

*AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR UNFALLCHIRURGIE
DIREKTOR: DR. DR. VOLKER ALT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG*

*EINE NEUE IMPLANTATFREIE TECHNIK ZUR TENODESE DER LANGEN
BIZEPSEHNE (LOOP TENODESE) IM VERGLEICH ZUR TENOTOMIE.
EINE BIOMECHANISCHE ANALYSE.*

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Katharina Wöhrle

2020

*AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR UNFALLCHIRURGIE
DIREKTOR: DR. DR. VOLKER ALT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG*

*EINE NEUE IMPLANTATFREIE TECHNIK ZUR TENODESE DER LANGEN
BIZEPSSEHNE (LOOP TENODESE) IM VERGLEICH ZUR TENOTOMIE.
EINE BIOMECHANISCHE ANALYSE.*

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Katharina Wöhrle

2020

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: PD Dr. Stephan Grechenig

2. Berichterstatter: PD Dr. Stefan Brunner

Tag der mündlichen Prüfung: 30.09.2020

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
1. Einleitung	5
1.1 Anatomie und Biomechanik der Schulter	5
1.2 Anatomie und Biomechanik der langen Bizepssehne	13
1.3 Pathologien der LBS	15
1.3.1.1 Sehnendegenerationen und entzündliche Läsionen.....	17
1.3.1.2 Mechanische Läsionen und Instabilitäten	18
1.3.1.3 Traumatische Läsionen und Sportverletzungen	19
1.3.2 Diagnostik und Therapie	20
1.3.3 Arthroskopische Versorgungstechniken.....	22
1.4 Komplikationen der Versorgung der LBS.....	25
1.5 Fragestellung und Zielsetzung der eigenen Arbeit.....	26
1.6 Biomechanische Vergleichsarbeiten	26
2 Material und Methoden	29
2.1 Probenvorbereitung und Studiengruppen.....	29
2.2 Tenotomie der LBS	31
2.3 Loop-Tenodese der LBS	31
2.4 Biomechanische Prüfung.....	32
2.5 Statistische Analyse.....	33
3 Ergebnisse	33

4 Diskussion	35
5 Zusammenfassung	37
6 Literaturverzeichnis.....	38
7 Abbildungsverzeichnis	46
8 Danksagung	
9 Lebenslauf	

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
Art.	Articulatio
CHL	Coracohumeral Ligament
LBS	Lange Bizepssehne
LHB	Long Head of the Biceps
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
LTD	Gruppe der Patienten, bei denen eine Loop Tenodese durchgeführt wurde
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
N	Newton
p	Probability, Wahrscheinlichkeitswert
P-Werte	Signifikanzwert
Proc.	Processus
RCT	Randomisierte kontrollierte Studie
SGHL	Superior Glenohumeral Ligament
SLAP	Superior labrum anterior posterior
STT	Gruppe der Patienten, bei denen eine LBS-Tenotomie durchgeführt wurde

1. Einleitung

1.1 Anatomie und Biomechanik der Schulter

Die Schulter ist ein aus mehreren Gelenken bestehender Apparat des Schultergürtels (1). Der große Bewegungsraum des Armes resultiert aus dem Zusammenwirken des Schultergürtels mit dem Schultergelenk (2). Außer dem eigentlichen Schultergelenk (Art. glenohumeralis), also der Artikulation des Kopfes des Oberarmknochens mit dem Schulterblatt, zählen funktionell noch drei weitere Gelenke zum Schultergürtel: das Akromioklavikulargelenk, das Sternoklavikulargelenk, sowie die Verschiebeschicht zwischen Schulterblatt und hinterer Thoraxwand (3). Bei letzterem handelt es sich um kein eigentliches Gelenk, da die Bewegungen zwischen den beiden Strukturen durch das zwischengelagerte lockere Bindegewebe zugelassen werden (4).

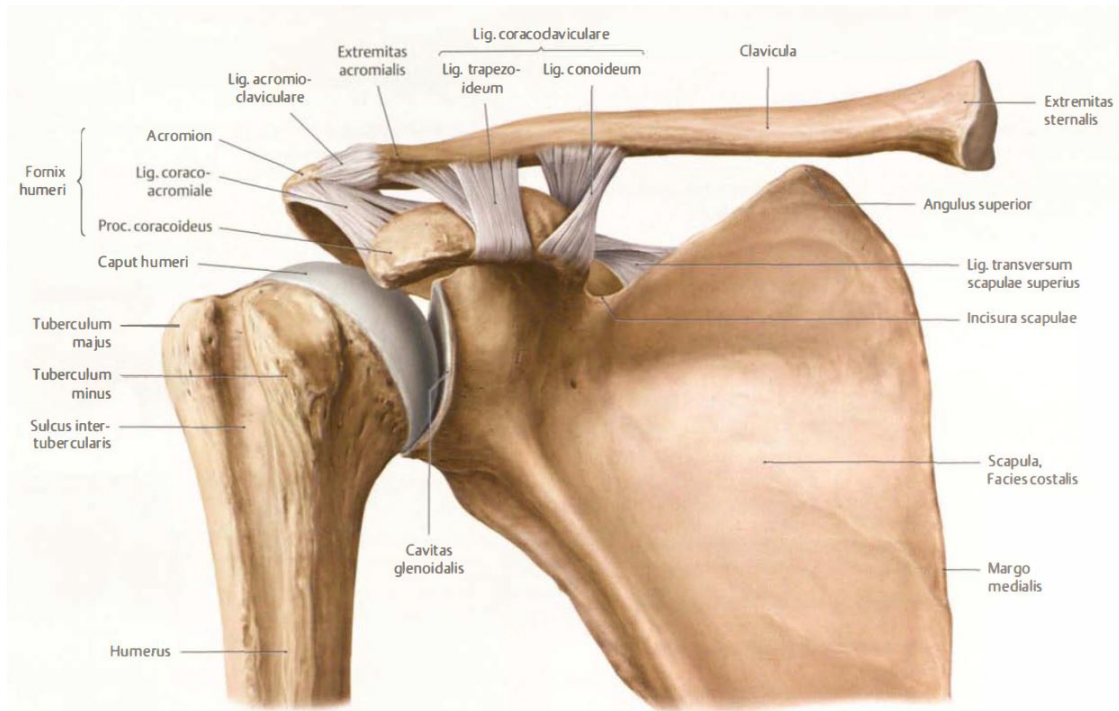


ABBILDUNG 1: ANSICHT DER RECHTEN SCHULTER VON VENTRAL (5)

Zu den knöchernen Elementen des Schultergürtels zählen die Klavikula und die Skapula, wobei nur die Klavikula mit dem Thorax durch das Sternoklavikulargelenk verbunden ist. Dieses Gelenk ist ebenso wie das Schultergelenk als Kugelgelenk einzuordnen. Obwohl seine sattelförmige Gelenkfläche von Faserknorpel überzogen ist, sind ausgeprägte Bewegungen durch die verformbare Gelenkscheibe möglich. Stabilisiert wird das Gelenk durch die Ligg. sternoclaviculares anterius und posterius, welche in den Discus articularis übergehen (2). Zusätzlich verstärken sie die Gelenkkapsel sowohl von ventral als auch von dorsal. Die rechte Klavikula wird mit der linken durch das Lig. interclaviculare verbunden (6). Dieses sichert außerdem zusammen mit dem Lig. costoclaviculare die Extremitas sternalis der Klavikula, welche zweckgemäß in einer Bandschlinge vorliegt. Der Bewegungsaus Schlag der Klavikula im Sternoklavikulargelenk wird durch diese beiden Bänder eingeschränkt. Die Klavikula kann im genannten Gelenk während des Schulterhebens in der Vertikalen um eine Sagittalachse um ca. 45° gedreht werden. In der Transversalen ermöglicht sie ein Schwenken um 30° nach ventral und nach dorsal ebenso um 30°. Eine Rotation um ihre Längsachse um ca. 45° führt die Klavikula bei Retroversion des Armes aus (2).

Durch das Acromioklavikulargelenk ist das distale Ende der Klavikula mit dem Acromion, dem lateralen Knochenfortsatz der Scapula verbunden (6). Die planen, faserknorpeligen Gelenkflächen sind sagittal ausgerichtet und durch einen Discus articularis voneinander

getrennt. Das Ligamentum acromioclaviculare ist an den Discus gewachsen und verstärkt somit die obere Kapselwand.

Außerdem zu erwähnen ist das Ligamentum coracoclaviculare des Processus coracoideus, welches die Position der Klavikula stabilisiert und das Gelenk entlastet. Trotz Stabilisierung handelt es sich auch beim Klavikulargelenk um ein durch Freiheitsgrade gekennzeichnetes Kugelgelenk (2,6).

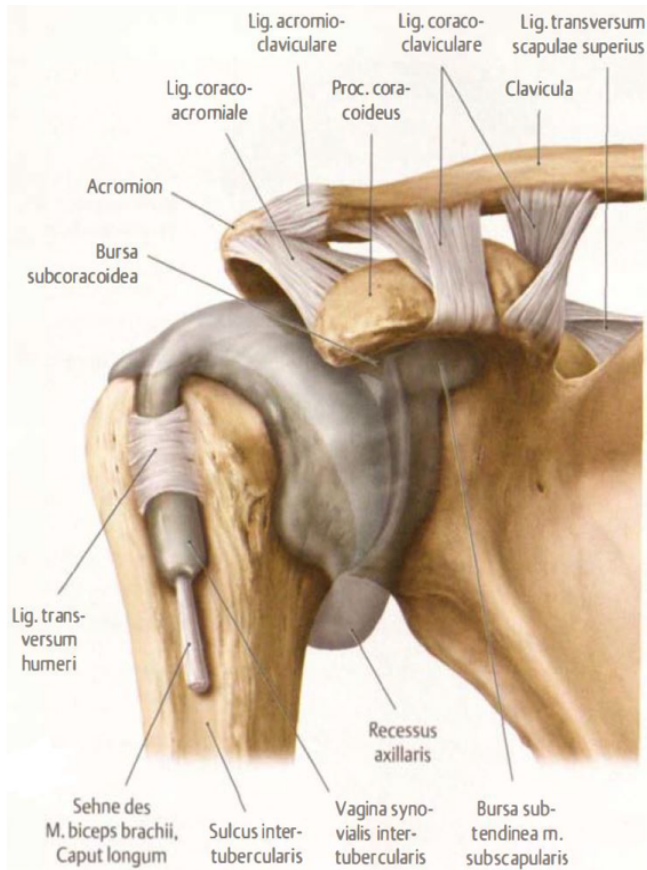


ABBILDUNG 2: GELENKHÖHLE IN DER ANSICHT VON VENTRAL (5)

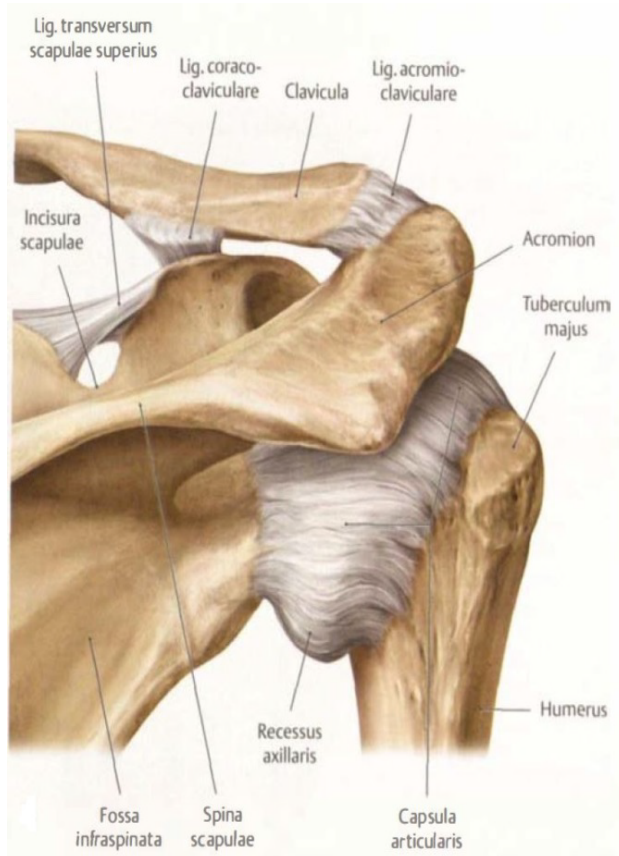


ABBILDUNG 3: ANSICHT DER RECHTEN SCHULTER VON DORSAL (5)

Die zweite knöchernen Struktur des Schultergürtels, die Skapula, ist ein platter, dreieckiger Knochen. Aufgrund ihrer dreieckigen Form werden sowohl drei Ränder (Margo medialis, superior und lateralis) als auch drei Ecken (Angulus superior, inferior und lateralis) benannt. An ihrer lateralen Seite liegt die Cavitas glenoidalis, welche die Gelenkpfanne des Schultergelenks darstellt. Kranial und kaudal dieser befinden sich die Tuberculus supraglenoidale und Tuberculus infraglenoidale, welche Muskelursprungshöcker sind. Auch die beiden Flächen der Scapula Facies costalis und Facies posterior stellen Flächen für Muskelursprünge dar. Die nach außen gewandte Fläche (Facies posterior) teilt sich in eine kleine Fossa supraspinata und eine große Fossa infraspinata. An dieser Aufteilung ist der sich auf der Rückseite befindende Knochenkamm, die Spina scapulae verantwortlich. Sie verläuft vom Margo medialis zum Angulus lateralis und endet im Acromion, wo sie ihre maximale Höhe erreicht hat. Durch die zahlreichen Bänder, die die Fortsätze der Skapula verbinden, erhält sie ihren zugfesten und verwindungssteifen Charakter. Besonders bedeutend ist das Lig. coracoacromiale, welches die beiden lateralen Fortsätze der Skapula zusammengürtet. Das laterale, abgeflachte Ende der Skapula wird Acromion genannt und ist Ursprung dieses Bandes.

Von dort aus zieht es zum dorsalen Proc. coracoideus, welcher lateral aus der mittigen Vertiefung der Skapula, der sog. Incisura scapulae hervorgeht (2,4,6).

