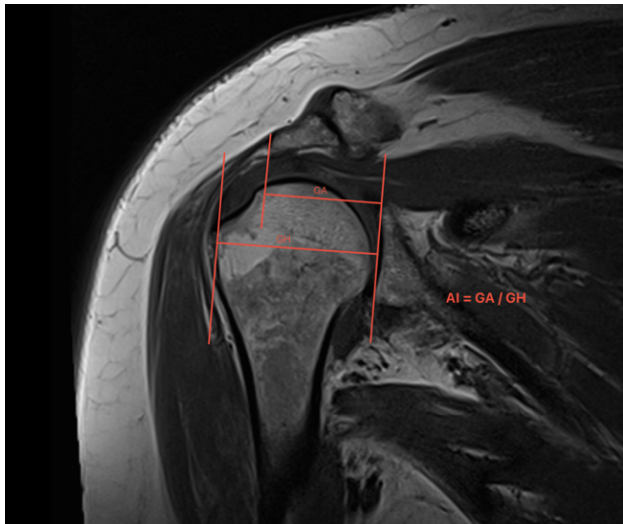


Abbildung 5: Messung des AI am MRT

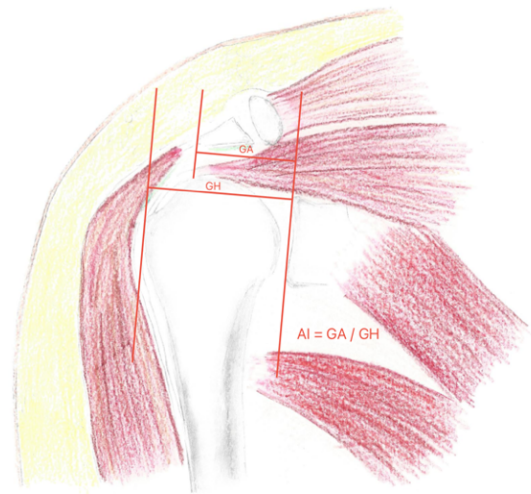


Abbildung 6: Darstellung der Messung des AI an einer Zeichnung

2.3.2 Anatomie des Humeruskopfes und Sulcus bicipitalis

2.3.2.1 Coronale Dimensionen

2.3.2.1.1 Head-Shaft-Angle

In dieser Arbeit wurde auch der Head-Shaft-Angle (HSA) gemessen. Der HSA wurde in früheren Studien mit einem Durchschnittswert von 131° von Agel et al. und $137 \pm 4^\circ$ von Malavolta et al. bestimmt (54,55). Um den Head-Shaft-Angle (HSA) in der Koronalebene zu messen, wurde eine Linie parallel zur Schaftachse des Humerus gezogen. Die Linie wurde so angelegt, dass sie im Durchschnitt mittig durch den Schaft des Humerusknochens läuft. Das Caput Humeri wurde dabei nicht berücksichtigt. Danach wurde eine Linie am anatomischen Hals des Humerus entlang gezogen. Zu dieser Linie wurde nun eine Linie im 90° Winkel gezogen. Um den HSA zu ermitteln, misst man den Winkel zwischen dieser Linie und der Linie durch den Humerusschaft (54,55).



Abbildung 7: Messung des HSA am MRT

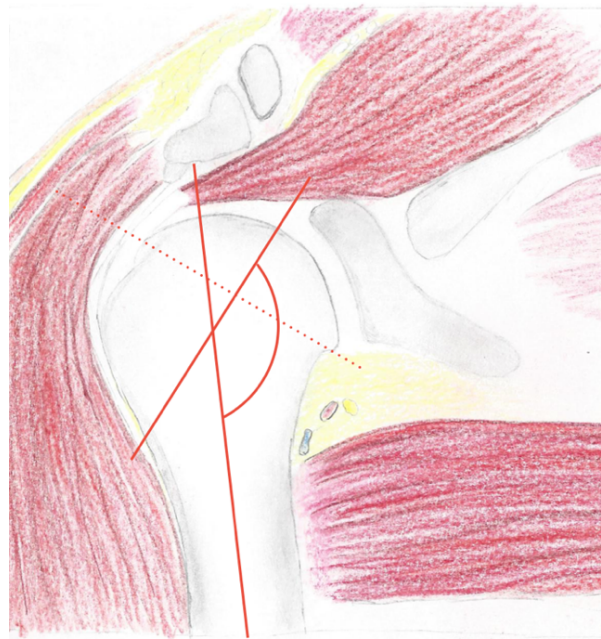


Abbildung 8: Darstellung der Messung des HSA an einer Zeichnung

2.3.2.1.2 Breite des Sulcus in der coronalen Schicht (auf Höhe des ersten Messpunkts)

Der Sulcus wurde in seiner mediolateralen Ausdehnung auch in der coronalen Schicht betrachtet. Dazu wurde eine Schicht gewählt, in der der Sulcus bicipitalis am besten sichtbar ist. In dieser Schicht wurden jeweils die mediale und laterale Begrenzung des Sulcus festgelegt. Diese Punkte wurden als die größte Krümmung der Kurvatur definiert. Dann wurde der Abstand zwischen diesen beiden Punkten gemessen und als Breite des Sulcus auf Höhe des ersten Messpunkts definiert.

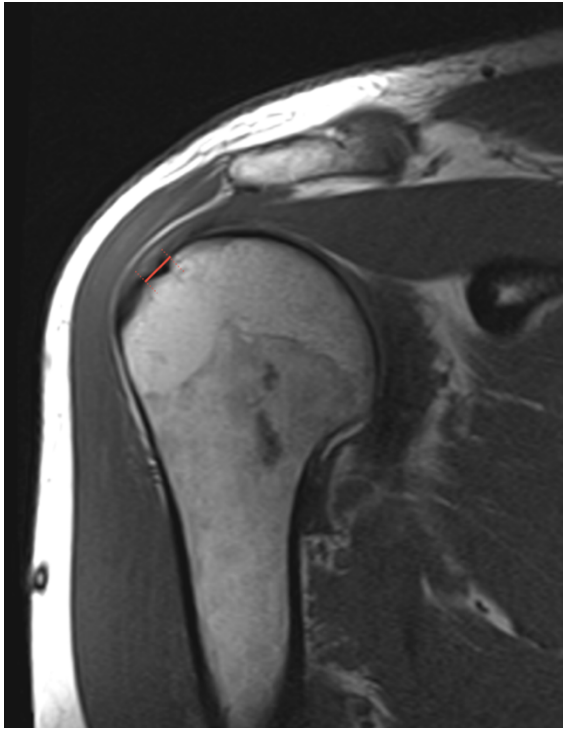


Abbildung 9: Messung der Breite des Sulcus in der coronalen Schicht am MRT



Abbildung 10: Darstellung der Messung der Breite des Sulcus in der coronalen Schicht an einer Zeichnung

2.3.2.1.3 Tiefe des Sulcus in der coronalen Schicht (auf Höhe des ersten Messpunkts)

Mit der gleichen Ausgangslage wie oben genannt, wurde auch die Tiefe des Sulcus auf Höhe des ersten Messpunkts gemessen. Dazu wurde die Linie, die die beiden kranialsten Punkte des Tuberculum majus und Tuberculum minus verbindet, als kraniale Begrenzung benutzt. Zu dieser Linie wurde parallel eine Linie gezogen, die den kaudalsten Punkt des Sulcus tangiert. Die Länge dieser Linie vom kaudalsten Punkt zur kranialen Verbindungslinie wurde als Tiefe des Sulcus auf Höhe des ersten Messpunkts definiert.

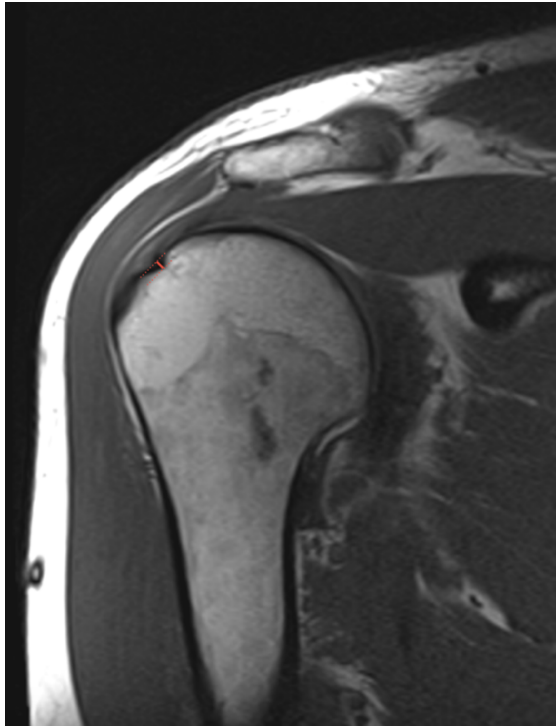


Abbildung 11: Messung der Tiefe des Sulcus in der coronalen Schicht am MRT



Abbildung 12: Darstellung der Messung der Tiefe des Sulcus in der coronalen Schicht an einer Zeichnung

2.3.2.2 Axiale Dimensionen

2.3.2.2.1 Medialer Wall Angle

Der Sulcus bicipitalis wurde schon 1983 von Cone et al. untersucht, in jener Arbeit wurde erstmals der mediale Wall Angle, sowie Tiefe und Breite des Sulcus an radiologischen Aufnahmen vermessen (56). In Anlehnung an diese Veröffentlichung hat auch diese Arbeit den MWA untersucht. Dazu wurde jene axiale Schicht ausgewählt, in der der Sulcus intertubercularis in seiner tiefsten Ausdehnung sichtbar ist. Für die Messung des MWA wurde dann eine Linie an die ventralen Begrenzungen des Sulcus am Tuberculum minus und Tuberculum majus an deren Übergang in den Sulcus bicipitalis angelegt. Der MWA wurde an einer Parallelen dieser Linie und einer weiteren Linie gemessen, die den tiefsten Punkt des Sulcus bicipitalis und den Übergang des Tuberculum minus in den Sulcus bicipitalis, verbindet. Diese Linie orientiert sich an der medialen Begrenzung des Sulcus bicipitalis.

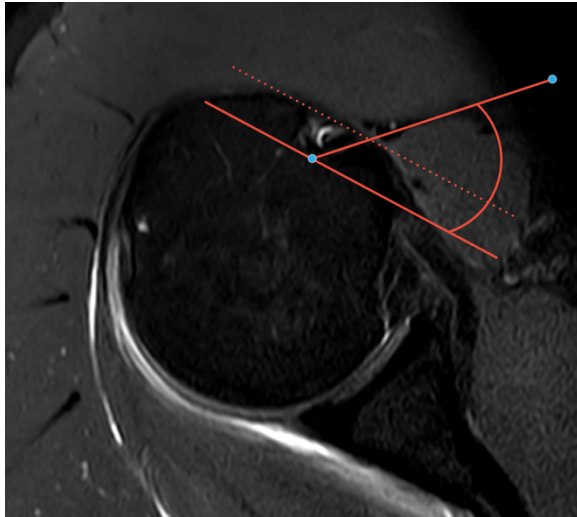


Abbildung 13: Messung des MWA am MRT

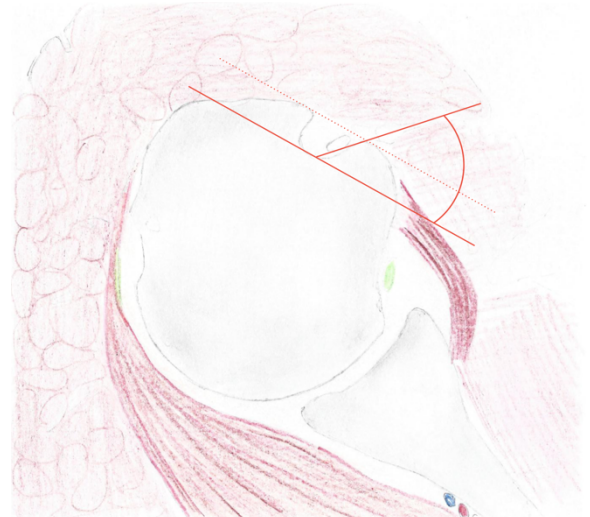


Abbildung 14: Darstellung der Messung des MWA an einer Zeichnung

2.3.2.2.2 Breite des Sulcus in der axialen Schicht

Um den Sulcus in seiner mediolateralen Ausdehnung zu messen, wurde in der axialen Ebene die mediale und die laterale Begrenzung des Sulcus festgelegt, indem eine Tangente über den Sulcus auf das Tuberculum majus und das Tuberculum minus gelegt wurde. Dann wurde der Abstand zwischen beiden Berührungspunkten der Tangente mit dem Knochen am Tub. majus und am Tub. minus gemessen und als Breite des Sulcus in der axialen Schicht definiert. Dies wurde jeweils an zwei Messpunkten durchgeführt, einmal am Eingang zum Sulcus bicipitalis auf Höhe des Pulley-Komplexes (Messpunkt 1) und einmal an der tiefsten Stelle des Sulcus (Messpunkt 2).