Außer der Klavikula und der Skapula ist als ein weiterer Schulterknochen der Humerus zu nennen. Er besteht aus einem Schaft (Diaphyse) sowie einer proximalen und einer distalen Epiphyse, an welchen sich jeweils zwei Gelenkflächen befinden. Der Humeruskopf (Caput humeri) liegt proximal und weist eine große, halbkugelige Form auf. Er ist von Knorpel überzogen und bildet mit der Schaftachse einen Winkel von etwa 130° , da er mediokranial gerichtet ist. Nach lateral zeigt das kräftige Tuberculum majus, nach ventral das Tuberculum minus. Von den beiden Tubercula zieht eine Knochenleiste nach distal auf den Humeruskopf. Zwischen ihnen ist eine Rinne, Sulcus intertubercularis, zu erkennen, in der die lange Bizepssehne verläuft, welche eine anatomische Besonderheit darstellt. (1,6)

Das Schultergelenk (Articulatio humeri) verbindet Skapula und Humerus. Es ist ein typisches Kugelgelenk und besitzt drei Freiheitsgrade. Bewegungen um drei Hauptachsen sind hierbei möglich: um eine Transversalachse durch Ante- und Retroversion, um eine Sagittalachse durch Abduktion und Adduktion und um die Längsachse des Humerus durch Außen- und Innenrotation. Somit ist das Schultergelenk zwar das beweglichste, aber auch das anfälligste Körpergelenk. Da die Gelenkpfanne der Skapula (Cavitas glenoidalis) flach und klein ist, hat sie nur ein Drittel der Gelenkfläche des Humerus, welcher die Form einer Halbkugel aufweist. Somit korrespondiert nur ein kleiner Teil des Humeruskopfes mit dem Glenoid, und Vorder- und Hinterrand der Cavitas glenoidalis ragen über die Fläche der Skapula heraus. Die Knorpelbedeckung des Humeruskopfes ist dort am dicksten, wo sie in Neutral-Null-Stellung mit der Cavitas glenoidalis in Verbindung ist und nimmt innerhalb der Gelenkfläche nach peripher hin zu, um schließlich in das Labrum glenoidale überzugehen. Das 4 mm dicke Labrum glenoidale, das aus dicht gepackten Kollagenfasern besteht, sitzt praktisch der Gelenkpfanne auf und bewirkt durch die Randerhöhung eine Vergrößerung der Pfanne (1). Gleichzeitig ist der Oberrand des Labrum Ansatzpunkt der langen Sehne des M. Biceps brachii und der Unterrand teilweise Anheftungsstelle der Gelenkkapsel. Somit ist das Labrum Teil des periartikulären Fasersystems, das auf der einen Seite mit der langen Bizeps- und der langen Trizepssehne, auf der anderen Seite mit der Gelenkkapsel eine funktionelle Einheit bildet. (2,4,6,5)

Die dünne Gelenkkapsel ist an der Knorpel-Knochen-Grenze des Humerus und an der Skapula knapp außerhalb des Labrum glenoidale angeheftet und wird ventral und kranial durch Bänder verstärkt. Zwischen den ventral liegenden Ligg. glenohumeralia superius und medius befindet sich eine Öffnung zur Bursa subtendinea muscoli subscapularis, welche wiederum mit der Bursa muscoli coracobrachialis verbunden ist. Den Bändern nahe der Gelenkkapsel wird eine

große Bedeutung für die Stabilität des Gelenks zugeschrieben. Auf der Ventralseite sind dies die Ligamenta glenohumeralia superius, medius und inferius, welche bei Außenrotation angespannt werden (4) und für die Kopplung von Rotations- und Translationsbewegungen des Caput humeri im Glenoid sorgen (1). Dabei verläuft das Lig. glenohumerale superius vom Oberrand der Gelenkpfanne zum Sulcus intertubercularis und bildet zusammen mit dem Lig. coracohumerale die sog. Rotatorenintervall Schlinge oder Bizepssehnen-Pulley. Diese Schlinge verhindert eine Dislokation der langen Bizepssehne nach ventral und medial, indem sie die Sehne umgibt.

Das Lig. glenohumerale inferius besteht aus drei Anteilen, welche vom kaudalen Rand der Gelenkpfanne zum medialen Humerushals ziehen bzw. der mittlere Teil bis zum Collum chirurgicum läuft. Das Lig. glenohumerale medius zieht vom oberen Rand der Gelenkpfanne zum anatomischen Humerushals (5). Vom Proc. coracoideus kommend strahlt das Lig. coracohumerale kranial in die Gelenkkapsel ein, welches die Außenrotation des Armes in Adduktion hemmt. Es steht zwar nicht in direkter Verbindung mit der Kapsel, bildet jedoch zusammen mit dem Proc. coracoideus und dem Acromion den Fornix humeri, das sog. „Dach des Schultergelenks“ und schützt somit den Humeruskopf vor kranialer Luxation. Der kaudale Teil der Gelenkkapsel, welcher in Neutral-Null-Stellung schlaff vorliegt und den Recessus axillaris bildet, entfaltet und spannt sich im Zuge der Elevation. Dieser Teil der Kapsel übernimmt eine bedeutende Stabilisierungsfunktion des Gelenks in finaler Abduktionsstellung, da sich dort keine Muskelsehne an der Kapsel befindet. (2,4)

Um Reibungen bei Schultergelenksbewegungen zu vermindern befindet sich die Bursa subacromialis auf der einen Seite zwischen Humerusepiphyse und Gelenkkapsel, auf der anderen Seite am Acromion und Lig. coracoacromiale. Zusammen mit der Bursa subdeltoida, die zwischen Humerusepiphyse und dem M. deltoideus liegt, bildet die Bursa subacromialis außerdem das sog. „subakromiale Nebengelenk“. Bei Entzündungen der Schleimbeutel kann es zu Schmerzen und Bewegungsbeeinträchtigungen in der Schulter kommen, sodass diese bei häufigem Entzünden entfernt werden müssen. (4)

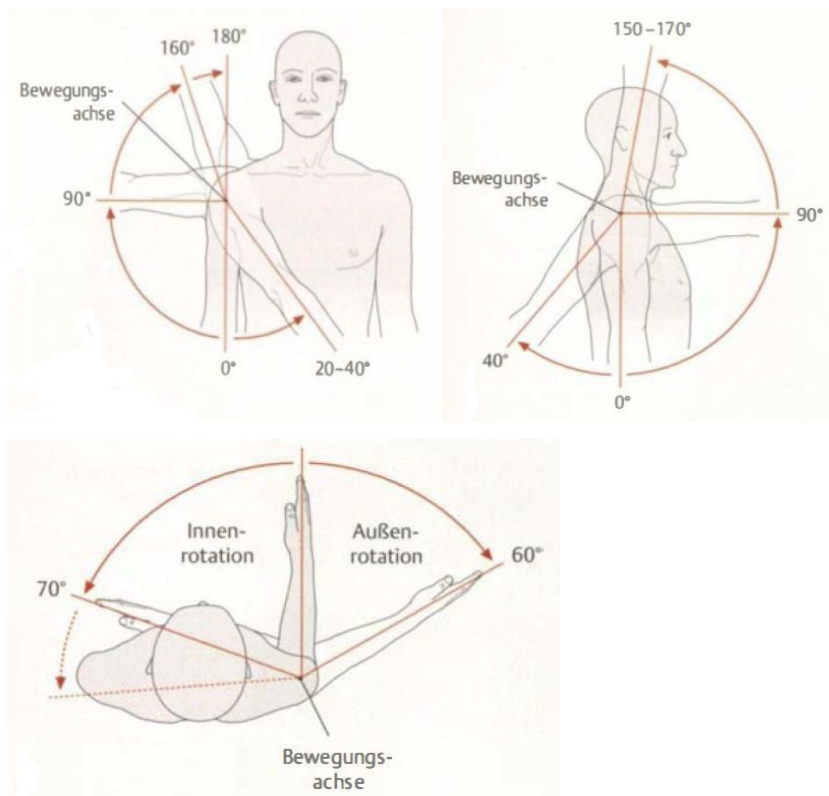


ABBILDUNG 4: BEWEGUNGEN IM SCHULTERGELENK (5)

Der Schultergürtel ist aufgrund seiner Gelenkausbildung und -Anordnung auf eine Stabilisierung durch die Muskeln angewiesen. Dies zeigt sich als Vorteil für die Beweglichkeit, jedoch als Nachteil aufgrund der häufigeren Dysfunktion bei falscher körperlicher Haltung. Da auch eine Stabilisierung durch Bänder ungenügend ausgeprägt ist, ist das Schultergelenk überwiegend von Muskeln gesichert. Die Muskeln der sogenannten Rotatorenmanschette nehmen an allen Bewegungen im Schultergelenk teil und schützen vor Luxation. Zu ihr gehören folgende Muskeln: Musculus supraspinatus, Musculus teres minor, Musculus infraspinatus und Musculus subscapularis. Der M. supraspinatus ist zwar Teil der Rotatorenmanschette, hat aber keine rotierende Funktion, sondern initialisiert die Abduktionsbewegung. Er setzt am Tuberculum majus des Humerus an und entspringt an der Fossa supraspinata der Skapula. Die Musculi infraspinatus und teres minor sind für die Außenrotation zuständig, wobei letzterer teilweise auch an der Adduktion beteiligt ist. Beide setzen am Tuberculum majus des Humerus an. Der M. infraspinatus entspringt an der Fossa infraspinata der Skapula und der M. teres minor an der lateralen Seite (Margo lateralis) der Skapula. Ein weiterer Muskel der Rotatorenmanschette, der M. subscapularis dominiert die Innenrotation und setzt am Tuberculus minus des Humerus an. Seinen Ursprung hat er an der Fossa subscapularis der Skapula. Der Musculus deltoideus gehört nicht zur Rotatorenmanschette, ist aber ein weiterer

Schultergelenkmuskel, der aus einer Pars clavicularis, einer Pars acromialis und einer Pars spinalis besteht. Die Funktion aller drei Anteile des Muskels sind abhängig von ihrer Lage zur Bewegungsachse und der Humerusstellung.

Insgesamt ist der Deltoideus der wirksamste Adduktor. Die drei Teile des Muskels setzen an der Tuberositas deltoidea am Humerus an. Weitere Muskeln sind die Musculi pectoralis major und latissimus dorsi. Sie entspringen am Rumpfskelett und ziehen zum proximalen Humeruskopf und erbringen 80% der Adduktionsarbeit zusammen mit dem M. teres major und dem caput longum des Trizeps. (4,5)

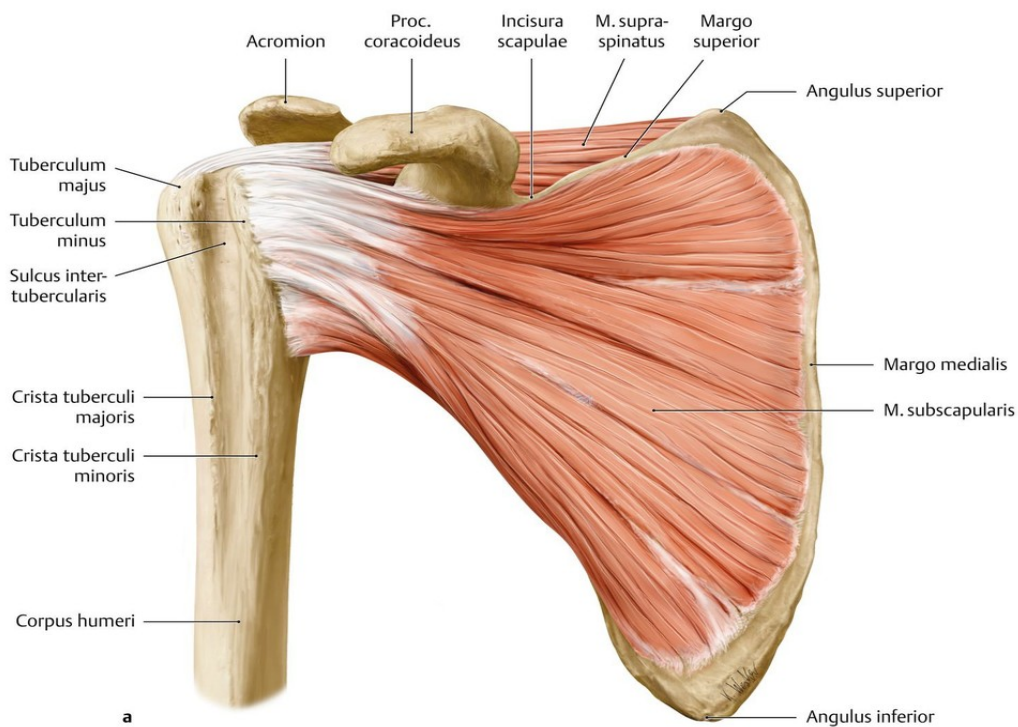


ABBILDUNG 5: MUSKELN DER ROTATORENMANSCHETTE (5)

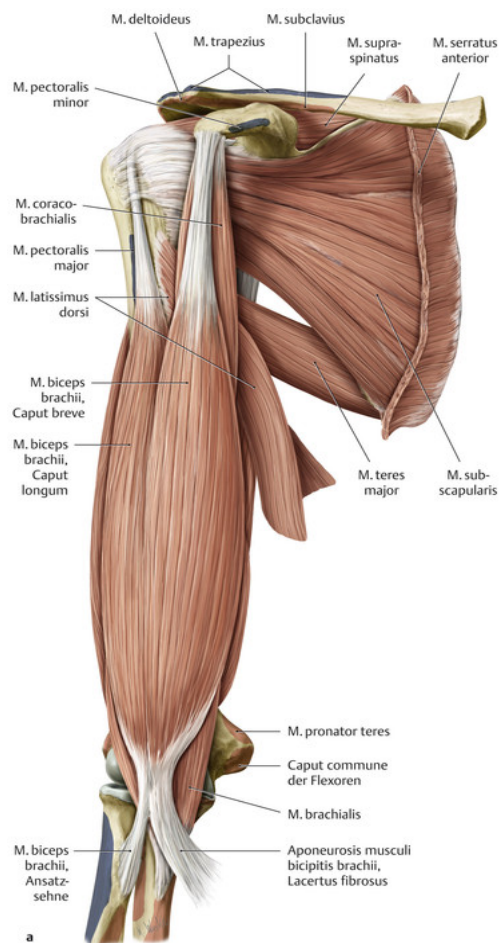


ABBILDUNG 6: MUSKELN DER RECHTEN SCHULTER IN DER ANSICHT VON VENTRAL

1.2 Anatomie und Biomechanik der langen Bizepssehne

Die Grundlage operativer Therapieverfahren der langen Bizepssehne bildet das Verständnis der unterschiedlichen zugrundeliegenden Pathologien als auch anatomische, biomechanische und funktionelle Kenntnisse.

Die Sehne verläuft vom Tuberculum supraglenoidale am Oberrand des Schultergelenks nach distal. Sie ist ca. 9 cm lang und 5-6 mm breit. Die lange Sehne läuft oben am Humeruskopf entlang, biegt dort ab und verläuft weiter im Sulcus intertubercularis. Dabei befindet sie sich entweder frei in der Gelenkhöhle oder innerhalb der Gelenkkapsel. In der Gelenkhöhle liegt sie extrasynovial vor, also außerhalb von Gelenkflüssigkeit und ist somit an dieser Stelle von statischem Charakter. Während der Abduktion oder Rotation der Schulter führt die Sehne passive Gleitbewegungen am Kopf des Humerus aus. Ihr artikulärer Anteil ist dabei flacher und etwas größer als der extraartikuläre Anteil, welcher klein und rund ist und in der Bizepsrinne verläuft. Gewöhnlich wird der Ansatz der Sehne am Tuberculum supraglenoidale der Skapula beschrieben, jedoch haben neuere Studien gezeigt, dass sie häufig doppelt befestigt ist. Zum

einen am Tuberculum supraglenoidale und zum zweiten am Labrum glenoidale, mit welchem sie den sog. Kapsel-Labrum-Komplex bildet. Dabei ziehen die für die Stabilisation sorgenden Fasern der Sehne zum Tuberculum, während zum Labrum die formgebenden Fasern verlaufen. (4,6–8)

Bei Untersuchungen in verschiedenen Studien sind Varianzen in der Befestigung am Ansatz der Sehne gesehen worden (9). Es lassen sich vier verschiedene Typen unterscheiden:

1. Ausschließliche posteriore Insertion der Sehne
2. Hauptsächlich posteriorer Anteil der Sehne mit kaum anteriorem Anteil
3. Gleich verteilte anteriore und posteriore Insertion
4. Deutliche anteriore Insertion und geringer ausgeprägte posteriore Insertion

(7) Diese Verschiedenheiten sind jedoch von unbedeutender klinischer Relevanz, sorgen gegebenenfalls für Verwirrung während der Arthroskopie (8). Bain G.I. et al. untersuchten die Anatomie des Sehnenansatzes und stellten fest, dass am Labrum glenoidale eine Spalte oder ein Foramen vorhanden sein kann. Die Studie zeigt, dass derartige Löcher und Spalten üblich sind im superior anterioren Labrum. Sublabrale Exophyten, Spalten oder Vertiefungen sind jedoch von pathologischem Charakter (10). Sowohl extra- als auch intraatrikulär ist die Bizepssehne in ihrer Bewegung eingeschränkt. Auf der einen Seite aufgrund möglichem subakromialem Impingement, welches die Einklemmung der Supraspinatussehne zwischen Akromion und Bursa subacromialis bedeutet. Auf der anderen Seite ist die lange Bizepssehne ständigen Gleitbewegungen in der Bizepsrinne während den Rotationsbewegungen der Schulter ausgesetzt. (5,8)

Der Bereich der vorderen, oberen Schulterkapselregion, zwischen Subscapularis- und Supraspinatusmuskel wird Rotatorenintervall genannt. Außer diesen beiden genannten Muskeln wird das Rotatorenintervall vom Lig. glenohumerale superius sowie vom Lig. coracohumerale gebildet und trägt einen entscheidenden Beitrag zur Stabilität der langen Bizepssehne. Von ihm wird die Sehne in den Sulkus eingeleitet und somit eine Luxation verhindert (2,7). Die beiden Bänder bilden vereinigt die Rotatorenintervallschlinge. Ein Versagen des Rotatorenintervalls, eine sog. Pulley Läsion führt folglich zur Instabilität des Gelenks. (8)

Die Blutversorgung des proximalen Teils der LBS erfolgt durch die A. circumflexa humeri, deren Äste entlang des Sulcus intertubercularis laufen. An der Oberfläche der Sehne ist durch

die Verästelung der Arterien ein typisches vaskuläres Muster zu erkennen, während tiefer gelegene Abschnitte keine Gefäße aufweisen und aus Faserknorpel bestehen. (5)

Die nervale Innervation der LBS wurde noch nicht ausreichend dokumentiert. Eine Studie von Alpantaki et al. 13 besagt, dass die Innervation durch ein Netzwerk sympathischer sensorischer Fasern erfolgt.

Auch die Funktion der Sehne ist umstritten. Einige Autoren bezeichnen sie als funktionslos, als sog. „Appendix der Schulter“ (Lippmann 1944), andere beschreiben sie als Depressor des Humeruskopfes (Neer et al. 1977, Warner und McMahon) und wieder andere als schwachen Abduktor, während der Arm nach außen rotiert (Furlani 1976). Biomechanische Versuche deuten auf eine Stabilisierungsfunktion der LBS hin, indem sie vermehrte Translationen nach anterior verhindert. (Pagnani et al. 1996, Rodosky et al. 1994). (2,8).

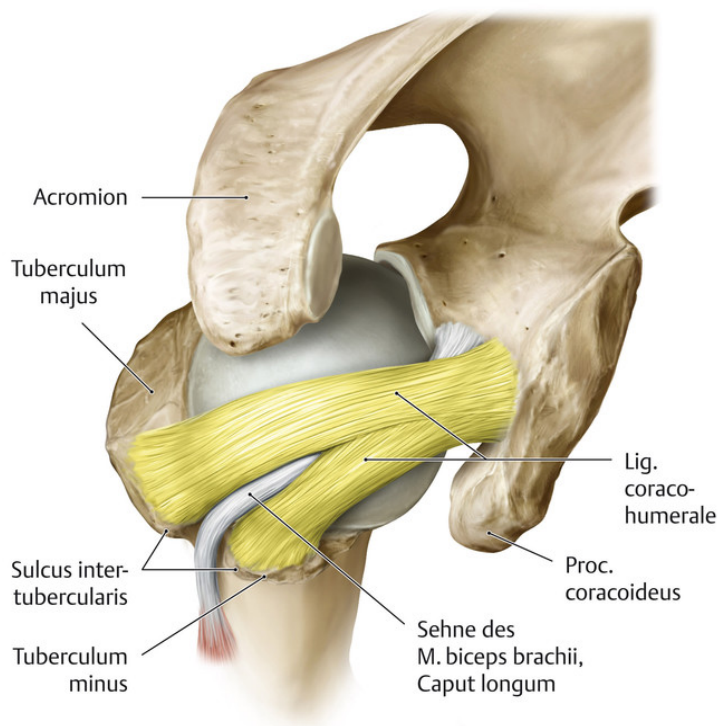


ABBILDUNG 7: RECHTES SCHULTERGELENK ANSICHT VON OBEN (5)

1.3 Pathologien der LBS

Schmerzen im Zusammenhang mit der langen Bizepssehne sind in den letzten Jahren vermehrt erkannt worden. Die Sehne galt lange Zeit als störender Schmerzgenerator in der Schulter, wobei Degenerationen der LBS diskutiert werden. Eine Bizepssehnenanomalie geht häufig mit

Rupturen der Rotatorenmanschette einher. Durch die Schmerzen, welche von der LBS ausgehen wirkt die Schulter geschwächt und ist deutlich weniger funktionstüchtig. (11) Nach neuestem Stand sind weder Funktionen in der Stabilisierung des Schultergelenks noch in der Kraftentwicklung bei bestimmten Bewegungen des Ellenbogens bzw. Unterarms der langen Bizepssehne nachweisbar. Jedoch können Läsionen der Sehne dazu führen, dass es zu starken Schmerzen im Schultergelenk kommt. (12) Generell sind drei Lokalisationen für Pathologien der langen Bizepssehne zu nennen: ihr Ansatz am Tuberculum supraglenoidale, ihr intraartikulärer Verlauf, sowie der Eintritt der Sehne in den Sulcus intertubercularis (sog. Bizeps-Pulley-System) (13). Da letztere eine Schlinge darstellt und somit die Sehne an ihrem Eintritt in die Bizepsrinne stabilisiert, führen Läsionen an der Stelle zur Destabilisierung dieser. (12)

1.3.1 Ursachen für Läsionen der LBS

Die Ursachen der Erkrankungen der langen Bizepssehne sind hinsichtlich der Ätiopathogenese in degenerative, entzündliche, mechanische und traumatische Läsionen einzuteilen, wobei Begleitpathologien existieren können. Eine isolierte Erkrankung der LBS geht meist mit Anomalien der Rotatorenmanschette und des Labrums einher. Auch Schulterinstabilitäten und subakromiales Impingement sind mögliche Ursachen für eine pathologische Bizepssehne. Generell können Pathologien der LBS ihrer Lokalisation entsprechend aufgegliedert werden. Dabei werden intraartikuläre, extratuberkuläre, intertuberkuläre und Ursprungsläsionen unterschieden. Letztere sind sog. SLAP Läsionen, welche Läsionen des superioren Labrum glenoidale und der oberen Bizepssehneninsertion beschreiben. Bei den intertuberkulären und intraartikulären Pathologien handelt es sich um Rupturen oder Entzündungserscheinungen der Sehnenscheide. Läsionen, die extratuberkulär liegen, sind selten und betreffen Rupturen im Bereich des Muskel-Sehnen Übergangs. (2,7,8,14)

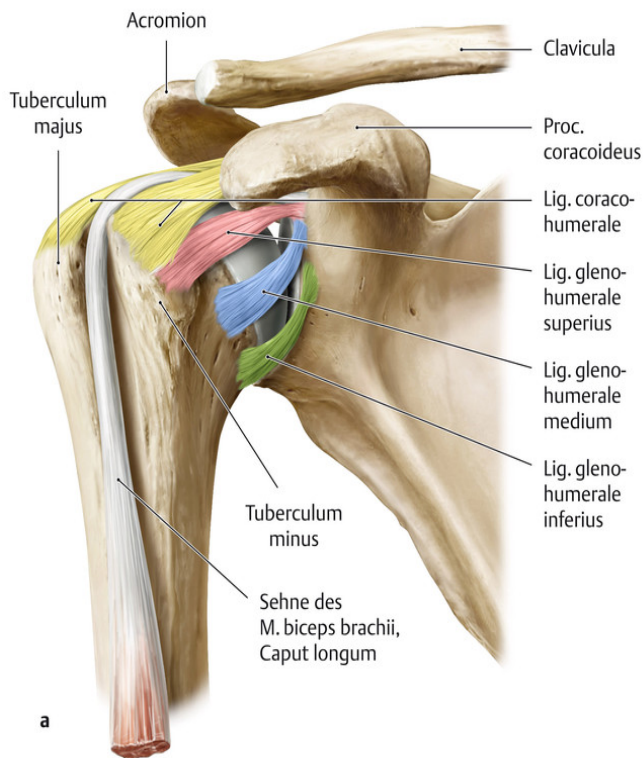


ABBILDUNG 8: KAPSELVERSTÄRKENDE BÄNDER (5)

1.3.1.1 Sehnedegenerationen und entzündliche Läsionen

Zu den degenerativen Läsionen gehören Sehnedegenerationen und entzündliche Läsionen, wie die Tendinitis und die Tenosynovitis.

Sowohl mechanische Irritationen der LBS in ihrem Verlauf als auch der die Sehne teilweise ummantelnde Synovialschlauch und daraus resultierende Abnutzungen bilden die Grundlage für Sehnscheidenentzündungen sowie degenerative Veränderungen der LBS welche mit Schmerz und Funktionseinschränkung der Schulter einhergehen.

Besonders am Eintritt der Sehne in den Sulcus intertubercularis häufen sich degenerative Läsionen, da sich dort ein dichtes Netz an Schmerzrezeptoren befindet (12). Arthroskopisch lässt sich eine degenerative Sehne im frühen Stadium nur schwer darstellen. Mit Fortschreiten der Erkrankung kommt es zu Rissbildung, Hyper- oder Hypotrophie und folglich zur Ruptur. Das Vorliegen einer frühen Tendinose wird am besten durch bildgebende Verfahren, wie MRT und Ultraschall erkannt.

Die Sehne tritt aufgrund ihrer Scheide sowohl mit der Gelenkhöhle der Schulter, als auch durch ihren proximalen Anteil mit der Rotatorenhöhle in Kontakt. Durch diese anatomischen Bedingungen ist die LBS an den meisten Pathologien der Rotatorenmanschette und des

Schultergelenks beteiligt. Umgekehrt sind somit degenerative Veränderungen der LBS häufig mit einer Rotatorenmanschettenruptur assoziiert. Nur bei ca. 10 % aller Rupturen der Rotatorenmanschette ist ein Trauma für die Verletzung verantwortlich. Überwiegend führen primäre Degenerationen, sowie eine Synovitis zu einer Ruptur. Man unterscheidet eine partielle von einer kompletten Ruptur. Letztere kann sowohl nur eine, meist die Supraspinatussehne, als auch die ganze Rotatorenmanschette betreffen. Als Folge einer kompletten Rotatorenmanschettenruptur (Massenruptur) artikulieren Akromion und der Kopf des Humerus und es kommt zur Schultergelenksarthrose mit Gelenkverschmälerung und subchondraler Sklerose. Klinische Symptome einer kompletten Ruptur sind vorwiegend biomechanische Einschränkungen. Dazu zählt die gestörte aktive Abduktion (Pseudoparalyse des Arms) und das „drop arm sign“, bei welchem der Arm durch passive Abduktion aktiv nicht gehalten werden kann. (1,8)

1.3.1.2 Mechanische Läsionen und Instabilitäten

Zu den mechanischen Läsionen der LBS gehört u.a. die spontane Ruptur der LBS, welche meist durch bereits bestehende Teilrisse und somit bei alltäglichen Bewegungen, kleineren Verletzungen oder Überbelastung ausgelöst wird. (8) Durch den Abriss der LBS kann es zum sog. Popeye Sign kommen, eine Verlagerung des Muskelbauchs nach distal mit äußerlicher Deformation des Oberarms. Teilweise kommt es bei einer solchen spontan auftretenden Ruptur zur Einklemmung der Sehne in der Bizepsrinne und damit zur eigenständigen Fixierung. Es resultiert ein geringeres Maß an Deformität. (2,8)

Da der Humeruskopf nur zu einem Viertel in einer flachen Pfanne liegt, neigt das Schultergelenk stärker zur Luxation als andere Gelenke. Durch die geringe Knochensicherung ist das Glenohumeralgelenk auf seine Weichteile hinsichtlich Stabilisierung angewiesen. Deshalb resultieren bei Pathologien an Muskeln oder Bändern Instabilitäten verschiedener Ausmaße. Auch die Gelenkkapsel kann durch ihre in mittlerer Gelenkstellung schlaffer Position nicht zur Stabilität des Schultergelenks beitragen. Klinisch werden folgende Instabilitäten unterschieden: Posttraumatische Schulterinstabilität mit rezidivierender Schulterluxation, traumatische Schulterluxation und die habituelle Schulterinstabilität und Schulterluxation. Letztere zeugt nicht von traumatischer Herkunft, sondern sie tritt bereits bei unbedachten Alltagsbewegungen auf. Generell wird die Subluxation von einer Luxation unterschieden, wobei bei der Luxation kein Kontakt mehr zwischen Sulcus und Sehne besteht, welcher bei der Subluxation teilweise noch vorhanden ist oder nur temporär verloren geht. (1,2)

1.3.1.3 Traumatische Läsionen und Sportverletzungen

Traumatische Läsionen der LBS treten am häufigsten in der jüngeren, sportlich aktiven Bevölkerung auf, insbesondere bei Wurfspielern, Turnern, Schwimmern oder Kampfsportlern. Die traumatische Schulterluxation ist die häufigste Gelenkluxation. Bei einer vorderen Luxation kommt es zur Dehnung oder zum Riss des Lig. glenohumerales inferius, und auch der vordere Anteil des Labrums kann beschädigt werden und vom Knochen abreißen, was die sog. Bankart Läsion darstellt. Durch die Luxation nach vorn wird der Humeruskopf gegen den vorderen Rand der Schulterpfanne gepresst und der Knochen unterschiedlich stark eingedrückt. (Hill-Sachs-Delle). Begleitet wird die Luxation vor allem bei älteren Menschen häufig von einer Rotatorenmanschettenruptur oder einer Oberarmfraktur.