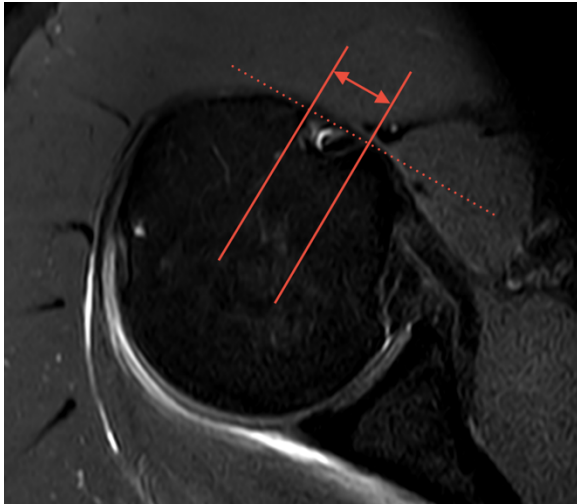


Abbildung 15: Messung der Breite des Sulcus in der axialen Schicht am MRT

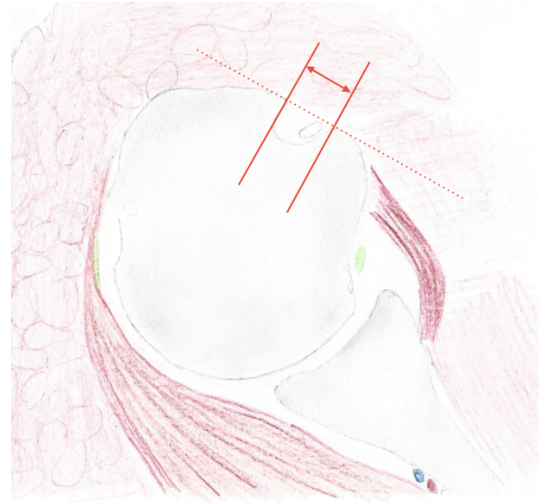


Abbildung 16: Darstellung der Messung der Breite des Sulcus in der axialen Schicht an einer Zeichnung

2.3.2.2.3 Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht

Mit der gleichen Tangente wie oben genannt, wurde die Tiefe des Sulcus bestimmt. Parallel dazu wurde eine Linie gezogen, die den tiefsten Punkt des Sulcus bicipitalis tangiert. Der Abstand zwischen diesen beiden Parallelen definierte die Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht. Auch dieser Wert wurde am Messpunkt 1 und am Messpunkt 2 gemessen.

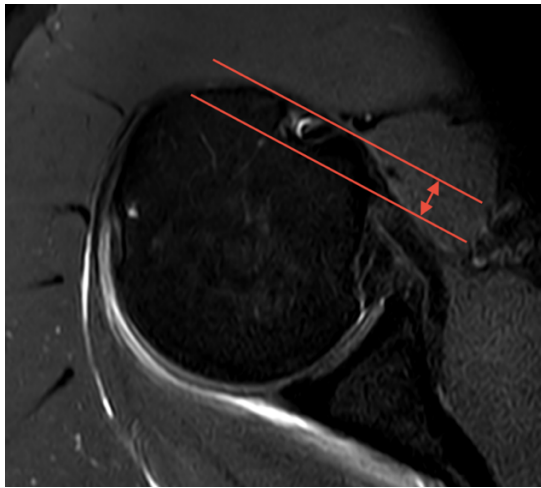


Abbildung 17: Messung der Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht am MRT

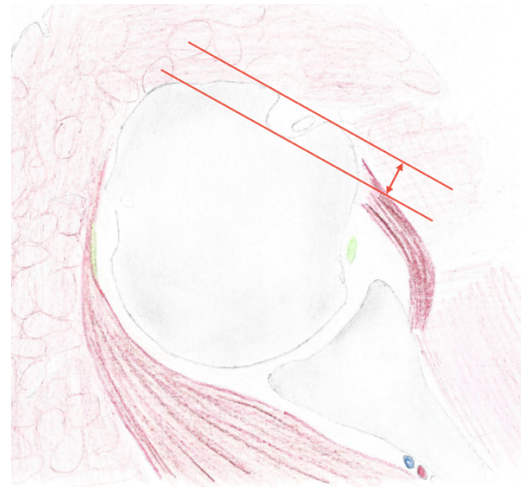


Abbildung 18: Darstellung der Messung der Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht an einer Zeichnung

2.3.2.2.4 Winkel Tuberculum majus/ minus

Es wurden verschiedene Winkel an Tuberculum majus, Tuberculum minus und Sulcus intertubercularis gemessen. Hierzu wurde für alle Messungen der verschiedenen Winkel die gleiche Ausgangslage definiert: Der Humeruskopf wurde in der axialen Schicht, in der das Caput humeri den größten Durchmesser hat, betrachtet. In Anlehnung an die von Moroder et al. beschriebene Technik wurden nun in der axialen Ebene verschiedene Winkel gemessen. Als Scheitelpunkt aller Messungen diente der Mittelpunkt eines Best-Fit-Kreises, der das Caput humeri umschließt (57). Mithilfe einer horizontalen und einer vertikalen Linie wurde der Mittelpunkt dieses Kreises bestimmt. Nun wurden von diesem Mittelpunkt aus verschiedene Winkel gemessen, um den Sulcus bicipitalis zu messen.

2.3.2.2.4.1 Alpha

Der Winkel, der den Sulcus bicipitalis misst, wurde „Alpha“ genannt. Hierzu wurde vom Mittelpunkt des oben genannten Kreises aus eine Linie am Übergang vom medialen Ende des Tuberculum majus in den Sulcus und eine Linie am Übergang des lateralen Endes des Tuberculum minus in den Sulcus gezogen. Der Winkel zwischen den beiden genannten Linien wurde als „Alpha“ definiert und gemessen.

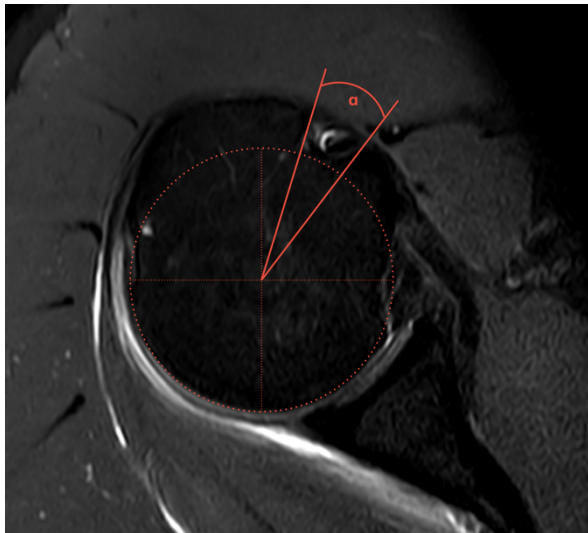


Abbildung 19: Messung des Winkels Alpha am MRT

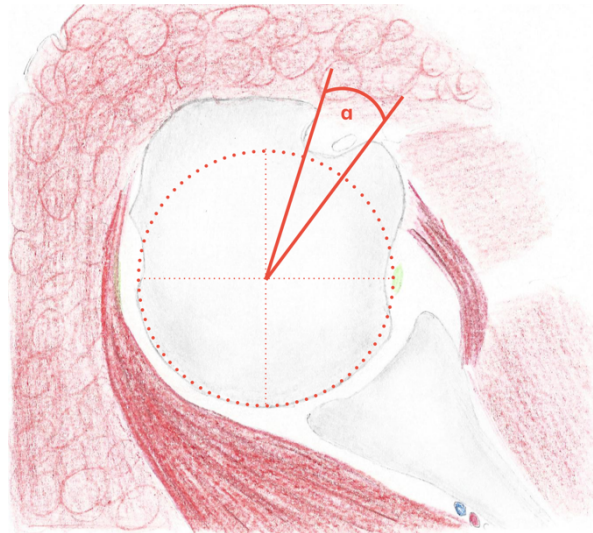


Abbildung 20: Darstellung der Messung des Winkels Alpha an einer Zeichnung

2.3.2.2.4.2 Beta

Der Winkel „Beta“ wurde unter den gleichen Voraussetzungen wie der Winkel „Alpha“ gemessen. Um den Winkel „Beta“ zu bestimmen, wurde vom Drehzentrum des Humeruskopfes aus eine Linie zum medialen Ende des Tuberculum majus am Übergang in den Sulcus bicipitalis gezogen. Die zweite Linie wurde vom Mittelpunkt aus durch das mediale Ende des Tuberculum minus gezogen. Das Ende des Tuberculum minus wurde hier als der Punkt definiert, an dem die Krümmung ihre Richtung ändert, d.h. von der konvexen Form des Humeruskopfes in eine konkave Form zum Tuberculum minus aufsteigt. Nun wurde der Winkel zwischen diesen beiden Linien gemessen, die ihren Scheitelpunkt am Mittelpunkt des Kreises haben und als „Beta“ definiert.

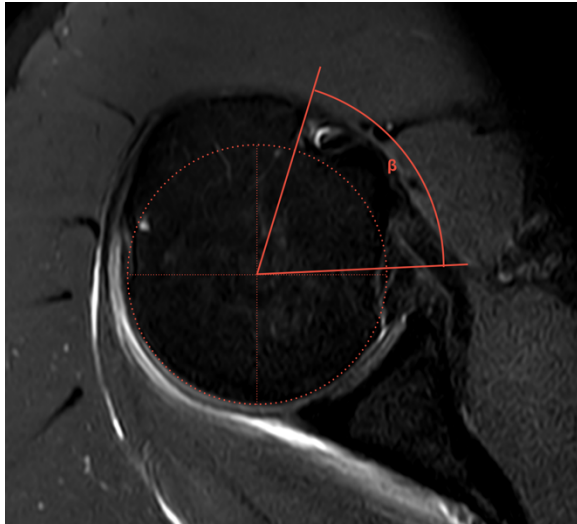


Abbildung 21: Messung des Winkels Beta am MRT

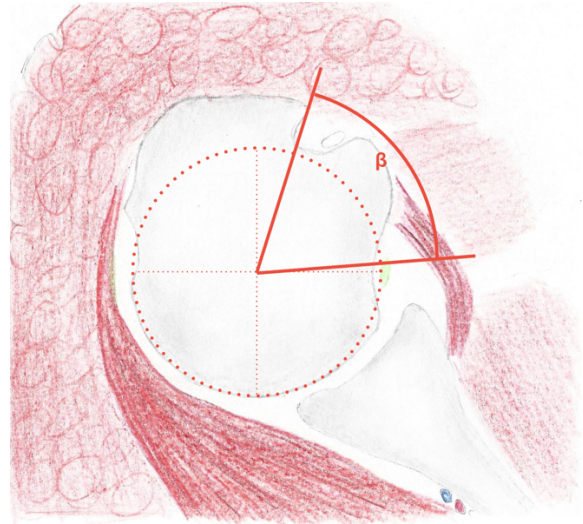


Abbildung 22: Darstellung der Messung des Winkels Beta an einer Zeichnung

2.3.2.2.4.3 Gamma

Der Winkel „Gamma“ beginnt mit den gleichen obigen Voraussetzungen. Danach wurde vom Drehzentrum des Humeruskopfes aus eine Linie zum lateralen Übergang des Tuberculum minus in den Sulcus bicipitalis gezogen. Die zweite Linie wurde vom Mittelpunkt aus zum medialen Ende des Tuberculum minus am Übergang zum Caput humeri gezogen. Dieses Ende wurde wiederum als größte Krümmung der Kurvatur definiert, d.h. der Punkt, an dem die Kurvatur von der konvexen Form des Humeruskopfes in eine konkave Form zum Tuberculum minus aufsteigt. Der Winkel zwischen diesen beiden Linien wurde als „Gamma“ definiert und gemessen.

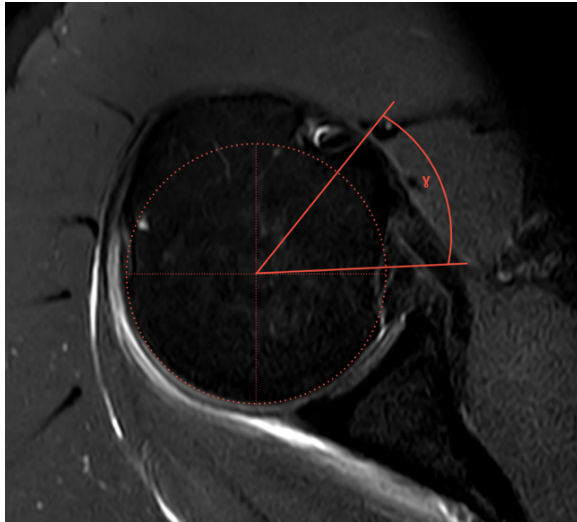


Abbildung 23: Messung des Winkels Gamma am MRT

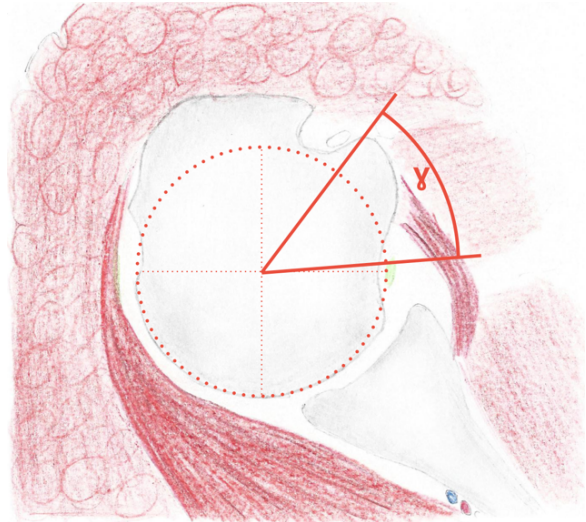


Abbildung 24: Darstellung der Messung des Winkels Gamma an einer Zeichnung

2.3.2.2.4.4 Delta

Der Winkel „Delta“ wurde wieder unter oben genannten Voraussetzungen gemessen. Um nun den Winkel zu bestimmen, wurde vom Drehzentrum des Humeruskopfes aus eine Linie zum lateralen Ende des Tuberculum majus gezogen. Das laterale Ende des Tuberculum majus wurde als der Punkt definiert, an dem die Krümmung der Kurvatur ihre Richtung ändert, d.h. von der konvexen Form des Humeruskopfes in die konkave Form des Tuberculum majus aufsteigt. Die zweite Linie wurde vom Mittelpunkt des Kreises zum medialen Ende des Tuberculum minus gezogen. Das Ende des Tuberculum minus wurde wieder als der Punkt definiert, in dem die Kurvatur von der konvexen Form des Humeruskopfes in eine konkave Form zum Tuberculum minus aufsteigt.