Als weitere traumatische Läsion ist die bereits genannte „SLAP-Läsion“ zu nennen. Sie kann als Folge von Mikrotraumen bei Sportlern, bei Stürzen auf den ausgestreckten Arm, sowie als Begleiterscheinung bei Außenrotations-Abduktionsverletzungen auftreten. Es lassen sich vier verschiedene Typen der Läsion klassifizieren.

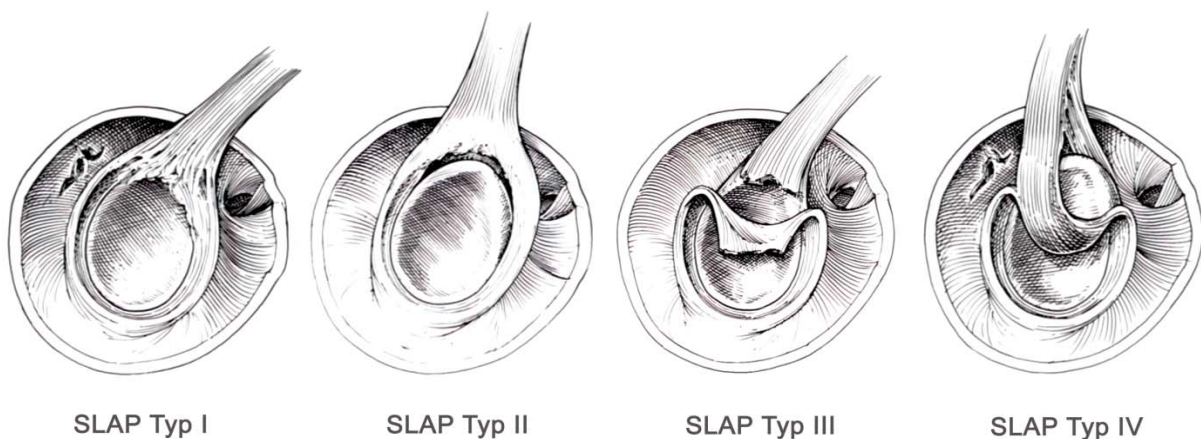


ABBILDUNG 9: KLASSIFIKATION DER SLAP-LÄSION NACH SNYDER (15)

Typ 1: Aufgefächertes und degenerativ verändertes Labrum. Feste Haftung der peripheren Labralkante am Glenoid mit intakter Befestigung der Bizepssehne am Labrum.

Typ 2: Abtrennung des oberen Labrum und der daran befestigten Bizepssehne vom darunter liegenden Glenoid. Instabilität des Bizepssehnenankers.

Typ 3: Korbhenkelriss im oberen Labrum. Verlagerung des zentralen Teil des Risses in das Gelenk. Fester Verbund des peripheren Teils des Labrums mit dem darunter liegenden Glenoid. Stabilität des Bizepssehnenankers.

Typ 4: Längsriss der Bizepssehne. Verlagerung des Risses in das Gelenk. Ablösung des Bizepssehnenankers. Mögliches Einschlagen des kaudalen Anteils in das Gelenk. (15)

1.3.2 Diagnostik und Therapie

Schmerzen im Zusammenhang mit Bizepssehnenpathologien sind hauptsächlich im anterioren Teil der Schulter nahe des Sulcus intertubercularis lokalisiert. Üblich sind Nachtschmerz, Ruheschmerz und auch Schmerzen bei Rotationsbewegungen. Außerdem kann der Schmerz in den Arm und den Muskelbauch des Bizeps ausstrahlen und die Hand erreichen. Generell können die Schmerzsymptome deutlich variieren. Vor allem treten Schmerzen bei Überkopfbewegungen auf, wobei oft ein Knacken in der Schulter zu bemerken ist.

Die Anamnese als ersten Schritt der Diagnostik gibt bereits erste wichtige Anhaltspunkte. Die Schmerzen der Patienten kommen nicht plötzlich, sondern schleichend, sodass die Angabe zum genauen Zeitpunkt der ersten Schmerzen, schwierig ist. Meist liegt der Schmerz im Bereich des Sulcus intertubercularis und tritt sowohl unter Belastung als auch in Ruhelage auf. Die sog. SLAP-Läsion, welche meist nach Traumen bspw. eines Überkopfsportlers auftritt, betrifft somit eher die jüngere Altersgruppe der Patienten. Dagegen sind Instabilitäten der Sehne und degenerative Läsionen häufiger bei älteren Patienten über 50 Jahre anzutreffen. Die isolierte Läsion der langen Bizepssehne kommt selten vor, da diese häufig mit Rotatorenmanschettenrupturen assoziiert ist. (13)

Zur klinischen Untersuchung der Schulter ist zum einen die Palpation bedeutend, auch wenn sie nicht allein ausreicht um die Schmerzen zu diagnostizieren. Da nicht selten Organe den Schmerz in den Schulterbereich projizieren, müssen auch diese bei der klinischen Untersuchung mit einbezogen werden. Die Palpation der LBS in der Bizepsrinne ist nützlich und wird am leichtesten während einer Innenrotation von 10° durchgeführt. Die LBS kann bei einer Dislokation Richtung Tuberculum minus verschoben sein und dementsprechend dort getastet werden. Um Rotatorenmanschettenrupturen oder Kapselschwellungen des Schultergelenks zu analysieren, wird der Raum unterhalb des Akromions palpirt. Zudem gibt es mehrere durchzuführende Tests, die eine isolierte LBS Pathologie beschreiben. Zum einen der Yergason-Test, bei dem gegen Widerstand bei 90° gebeugtem Ellenbogen der Unterarm nach außen gedreht wird. Zum zweiten der Speed-Test, wobei der Ellenbogen gegen einen Widerstand bei 90° gebeugt ist und der Arm nach vorne gedrückt und nach außen gedreht wird. Bei einer pathologischen Veränderung löst dies Schmerz in der Bizepsrinne aus. Für die Diagnostik von SLAP-Läsionen gibt es zusätzlich den O'Brian-Test. Dabei wird der Ansatz der LBS am Bizepssehnenanker zunächst in maximaler Innenrotation belastet. Anschließend wird

der Arm nach außen rotiert, und es sollte nach vorheriger Schmerzauslösung zur Linderung kommen. Dies deutet auf eine Erkrankung des Kapsel-Labrum-Komplexes hin. (1,2,8)

Kibler et al. untersuchten den klinischen Nutzen von traditionellen und neuen Tests in Bezug auf die Identifizierung einer Pathologie der LBS. Es unterzogen sich Patienten, die aufgrund Schulterschmerzen beobachtet wurden, sechs bereits vorhandenen („Yergason's“, „Speed's“, „Bear Hug“, „Belly Press“, „O'Brien's“ und „Anterior slide“) und zwei derzeit neuen Tests („Upper cut“ und modifizierter „labral shear“). Dabei wurde auf Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit bei den jeweiligen Tests eingegangen. Die Ergebnisse zeigten, dass sich der „Bear Hug“ und der „Upper cut“ Test für die höchste Sensitivität und der „Speed-“ und „Belly Press“-Test für die höchste Spezifität kennzeichneten. Die höchste Genauigkeit wies der „Upper cut“ Test auf. (16)

Zusätzlich können bildgebende Verfahren zur Diagnostik von Bizepspathologien herangezogen werden. Diese beinhalten vorerst standardmäßige Röntgenaufnahmen des Schultergelenks. Jedoch treffen diese Aufnahmen vorwiegend Aussagen über Begleitpathologien bspw. die Konfiguration des Akromion oder Arthrose und weniger über das Vorliegen von Bizepssehnenpathologien. Um letztere zu erfassen ist die Ultraschalluntersuchung eine geeignete und günstige Methode. Auch die Kernspintomographie kann eine zuverlässige Aussage bezüglich Pathologien sowohl der Bizepssehne als auch der Rotatorenmanschette und des SLAP-Komplexes bieten. Nicht nur Luxationen der Sehne aus der Bizepsfurche, sondern auch Rupturen und Tendinopathien werden durch die Kernspintomographie erfasst. Durch Zugabe von Kontrastmitteln bei dieser Methode steigt die Sensitivität deutlich an. Ein weiteres diagnostischen Verfahren ist die Arthroskopie des Schultergelenks, mithilfe derer sowohl Läsionen, Instabilitäten und Tendinopathien der Bizepssehne als auch Begleiterscheinungen zu erkennen sind. Als Begleitläsion wären hierbei Pathologien des Knorpels, des Kapsel-Labrum-Komplexes oder der Rotatorenmanschette zu nennen. Der große Vorteil der diagnostischen Arthroskopie liegt in der Möglichkeit, jeweilige Pathologien direkt zu behandeln. (13)

Aufgrund der genauen Diagnostik mittels MRT hat die diagnostische Arthroskopie nur mehr einen untergeordneten Stellenwert bzw. findet noch bei unschlüssigem MRT Befund statt.

Nachdem einige Verfahren zur Diagnose von isolierten LBS Pathologien aufgeführt wurden, müssen damit verbundene Erkrankungen, wie Läsionen der Rotatorenmanschette oder glenohumerale Instabilitäten mit der Bizepssehnenläsion in Verbindung gebracht und dementsprechend behandelt werden. (8)

1.3.3 Arthroskopische Versorgungstechniken

Läsionen der langen Bizepssehne (LBS) sind häufig und können, wenn sie nicht adäquat behandelt werden, für anhaltende Schmerzen sowie funktionelle Beeinträchtigungen der Schulter verantwortlich sein. LBS-Läsionen können isoliert auftreten, sind aber öfter mit komplexeren Störungen wie Schulterinstabilität oder Supraspinatussehnenrissen assoziiert.

Ob die Sehne mit konservativen oder operativen Mitteln versorgt wird, hängt von den mit der Läsion einhergehenden Schultererkrankungen und der Dauer der Symptome ab. Zunächst werden entzündliche Symptome der langen Bizepssehne mithilfe von Physiotherapie und temporär eingesetzten nichtsteroidalen Antiphlogistika behandelt. Dadurch werden Symptome wie Schmerz und Entzündung beispielsweise nach einer Ruptur der proximalen Bizepssehne gelindert.

Je nach Alter des Patienten, seines Berufs, Leidensdruck und Aktivitätsniveau variiert die Dauer einer konservativen Behandlung und wird an den Patienten individuell angepasst. Falls eine derartige Therapie nicht ausreicht bzw. versagt ist eine operative Behandlung ratsam. Hierbei ist bezüglich der Operationstechnik die offene von der arthroskopischen zu unterscheiden. (13,17)

Einige Studien haben diese beiden Verfahren miteinander verglichen und sind größtenteils zu dem Ergebnis gekommen, dass sie keine bedeutenden Unterschiede im Hinblick auf die postoperativen Resultate liefern. In den verschiedenen Studien wurden die beiden Operationstechniken sowohl hinsichtlich postoperativer Schmerzempfindlichkeit der Bizepssehne als auch bezüglich der Dauer bis der Patient schmerzfrei ist zum Vergleich herangezogen (18,19).

In den letzten Jahren erfolgte die Versorgung der LBS zunehmend arthroskopisch mit guten bis sehr guten Resultaten. Vorteile hierbei sind zum einen der minimalinvasive Zugang und das möglicherweise geringere Infektionsrisiko an dieser Stelle. Zum anderen die Möglichkeit intraartikuläre BegleitleSIONen wie bspw. Instabilitäten des Bizepsankers zu visualisieren. Bezüglich Operationszeit und Rezidivrate ist die arthroskopische jedoch der offenen Technik ebenbürtig. (20)

Welche die optimale Versorgung von Pathologien der langen Bizepssehne und des SLAP-Komplexes tatsächlich ist, muss individuell je nach Patient entschieden werden. Arthroskopische Versorgungstechniken haben die Behandlung mit zufriedenstellenden Ergebnissen vereinfacht. (21)

Zwar diente die Schulterarthroskopie zunächst diagnostischen Zwecken, jedoch kamen durch die zunehmend verbesserte Technik die therapeutischen Maßnahmen hinzu. Durch die

Arthroskopie werden immer häufiger offene Operationen der Schulter ersetzt. Dabei wird der Patient in eine Position gebracht, die sich Beach-Chair Position nennt, das bedeutet der Patient wird halbsitzend gelagert und der Arm bleibt frei beweglich. Dadurch kann der Arm ohne Einschränkung während der Operation frei rotiert und abduziert werden. Dieser sog. Liegestuhlposition steht die Seitenlagerung gegenüber, bei der ihr Nachteil im Umlagern des Patienten beim Übergang in die offene Operation liegt.

Indikationen für eine Schultergelenkarthroskopie werden in drei Gruppen geteilt: Schulterinstabilitäten, degenerative Veränderungen und entzündliche Veränderungen. Mit Schulterinstabilitäten sind zum einen Läsionen am Labrum, zum anderen osteochondrale Läsionen gemeint. Degenerative Veränderungen können Rotatorenmanschettenrupturen, subakromiale Syndrome, wie z.B. die Tendinosis calcarea, eine Kalkeinlagerung der Sehne und auch Missbildungen der Bizepssehne sein. Zu den entzündlichen Veränderungen zählt bspw. die Synovialitis, eine Entzündung der inneren Gelenkkapsel.

Die Inspektion des Schultergelenks erfolgt über verschiedene Zugänge, sog. Portale, bei denen zwischen optischen Zugängen und Arbeitszugängen unterschieden wird. Standardgemäß erfolgt der Zugang für die Optik dorsal mithilfe einer Stichinzision. Um Instrumente einzubringen wird normalerweise das anteriore und das anterior-superiore Portal ausgesucht. Allerdings ist es möglich weitere Zugänge zu verwenden, wie z.B. lateral, um in den Subakromialraum zu gelangen. Somit kann das Arthroskop in die unterschiedlichen Zugänge eingebracht werden und zwischen ihnen hin und her wechseln, wodurch eine komplette Übersicht möglich ist und die gesamte LBS in ihrem intraartikulären Verlauf begutachtet werden kann. Der Gelenkraum wird mit seinen intraartikulären Strukturen mithilfe eines Tasthakens vollständig inspiziert, welcher von anterior eingebracht wird (5,7). Durch die Arthroskopie kann die Anatomie des Schultergelenks sehr gut dargestellt und beurteilt werden. Gut erkennbar ist die lange Bizepssehne, welche über den Humeruskopf horizontal durch den Gelenkraum zu seinem Ansatz, dem Tuberculum supraglenoidale, läuft. Auch das sog. Kapseldreieck, welches von der Sehne, dem Humeruskopf und der Cavitas glenoidale zusammen mit der Subskapularissehne und dem Lig. glenohumerale medium gebildet wird, kann gut eingesehen werden. Der Eintritt der langen Bizepssehne in die Bizepsrinne wird durch Drehen der Kamera sichtbar. (5)

Die zwei häufigsten Behandlungsverfahren von LBS-Läsionen sind die Tenotomie und die Tenodese. Gegebene Indikationen für diese Operationen sind Rupturen der langen Bizepssehne, degenerative Veränderungen, wie SLAP Läsionen oder Instabilitäten der Sehne. Bei der arthroskopischen Tenotomie wird die lange Bizepssehne so nah wie möglich an ihrem Ursprung

am Labrum durchtrennt. Dies geschieht entweder mechanisch mithilfe einer speziellen Schere oder elektrothermisch. Die Tenotomie ist zwar ein Verfahren, welches schnell und einfach durchzuführen ist, hat jedoch einen ästhetischen Nachteil. Beim Durchtrennen der Sehne rutscht der Muskelbauch nach distal, wodurch eine Vorwölbung im Oberarm zu erkennen ist. Diese Folge der Tenotomie nennt sich „Popeye sign“. Es kommt nach einer Tenotomie nicht in jedem Fall zu einem Popeye sign, da die Sehne nach Durchtrennung von selbst durch sog. Autotenodese in der Bizepsrinne gehalten werden kann. In anderen Fällen kann der distalisierte Muskelbauch zu Unzufriedenheit beim Patienten führen. Ein weiterer Nachteil können Krämpfe im Muskel sein, welche nicht mehr durch Dehnen gelindert werden können (7,12). Trotz genannter Nachteile führt eine Tenotomie über einfache Wege zur Schmerzreduktion ohne die Funktion signifikant zu beeinträchtigen und in den meisten Fällen auch zur Zufriedenheit des Patienten (13,22). Diese effektive Operationstechnik wurde an Patienten unterschiedlichen Alters und Aktivitätsniveau getestet und verglichen und zeigt keine Unterschiede zwischen der aktiven und der sesshaften Population. Die Deformität des Oberarms ist meist sehr gering, sodass sie vom Patienten entweder nicht bemerkt oder als erträglich empfunden wird. Nur in seltenen Fällen kommt es zur Unzufriedenheit des Patienten (22,23). Trotzdem wird die Tenotomie eher Patienten höheren Alters ohne hohen ästhetischen und funktionellen Anspruch empfohlen.

Die Nachteile der Tenotomie können durch eine Tenodese vermieden werden, welche häufig bei aktiven Patienten durchgeführt wird. Durch diese kann Kosmetik und Funktion des Muskels vollständig erhalten werden. Kontraindikationen für eine Tenodese sind Tumoren oder Infekte in der Region des Oberarms, sowie eine nicht vorhandene lange Bizepssehne im Sulcus. Bei der Tenodese wird der intraartikuläre Anteil der langen Bizepssehne zuerst durchtrennt und anschließend außerhalb des Gelenks wieder fixiert. Autoren beschreiben verschiedene Arten eine Tenodese durchzuführen. Neben der offenen Tenodese ohne oder mit Rotatorenmanschetten Rekonstruktion gibt es die arthroskopische Methode, bei der die Sehne entweder mit einer alleinigen Naht oder mit Ankernähten fixiert wird. Eine Alternative ist die Fixation mit Interferenzschrauben. Hierbei wurden einige Vorteile beschrieben (24). Zum einen ist die Technik leicht zu erlernen und es kann auf die offene Technik gewechselt werden, zum anderen ist die Sehne durch die Schraube sicher fixiert und es entsteht kein unästhetischer Muskelbauch wie bei einer allein durchgeführten Tenotomie. (25)

Bei der arthroskopischen Technik wird die Sehne immer im Sulcus intertubercularis fixiert, wobei es zwei unterschiedliche Verfahren gibt: die ossäre Fixation am Knochen und die Weichteilfixation. Letztere werden kaum mehr durchgeführt, da sie wenig Stabilität aufweisen

und auch die klinischen Ergebnisse keine großen Erfolge zeigten (26). Bei der knöchernen Fixation wird die Sehne entweder extraartikulär oder intraartikulär mit einem Faden versehen. Die intraartikuläre Fixation, sog. Lassoloop Technik weist eine geringere Primärstabilität der Naht auf und wird deshalb bei degenerativen Läsionen nicht verwendet. Bei der extraartikulären Technik erfolgt die Naht außerhalb des Gelenks, was es leichter macht, den Faden stabil anzubringen. Durch das Operationsprinzip der Tenodese sollen Schäden durch Überlastung und Verletzungen der langen Bizepssehne therapiert werden. Vorteile dieses Verfahrens sind sowohl die geringe Invasivität und stabile Fixation als auch eine korrekte Wiederherstellung der Bizepssehnenlänge und somit die belassene Funktion und Ästhetik. Nachteile sind die höheren Kosten für Nahtanker und die zwingende Erfahrung in arthroskopischer Behandlungstechnik des Operateurs. Vor der Operation ist es notwendig den Patienten ausführlich über allgemeine Operationsrisiken, sowie die Möglichkeit der Schädigung intraartikulärer Strukturen und einer sekundären Dislokation mit Distalisierung des Muskelbauches aufzuklären. Auch zum intraartikulären Instrumentenbruch und der Notwendigkeit zur ergänzenden offenen Operation kann es bei der Tenodese kommen. (27)

Jack Daoud et al. beschrieben eine minimal-invasive Methode der arthroskopischen subscapularen Tenodese der langen Bizepssehne unter Verwendung eines einzigen anterolateralen Zugangs. Sie wird mithilfe eines Tenodesenankers mit Gabelspitze durchgeführt, welcher eine anatomisch stabile Fixierung der Sehne mit geringer Komplikationsrate ermöglicht. (28)

Durch diese Technik werden die Rehabilitationszeit und Schulterschmerzen minimiert, da es sich um eine minimal invasive Methode mit nur einem einzigen anterolateralen Zugang und Fixierung außerhalb der Bizepsrinne handelt.

1.4 Komplikationen der Versorgung der LBS

Vorderer Schulterschmerz wird häufig durch Pathologien der langen Bizepssehne verursacht (29,30). Um solche Pathologien zu behandeln, wurden viele verschiedene arthroskopische und offene Techniken beschrieben. Neben der einfachen Tenotomie der Sehne wurden verschiedene Tenodesetechniken veröffentlicht (31,32). Ein bekanntes Problem der einfachen LBS-Tenotomie ist die Distalisierung der Sehne. Diese kann zu Muskelkrämpfen und zur Reduktion sowohl der Ellenbogenflexion als auch der Unterarm Auswärtsdrehung führen. Außerdem treten häufig ästhetische Deformitäten des Oberarms auf (33,34). Daher empfehlen viele Studien eine Tenodese der LBS anstatt eine einfache Tenotomie durchzuführen, um eine Distalisierung der Sehne zu verhindern und somit die oben genannten Komplikationen zu

reduzieren (35). Verschiedene klinische Studien haben, insbesondere die Ästhetik betreffend, ein signifikant besseres Ergebnis erzielt (36).

Es wurde herausgefunden, dass insbesondere Techniken, die die Sehne mithilfe eines Nahtankers am Knochen fixieren, sowohl biomechanisch als auch klinisch den Fixierungstechniken am Weichgewebe überlegen sind (37). Es gibt jedoch einige Komplikationen, die bei der Durchführung einer Anker-Tenodese auftreten können. Dazu zählt anhaltender Schmerz, welcher oft im Verankerungsbereich beobachtet wird. Außerdem sind Frakturen und Infektionen, durch Fremdmaterialien bedingt, beschrieben worden (35,36,38–40).

1.5 Fragestellung und Zielsetzung der eigenen Arbeit

Ziel der vorliegenden Studie ist es, eine neue, implantatlose Operationsmethode der langen Bizepssehne, die sog. Loop Tenodese (LTD), biomechanisch zu evaluieren und mit dem klinisch etablierten Standardverfahren der Tenotomie der LBS zu vergleichen.

1.6 Biomechanische Vergleichsarbeiten

Die aktuelle Literaturrecherche ergab mehrere Studien, die die unterschiedlichen Operationstechniken der LBS miteinander verglichen und dabei auf verschiedene Aspekte eingingen.

David P. Richards et al. berücksichtigten in ihrer biomechanischen Studie die Ergebnisse der ossären Fixation während der Tenodese. Es wurde die Fixation mittels Interferenzschraube, mit der des Doppelfadenankers verglichen. Elf Leichenschultern wurden präpariert und unter Verwendung eines Servohydraulic-Material-Testsystems bis zum Versagen getestet. Die Studie zeigte, dass die Bizeps-Tenodese mit Interferenzschrauben eine stabilere Fixation als die Doppelfadenankertechnik erreichte und somit die Wahrscheinlichkeit auf postoperatives Versagen deutlich kleiner ist. (26)

Auch Scheibel M. et al. verglichen in ihrer Studie zur Tenodese verschiedene Fixationsmethoden. Es handelte sich dabei um die Weichteilfixation und die knöchernen Ankerfixation. Als Ergebnis zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei der Beurteilung der Ästhetik. Zwar waren die Patienten vom ästhetischen Ergebnis in beiden Gruppen ähnlich zufrieden, doch die klinische Untersuchung zeigte deutlich bessere Ergebnisse bei der knöchernen Ankerfixationstechnik. Zusätzlich wurde innerhalb der ossären Fixationstechnik die Nahtanker- mit der knotenlosen Verankerungstechnik verglichen. Hierbei konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Techniken gefunden werden.

Zusammenfassend empfehlen Scheibel M et al. bei indizierter arthroskopischer Tenodese der langen Bizepssehne die knöcherne Fixationstechnik anstelle der Weichteilfixation durchzuführen, da die Ankerfixierung deutliche Vorteile hinsichtlich klinischer und struktureller Ergebnisse liefert. (37)

Kusma M. et al. analysierten die biomechanischen Eigenschaften von fünf weit verbreiteten operativen Techniken für die Tenodese der LBS. Die Interferenzschraubentechnik, die Fadenankertechnik, die Tenodese mithilfe eines sog. „ligament washer“, die Schlüssellochtechnik und die Knochentunnel-Technik. Die Tenodesen mit der Interferenzschraube zeigten im Vergleich zu allen anderen Techniken und im Vergleich zu den Schlüsselloch- und Knochentunneltechniken eine signifikant höhere Bruchfestigkeit. Eine Interferenzschraubenfixierung hat zudem gute biomechanische Eigenschaften in Bezug auf Verschieblichkeit und Primärstabilität. (24)

Generell ist die Tenodese eine geeignete Operationsmethode für jedes Patientenalter. Voss A. et al. untersuchten Patienten über 65 Jahre, welche sich einer subpektoralen Bizeps-Tenodese unterzogen haben und verglichen die Komplikationsraten dieser Gruppe mit denen von Patienten unter 65 Jahren. Die Studie zeigt, dass die Tenodese bei einer Bizeps-Tendinopathie mit pathologischen Begleiterscheinungen bei Patienten über 65 Jahre erfolgreich ist und im Vergleich zu einer Patientengruppe unter 65 Jahren keine höhere Komplikationsrate liefert. (41)

Welches der beiden Verfahren, Tenotomie oder Tenodese angewendet wird, wird von vielen Seiten diskutiert. Frost A. führte sechs Studien durch, die diese beiden Operationsmethoden miteinander verglichen. Die Studien, in denen die beiden Verfahren verglichen wurden, zeigten keine signifikanten Unterschiede für die Behandlung von Läsionen der langen Bizepssehne, abgesehen davon, dass das Popeye-Zeichen bei einigen der Patienten vorkam, bei denen eine Tenotomie durchgeführt wurde. Dies stellt nur selten ein Problem dar, da es oft nicht einmal von den Patienten selbst bemerkt wurde. Das Popeye-Zeichen ist nicht immer eine Folge der Tenotomie. Bizeps-Tenodese-Patienten und Bizeps-Tenotomie-Patienten waren gleichermaßen mit der ästhetischen Erscheinung der operierten Extremität zufrieden. Patienten, die sich einer Tenotomie unterziehen, können im Allgemeinen unmittelbar nach der Operation zu ihren normalen Aktivitäten zurückkehren. Bei Patienten, die sich einer Tenodese unterziehen, folgt eine postoperative Rehabilitation, die eine Einschränkung der Ellenbogenflexion und der Ein- und Auswärtsdrehung des Armes für sechs Wochen nach der Operation zur Folge hat.