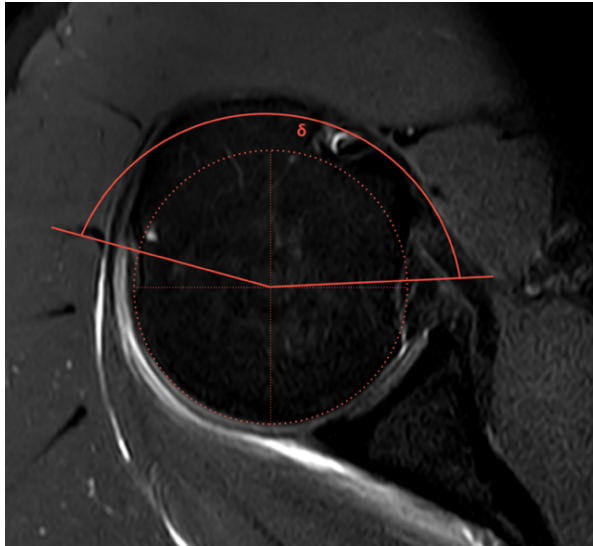


Abbildung 25: Messung des Winkels Delta am MRT

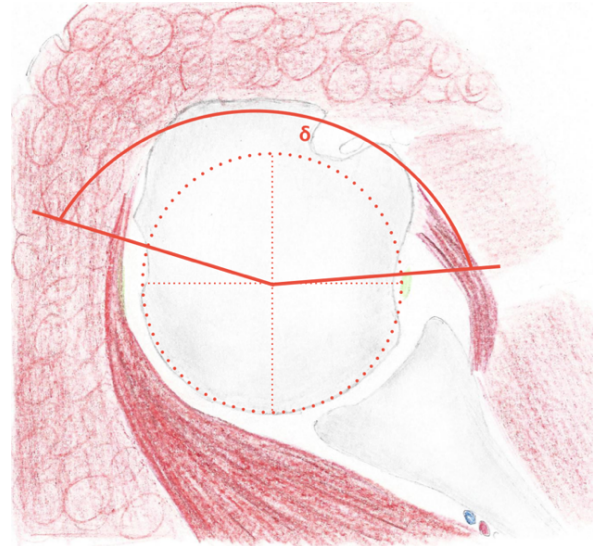


Abbildung 26: Darstellung der Messung des Winkels Delta an einer Zeichnung

2.3.3 Anatomie der langen Bizepssehne

2.3.3.1 Coronale Dimensionen

2.3.3.1.1 Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts in der coronalen Schicht

Ein weiterer Messpunkt der langen Bizepssehne ist die Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts in der coronalen Schicht. Hierzu wurde die Sehne in der coronalen Schicht dargestellt.

Als Messpunkt wurde die letzte gut dargestellte Aufnahme der Sehne vor dem Übergang in ihren vertikalen intraartikulären Verlauf definiert. Dann wurde die Dicke der Sehne gemessen, indem vom lateralen zum medialen Ende der zweidimensional dargestellten Sehne im rechten Winkel zur längsverlaufenden Sehne gemessen wurde. Hierbei wurde am proximalsten Punkt der Sehne gemessen, an dem die Sehne noch in ihrer horizontalen Breite dargestellt wurde.

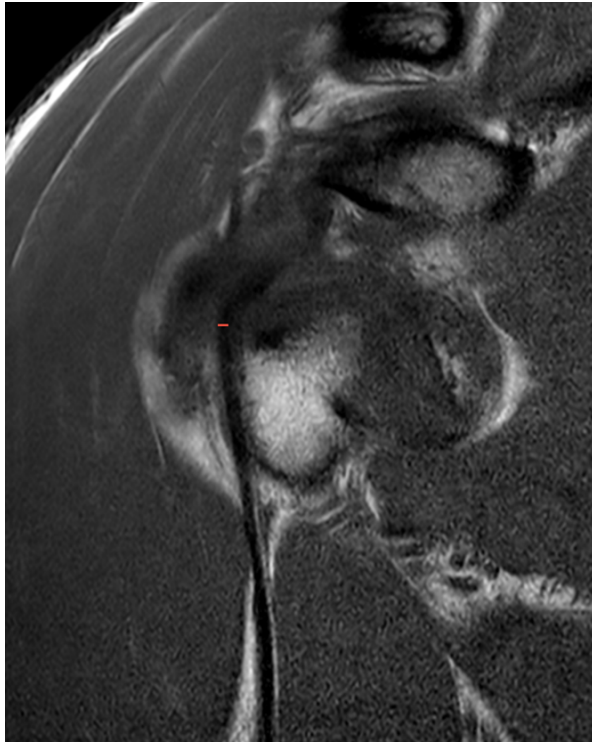


Abbildung 27: Messung der Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts in der coronalen Schicht am MRT

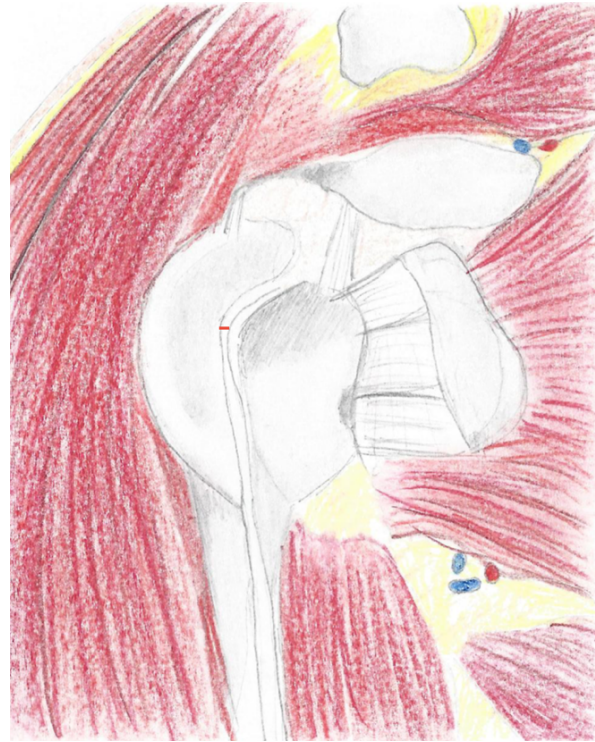


Abbildung 28: Darstellung der Messung der Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts in der coronalen Schicht an einer Zeichnung

2.3.3.1.2 Länge bis zum muskulotendinösen Übergang

Der Eintrittspunkt der langen Bizepssehne am Pulley in den Sulcus bicipitalis in der coronalen Schicht wurde als Ausgangspunkt für die Messung der Länge der Sehne herangezogen. Dann wurde der Abstand von diesem Punkt bis zum muskulotendinösen Übergang ermittelt. Da bei manchen MRT-Aufnahmen der Übergang von Sehne zu Muskel nicht bestimmbar ist, da die Aufnahme an diesem Punkt abgeschnitten ist, wurde in diesen Fällen die Länge soweit sie auf den Aufnahmen ersichtlich ist gemessen. Dieser Messwert stellt einen Teil der Bestimmung der Länge der Sehne bis zum muskulotendinösen Übergang dar. Um die gesamte Länge der Sehne von ihrem Ursprung am SLAP-Komplex zu ihrem Übergang in den M. biceps brachii zu berechnen, wird zur genannten Messung die intraartikuläre Länge (s. Kap. 2.3.3.2.1) addiert. Dieser Wert zeigt die Länge der Sehne bis zu ihrem muskulotendinösen Übergang an.

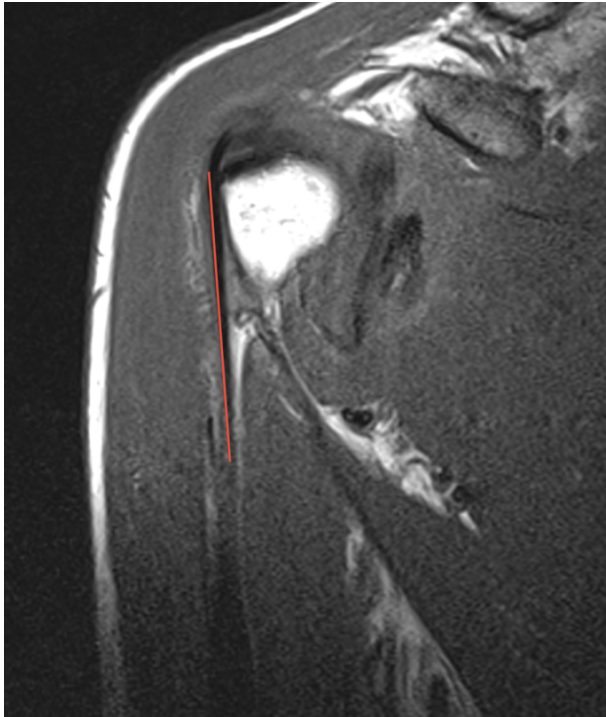


Abbildung 29: Messung der Länge bis zum muskulotendinösen Übergang am MRT

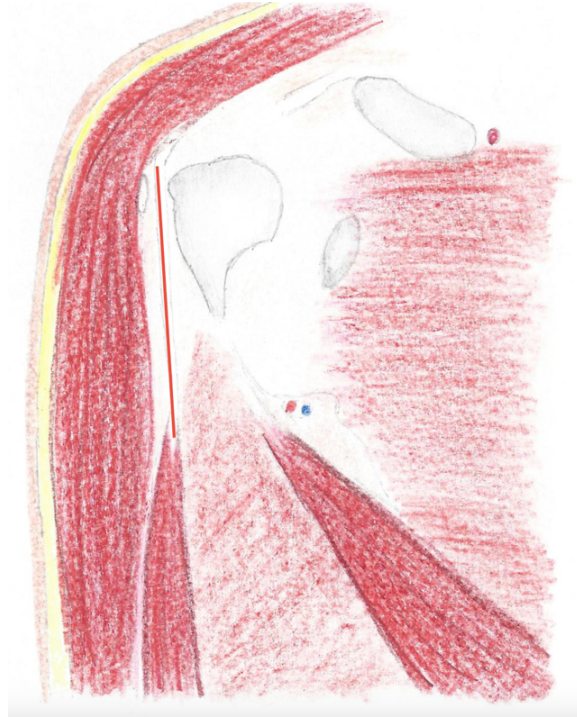


Abbildung 30: Darstellung der Messung der Länge bis zum muskulotendinösen Übergang an einer Zeichnung

2.3.3.2 Axiale Dimensionen

2.3.3.2.1 Intraartikuläre Länge

Um die Länge der langen Bizepssehne in ihrem Verlauf durch das Glenohumeralgelenk zu ermitteln, wurde die Sehne in der axialen Schichtung in ihrem Verlauf durch das Gelenk dargestellt, dann wurden der Punkt am Pulley, an dem die Sehne nach kaudal ablenkt, sowie der Ursprung der Sehne am SLAP aufgesucht. Nun wurde der Abstand dieser beiden Punkte zueinander gemessen, um so die Länge der Sehne in ihrem intraartikulären Verlauf zu bestimmen.

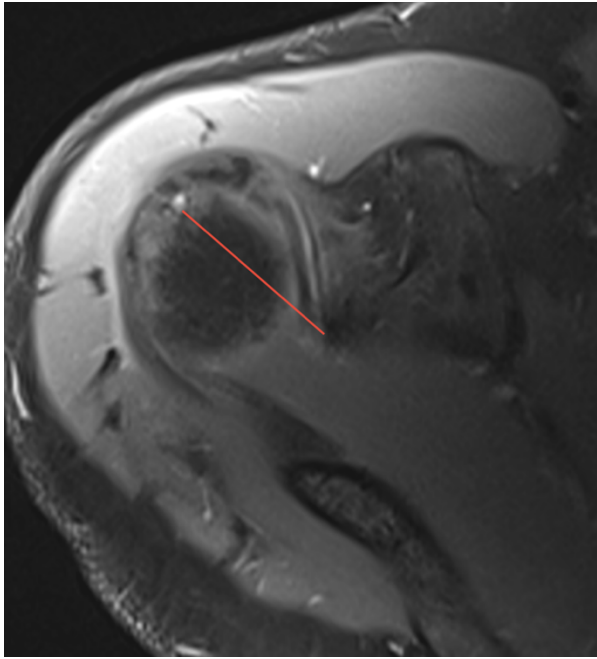


Abbildung 31: Messung der intraartikulären Länge am MRT

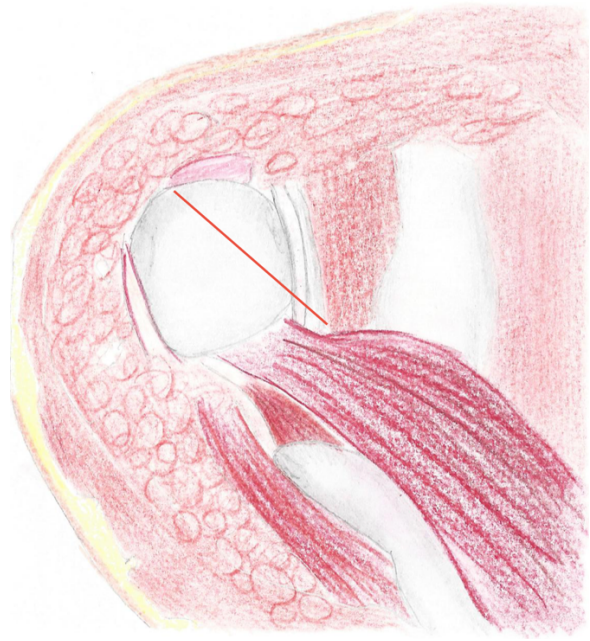


Abbildung 32: Darstellung der Messung der intraartikulären Länge an einer Zeichnung

2.3.3.2.2 Dicke am SLAP

Ein weiterer Messwert in dieser Arbeit ist die Dicke der langen Bizepssehne an ihrem Ursprung am SLAP-Komplex. Hierzu wurden die MRT-Aufnahmen in der axialen Schicht betrachtet. Nun wurde das superiore Labrum mit dem Ursprung der Sehne dargestellt. Dann wurde die Sehne in ihrer Breite gemessen. Um den Punkt einheitlich zu halten, wurde immer der Punkt, an dem die Sehne in ihrer ganzen Ausdehnung dargestellt und der gleichzeitig am nächsten am Ursprung der Sehne ist, betrachtet.

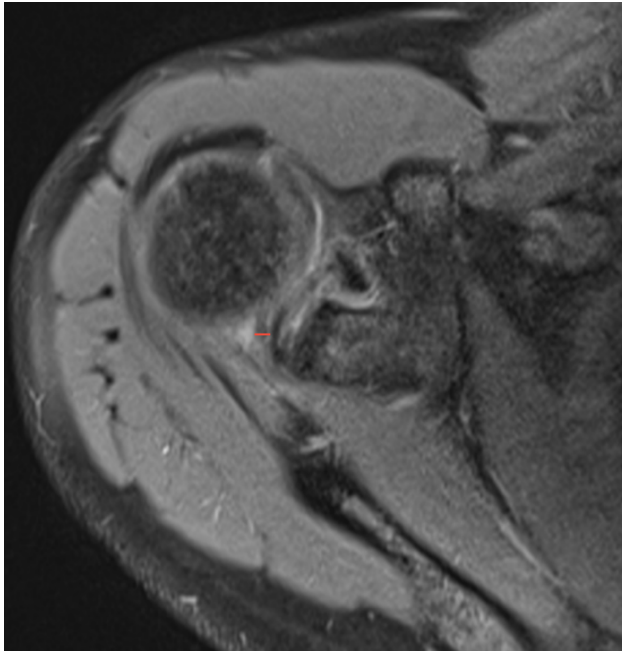


Abbildung 33: Messung der Dicke am SLAP am MRT

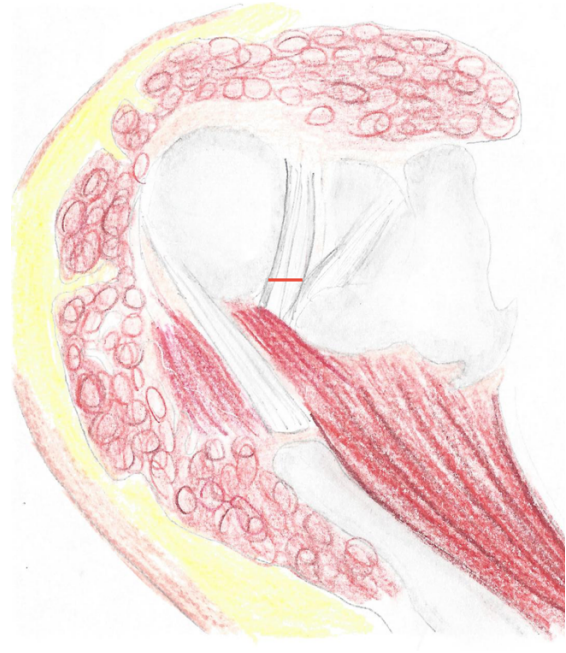


Abbildung 34: Darstellung der Messung der Dicke am SLAP an einer Zeichnung

2.3.3.2.3 Durchmesser der Sehne im Sulcus

Der Durchmesser der Sehne im Sulcus wurde einmal auf Höhe des ersten Messpunktes und einmal auf Höhe des zweiten Messpunktes gemessen. Da sich die lange Bizepssehne in dieser Schicht oval darstellt, wurden jeweils der lange und kurze Durchmesser gemessen.

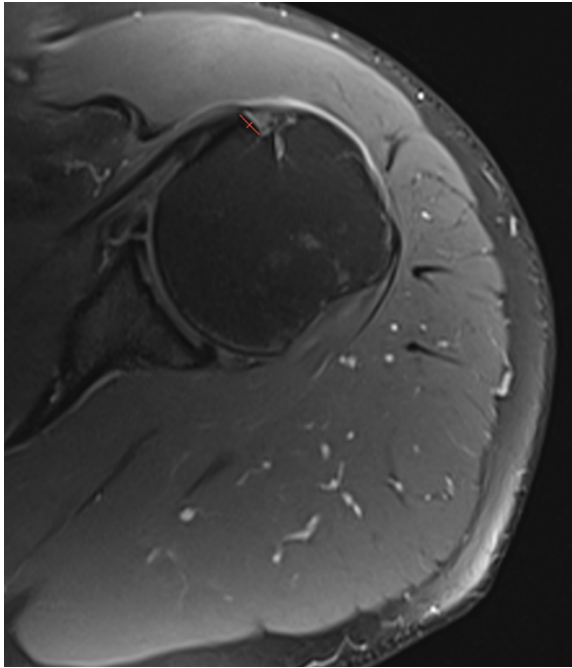


Abbildung 35: Messung des Durchmessers der Sehne im Sulcus in der axialen Schicht am MRT

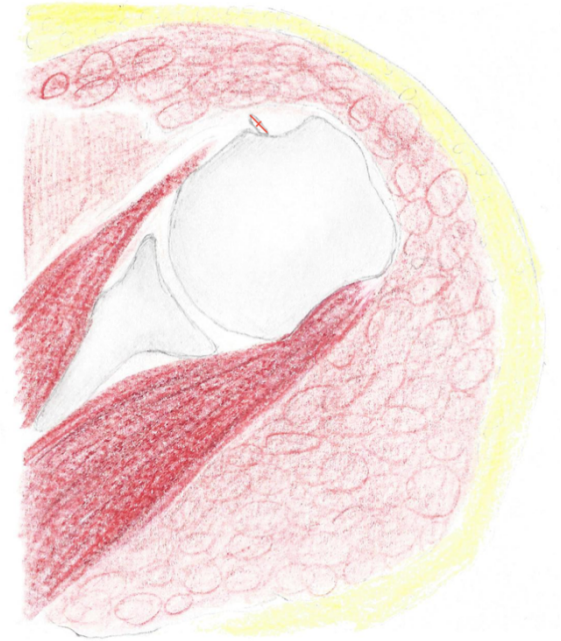


Abbildung 36: Darstellung der Messung des Durchmessers der Sehne im Sulcus in der axialen Schicht an einer Zeichnung

2.3.4 Berechnung der Flächen und Einführung des neuen Parameters der Tendon-to-Groove-Ratio

Aus den Durchmessern von LBS und Sulcus bicipitalis wurden schließlich Querschnittsflächen und die Flächenverhältnisse der LBS sowie des SB berechnet. Dazu wurde unter der Annahme einer elliptischen Form der Sehne sowie des Sulcus die Formel $A = \pi \times a \times 1/2 \times b \times 1/2$ zur Berechnung der Querschnittsflächen angewandt. So wurden die Querschnittsflächen der Sehne und des Sulcus am Messpunkt 1 und am Messpunkt 2 und das Verhältnis von kurzem zum langen Durchmesser der Sehne am Messpunkt 1 und 2 berechnet.

Zuletzt wurde mit dem Flächenverhältnis der Sehne zum Sulcus (sog. Tendon-to-Groove-Ratio) ein neuer Parameter eingeführt.

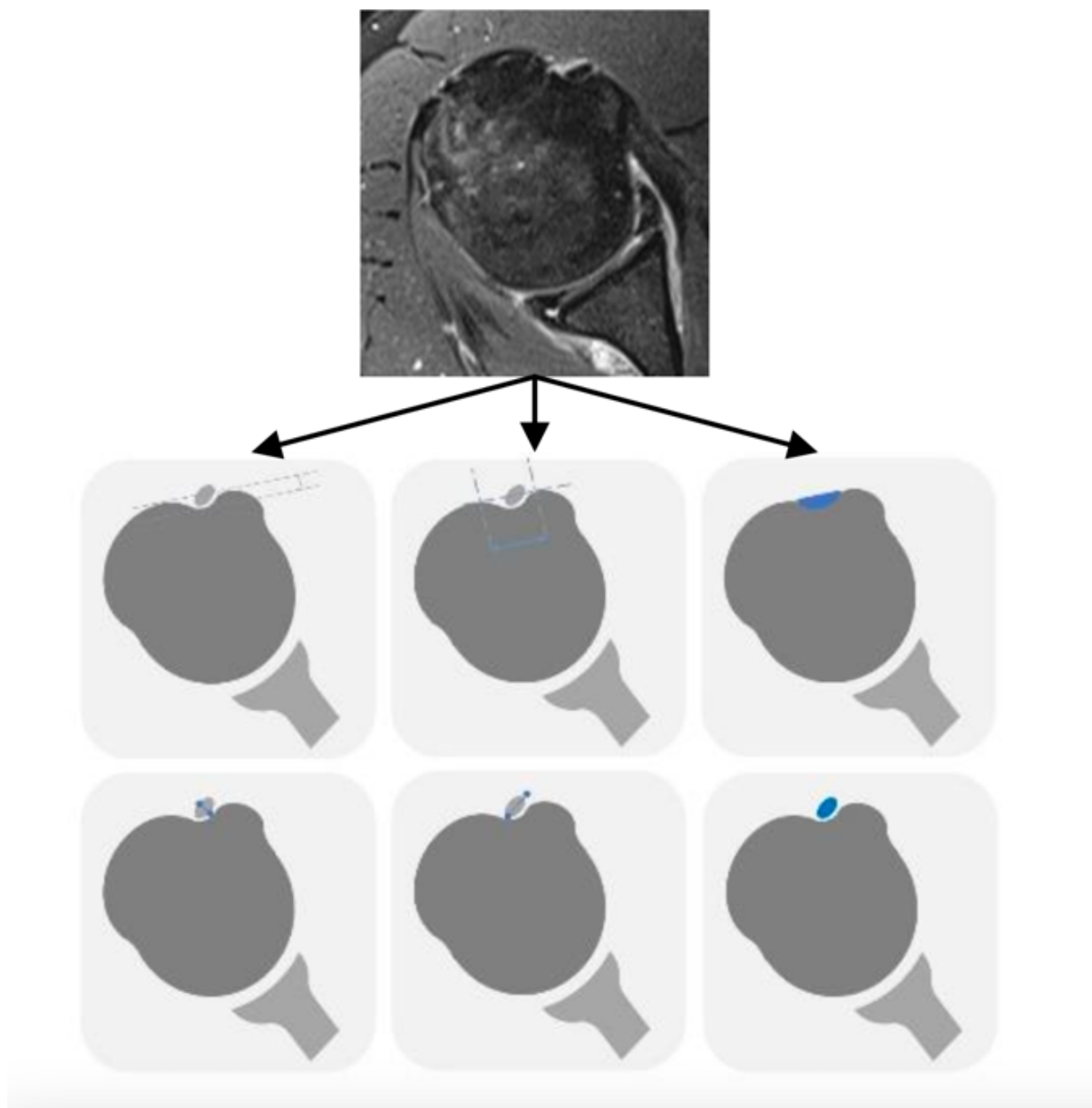


Abbildung 37: Darstellung der Messung der Flächenverhältnisse

2.4 Statistische Auswertung

Die Normalverteilung der Daten wurde mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests bestimmt, der eine Normalverteilung fast aller gemessenen Parameter ergab. Die berechneten Parameter jedoch, darunter auch die Querschnittsflächen und Verhältnisse der Querschnittsflächen, wiesen keine Normalverteilung auf. Folglich wurden kontinuierliche Daten für normalverteilte Werte als Mittelwert und Standardabweichung dargestellt, während für nicht normalverteilte Daten der Median und der

Interquartilsbereich (IQR) verwendet wurden. Kategorische Daten wurden als Gesamtanzahl und Prozentsatz präsentiert. Chi-Quadrat-Tests wurden zum Vergleich kategorischer Daten eingesetzt und Gruppenvergleiche für kontinuierliche Daten wurden unter Verwendung des Mann-Whitney-U-Tests für nicht normalverteilte Variablen und des zweiseitigen *t*-Tests für normalverteilte Parameter durchgeführt. Die Interrater-Reliabilität wurde mit dem Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) ausgedrückt. Die statistischen Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics Version 29 (IBM Inc., Armonk, NY, USA) durchgeführt, wobei die Signifikanz auf $p < 0,05$ festgelegt wurde.

3. Ergebnisse

3.1 Kollektiv

Bei der diagnostischen Arthroskopie der Schulter zeigte sich bei allen 35 eingeschlossenen Patienten (46 ± 14 Jahre) eine Bizepssehnentendinitis. Zusätzlich wiesen alle Patienten im Kollektiv unterschiedliche Läsionen der Schulter auf, so hatten 14 Patienten (40%) eine Rotatorenmanschettenläsion, bei 5 Patienten war zusätzlich die Supraspinatus- und Subscapularissehne und der Bizeps-Pulley-Komplex beteiligt. Pulley-Läsionen ohne signifikante Schädigung der Rotatorenmanschette wurden in Übereinstimmung mit der Literatur deutlich seltener nachgewiesen (4/35 Patienten, 11,4%). Intraoperativ zeigten sich SLAP-Läsionen bei 6 Patienten (17,1%) und Partialrupturen des intraartikulären Bizepssehnenanteils bei 5 Patienten (14,3%).

3.2 Anatomie des Glenohumeralgelenks

Der CSA maß durchschnittlich $32,8 \pm 5,9^\circ$. Das glenohumerale Offset lag bei $51,7 \pm 3,2$ mm. Der Akromion-Index betrug $0,6 \pm 0,1$. Bei allen Werten konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Messwerten der anatomischen Strukturen und dem Vorhandensein einer Pulley- oder SLAP-Läsion festgestellt werden.

3.3 Anatomie des Humeruskopfes und Sulcus bicipitalis

Da sich diese Arbeit vorrangig mit der langen Bizepssehne und dem Sulcus bicipitalis beschäftigt, wird im Ergebnissteil der anatomischen Untersuchung hauptsächlich auf die Ergebnisse der Messungen bezüglich des SB und der LBS eingegangen.

Der HSA betrug im Durchschnitt $136,7 \pm 5,9^\circ$. Es konnte ein Zusammenhang zwischen der Größe des Winkels und dem Vorhandensein einer Pulley-Läsion gefunden werden (Signifikanz $p = 0,048$). Bei Patienten mit bestätigter Pulley-Läsion war der HSA durchschnittlich größer als bei Patienten ohne Pulley-Läsion (siehe Tabelle 2).