Zusammenfassend gibt es trotzdem wenig Unterschied im Ergebnis der Tenotomie verglichen mit der Tenodese. Beide Verfahren haben eine ähnliche Erfolgs- und Misserfolgsquote. Es gibt keinen erkennbaren Unterschied in den Komplikationen außer des häufigeren Auftretens von

Popeye-Sign in der Tenotomie-Gruppe, die den Patienten selten zu beunruhigen scheint. Tenotomie ist einfach und schnell, mit weniger Notwendigkeit für die postoperative Rehabilitation. Daher kann bei den meisten Patienten unabhängig vom Alter eine Tenotomie der langen Bizepssehne mit guter Erfolgsrate sicher durchgeführt werden. Bei sehr dünnen Patienten, die sich wegen der Ästhetik Sorgen machen könnten, sollte die Durchführung einer Tenodese erwogen werden. (42)

Auch Gurnani N. Et al. verglichen die klinischen Ergebnisse nach einer Tenotomie bzw. einer Tenodese der langen Bizepssehne anhand verschiedenster Studien. Die Suche beschränkte sich auf randomisierte kontrollierte Studien (RCTs), Kohortenstudien und retrospektive Studien zum Vergleich der LBS-Tenodese mit der Tenotomie, die mit oder ohne Begleiterscheinung der Schulter durchgeführt wurde. Basierend auf den Ergebnissen der verschiedenen Studien schließen Gurnani et al. darauf, dass es keine bedeutenden klinischen Unterschiede zwischen Tenodese und Tenotomie der LBS-Behandlung gibt. Popeye-Sign und krampfartige Schmerzen in der Bizepsrinne werden häufiger nach einer LBS-Tenotomie beobachtet. Die Tenotomie ist ihres Erachtens ein relativ einfacher Vorgang, der Arbeitszeit und Kosten spart. Die Tenodese ist dagegen chirurgisch schwieriger, geht jedoch mit einem geringeren Risiko von Popeye-Sign und Krämpfen im Bizeps Muskel einher. Eine pathologische lange Bizepssehne tritt oft im Zusammenhang mit einer Verletzung der Rotatorenmanschette auf. Dies kann ohne Behandlung zu persistierenden Schulterschmerzen führen. Aufgrund der geringen Evidenzlage bevorzugten Gurnani et. al. die Tenotomie gegenüber der Tenodese bei Patienten mit Bizepssehnen Pathologien, falls die Patienten das Popeye-Sign nicht als störend empfinden. (43)

Eine weitere Studie von Castricini R. et al. verglich die Wirksamkeit der beiden Operationstechniken Tenotomie und Tenodese bei Läsionen der langen Bizepssehne. Bei dieser prospektiven Vergleichsstudie wurden 55 Patienten im Alter von über 40 Jahren mit einer kombinierten supraspinatalen und LBS-Läsion aufgenommen. Sie wurden zufallsbedingt der arthroskopischen Tenotomie- bzw. Tenodesegruppe zugeordnet. Beide arthroskopischen Eingriffe wurden in Seitenlage des Patienten durchgeführt. Bei der Tenotomie wurde die lange Bizepssehne an ihrem Ursprung nahe des Labrum Glenoidale unter Verwendung eines arthroskopischen Elektrokauters durchtrennt. Die Tenodese wurde mithilfe eines Biceptor TM-Tenodesis-Systems (Smith & Nephew Inc., Memphis, TN, USA) durchgeführt. Nach der Tenotomie wurde die Sehne aus der Bizepsrinne mobilisiert und die gewünschte Position für die erneute Anheftung der Sehne festgelegt. Die Sehne wurde durch eine Biosynthese-Interferenzschraube fixiert. Sechs Monate nach der Operation traten in drei Fällen der

Tenodesegruppe krampfartige Schmerzen im Bizepsmuskel auf, während sich in der Tenotomiegruppe kein Patient über Schmerzen beschwerte. Nach 24 Monaten sind auch in der Tenodesegruppe die Krämpfe verschwunden. Die Studie zeigte trotz höherer Aufkommensrate des „Popeye-signs“ nach der Tenotomie, dass signifikante funktionelle Unterschiede zur Tenodesese postoperativ nicht zu erwarten sind. (44)

Bei einigen Studien wurde im Vergleich der beiden Operationsmethoden der Bizepssehne das Alter der Patienten nicht berücksichtigt bzw. nicht explizit darauf eingegangen. Die Studie von Friedman J. L. et al. untersuchte die Ergebnisse von aktiven Patienten jünger als 55 Jahre, die sich entweder einer Bizeps-Tenotomie oder Tenodesese zur Behandlung von Schulterschmerzen unterzogen. Die Hypothese war, dass, abgesehen von der ästhetischen Komponente, zwischen den beiden Behandlungsmethoden kein Unterschied im postoperativen Resultat zu erkennen wäre. Es wurden jeweils vor und nach der Operation isometrische Kraft- und Belastungstests durch Rotations- und Beugungsübungen der Schultern durchgeführt und unter Verwendung eines Dynamometers getestet. Zusätzlich wurden bei den Patienten objektive klinische Untersuchungen durchgeführt. Insgesamt wurden 42 Patienten, davon 22 Tenotomien und 20 Tenodesen, mit einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 3,3 Jahren miteinander verglichen. 35% der Tenotomie Patienten zeigten eine "Popeye" Deformation, verglichen mit 18,2% der Tenodesese Patienten. Sowohl Kraft- und Belastungstests als auch die postoperative Funktion der Schulter zeigten in beiden Gruppen keine bedeutenden Unterschiede. Die Häufigkeit von Krämpfen war in der Tenotomie-Gruppe höher, während Schmerzen häufiger in der Tenodesese-Gruppe auftraten. Friedman et al. sind zu dem Schluss gekommen, dass diese Studie trotz erhöhter Aktivität der Bizepsfunktion bei jüngeren Patienten keine bedeutenden Unterschiede zwischen Tenotomie und Tenodesese in den postoperativen Ergebnissen zeigte. Die Wahl zwischen den beiden Operationsmethoden der langen Bizepssehne kann somit weiterhin auf der Präferenz des Chirurgen und des Patienten basieren. (45)

Nachdem die Literaturrecherche bereits etliche Studien zum Vergleich der beiden Operationsmethoden Tenodesese und Tenotomie ergab, verglichen wir in unserer biomechanischen Studie die Tenotomie mit einer neuen Operationstechnik, der sog. Loop-Tenodesese-Technik.

2 Material und Methoden

2.1 Probenvorbereitung und Studiengruppen

In der aktuellen Studie wurden insgesamt sieben paarige menschliche Leichenschultergelenke verwendet, die mit der Methode von Thiel (46) konserviert wurden. Die

Einbalsamierungsmethode bewahrt die Farbe und Konsistenz von Geweben. Der österreichischen Gesetzgebung folgend, ist die Einverständniserklärung der Spender während ihres Lebens zu wissenschaftlichen Zwecken erfolgt. Keine der Schultern zeigte Anzeichen von früheren Verletzungen, Anomalien oder Krankheiten.

Die Proben wurden präpariert und von umgebenden Muskeln befreit. Bänder, Gelenkkapsel und der Riemenscheibenkomplex blieben erhalten. Damit sind sowohl die Ligamenta glenohumeri superior (SGHL) und coracohumeralis (CHL), als auch die Fasern, die von den Subscapularis- und Supraspinatussehnen einfließen gemeint (Abb. 1). Der lange Kopf des Bizeps (LHB) blieb unbeschädigt.

In jedem Fall wurde durch Zufall eines der beiden Schultergelenke der LHB-Loop-Tenodese-Gruppe (LTD-Gruppe) und dementsprechend die kontralaterale Schulter der LHB-Tenotomie-Gruppe (STT-Gruppe) zugeordnet. Insgesamt wurden zwei Gruppen mit jeweils sieben Gelenken so präpariert und eingestellt, dass ein individueller Vergleich innerhalb der Studie resultierte. Obwohl die Operation offen durchgeführt wurde, konnte die arthroskopische Technik simuliert werden.



ABBILDUNG 10: PRÄPARIERTE PROBE: SCHULTER EINER MENSCHLICHEN LEICHE MIT ERHALTENER GELENKKAPSEL UND BIZEPSSCHLINGE

2.2 Tenotomie der LBS

Die LBS wurde nahe ihres Ursprungs tenotomiert. Der proximale intraartikuläre Teil der Sehne (1 cm) wurde reseziert. Die Sehne wurde freigesetzt, gefolgt von einer spontanen Retraktion mit anschließender Autotenodese im Sulcus. (47,48)

2.3 Loop-Tenodese der LBS

Zuerst wurde eine Tenotomie nahe des Ansatzes der langen Bizepssehne durchgeführt. Danach wurde außerhalb des Gelenks an der Sehne mithilfe einer Klemme angezogen (Abb. 2A). Der proximale Teil (1 cm) wurde reseziert (Abb. 2B). Eine Sehnenschleife wurde erzeugt (Abb. 2C) und mit Vicryl 3.0 (Johnson & Johnson Medical GmbH, Ethicon, Norderstedt, Deutschland) vernäht (Abb. 2D). Die Sehne wurde freigesetzt, gefolgt von einer spontanen Retraktion mit anschließender Autotenodese im Sulcus (Abb. 2E) (47,48).

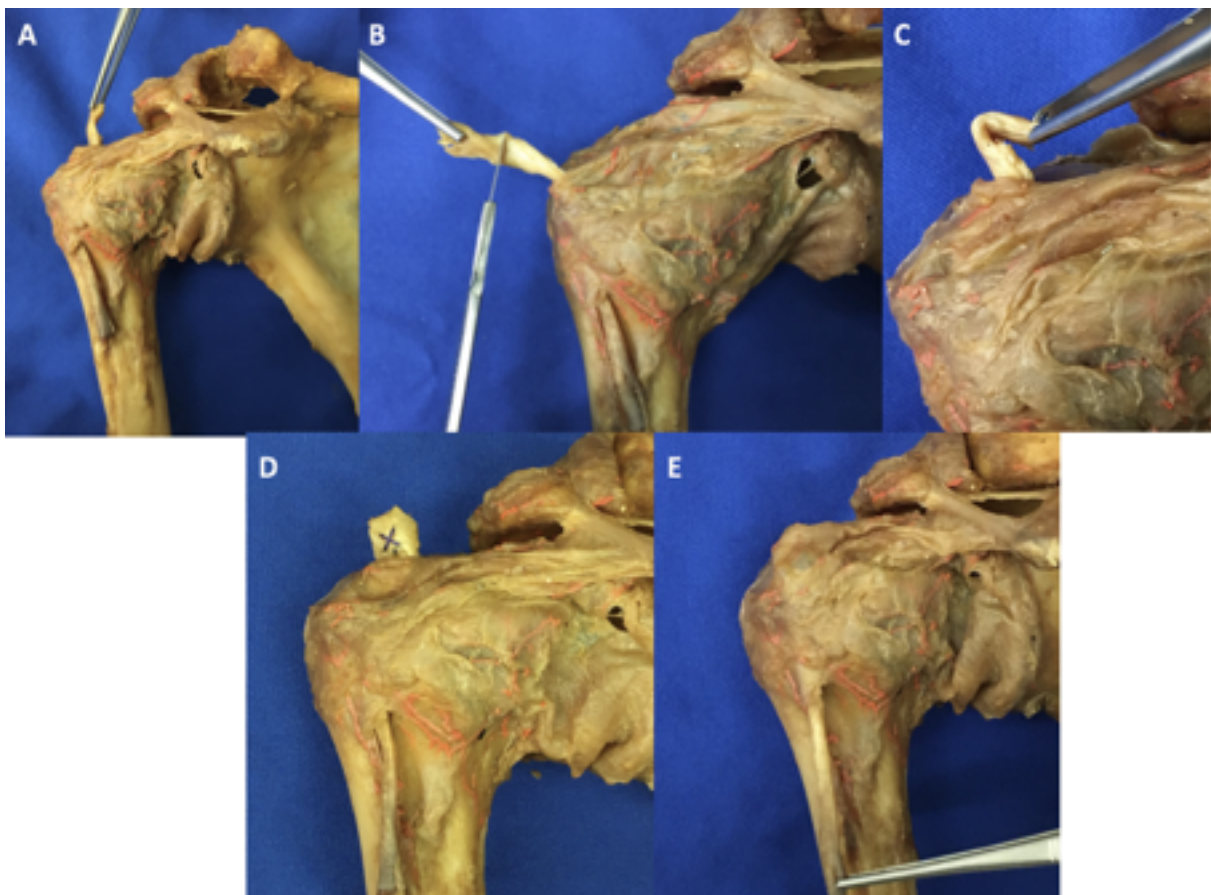


ABBILDUNG 11: NEUARTIGE LOOP-TENODESE: A) EXTRAARTIKULÄR GEHALTENE LANGE BIZEPSSEHNE NACH BASISNAHER TENOTOMIE, B) RESEKTION DER PROXIMALEN LANGEN BIZEPSSEHNE, C) SEHNENSCHLINGE, D) NAHT AN DER SEHNENSCHLINGE, E) AUTOTENODESE DER LBS

2.4 Biomechanische Prüfung

Für die biomechanische Untersuchung wurde eine speziell gebogene Platte am Humerus befestigt und mit einer Klemme an der Materialprüfmaschine befestigt. Die lange Bizepssehne wurde ebenfalls mit einer speziellen Klemme an der muskulotendinösen Übergangszone an der Testmaschine befestigt. Die Krafteinleitung erfolgte im Verlauf der LBS und des Humerusschafts (Abb. 3). Eine Vorspannung von 1 N wurde angelegt, um den LHB vorzuspannen. Ein „Load to failure“-Protokoll wurde mit einer Verschiebungsrate von 1 mm/s verwendet. Um konstante Gewebeeigenschaften zu gewährleisten, wurden alle Proben während der biomechanischen Tests feucht gehalten. Ultimate Last (N), Distalisation (mm) und Fehlermodus wurden aufgezeichnet. Um Informationen über die Steifigkeit des Konstrukts (N/mm) zu erhalten, wurde die Steigung des zunehmenden Teils der Last-Verschiebungskurve, wie von Lopez-Vidriero et al. beschrieben, bestimmt (49).



ABBILDUNG 12: BIOMECHANISCHER TESTAUFBAU UNTER KRAFTANWENDUNG

2.5 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde unter Verwendung der SPSS-Software (SPSS Inc., Chicago, Illinois) durchgeführt. Die Annahme der Varianzhomogenität, welche besagt, dass die Varianz der Störterme nicht signifikant unterschiedlich ist, wurde nicht verifiziert. Die mittleren Unterschiede zwischen den biomechanischen Variablen der beiden Techniken wurden unter Verwendung des Mann-Whitney-Tests bewertet. Alle Daten wurden als Mittelwert \pm Standardabweichung angegeben. P-Werte $<0,05$ wurden als signifikant angesehen.