Der MWA maß durchschnittlich $45,5 \pm 7,1^\circ$, wobei es keine Unterschiede bei Patienten mit oder ohne Pulley- oder SLAP-Läsionen gab. Durchschnittlich maß der Sulcus bicipitalis in der axialen Schicht beim Patientenkollektiv $11,0 \pm 1,5$ mm in der Breite und $3,5 \pm 0,8$ mm in der Tiefe im Bereich des Eingangs zum Sulcus bicipitalis (Messpunkt 1). Die Dimensionen an der tiefsten Stelle des Sulcus (Messpunkt 2) betrugen $10,5 \pm 1,9$ mm in der Breite und $4,9 \pm 0,5$ mm in der Tiefe. Der Sulcus maß in seiner Breite in der coronalen Schicht 8,9 mm (IQR 7,0-10,2 mm). Die Tiefe des Sulcus in der coronalen Schicht betrug $2,2 \pm 0,8$ mm. Der Winkel Alpha maß im Durchschnitt $20,7 \pm 3,4^\circ$, der Winkel Beta $62,7 \pm 12,4^\circ$. Der Winkel Gamma maß durchschnittlich $41,9 \pm 11,4^\circ$, der Winkel Delta $167,5 \pm 15,7^\circ$. Beim Winkel Delta kann ein Zusammenhang zwischen der Größe der anatomischen Konstante und dem Vorhandensein einer SLAP-Läsion beobachtet werden (Signifikanz $p = 0,013$, siehe Tabelle 2). Patienten mit bestätigter SLAP-Läsion wiesen einen kleineren Winkel Delta im Vergleich zu Patienten ohne bestätigte SLAP-Läsion auf. Bei allen anderen anatomischen Dimensionen kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Messung der anatomischen Strukturen und dem Vorhandensein von SLAP- oder Pulley-Läsionen gefunden werden.

3.4 Anatomie der langen Bizepssehne

Bei der Vermessung der Sehne verhielten sich der jeweils lange und kurze Durchmesser gegensätzlich, wobei der lange Durchmesser durchschnittlich in seinem Verlauf vom Eingang des Sulcus bis in die Mitte des Sulcus von $6,6 \pm 2,0$ mm auf $6,0 \pm 1,4$ mm abnahm. Der kurze Durchmesser hingegen nahm von $2,2 \pm 0,6$ mm am Sulcuseingang auf $2,7 \pm 0,5$ mm in der Mitte des Sulcus zu. Die Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts in der coronalen Schicht betrug im Durchschnitt $2,9 \pm 0,8$ mm. Die Dicke der Sehne am SLAP betrug im Durchschnitt 3,5 mm (IQR 2,8 – 4,0

mm). Die intraartikuläre Länge der Sehne betrug durchschnittlich 37,2 mm (IQR 33,6 – 41,2 mm). Im Durchschnitt betrug die Länge der Sehne vom Ursprung zu ihrem musklotendinösen Übergang $66,9 \pm 15,3$ mm. Bei keinem der bestimmten Parameter konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Pulley- oder SLAP-Läsionen gefunden werden.

3.5 Flächen und Flächenverhältnisse

Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf der Analyse des neuen Parameters der Flächenverhältnisse von Sulcus zu LBS an präoperativen MRT-Aufnahmen, und dem Vergleich dieser mit den intraoperativen Befunden. Auf Höhe des Pulley-Komplexes betrug der Querschnitt der LBS $9,8 \text{ mm}^2$ und der Querschnitt des Sulcus $29,7 \text{ mm}^2$. An der tiefsten Stelle des Sulcus lag die Querschnittsfläche der Sehne bei $12,5 \text{ mm}^2$ und die Querschnittsfläche des Sulcus bei $39,3 \text{ mm}^2$. Das Seitenverhältnis von kurzer zu langer Achse der Sehne lag am Pulley bei 31% und in der Sulcusmitte bei 43%, was auf einen zunehmend runderen Querschnitt der Sehne in ihrem Verlauf nach kaudal hinweist.

Danach wurden die Verhältnisse der Querschnittsflächen der LBS zum Sulcus berechnet, wobei LBS/SB im Bereich des Pulley-Komplexes mit 37% signifikant höher war als 31% in der Mitte des SB.

Bei der Berechnung der Querschnittsflächen und der Flächenverhältnisse konnte kein Zusammenhang zwischen den Dimensionen der anatomischen Strukturen und dem Vorhandensein von Pulley- oder SLAP-Läsionen gefunden werden.

	Pulley-Läsion			SLAP-Läsion		
	Nein (n=26)	Ja (n=9)	p	Nein (n=29)	Ja (n=6)	p
Anatomie des Glenohumeralgelenks						
Critical Shoulder Angle (CSA) (°)	$33,8 \pm 5,8$	$29,8 \pm 5,4$	0,076 *	$33,0 \pm 6,2$	$31,6 \pm 4,3$	0,605 *
Glenohumerales Offset (mm)	$51,6 \pm 2,9$	$52,0 \pm 4,0$	0,694 *	$51,9 \pm 3,3$	$50,7 \pm 2,5$	0,435 *
Akromion-Index	$0,6 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	0,138 *	$0,6 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,04$	0,951 *
Anatomie des Humeruskopfes und Sulcus bicipitalis						
Head-Shaft-Angle (HSA) (°)	$135,5 \pm 6,1$	$140,0 \pm 4,0$	0,048 *	$137,0 \pm 5,2$	$135,1 \pm 9,2$	0,477 *
MWA (°)	$44,8 \pm 6,1$	$47,5 \pm 9,7$	0,443 *	$44,8 \pm 6,7$	$48,9 \pm 8,6$	0,201 *
Breite des Sulcus in der axialen Schicht am Messpunkt 1 (mm)	$11,0 \pm 1,5$	$11,0 \pm 1,5$	0,961 *	$11,2 \pm 1,5$	$10,4 \pm 0,9$	0,267 *
Breite des Sulcus in der axialen Schicht am Messpunkt 2 (mm)	$10,4 \pm 1,6$	$10,8 \pm 2,7$	0,651 *	$10,7 \pm 1,9$	$9,4 \pm 1,7$	0,106 *

Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht am Messpunkt 1 (mm)	3,5 ± 0,8	3,3 ± 0,7	0,456 *	3,4 ± 0,8	4,0 ± 0,8	0,078 *
Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht am Messpunkt 2 (mm)	4,9 ± 0,5	4,8 ± 0,5	0,609 *	4,9 ± 0,5	5,1 ± 0,7	0,26 *
Breite des Sulcus in der coronalen Schicht (mm)	8,6 (IQR 6,9 – 10,0)	9,5 (IQR 8,1 - 11,5)	0,271 **	8,9 (IQR 7,1 - 10,7)	8,4 (IQR 6,9 - 10,3)	0,717 **
Tiefe des Sulcus in der coronalen Schicht (mm)	2,1 ± 0,7	2,3 ± 0,8	0,641 *	2,2 ± 0,7	1,9 ± 0,8	0,286 *
Alpha (°)	20,7 ± 3,2	20,8 ± 4,0	0,972 *	21,0 ± 3,5	19,5 ± 2,7	0,344 *
Beta (°)	62,4 ± 12,8	63,5 ± 12,1	0,83 *	64,0 ± 12,7	56,1 ± 9,1	0,160 *
Gamma (°)	41,7 ± 12,1	42,7 ± 9,9	0,824 *	43,1 ± 11,8	36,6 ± 7,9	0,215 *
Delta (°)	168,1 ± 14,5	165,7 ± 19,7	0,690 *	170,4 ± 12,6	153,3 ± 22,4	0,013 *
Anatomie der langen Bizepssehne						
Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts coronal (mm)	2,9 ± 0,9	3,2 ± 0,7	0,337 *	3,0 ± 0,9	2,5 ± 0,5	0,175 *
langer Durchmesser der Sehne am Messpunkt 1 (mm)	6,5 ± 1,8	7,0 ± 2,5	0,546 *	6,7 ± 2,1	6,1 ± 1,6	0,520 *
kurzer Durchmesser der Sehne am Messpunkt 1 (mm)	2,2 ± 0,6	2,2 ± 0,6	0,891 *	2,2 ± 0,6	2,2 ± 0,6	0,793 *
langer Durchmesser der Sehne am Messpunkt 2 (mm)	5,9 ± 1,4	6,1 ± 1,7	0,817 *	5,9 ± 1,5	6,1 ± 0,8	0,751 *
kurzer Durchmesser der Sehne am Messpunkt 2 (mm)	2,5 ± 0,5	2,7 ± 0,4	0,464 *	2,6 ± 0,6	2,5 ± 0,4	0,712 *
Dicke am SLAP (mm)	3,3 (IQR 2,7 – 3,5)	4,2 (IQR 3,0- 5,6)	0,056 **	3,5 (IQR 2,8 – 4,1)	3,3 (IQR 2,7 – 3,9)	0,717 **
intraartikuläre Länge (mm)	37,6 (IQR 34,0 - 42,7)	36,0 (IQR 32,1 – 39,0)	0,446 **	37,5 (IQR 34,3 - 41,9)	35,9 (IQR 32,1 – 38,9)	0,428 **
Länge bis zum muskulotendinösen Übergang (mm)	67,3 ± 15,1	65,8 ± 16,8	0,807 *	67,2 ± 16,3	65,5 ± 10,8	0,818 *
Flächenverhältnisse der langen Bizepssehne und des Sulcus bicipitalis						
Querschnitt Sehne am Messpunkt 1 (mm²)	9,6 (IQR 8,2-15,6)	11,3 (IQR 8,9- 11,8)	0,985 **	10,2 (IQR 8,2-14,3)	9,5 (IQR 8,0-14,9)	0,685 **
Querschnitt Sehne am Messpunkt 2 (mm²)	11,7 (IQR 9,0- 14,5)	12,8 (IQR 10,2- 13,2)	0,540 **	12,5 (IQR 9,7- 14,5)	11,9 (IQR 9,5- 13,1)	0,983 **
Verhältnis kurzer/langer Durchmesser Sehne Messpunkt 1 (%)	30 (IQR 28-42)	35 (IQR 30-40)	0,590 **	31 (IQR 28-42)	30 (IQR 28-35)	0,782 **
Verhältnis kurzer/langer Durchmesser Sehne Messpunkt 2 (%)	42 (IQR 38-52)	45 (IQR 41-49)	0,697 **	45 (IQR 40-52)	39 (IQR 38-42)	0,218 **
Querschnittsfläche Sulcus Messpunkt 1 (mm²)	28,8 (IQR 25,2- 36,7)	31,7 (IQR 24,3- 35,4)	0,725 **	27,9 (IQR 24,4- 35,4)	33,7 (IQR 29,7- 39,5)	0,272 **
Querschnittsfläche Sulcus Messpunkt 2 (mm²)	39,1 (IQR 32,2- 47,4)	42,4 (IQR 35,7- 46,1)	0,540 **	41,4 (IQR 32,2- 47,4)	35,9 (IQR 35,7- 41,9)	0,983 **
Verhältnis Sehne / Sulcus Messpunkt 1 (%)	37 (IQR 25-49)	37 (IQR 31-54)	0,725 **	31 (IQR 28-42)	30 (IQR 28-35)	0,454 **
Verhältnis Sehne / Sulcus Messpunkt 2 (%)	33 (IQR 23-38)	28 (IQR 22-38)	0,985 **	30 (IQR 22-38)	33 (IQR 25-35)	0,815 **

*= berechnet unter Zuhilfenahme des unabhängigen t-Tests; **= berechnet unter Zuhilfenahme des Mann-Whitney-U-Tests

Tabelle 2: Ergebnisse der Messungen im Hinblick auf Vorhandensein einer SLAP- oder Pulley-Läsion

3.6 Intra- und Inter-Rater-Reliabilität

Ein weiterer zentraler Bestandteil dieser Arbeit war die Ermittlung von Intra- und Interrater-Reliabilitäten.

Die Messungen des langen Durchmessers der Sehne (ICC 0,999), des kurzen Durchmessers der Sehne (ICC 0,991) sowie des Flächenquerschnitts der Sehne ergaben eine sehr gute Inter-Rater-Reliabilität (ICC 0,995).

Bei der Messung des SB wurde ebenfalls eine sehr gute Inter-Rater-Reliabilität nachgewiesen. Dabei wurde die Breite des SB mit einem ICC von 0,998 gemessen, die Tiefe mit einem ICC von 0,995 und der Flächenquerschnitt mit einem ICC von 0,996.

Die Flächenverhältnisse wurden mit einer sehr guten Inter-Rater-Reliabilität bestimmt (ICC 0,991).

4. Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit war es, die anatomischen Gegebenheiten der langen Bizepssehne und des Sulcus bicipitalis an präoperativen MRT-Aufnahmen zu vermessen, um präoperativ anatomische Merkmale zu identifizieren, die mit dem Auftreten verschiedener Pathologien der langen Bizepssehne assoziiert sind. Hierzu wurden verschiedene radiologische Parameter an verschiedenen anatomischen Strukturen der Schulter bestimmt, diese dann mit der arthroskopischen Diagnose verglichen und anhand der erhobenen Messgrößen die Intrarater-Reliabilität und die Interrater-Reliabilität untersucht. Dass eine Verletzung der LBS oft mit einer Läsion des Rotatorenmanschettenkomplexes und anderen Pathologien assoziiert ist, haben andere Autoren schon untersucht (58,59). Diese Arbeit wollte anhand der erhobenen Daten zu den anatomischen Gegebenheiten der langen Bizepssehne, des Sulcus bicipitalis und der Flächenverhältnisse der anatomischen Strukturen die Hypothese untersuchen, dass ein größeres Verhältnis von LBS zu SB mit einer erhöhten Rate von Pulley-Läsionen einhergeht. Durch einen zunehmenden Durchmesser der kurzen Seite der LBS und einen abnehmenden Durchmesser der langen Seite der LBS kommt es zu einem runderen Querschnitt der Sehne in ihrem Verlauf nach kaudal. Die Querschnittsfläche der Sehne zeigt keine signifikanten Änderungen vom Messpunkt am Pulley zum Messpunkt am Sulcus, der Sulcus wird zunehmend größer. Obwohl das Verhältnis von LBS/SB nach kaudal hin abnimmt, konnte kein Zusammenhang mit Pathologien festgestellt werden. Die andere Fragestellung dieser Arbeit war, inwiefern die anatomischen Dimensionen und insbesondere die Querschnittsflächen überhaupt reliabel und reproduzierbar aus präoperativen MRT-Aufnahmen erhoben werden

können. Die Intra- und Inter-Observer-Reliabilitäten lieferten mit Cohens $\kappa = 0,66$ und Fleiss $\kappa = 0,84$ gute und sehr gute Ergebnisse.

4.1 Zusammenhang zwischen Bizepssehnen-Instabilität und Morphologie des Sulcus bicipitalis

Ein Zusammenhang zwischen verschiedenen Morphologien des Sulcus bicipitalis und dem Vorhandensein einer Bizepssehnen-Instabilität wurde schon früher in diversen Studien mit unterschiedlichen Ergebnissen untersucht.