3 Ergebnisse

Beide Studiengruppen zeigten eine typische Last-Verschiebungskurve bis zum Versagen. Es gab einen schnellen Kraftanstieg, bis die maximale Belastung in der LTD-Gruppe erreicht war. Nach dem Versagen kam es zu einer raschen Abnahme der Festigkeit (Abb. 4).

Die Belastungs-Verschiebungskurve der STT-Gruppe zeigte eine anfängliche Zunahme der Belastung, gefolgt von einer Plateauphase, die, nachdem die LHB vollständig aus dem Sulcus bicipitalis und der Rotatorenintervallschlinge herausgerutscht war, schnell abfiel (Abb. 4).

Die maximale Belastung der LTD-Gruppe war signifikant höher im Vergleich zur STT-Gruppe (LTD: $50,5 \pm 12,5$ N gegenüber STT: $6,6 \pm 3,9$ N; $p = 0,001$). Dies wurde erwartet, da der Durchmesser der Sehne nach der Schaffung der Sehnenschleife erhöht war und daher größere Kräfte erforderlich sind, um die proximale Sehne im Vergleich zu Sehnen ohne geschaffener Schleife an dem Pulley-Komplex vorbeizuziehen. Zu diesem Zeitpunkt war die Verschiebung in der LTD-Gruppe signifikant niedriger als in der STT-Gruppe (LTD: $8 \pm 2,3$ mm vs. STT: $22,4 \pm 2,4$ mm; $p = 0,001$) (Abb. 5).

Die berechnete Steifigkeit betrug $7,4 \pm 3,9$ N / mm für die LTD-Gruppe und $0,23 \pm 0,16$ N / mm für die STT-Gruppe ($p = 0,001$). In allen Proben der LTD-Gruppe wurde eine Sehnenruptur distal der Schleife gefunden. Die STT-Gruppe versagte aufgrund vollständigen Herausziehens der LBS durch die Bizepsfurche.

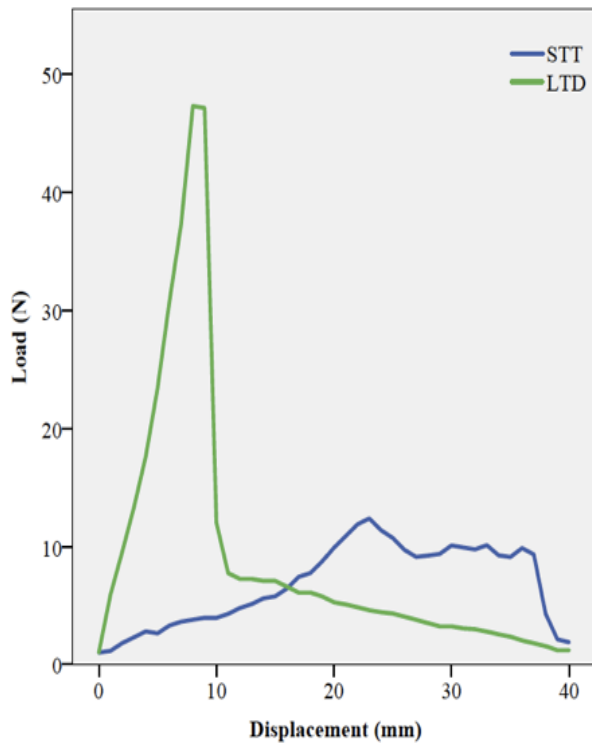


ABBILDUNG 13: LAST-VERSCHIEBUNGSKURVE: STT = EINFACHE TENOTOMIE, LTD = LOOP TENODESE

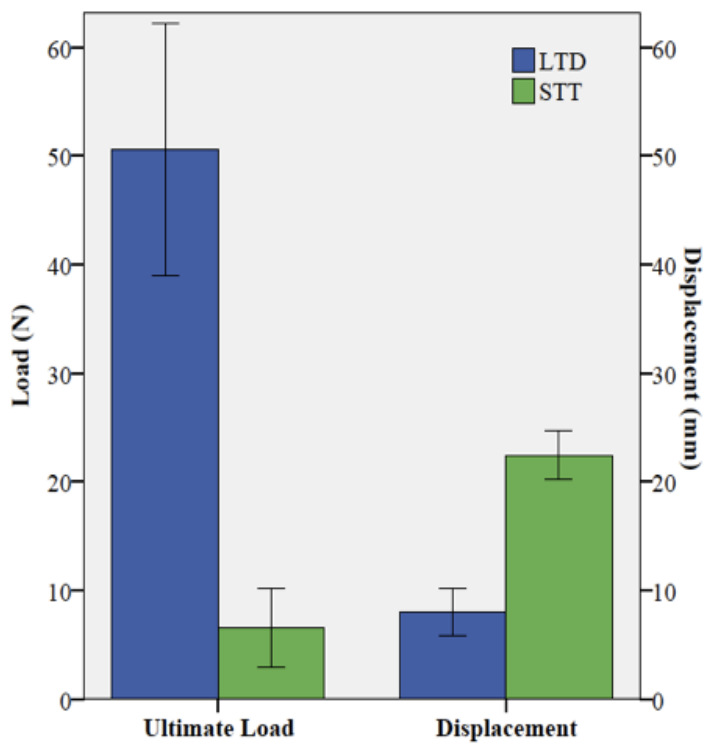


ABBILDUNG 14: BRUCHLAST ("ULTIMATE LOAD") / VERSCHIEBUNG ("DISPLACEMENT") DER LOOP TENODESE UND EINFACHEN TENOTOMIE

4 Diskussion

Sowohl die Tenotomie als auch die Tenodese sind etablierte Methoden zur Behandlung von Pathologien der langen Bizepssehne. Inwieweit eine Tenodese aufgrund einer Distalisation der Sehne im Vergleich zu einer einfachen Tenotomie Komplikationen verhindern kann, wurde wiederholt diskutiert (33,35,50). Einige Studien haben gezeigt, dass die LBS-Tenodese insbesondere in Bezug auf das kosmetische Ergebnis, der einfachen Tenotomie überlegen ist. Bei Patienten, die mit einer Tenodese behandelt wurden zeigten sich signifikant geringere Deformitäten am Oberarm (35,36). Insbesondere knöcherne Fixationstechniken konnten im Vergleich zu Weichteil-Tenodeseverfahren oder einer einfachen Tenotomie bessere Ergebnisse zeigen (33,37).

Trotzdem werden einige Komplikationen dieser Tenodesen beschrieben. Neben Frakturen, Implantatdislokationen und Nervenverletzungen sind persistierende Schmerzen der vorderen Schulter, besonders an der Ankereinführungsstelle, bekannte Komplikationen (35,36,38–40). Im Gegensatz dazu konnten andere Studien keine signifikanten Vorteile des Tenodeseverfahrens gegenüber der einfachen Tenotomie nachweisen. Osbahr et al. fanden keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Verfahren hinsichtlich des kosmetischen Ergebnisses. Die eigene Untersuchung konnte zeigen, dass ein vollständiges Durchrutschen der tenotomierten Bizepssehne durch die Bizepsfurche nur bei sehr wenigen Patienten auftritt. Diese Ergebnisse legen nahe, dass es der langen Bizepssehne möglich ist, sich in der Bizepsrinne zu fixieren. 2012 haben Kim et al. dieses Phänomen als Autotenodese der langen Bizepssehne beschrieben und konnten zeigen, dass durch Adhäsionen in der Bizepsfurche eine Distalisation verhindert werden kann (47).

Auch die „Vinculae“, die die lange Bizepssehne und die Bicipitalfurche querverbinden, unterstützen die Möglichkeit einer Autotenodese der langen Bizepssehne. Diese These beschrieben 1992 Johnson et al. (51)

Die neuartige Loop-Tenodese beruht auf dem Autotenodese Phänomen. Durch Vergrößerung des Durchmessers der Sehne am Eingang in die Bizepsfurche wird der selbstverriegelnde Mechanismus der langen Bizepssehne unterstützt und verhindert eine Distalisation der LBS.

Um die neue Technik biomechanisch zu bewerten, wurden menschliche Leichenschultern verwendet. Während die meisten biomechanischen Untersuchungen zu verwandten Themen die umliegenden Weichteile zerschnitten bzw. resezierten und den für die in-vivo-Stabilität relevanten Pulley-Komplex nicht erhielten, wurden in der vorliegenden Studie sowohl die Kapselapparatur als auch der Pulley-Komplex gesichert (26,49,52–56). Auf diese Weise konnten Strukturen, die die Biomechanik in vivo beeinflussen, erhalten bleiben (57). Durch die

Verwendung eines menschlichen Kadavers und dessen jeweils paarigen Schultern, wurde der Einfluss der anatomischen Variabilität in den Parametern erheblich neutralisiert. Dadurch konnte die spezifische biomechanische Leistung der Gruppen verglichen werden.

Alle Proben der Tenotomie Gruppe versagten durch Abrutschen der Sehne aus der Bizepsfurche. Ein genauerer Blick auf die Belastungs-Verlagerungskurve der Tenotomie-Gruppe zeigt, dass auf die Endbelastung eine Plateau-Phase folgte, in der die Sehne ohne relevante Belastungssteigerung zunehmend distalisiert wurde. Das Ausmaß der Fähigkeit zur Autotenodese kann auch abgelesen werden, da die Belastungskurve beim Durchrutschen der Sehne nicht auf null fiel. Im Gegensatz dazu zeigte die Loop-Tenodese-Gruppe einen raschen Anstieg der Kraft, bis sich ein Riss in der Sehne bildete. Der schnelle Anstieg der Belastung deutet auf eine Blockierung der Sehne am Sulcus bicipitalis hin und weist auf eine hohe Primärstabilität dieser Technik hin. Die Tatsache, dass alle Proben aufgrund eines Risses und nicht aufgrund von Durchrutschen der Sehne versagten, unterstützt die Hypothese einer hohen primären biomechanischen Stabilität der vorliegenden Technik. Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist, dass durch die neue Technik, verglichen mit der Tenotomie, die endgültige Belastung viel früher erreicht wird.

Klinisch konnte bei der Tenotomie Gruppe gezeigt werden, dass der Kopf der langen Bizepssehne zwar nicht vollständig nach unten rutscht, jedoch bei 69% trotzdem eine objektive Oberarmdeformität auftritt (33). Dieses Ergebnis unterstützt die Hypothese der Fähigkeit zur Autotenodese der langen Bizepssehne, allerdings mit einer gestörten Längen-Spannungs-Beziehung. Bei der neuen Loop Tenodese Methode wurde die Sehne weiter proximal gekürzt und es entstand, wie biomechanisch gezeigt, eine physiologische Längen-Spannungs-Beziehung. Dadurch konnte das Vorhandensein von Oberarmdeformitäten klinisch reduziert werden. Diese Tatsache zeigt sich auch in der Steifigkeit der Konstrukte, wobei die Loop-Tenodese signifikant höhere Werte erreichte. Allerdings muss auch die Elastizität der Sehne, die die Steifigkeit beeinflusst, berücksichtigt werden. Um Unterschiede aufgrund unterschiedlicher Längen der getesteten Sehnen zu vermeiden, wurden alle LHBs an der muskulotendinösen Übergangzone befestigt.

Die Grenzen dieser Studie müssen jedoch im Detail diskutiert werden. Dies ist eine Studie an Kadavern, die keine Heilungsprozesse oder den Einfluss von Nachbehandlungsstrategien simulieren kann. Darüber hinaus kann die Einbalsamierung der Leichenschultern Einfluss auf die biomechanischen Eigenschaften der Proben haben. Eine weitere Einschränkung der Untersuchung an menschlichen Kadavern ist, dass der biomechanische Einfluss einer

Sehnenerkrankung, welche meist eine Indikation für eine Tenotomie oder Tenodese der LBS darstellt, nicht berücksichtigt werden kann.

Trotz der Einschränkungen dieser Studie konnte die biomechanische Überlegenheit der neuen, Loop-Tenodese-Technik im Vergleich zur Tenotomie gezeigt werden.

Um diese Technik in einer klinischen Umgebung zu bewerten, sind weitere Studien nötig.

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden 7 paarige Leichenschultergelenke präpariert und zufällig zwei Operationsmethoden-Gruppen zugeteilt. Dabei wurde jeweils eine Schulter der LBS Tenotomie und die dazu kontralaterale Schulter der Loop Tenodese zugeordnet. Die Operation verlief offen, jedoch konnte die arthroskopische Operationsmethode simuliert werden. Somit wurden in der Studie zwei Gruppen mit jeweils 7 präparierten Schultergelenken miteinander verglichen. Die Tenotomie beinhaltete eine Resektion des proximalen intraartikulären Teils der Bizepssehne. Durch die resultierende Freisetzung der Sehne zieht sie sich zurück und tenodest automatisch im Sulcus. Auch bei der Loop Tenodese erfolgt eine Retraktion und Autotenodese im Sulcus, jedoch nachdem eine Sehnenschleife erzeugt und vernäht wurde. Um die maximale Belastung der Sehne der jeweiligen Schultern untersuchen zu können, wurden diese in eine biomechanische Apparatur gespannt. Hierbei wurde sowohl der Humerus als auch die lange Bizepssehne an der Materialprüfmaschine befestigt. Dies geschah mithilfe einer speziell gebogenen Platte am Humerus und einer speziellen Klemme an der Bizepssehne an ihrem Übergang zum Muskel. Mithilfe der Prüfmaschine wurden Versagenslast (N), Distalisation (mm) und Fehlermodus aufgezeichnet. Zusätzlich wurde der ansteigende Teil der Steigung der Last-Verschiebungskurve bestimmt. Dadurch konnten Informationen über die Steifigkeit des Konstrukts in N/mm dargestellt werden.

Die biomechanische Prüfung macht deutlich, dass die neuartige, implantatlose Loop-Tenodese-Technik im Vergleich zu der einfachen Tenotomie der LHB eine höhere Versagenslast und Steifigkeit erreicht. Darüber hinaus kann diese Technik eine möglicherweise gestörte Längen-Spannungs-Beziehung durch eine proximale Kürzung der Sehne am Sulcus Bicipitalis-Eingang verhindern.

Diese neue Technik zeigt biomechanisch gute Ergebnisse bezogen auf die Stabilität und stellt möglicherweise eine implantatfreie Alternative zu anderen Behandlungsmethoden der langen Bizepssehne wie bspw. der einfachen Tenotomie dar. Abzuwarten bleibt, wie sich diese neue Technik im klinischen Alltag beweisen wird.