In dieser Arbeit betrug die Breite des SB an seiner tiefsten Stelle $10,5 \pm 1,9$ mm und die Tiefe $4,9 \pm 0,5$ mm. Dabei ändert sich die Breite des Sulcus zwischen dem Beginn des Sulcus und der tiefsten Stelle des Sulcus nicht signifikant, der Sulcus gewinnt jedoch an Tiefe von 3 ± 1 mm auf 5 ± 1 mm. Die Ergebnisse dieser Messwerte stimmen mit den Ergebnissen anderer Studien überein. So bestimmen Abboud et al. die Tiefe des Sulcus an seiner tiefsten Stelle mit $5,1 \pm 1,97$ mm und Shan et al. die maximale Tiefe des Sulcus auf $5,1 \pm 1,2$ mm bei der Gruppe mit bestätigter LBS-Instabilität und auf $5,5 \pm 0,9$ mm bei der Kontrollgruppe (1,60). Kavak et al. ermitteln die durchschnittliche Tiefe des SB an seiner tiefsten Stelle bei einem Patientenkollektiv mit LBS-Instabilität auf $5,47 \pm 0,23$ mm, was mit den Ergebnissen dieser Arbeit übereinstimmt, und $5,99 \pm 0,21$ mm bei einer Kontrollgruppe (42). Urita et al. analysierten in einer Studie die Morphologie des Sulcus an seiner tiefsten Stelle, mit einer durchschnittlichen Breite von $8,7 \pm 1,7$ mm und einer durchschnittlichen Tiefe von $4,2 \pm 0,9$ mm (61). Die Ergebnisse der Studie zur Tiefe des Sulcus nähern sich den Ergebnissen dieser Arbeit an, die Breite des Sulcus war in der Arbeit von Urita et al. durchschnittlich geringer als in dieser Arbeit. Es ist anzumerken, dass Urita et al. die Morphologie des SB im Gegensatz zu dieser Arbeit nicht an MRT-Aufnahmen, sondern an CT-Aufnahmen gemessen haben, was Einfluss auf die unterschiedlichen Ergebnisse haben kann (61).

Die Breite des SB wurde in dieser Arbeit an zwei anatomischen Punkten gemessen, wobei der Sulcus sowohl am Eingang zum SB als auch an seiner tiefsten Stelle $11,0 \pm 1,5$ mm maß. Dies wird durch andere Studien unterstützt, so betrug in einer Arbeit von Pfahler et al. die durchschnittliche Breite des SB 11,6 mm (62). Hier wurde allerdings, entgegen der Messung an MRT-Aufnahmen in dieser Arbeit, an einem Patientenkollektiv von 37 Patienten der Sulcus mittels Röntgenaufnahmen und Sonographie untersucht (62).

Viele Studien haben die Fragestellung untersucht, ob die Morphologie des SB eine Bizepssehnen-Instabilität beeinflusst oder ursächlich ist. Dabei steht im Vordergrund die Überlegung, dass bei einem tieferen Sulcus die Sehne gut durch die knöcherne Führung der Sulcuswände unterstützt ist. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die Sehne in einem flachen Sulcus nicht stabil ist und leichter aus dem Sulcus gleiten kann, was zu einer LBS-Instabilität führt.

Um den Sulcus genauer zu messen, haben andere Studien nicht nur die Breite und Tiefe des Sulcus analysiert, sondern auch den MWA in der axialen Schicht am tiefsten Punkt des Sulcus, sowie den Total Opening Angle gemessen.

Aus diesen Messungen schließen Yoo et al., dass eine flache Morphologie des Sulcus aus einer geringen Tiefe des SB, einem großen Opening Angle (OA) und einem kleinen Medial Angle resultiert (43). Sie beschreiben in ihrer Arbeit diese Kriterien als prädisponierende Faktoren für eine LBS-Instabilität (43). Diese Ergebnisse unterstützen die früher publizierte Studie von Spritzer et al., die MRT-Bilder sowohl im Hinblick auf die LBS und Subscapularis-Sehne, als auch auf die Anatomie der knöchernen Strukturen betrachtet haben (63). Auch sie weisen auf einen starken Zusammenhang zwischen der Form des SB und dem Vorhandensein einer LBS-Instabilität hin. Prädisponierende Faktoren sind hier eine flache, degenerierte Sehne und ein großer Opening Angle (63).

In einer Studie von Kleim et al. wurde die Morphologie des SB im Zusammenhang mit verschiedenen Biceps-Pulley-Läsionen untersucht (64). Dabei wurden Tiefe und Breite des Sulcus, der MWA, der laterale wall angle (LWA) und der total opening angle (TOA) untersucht und eine Assoziation zwischen großem total opening angle, flachem MWA, geringer Tiefe und vergrößerter Breite des SB mit medialen und bilateralen biceps reflection pulley (BRP)-Verletzungen gefunden. Bei den lateralen BRP-Läsionen konnte kein Zusammenhang zu der Morphologie des SB festgestellt werden (64).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Studien konnten Abboud et al. bei der Vermessung der MRT-Aufnahmen von 75 Patienten keinen Zusammenhang zwischen der Morphologie des SB und Pathologien der LBS bestätigen (1). Dies wird unterstützt durch eine Studie von Ulucakoy et al., bei der der OA, MWA und die Tiefe des SB gemessen wurden und kein Zusammenhang zwischen der Morphologie des SB und einer Instabilität der LBS bestätigt wird (65). In dieser Untersuchung fanden die Autoren die Weichteilstrukturen als maßgeblich stabilisierende Faktoren der LBS,

wodurch eine Subscapularis-Ruptur als prädisponierender Faktor für eine LBS-Instabilität gefunden wurde (65).

In keiner der genannten Studien wurde die LBS als weiterer Messpunkt im Zusammenhang zwischen Instabilitäten und der Morphologie des SB betrachtet. Deswegen wurden in dieser Arbeit verschiedene Parameter der langen Bizepssehne betrachtet und vor allem die Querschnitte von LBS und SB eruiert, um so Aufschluss über die unschlüssigen Ergebnisse vorhergegangener Studien zu geben.

Neben der Anatomie des Sulcus bicipitalis allein scheint allerdings auch die Lage des Sulcus bicipitalis am Humeruskopf von Bedeutung für die Entstehung von Schulterpathologien zu sein. Die Ergebnisse unserer Arbeit weisen nämlich darauf hin, dass der HSA bei Patienten mit bestätigter Pulley-Läsion größer ist. Dies bedeutet, dass Patienten mit Pulley Läsionen einen valgischeren Humeruskopf aufweisen. Durch die daraus resultierende Distalisierung des Sulcus bicipitalis am Humeruskopf mit geringerem Umlenkungswinkel der LBS am Eingang in den Pulleykomplex könnte somit eine Prädisposition für Instabilitäten der Bizepssehne im oberen Sulcusbereich geben. Zusätzlich war in unserer Studie der Winkel Delta, der beide Tubercula einschließt, bei Patienten mit bestätigter SLAP-Läsion kleiner als bei Patienten ohne SLAP-Läsion. Andersherum bedeutet das, dass der Humeruskopf bei diesen Patienten größer ist, d.h. mehr der Zirkumferenz einnimmt. Durch einen größeren Humeruskopf könnte es zu mehr Zug an der langen Bizepssehne kommen, was bei Distorsionen oder anderen wiederholten Traumata zu SLAP-Läsionen prädisponieren könnte. Gegen diesen Zusammenhang spricht, dass kein Zusammenhang zwischen dem glenohumeralen Offset und dem Auftreten von SLAP Läsionen beobachtet wurde.

4.2 Querschnitte von LBS und SB, Verhältnis der beiden Größen

In dieser Arbeit wurden die Querschnitte der LBS und des SB an verschiedenen anatomischen Messpunkten und das Verhältnis dieser beiden Größen zueinander an Patienten mit bestätigter LBS-Tendinitis untersucht.

Der Querschnitt des SB wurde schon früher in einer anderen Studie von Cardoso et al. untersucht (66). Hier wurde der Querschnitt des Sulcus am Punkt mit der größten Tiefe bestimmt, was in dieser Arbeit dem Messpunkt 2 in der Mitte des Sulcus entspricht. Cardoso et al. bestimmen in ihrer Arbeit den Querschnitt des Sulcus bei

Patienten mit bestätigter LBS-Pathologie auf $19,1 \pm 7,1 \text{ mm}^2$. Bei der Kontrollgruppe lag der durchschnittliche Querschnitt bei $16,6 \pm 4,5 \text{ mm}^2$. Obwohl in der Studie die Breite und Tiefe des SB und der Querschnitt des Sulcus bei der Gruppe mit bestätigter LBS-Pathologie größer waren, konnte keine Korrelation zwischen der Morphologie des SB und Pathologien der LBS bestätigt werden (66).

Die durchschnittliche Querschnittsfläche des Sulcus bicipitalis in oben genannter Studie weicht signifikant von der in dieser Arbeit gemessenen Querschnittsfläche von $29,7 \text{ mm}^2$ ab, was zum einen durch unterschiedliche Messwerte oder zum anderen durch eine andere verwendete Annäherungsformel erklärt werden kann.

Diese Arbeit hat zusätzlich zur Berechnung der Querschnittsflächen der langen Bizepssehne und des Sulcus bicipitalis an verschiedenen anatomischen Messpunkten diese Werte in Relation gesetzt. Das Verhältnis LBS/SB war zwar im Bereich des Pulley-Komplexes mit 37% signifikant höher als das Verhältnis LBS/SB mit 31% in der Mitte des SB, es konnte dennoch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen diesem anatomischen Verhältnis und verschiedenen Pathologien der langen Bizepssehne gefunden werden. Auch bei der Berechnung der Querschnitte von LBS und SB konnte kein Zusammenhang zu verschiedenen Pathologien der LBS gefunden werden.

4.3 Wahl des bildgebenden Verfahrens als Basis der Analyse

Diese Arbeit verwendet als Ausgangslage für die Vermessung der anatomischen Parameter des SB präoperative MRT-Aufnahmen. Das Schultergelenk kann aber auch durch andere bildgebende Verfahren dargestellt werden. Im Gegensatz zu dieser Arbeit verwenden Urita et al. für die Vermessung der Tiefe und Breite des Sulcus sowie für die Beurteilung des Vorhandenseins von Knochenspornen CT-Aufnahmen (61). Die Ergebnisse der durchschnittlichen Tiefe wurden an den CT-Aufnahmen mit $4,2 \pm 0,9 \text{ mm}$ bestimmt, was ähnlich zu den Ergebnissen in dieser Arbeit ist ($4,9 \pm 0,5 \text{ mm}$). Die durchschnittliche Breite des Sulcus weicht mit $8,7 \pm 1,7 \text{ mm}$ von den Ergebnissen in dieser Arbeit ($10,5 \pm 1,9 \text{ mm}$) ab (61). Diese Abweichung kann durch verschiedene Parameter wie die inkonsistente Positionierung der Patienten oder die unterschiedlichen Patientenzahlen der Studien bedingt sein. Urita et al. schlagen in ihrer Studie bei Verdacht auf eine LBS-Pathologie nach klinischer Untersuchung die Anfertigung einer CT-Aufnahme vor (61). Jedoch ist bei Verdacht auf eine Pathologie der ligamentären und muskulären Strukturen der Schulter aufgrund der genauen

Wiedergabe der Weichteilstrukturen die MRT-Aufnahme das bildgebende Verfahren der Wahl. Ein weiterer Vorteil von MRT-Aufnahmen gegenüber CT-Aufnahmen ist die ausbleibende Strahlenbelastung. Eine CT-Untersuchung ist nicht klinischer Standard in der Routinebildgebung solcher Verletzungen. Daher müssten CT-Aufnahmen als Studienuntersuchung durchgeführt werden, was angesichts der Strahlenbelastung ethisch nicht vertretbar wäre.

Ein anderes bildgebendes Verfahren zur Vermessung der Morphologie des Sulcus verwenden Tang et al. in ihrer Arbeit (67). Sie analysieren den SB an einer 3D-Rekonstruktion des Humerus, basierend auf CT-Aufnahmen. Sie argumentieren, dass MRT- und CT-Aufnahmen durch verschiedene Faktoren wie eine ungenaue Positionierung verfälscht werden können. Durch Überlagerung zweidimensionaler Bilder kann ein dreidimensionales Modell hergestellt werden, um so die anatomischen Strukturen genau wiederzugeben und eine Betrachtung des Modells aus verschiedenen Blickwinkeln möglich zu machen. In einer retrospektiven Studie mit 126 Patienten wurden 3D-Rekonstruktionen der proximalen Humeri der Patienten angefertigt. An diesen Rekonstruktionen wurden verschiedene Parameter des Sulcus untersucht, wie Tiefe und Breite, Opening Angle of biceps groove und der Medial Wall Angle of Biceps groove opening. Als Ausgangspunkt dafür wurde am 3D-Modell mit verschiedenen Referenzlinien der Querschnitt durch den kranialsten Punkt des Tuberculum minus herangezogen (67). Die Breite des Sulcus an dieser Messposition war durchschnittlich $12,5 \pm 2,1$ mm, was annähernd vergleichbar mit den Ergebnissen in dieser Arbeit ($10,5 \pm 1,9$ mm) ist. Die durchschnittliche Tiefe des Sulcus unterstützt mit $4,9 \pm 1,4$ mm die Ergebnisse dieser Arbeit ($4,9 \pm 0,5$ mm). Auch Tang et al. können in ihrer Studie keine Korrelation zwischen der Morphologie des SB und entweder LBS-Läsionen oder Pulley-Läsionen finden. Sie weisen jedoch auf die Vorteile der Untersuchung an 3D-Rekonstruktionen des Humerus hin (67). Trotzdem müssen die Kosten und der Aufwand dieser Untersuchung mit dem Nutzen verglichen werden. Die ähnlichen Messergebnisse sprechen dafür, dass MRT-Aufnahmen in den meisten Fällen zur Analyse und Diagnosefindung ausreichend sind.

Hilfreich wäre in dieser Arbeit auch die Auswertung von Aufnahmen durch MR-Arthrographie gewesen. Verschiedene Studien zeigen die Überlegenheit der MR-Arthrographie gegenüber der herkömmlichen MRT-Aufnahmen bei der Diagnostik von kleinen Läsionen. So fanden Lee et al. heraus, dass die MR-Arthrographie bei der Diagnostik und Einteilung von Rupturen der Sehne des M. subscapularis der

konventionellen MRT-Aufnahmetechnik ohne Kontrastmittelgabe überlegen ist (27). Auch Dwivedi et al. fanden in ihrer Studie einen Vorteil der MR-Arthrographie im Vergleich zur konventionellen MRT-Aufnahmetechnik in der Diagnose von Läsionen der Rotatorenmanschette (26). In einer Metaanalyse von Smith et al. wurde auch für die Diagnose von Labrum-Läsionen ein Vorteil der MR-Arthrographie gegenüber der konventionellen MRT ohne Kontrastmittelgabe gefunden (68). Durch diese Überlegenheit in der Diagnostik können durch die MR-Arthrographie bereits kleine Läsionen besser erkannt werden. Auch diese kleinen Läsionen des SLAP oder der Sehnen der Rotatorenmanschette können in direkter Angrenzung an das Rotatorenintervall eine Instabilität der langen Bizepssehne verursachen. Der Goldstandard in der Diagnostik der Pulley- und SLAP-Läsionen ist allerdings die Arthroskopie. In unserer Studie wurden die Patienten daher nicht anhand des Befundes in der Bildgebung, sondern vielmehr anhand des intraoperativen Befundes in die Gruppen mit und ohne den jeweiligen Pathologien unterteilt.

4.4 Intra- und Inter-Rater-Reliabilität

Eine weitere Fragestellung dieser Arbeit lag darin zu beantworten, ob die verwendeten Parameter überhaupt reliabel durch unterschiedliche Rater aus Standard-MRT-Aufnahmen extrahiert werden können. Dies wurde durch die Bestimmung der Intra- und Inter-Rater-Reliabilität untersucht.

In einer Studie von Banerjee et al. wurde die Sensitivität von MRT-Aufnahmen bei der Diagnostik von verschiedenen Pathologien der Schulter untersucht (69). Im Zuge dessen wurde die Inter-Rater-Reliabilität untersucht. Diese wurde mit Ergebnissen von schwach bis beachtlich eingestuft (69). Im Vergleich dazu erzielt diese Arbeit sehr gute Ergebnisse im Hinblick auf die Inter-Rater-Reliabilität und gute Ergebnisse im Hinblick auf die Intra-Rater-Reliabilität (Fleiss $\kappa = 0,84$ und Cohens $\kappa = 0,66$). Diese unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich darauf zurückführen, dass Banerjee et al. in ihrer Studie die Bewertung des Vorliegens bestimmter Pathologien im Fokus hatten, im Gegensatz zur Reproduktion vorgegebener anatomischer Messpunkte, wie in dieser Arbeit, was weniger der subjektiven Diagnostik unterliegt (69).

Trotzdem lassen diese Resultate auf zuverlässige Ergebnisse schließen, wenn man die Messungen in einer größer angelegten Studie wiederholt.

4.5 Limitationen

Das unschlüssige Ergebnis dieser Arbeit kann auf verschiedene Faktoren zurückgeführt werden. Zum einen ist die Übertragbarkeit auf die Allgemeinheit wegen einer fehlenden Kontrollgruppe nicht gegeben. Alle in dieser Studie untersuchten MRT-Aufnahmen stammen von Patienten mit verschiedenen Pathologien der langen Bizepssehne. Ratsam wäre, diese MRT-Aufnahmen mit einer Kontrollgruppe von gesunden Patienten mit MRT-Aufnahmen ohne Pathologien der LBS zu vergleichen. Des Weiteren wurden nur MRT-Aufnahmen ohne Kontrastmittelgabe betrachtet, was zu einer limitierten Sensitivität der präoperativen Diagnostik von SLAP-Läsionen führt. Da sich aber alle Patienten später einer Arthroskopie unterzogen haben, wurden hier eventuell nicht diagnostizierte Läsionen ausgeschlossen. Obwohl die Intra- und Interrater-Reliabilitäten in dieser Arbeit gut bis sehr gut waren, ist trotzdem eine gewisse Subjektivität der Untersuchung nicht auszuschließen. Zuletzt muss angemerkt werden, dass die in dieser Arbeit untersuchte Kohorte mit 35 Patienten sehr klein war. Bei einer kleinen Kohorte ist es schwierig, auch kleine Unterschiede als signifikant herauszuarbeiten. Trotzdem gibt diese Arbeit eine gute Richtung vor. Um die Relevanz der Bestimmung der Querschnittsflächen von SB und LBS im Hinblick auf eine Prädisposition für Pathologien der LBS zu untersuchen, sollte eine größer angelegte Studie mit einer größeren Kohorte und einer Kontrollgruppe durchgeführt werden.

5. Zusammenfassung

Die beiden Fragestellungen dieser Arbeit waren:

- 1) Die Reliabilität der Bestimmung der Dimensionen und Flächenverhältnisse der langen Bizepssehne und des Sulcus bicipitalis aus präoperativen MRT-Aufnahmen
- 2) Der Zusammenhang der anatomischen Parameter mit dem Auftreten verschiedener Pathologien der LBS

Dazu wurden an mehreren vorher bestimmten anatomischen Punkten der Schulter die Dimensionen bestimmt, der Fokus lag hierbei auf jeweils zwei anatomischen

Strukturen, auf der Sehne und dem Sulcus am Eingang des Sulcus am Pulleykomplex und auf der Sehne und dem Sulcus in der Mitte des Sulcus. Danach wurden die Querschnittsflächen an diesen Punkten berechnet und das Verhältnis von Sehne/Sulcus bestimmt. Das Verhältnis der beiden Strukturen wurde dann mit den intraoperativ detektierten Pathologien verglichen. Dabei konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Dimensionen der anatomischen Strukturen und einer Prädisposition für diverse Pathologien festgestellt werden. Die andere Fragestellung dieser Arbeit war, inwieweit sich die Messungen untersucherabhängig unterscheiden. Dabei wurden sowohl die Ergebnisse eines Untersuchers, die sogenannte Intrarater-Reliabilität, als auch die Ergebnisse zwischen mehreren Untersuchern, als Interrater-Reliabilität bezeichnet, bestimmt. Um dies zu erreichen, wurden 35 MRT-Aufnahmen von jeweils 3 Untersuchern ausgewertet und die Ergebnisse dann verglichen. Um die Interrater-Reliabilität zu bestimmen, wurden die Ergebnisse in prädefinierte Subklassen eingeteilt und dann die Einteilung der jeweiligen Untersucher in diese Klassifikation verglichen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen gute bis sehr gute Ergebnisse in dieser Hinsicht. Die Intrarater-Reliabilitäten und Interrater-Reliabilitäten lassen auf zuverlässige Ergebnisse schließen, wenn man die Arbeit in einer größer angelegten Studie wiederholt.

Da es nur eine Arbeit zum Verhältnis der Querschnittsflächen von Sehne und Sulcus im Hinblick auf Pathologien der langen Bizepssehne gibt, und die Kohorte in dieser Arbeit sehr klein war, sollten weitere Studien zu diesem Thema durchgeführt werden, um eindeutige Ergebnisse zu erzielen.

Die Identifikation prädisponierender anatomischer Ausprägungen wäre ein großer Vorteil bei der präoperativen Diagnostik, da man Patienten mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für Pulley-Läsionen oder SLAP-Läsionen schon anhand präoperativer MRT-Aufnahmen identifizieren könnte, bei denen sich mit einer konservativen Therapie in der Regel keine ausreichende Symptomkontrolle erzielen lässt. Dafür wäre eine Referenzgruppe von MRT-Aufnahmen von Patienten ohne Pathologien der LBS und des Schultergelenks im Allgemeinen notwendig. Außerdem müsste man die Patientenkohorte vergrößern.

6. Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messung des CSA am MRT	15
Abbildung 2: Darstellung der Messung des CSA an einer Zeichnung.....	15
Abbildung 3: Messung des glenohumeralen Offsets am MRT	16
Abbildung 4: Darstellung der Messung des glenohumeralen Offsets an einer Zeichnung.....	16
Abbildung 5: Messung des AI am MRT	17
Abbildung 6: Darstellung der Messung des AI an einer Zeichnung.....	17
Abbildung 7: Messung des HSA am MRT	18
Abbildung 8: Darstellung der Messung des HSA an einer Zeichnung.....	18
Abbildung 9: Messung der Breite des Sulcus in der coronalen Schicht am MRT	19
Abbildung 10: Darstellung der Messung der Breite des Sulcus in der coronalen Schicht an einer Zeichnung	19
Abbildung 11: Messung der Tiefe des Sulcus in der coronalen Schicht am MRT	20
Abbildung 12: Darstellung der Messung der Tiefe des Sulcus in der coronalen Schicht an einer Zeichnung	20
Abbildung 13: Messung des MWA am MRT.....	21
Abbildung 14: Darstellung der Messung des MWA an einer Zeichnung	21
Abbildung 15: Messung der Breite des Sulcus in der axialen Schicht am MRT	22
Abbildung 16: Darstellung der Messung der Breite des Sulcus in der axialen Schicht an einer Zeichnung	22
Abbildung 17: Messung der Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht am MRT	23
Abbildung 18: Darstellung der Messung der Tiefe des Sulcus in der axialen Schicht an einer Zeichnung	23
Abbildung 19: Messung des Winkels Alpha am MRT.....	24
Abbildung 20: Darstellung der Messung des Winkels Alpha an einer Zeichnung	24
Abbildung 21: Messung des Winkels Beta am MRT	25
Abbildung 22: Darstellung der Messung des Winkels Beta an einer Zeichnung	25
Abbildung 23: Messung des Winkels Gamma am MRT	26
Abbildung 24: Darstellung der Messung des Winkels Gamma an einer Zeichnung..	26
Abbildung 25: Messung des Winkels Delta am MRT	27

Abbildung 26: Darstellung der Messung des Winkels Delta an einer Zeichnung	27
Abbildung 27: Messung der Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts in der coronalen Schicht am MRT	28
Abbildung 28: Darstellung der Messung der Breite der Sehne auf Höhe des ersten Messpunkts in der coronalen Schicht an einer Zeichnung	28
Abbildung 29: Messung der Länge bis zum muskulotendinösen Übergang am MRT	29
Abbildung 30: Darstellung der Messung der Länge bis zum muskulotendinösen Übergang an einer Zeichnung	29
Abbildung 31: Messung der intraartikulären Länge am MRT	30
Abbildung 32: Darstellung der Messung der intraartikulären Länge an einer Zeichnung	30
Abbildung 33: Messung der Dicke am SLAP am MRT	31
Abbildung 34: Darstellung der Messung der Dicke am SLAP an einer Zeichnung ...	31
Abbildung 35: Messung des Durchmessers der Sehne im Sulcus in der axialen Schicht am MRT	32
Abbildung 36: Darstellung der Messung des Durchmessers der Sehne im Sulcus in der axialen Schicht an einer Zeichnung	32
Abbildung 37: Darstellung der Messung der Flächenverhältnisse	33

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation der Läsionen nach Habermeyer et al. (19)	7
Tabelle 2: Ergebnisse der Messungen im Hinblick auf Vorhandensein einer SLAP- oder Pulley-Läsion	37

6.3 Abkürzungsverzeichnis

AI	Akromion-Index
BMI	Body-Mass-Index
BRP	biceps reflection pulley
CSA	Critical Shoulder Angle
CT	Computertomographie
HSA	Head-Shaft-Angle
IA	intraartikuläre Länge
ICC	Intraklassenkorrelationskoeffizient
IQR	Interquartilsbereich
LBS	lange Bizepssehne
Lig	Ligamentum
LWA	lateral Wall Angle
M	Musculus
Mm	Musculi
MR	Magnetresonanz
MRT	Magnetresonanztomographie
MWA	medialer Wall Angle
NSAID	nichtsteroidales Antirheumatikum
OA	opening angle
PD	Protonendichte
SB	Sulcus Bicipitalis
SGHL	Ligamentum glenohumerale superior
SLAP	superiores Labrum anterior und posterior
SSC	Sehne des Musculus Subscapularis
SSP	Sehne des Musculus Supraspinatus
TOA	total opening angle

7. Literaturverzeichnis

1. Abboud JA, Bartolozzi AR, Widmer BJ, DeMola PM. Bicipital groove morphology on MRI has no correlation to intra-articular biceps tendon pathology. *J Shoulder Elbow Surg.* September 2010;19(6):790–4.
2. Fischetti M, Stoppino LP, Petrera MR, Francavilla A, Vinci R, Zappia M, u. a. MRI morphological evaluation of humeral head bone profile inside region of the biceps pulley reflection. *Skeletal Radiol.* Oktober 2022;51(10):2017–25.
3. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. C Obere Extremität. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH, Herausgeber. *Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem* [Internet]. 5., vollständig überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag KG; 2018 [zitiert 20. Januar 2024]. Verfügbar unter: https://eref.thieme.de/ebooks/2322754#/ebook_2322754_SL87174643
4. Funke M, Leibl T, Grabbe E. Bildgebende Diagnostik bei Instabilität des Schultergelenks. *Radiol.* Dezember 1996;36(12):951–9.
5. Halder AM, Itoi E, An KN. Anatomy and biomechanics of the shoulder. *Orthop Clin North Am.* 2000 Apr;31(2):159-76
6. Lichtenberg S, Magosch P, Habermeyer P. Traumatische vordere Schulterluxation. *Unfallchirurg.* April 2005;108(4):299–314.
7. Hutchinson HL, Gloystein D, Gillespie M. Distal biceps tendon insertion: An anatomic study. *J Shoulder Elbow Surg.* März 2008;17(2):342–6.
8. Nidecker A, Gückel C, Von Hochstetter A. Imaging the long head of bicepstendon—a pictorial essay emphasizing magnetic resonance. *Eur J Radiol.* November 1997;25(3):177–87.
9. Martetschläger F, Zampeli F, Tauber M, Habermeyer P. Lesions of the biceps pulley: a prospective study and classification update. *JSES Int.* Juni 2020;4(2):318–23.
10. Rodosky MW, Harner CD, Fu FH. The Role of the Long Head of the Biceps Muscle and Superior Glenoid Labrum in Anterior Stability of the Shoulder. *Am J Sports Med.* Januar 1994;22(1):121–30.
11. Yamaguchi K, Riew DK, Galatz LM, Syme JA, Neviaser RJ. Biceps Activity During Shoulder Motion: An Electromyographic Analysis: *Clin Orthop.* März 1997;(336):122–9.

12. Patzer T, Habermeyer P, Hurschler C, Bobrowitsch E, Paletta JR, Fuchs-Winkelmann S, Schofer MD. Increased glenohumeral translation and biceps load after SLAP lesions with potential influence on glenohumeral chondral lesions: a biomechanical study on human cadavers. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011 Oct;19(10):1780-7.
13. Elser F, Braun S, Dewing CB, Giphart JE, Millett PJ. Anatomy, Function, Injuries, and Treatment of the Long Head of the Biceps Brachii Tendon. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* April 2011;27(4):581–92.
14. Schmalzl J, Plumhoff P, Gilbert F, Gohlke F, Konrads C, Brunner U, u. a. The inflamed biceps tendon as a pain generator in the shoulder: A histological and biomolecular analysis. *J Orthop Surg.* Januar 2019;27(1):2309499018820349.
15. Harte LM, Rick T, Bisson LJ, Inglis S, Marzo JM. Clinical implications of the distinct anatomy and innervation of the long head biceps tendon. *J Anat.* August 2022;241(2):453–60.
16. Alpantaki K, McLaughlin D, Karagogeos D, Hadjipavlou A, Kontakis G. Sympathetic and sensory neural elements in the tendon of the long head of the biceps. *J Bone Joint Surg Am.* 2005 Jul;87(7):1580-3.
17. Braun S, Horan MP, Elser F, Millett PJ. Lesions of the Biceps Pulley. *Am J Sports Med.* April 2011;39(4):790–5.
18. Baumann B, Genning K, Böhm D, Rolf O, Gohlke F. Arthroscopic prevalence of pulley lesions in 1007 consecutive patients. *J Shoulder Elbow Surg.* Januar 2008;17(1):14–20.
19. Habermeyer P, Magosch P, Pritsch M, Scheibel MT, Lichtenberg S. Anterosuperior impingement of the shoulder as a result of pulley lesions: a prospective arthroscopic study. *J Shoulder Elbow Surg.* Januar 2004;13(1):5–12.
20. Dean RS, Onsen L, Lima J, Hutchinson MR. Physical Examination Maneuvers for SLAP Lesions: A Systematic Review and Meta-analysis of Individual and Combinations of Maneuvers. *Am J Sports Med.* 2023 Sep;51(11):3042-3052.
21. Stathellis A, Brilakis E, Georgoulis JD, Antonogiannakis E, Georgoulis A. Treatment of SLAP Lesions. *Open Orthop J.* 31. Juli 2018;12(1):288–94.
22. Clavert P. Glenoid labrum pathology. *Orthop Traumatol Surg Res.* Februar 2015;101(1):19–24.
23. Snyder SJ, Karzel RP, Del Pizzo W, Ferkel RD, Friedman MJ. SLAP lesions of

- the shoulder. *Arthroscopy*. 1990;6(4):274-9.
24. Andrews JR, Carson WG, Mcleod WD. Glenoid labrum tears related to the long head of the biceps. *Am J Sports Med*. September 1985;13(5):337–41.
 25. Boutin RD, Marder RA. MR Imaging of SLAP Lesions. *Open Orthop J*. 31. Juli 2018;12(1):314–23.
 26. Dwivedi A, Sharma R, Sharma A, Gupta P. Evaluation of Shoulder Injuries: A Comparative Study of Imaging by Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Magnetic Resonance Arthrography (MRA). *J Pharm Bioallied Sci*. April 2024;16(Suppl 2):1494–7.
 27. Lee JH, Yoon YC, Jung JY, Yoo JC. Rotator cuff tears noncontrast MRI compared to MR arthrography. *Skeletal Radiol*. Dezember 2015;44(12):1745–54.
 28. Khazzam M, George MS, Churchill RS, Kuhn JE. Disorders of the long head of biceps tendon. *J Shoulder Elbow Surg*. Januar 2012;21(1):136–45.
 29. Post M, Benca P. Primary tendinitis of the long head of the biceps. *Clin Orthop Relat Res*. 1989 Sep;(246):117-25.
 30. Werner A, Ilg A, Schmitz H, Gohlke F. Die Tendinitis der langen Bizepssehne bei Läsion des „Biceps reflection pulley“. *Sportverletz · Sportschaden*. Juni 2003;17(2):75–9.
 31. Huang SW, Wang WT. Quantitative Diagnostic Method for Biceps Long Head Tendinitis by Using Ultrasound. *Sci World J*. 2013;2013:1–7.
 32. Hassan S, Patel V. Biceps tenodesis versus biceps tenotomy for biceps tendinitis without rotator cuff tears. *J Clin Orthop Trauma*. März 2019;10(2):248–56.
 33. Kim JY, Rhee SM, Rhee YG. Accuracy of MRI in diagnosing intra-articular pathology of the long head of the biceps tendon: results with a large cohort of patients. *BMC Musculoskelet Disord*. Dezember 2019;20(1):270.
 34. Hsu AR, Ghodadra NS, Provencher CMT, Lewis PB, Bach BR. Biceps tenotomy versus tenodesis: a review of clinical outcomes and biomechanical results. *J Shoulder Elbow Surg*. März 2011;20(2):326–32.
 35. Carvalho FF, Nolte PC, Pinheiro J, Guehring T, Egenolf M, Chatterjee T. Improvement in long head of biceps function and lower rate of biceps deformities after subpectoral tenodesis with cortical button and interference screw vs. arthroscopic tenotomy: a 4-year follow-up. *JSES Int*. September

2022;6(5):820–7.

36. Ge H, Zhang Q, Sun Y, Li J, Sun L, Cheng B. Tenotomy or tenodesis for the long head of biceps lesions in shoulders: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2015 Mar 18;10(3):e0121286.
37. Hartland AW, Islam R, Teoh KH, Rashid MS. Clinical effectiveness of tenotomy versus tenodesis for long head of biceps pathology: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. Oktober 2022;12(10):e061954.
38. Kooistra B, Gurnani N, Weening A, Van Deurzen D, Van Den Bekerom M. Tenotomy or Tenodesis for Tendinopathy of the Long Head of the Biceps Brachii: An Updated Systematic Review and Meta-analysis. *Arthrosc Sports Med Rehabil*. August 2021;3(4):e1199–209.
39. Riedl M, Mayr A, Greiner S, Pfeifer C, Weiss I, Forchhammer L, u. a. The Loop Tenodesis Procedure—From Biomechanics to First Clinical Results. *J Clin Med*. 23. Januar 2021;10(3):432.
40. Kerschbaum M, Weiss I, Mayr A, Pfeifer C, Nerlich M, Greiner S. The Arthroscopic Loop Tenodesis Procedure: An Implant-Free Technique to Treat Long Biceps Tendon Pathologies. *Arthrosc Tech*. Mai 2019;8(5):e503–6.
41. Kerschbaum M, Maziak N, Scheuermann M, Scheibel M. Arthroskopische Tenodese oder Tenotomie der langen Bizepssehne bei vorselektionierten Patienten: Macht es einen Unterschied? *Orthop*. März 2017;46(3):215–21.
42. Kavak, R. P., Ozdemir, M., Duman, E. Effects of bicipital groove bony morphology on the stability of long head of the biceps tendon. *Eurasian J Med Investigation*. 2019;3:293-299.
43. Yoo JC, Iyyampillai G, Park D, Koh KH. The influence of bicipital groove morphology on the stability of the long head of the biceps tendon. *J Orthop Surg*. Mai 2017;25(2):2309499017717195.
44. Gumina S, Polizzotti G, Spagnoli A, Carbone S, Candela V. Critical shoulder angle (CSA): age and gender distribution in the general population. *J Orthop Traumatol*. Dezember 2022;23(1):10.
45. Suter T, Gerber Popp A, Zhang Y, Zhang C, Tashjian RZ, Henninger HB. The influence of radiographic viewing perspective and demographics on the critical shoulder angle. *J Shoulder Elbow Surg*. Juni 2015;24(6):e149–58.
46. Moor BK, Wieser K, Slankamenac K, Gerber C, Bouaicha S. Relationship of individual scapular anatomy and degenerative rotator cuff tears. *J Shoulder*

- Elbow Surg. April 2014;23(4):536–41.
47. 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.
 48. Cherchi L, Ciornohac JF, Godet J, Clavert P, Kempf JF. Critical shoulder angle: Measurement reproducibility and correlation with rotator cuff tendon tears. *Orthop Traumatol Surg Res.* September 2016;102(5):559–62.
 49. Blonna D, Giani A, Bellato E, Mattei L, Caló M, Rossi R, u. a. Predominance of the critical shoulder angle in the pathogenesis of degenerative diseases of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg.* August 2016;25(8):1328–36.
 50. Bjarnison AO, Sørensen TJ, Kallemose T, Barfod KW. The critical shoulder angle is associated with osteoarthritis in the shoulder but not rotator cuff tears: a retrospective case-control study. *J Shoulder Elbow Surg.* Dezember 2017;26(12):2097–102.
 51. Carrazana-Suarez LF, Panico LC, Smolinski MP, Blake RJ, McCroskey MA, Sykes JB, u. a. Humeral offset as a predictor of outcomes after reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* Juni 2022;31(6):158–65.
 52. Meier MP, Brandt LE, Saul D, Roch PJ, Klockner FS, Hosseini ASA, u. a. Physiological Offset Parameters of the Adult Shoulder Joint—A MRI Study of 800 Patients. *Diagnostics.* 16. Oktober 2022;12(10):2507.
 53. Nyffeler RW, Werner CM, Sukthankar A, Schmid MR, Gerber C. Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am.* 2006 Apr;88(4):800-5.
 54. Malavolta EA, Assunção JH, Pagotto RA, Avelino RL, Gracitelli MEC, Pereira CAM, u. a. The rotation of the humeral head does not alter radiographic evaluation of the head-shaft angle. *J Shoulder Elbow Surg.* April 2016;25(4):543–7.
 55. Agel J, Jones CB, Sanzone AG, Camuso M, Henley MB. Treatment of proximal humeral fractures with Polarus nail fixation. *J Shoulder Elbow Surg.* März 2004;13(2):191–5.
 56. Cone R, Danzig L, Resnick D, Goldman A. The bicipital groove: radiographic, anatomic, and pathologic study. *Am J Roentgenol.* 1. Oktober

- 1983;141(4):781–8.
57. Moroder P, Runer A, Kraemer M, Fierlbeck J, Niederberger A, Cotofana S, u. a. Influence of Defect Size and Localization on the Engagement of Reverse Hill-Sachs Lesions. *Am J Sports Med.* März 2015;43(3):542–8.
 58. Maffet MW, Gartsman GM, Moseley B. Superior Labrum-Biceps Tendon Complex Lesions of the Shoulder. *Am J Sports Med.* Januar 1995;23(1):93–8.
 59. Grauer JD, Paulos LE, Smutz WP. Biceps tendon and superior labral injuries. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* Dezember 1992;8(4):488–97.
 60. Shah SH, Small KM, Sinz NJ, Higgins LD. Morphology of the Lesser Tuberosity and Intertubercular Groove in Patients With Arthroscopically Confirmed Subscapularis and Biceps Tendon Pathology. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* Juni 2016;32(6):968–75.
 61. Urita A, Funakoshi T, Amano T, Matsui Y, Kawamura D, Kameda Y, u. a. Predictive factors of long head of the biceps tendon disorders—the bicipital groove morphology and subscapularis tendon tear. *J Shoulder Elbow Surg.* März 2016;25(3):384–9.
 62. Pfahler, M., Branner, S., & Refior, H. J. The role of the bicipital groove in tendopathy of the long biceps tendon. *J Shoulder Elbow Surg.* 1999;8(5):419-424.
 63. Spritzer CE, Collins AJ, Cooperman A, Speer KP. Assessment of instability of the long head of the biceps tendon by MRI. *Skeletal Radiol.* 23. April 2001;30(4):199–207.
 64. Kleim BD, Carbonel JFS, Hinz M, Rupp MC, Scheiderer B, Imhoff AB, u. a. A shallow morphology of the intertubercular groove is associated with medial and bilateral but not lateral pulley lesions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* August 2023;31(8):3221–9.
 65. Ulucakoy C, Kaptan AY, Yapar A, Orhan O, Ozer M, Kanatli U. The effect of bicipital groove morphology on the stability of the biceps long head tendon. *Arch Orthop Trauma Surg.* August 2021;141(8):1325–30.
 66. Cardoso A, Freire G, Alonso R, Afonso PD, Pires L. Bicipital groove cross-sectional area on ultrasonography: Does a correlation to intra-articular tendon pathology exist? *Orthop Traumatol Surg Res.* Februar 2021;107(1):102747.
 67. Tang X, Zhang J, Zhang J, He Y. Correlation between the morphological features of the biceps groove and injuries to the biceps pulley and the long

- head tendon of the biceps. BMC Musculoskelet Disord. 12. Mai 2023;24(1):377.
68. Smith TO, Drew BT, Toms AP. A meta-analysis of the diagnostic test accuracy of MRA and MRI for the detection of glenoid labral injury. Arch Orthop Trauma Surg. Juli 2012;132(7):905–19.
69. Banerjee M, Müller-Hübenthal J, Grimme S, Balke M, Bouillon B, Lefering R, u. a. Moderate value of non-contrast magnetic resonance imaging after non-dislocating shoulder trauma. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. Juni 2016;24(6):1888–95.

Danksagung

Ich danke Prof. Dr. Christian Pfeifer für die Überlassung des Themas.

Außerdem danke ich Prof. Dr. Maximilian Kerschbaum und Dr. Leopold Henßler für die durchgehend hervorragende Betreuung dieser Arbeit und die konstruktive Kritik.

Zudem danke ich meiner Familie und Tobi für ihre Unterstützung.