6 Literaturverzeichnis

1. Rüter W, Lohmann CH. Orthopädie und Unfallchirurgie. München: Urban und Fischer; 2014. 177-191 S.
2. Habermeyer P, Lichtenberg S, Loew M, Magosch P, Martetschläger F, Tauber M. Schulterchirurgie. München: Elsevier/Urban und Fischer; 2017.
3. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. Thieme Verlag; 445 S.
4. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio, Giovanni; Mayerhofer, Artur; Mense, Siegfried; Reißig, Dieter; Salvetter, Jürgen; Schmidt, Wolfgang; Schmitz, Frank; Schulte, Erik; Spanel-Borowski, Katharina; Wennemuth, Gunther; W H-G. Anatomie. In: Duale Reihe [Internet]. 2014. S. 734–47. Verfügbar unter: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-002-99154>
5. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Prometheus - LernAtlas der Anatomie. In: PROMETHEUS Lernatlas der Anatomie Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 2005. S. 390–401.
6. Kirsch J, May CA, Lorke D, Winkelmann A, Schwam W, Herrmann G, u. a. Taschenlehrbuch Anatomie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2011. 220-239 S.
7. Bauer G, Löbig C. Arthroskopische Versorgungsstrategien der langen Bizepssehne. Der Orthopäde. 2011;40(1):6–12.
8. Ahrens PM, Boileau P. The long head of biceps and associated tendinopathy. J Bone Jt Surg - Br Vol [Internet]. 2007;89–B(8):1001–9. Verfügbar unter: <http://www.bjj.boneandjoint.org.uk/cgi/doi/10.1302/0301-620X.89B8.19278>
9. Vangsness CT, Jorgenson SS, Watson T, Johnson DL. The origin of the long head of the biceps from the scapula and glenoid labrum. An anatomical study of 100 shoulders. J bone Jt surgery [Internet]. 1994;76(6):951–4. Verfügbar unter: <http://www.bjj.boneandjoint.org.uk/content/76-B/6/951.short>
10. Bain GI, Galley IJ, Singh C, Carter C, Eng K. Anatomic study of the superior glenoid labrum. Clin Anat. 2013;26(3):367–76.

11. Wilk KE, Hooks TR. The Painful Long Head of the Biceps Brachii: Nonoperative Treatment Approaches. Bd. 35, Clinics in Sports Medicine. 2016. S. 75–92.
12. Braun S, Imhoff · A B. Moderne Behandlungsstrategien der langen Bizepssehne. Der Orthopäde [Internet]. 2018 [zitiert 29. März 2018];47:113–20. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00132-017-3514-3>
13. Diagnostik und Therapie der isolierten proximalen Bizepsläsion. [zitiert 29. März 2018]; Verfügbar unter: <https://static-content.springer.com/pdf/art%3A10.1007%2Fs11678-013-0243-z.pdf?token=1522331427673--612d0f08d8cabfd5b3ecc0fcf74c3c639a3f3db187eff987e9c636f379998c95c3c3384e20bd07ac4c910b394c129ee5d91f7b72390352662f8fa387e02b1276>
14. Linke RD, Burkart a, Imhoff a B. [The arthroscopic SLAP refixation]. Der Orthopäde [Internet]. 2003;32(7):627–31. Verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12883762>
15. Snyder SJ, Karzel RP, Pizzo W Del, Ferkel RD, Friedman MJ. SLAP lesions of the shoulder. Bd. 26, Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery. 2010. S. 1117.
16. Kibler W Ben, Sciascia AD, Hester P, Dome D, Jacobs C. Clinical utility of traditional and new tests in the Diagnosis of biceps tendon injuries and superior labrum anterior and posterior lesions in the shoulder. Am J Sports Med. 2009;
17. Galasso O, Gasparini G, De Benedetto M, Familiari F, Castricini R. Tenotomy versus Tenodesis in the treatment of the long head of biceps brachii tendon lesions. BMC Musculoskelet Disord. 2012;13.
18. Williams G, Kraeutler Bs MJ, Zmistowski Bs B, Fenlin JM. No Difference in Postoperative Pain After Arthroscopic versus Open Rotator Cuff Repair. 2014 [zitiert 29. März 2018]; Verfügbar unter: <https://static-content.springer.com/pdf/art%3A10.1007%2Fs11999-014-3715-6.pdf?token=1522329185045--84bb4039a3cc01d17e832898929d31e4e15305fae0823434b4a0fe2aeb56e327406968c4c80bc14f41e5009677ddfc9034d11ae84a42a1eb81e5a42646990d1c>

19. Yi Y, Lee J, Seok ·, Kwon H, Kim J. Arthroscopic proximal versus open subpectoral biceps tenodesis with arthroscopic repair of small- or medium-sized rotator cuff tears. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2016 [zitiert 29. März 2018];24:3772–8. Verfügbar unter: <https://static-content.springer.com/pdf/art%3A10.1007%2Fs00167-015-3641-5.pdf?token=1522328646961--e52a146cd4efb0260d17e7d88c872272586ab32c9ae482edf4dcb2d72d2d5e9b5e5a312043a88f373d0067f21424a39b13b19b3f69ef39a4bb462bc78d3cfa3b>
20. Pauly S, Scheibel · M. Arthroskopische Rotatorenmanschettenchirurgie. Leitthema *Orthopäde* [Internet]. 2018 [zitiert 29. März 2018];47:92–102. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00132-018-3526-7>
21. Scheibel M. Aktueller Stand und Innovationen in der rekonstruktiven Schulterchirurgie. *Orthopäde* [Internet]. 2018 [zitiert 29. März 2018];47:89–91. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00132-017-3520-5>
22. Duff SJ, Campbell PT. Patient acceptance of long head of biceps brachii tenotomy. *J Shoulder Elbow Surg* [Internet]. 2012;21(1):61–5. Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1058274611000152>
23. Walch G, Edwards TB, Boulahia A, Nové-Josserand L, Neyton L, Szabo I. Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: Clinical and radiographic results of 307 cases. *J Shoulder Elb Surg*. 2005;14(3):238–46.
24. Kusma M, Dienst M, Eckert J, Steimer O, Kohn D. Tenodesis of the long head of biceps brachii: Cyclic testing of five methods of fixation in a porcine model. *J Shoulder Elb Surg*. 2008;
25. Boileau P, Neyton L. Die arthroskopische Tenodese bei Schädigung der langen Bizepssehne. *Oper Orthop Traumatol*. 2005;17(6):601–23.
26. Richards DP, Burkhart SS. A biomechanical analysis of two biceps tenodesis fixation techniques. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg*. 2005;21(7):861–6.

27. Finke B, Petersen · W. Arthroskopische suprapektorale Tenodese der langen Bizepssehne am Schultergelenk. Oper Orthop Traumatol [Internet]. 2018 [zitiert 29. März 2018];30:47–63. Verfügbar unter: <https://static-content.springer.com/pdf/art%3A10.1007%2Fs00064-017-0530-8.pdf?token=1522329805088--6828a4fc529d42e433b7c9af464f52fbaf511808550715823b7865bf18ce61014608d68007d752a7142133727042c52bfed2f72519b4cd9799f30c1b12330103>
28. Daoud J, Aouad D, Abdelnour H, Hanna R, Rassi G El. Technique for Arthroscopic Long Head of Biceps Tenodesis Using Anchor With Fork Tip Eyelet. 2017 [zitiert 27. März 2018]; Verfügbar unter: [http://www.arthroscopytechniques.org/article/S2212-6287\(17\)30354-7/pdf](http://www.arthroscopytechniques.org/article/S2212-6287(17)30354-7/pdf)
29. Sethi N, Wright R, Yamaguchi K. Disorders of the long head of the biceps tendon. J Shoulder Elb Surg [Internet]. November 1999 [zitiert 18. September 2018];8(6):644–54. Verfügbar unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1058274699901052>
30. Szabó I, Boileau P, Walch G. The Proximal Biceps as a Pain Generator and Results of Tenotomy. Sports Med Arthrosc [Internet]. September 2008 [zitiert 18. September 2018];16(3):180–6. Verfügbar unter: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00132585-200809000-00012>
31. Mazzocca AD, Bicos J, Santangelo S, Romeo AA, Arciero RA. The Biomechanical Evaluation of Four Fixation Techniques for Proximal Biceps Tenodesis. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg [Internet]. November 2005 [zitiert 18. September 2018];21(11):1296–306. Verfügbar unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749806305011722>
32. Romeo AA, Mazzocca AD, Tauro JC. Arthroscopic biceps tenodesis. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg [Internet]. Februar 2004 [zitiert 18. September 2018];20(2):206–13. Verfügbar unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749806303011988>
33. Kerschbaum M, Maziak N, Scheuermann M, Scheibel M. Arthroskopische Tenodese oder Tenotomie der langen Bizepssehne bei vorselektionierten Patienten. Der Orthopäde [Internet]. 30. März 2017 [zitiert 18. September 2018];46(3):215–21. Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/s00132-016-3358-2>

34. The B, Brutty M, Campbell P, Halliday MC, Ackland T, Wang A. Long-term functional results and isokinetic strength evaluation after arthroscopic tenotomy of the long head of biceps tendon. *Int J Shoulder Surg* [Internet]. 2014 [zitiert 18. September 2018];8(3):76. Verfügbar unter:
<http://www.internationalshoulderjournal.org/text.asp?2014/8/3/76/140114>
35. Hsu AR, Ghodadra NS, Provencher CMT, Lewis PB, Bach BR. Biceps tenotomy versus tenodesis: a review of clinical outcomes and biomechanical results. *J Shoulder Elb Surg* [Internet]. März 2011 [zitiert 18. September 2018];20(2):326–32. Verfügbar unter:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1058274610003757>
36. Slenker NR, Lawson K, Ciccotti MG, Dodson CC, Cohen SB. Biceps Tenotomy Versus Tenodesis: Clinical Outcomes. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* [Internet]. April 2012 [zitiert 18. September 2018];28(4):576–82. Verfügbar unter:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749806311012187>
37. Scheibel M, Schröder RJ, Chen J, Bartsch M. Arthroscopic soft tissue tenodesis versus bony fixation anchor tenodesis of the long head of the biceps tendon. *Am J Sports Med*. 2011;
38. Brady PC, Narbona P, Adams CR, Huberty D, Parten P, Hartzler RU, u. a. Arthroscopic proximal biceps tenodesis at the articular margin: Evaluation of outcomes, complications, and revision rate. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg*. 2015;31(3):470–6.
39. Koch BS, Burks RT. Failure of Biceps Tenodesis With Interference Screw Fixation. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* [Internet]. Mai 2012 [zitiert 18. September 2018];28(5):735–40. Verfügbar unter:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749806312001302>
40. Nho SJ, Reiff SN, Verma NN, Slabaugh MA, Mazzocca AD, Romeo AA. Complications associated with subpectoral biceps tenodesis: Low rates of incidence following surgery. *J Shoulder Elb Surg* [Internet]. Juli 2010 [zitiert 18. September 2018];19(5):764–8.
41. Voss A, Cerciello S, Divenere J, Solovyova O, Dyrna F, Apostolakos J, u. a. Open subpectoral biceps tenodesis in patients over 65 does not result in an increased rate of complications. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. 2017 [zitiert 29. März 2018];18.

Verfügbar unter: <https://static-content.springer.com/pdf/art%3A10.1186%2Fs12891-017-1780-1.pdf?token=1522330793957--287aa01f1a8f7c01261f3e02464fb25fa9a4be052f7b5245c606cd295e432574c82fe80aac7209cbbd19cfacea18c681bf580560d9977b6a9594a10eb201b2df>

42. Frost A, Zafar MS, Maffulli N. Tenotomy versus tenodesis in the management of pathologic lesions of the tendon of the long head of the biceps brachii. *Am J Sports Med.* 2009;37(4):828–33.
43. Meraner D, Sternberg C, Vega J, Hahne J, Kleine M, Leuzinger J. Arthroscopic tenodesis versus tenotomy of the long head of biceps tendon in simultaneous rotator cuff repair. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(1):101–6.
44. Castricini R, Familiari F, De Gori M, Daria ·, Riccelli A, De Benedetto M, u. a. Tenodesis is not superior to tenotomy in the treatment of the long head of biceps tendon lesions. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2018 [zitiert 29. März 2018];26:169–75. Verfügbar unter: <https://static-content.springer.com/pdf/art%3A10.1007%2Fs00167-017-4609-4.pdf?token=1522329431865--a83d12787024ef2ab55786ed3291706c8b23c3606773c8e8e98ec1d8bba2a567adc9013cb408f76ad985758a5bf148d91c5c31a127ee9dfcd95cf4ed912f0fb7>
45. Friedman JL, FitzPatrick JL, Rylander LS, Bennett C, Vidal AF, McCarty EC. Biceps tenotomy versus tenodesis in active patients younger than 55 years is there a difference in strength and outcomes? *Orthop J Sport Med.* 2015;
46. Thiel W. [The preservation of the whole corpse with natural color]. *Ann Anat* [Internet]. Juni 1992 [zitiert 18. September 2018];174(3):185–95. Verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1503236>
47. Kim SH, Shin SH, Oh JH, Baek GH. Biomechanical and histological analysis after tenotomy of the long head of the biceps in the rabbit shoulder model. *J Orthop Res* [Internet]. März 2012 [zitiert 18. September 2018];30(3):416–22. Verfügbar unter: <http://doi.wiley.com/10.1002/jor.21546>
48. Osbahr DC, Diamond AB, Speer KP. The cosmetic appearance of the biceps muscle after long-head tenotomy versus tenodesis. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* [Internet].

- Mai 2002 [zitiert 18. September 2018];18(5):483–7. Verfügbar unter:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749806302068603>
49. Lopez-Vidriero E, Costic RS, Fu FH, Rodosky MW. Biomechanical Evaluation of 2 Arthroscopic Biceps Tenodeses. *Am J Sports Med* [Internet]. 30. Januar 2010 [zitiert 18. September 2018];38(1):146–52. Verfügbar unter:
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546509343803>
50. Denard PJ, Dai X, Hanypsiak BT, Burkhart SS. Anatomy of the Biceps Tendon: Implications for Restoring Physiological Length-Tension Relation During Biceps Tenodesis With Interference Screw Fixation. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* [Internet]. Oktober 2012 [zitiert 18. September 2018];28(10):1352–8. Verfügbar unter:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S074980631200429X>
51. Johnson LL, Bays BM, Eda van Dyk G. Vincula of the biceps tendon in the glenohumeral joint: An arthroscopic and anatomic study. *J Shoulder Elb Surg* [Internet]. Mai 1992 [zitiert 18. September 2018];1(3):162–6. Verfügbar unter:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/105827469290095K>
52. Buchholz A, Martetschläger F, Siebenlist S, Sandmann GH, Hapfelmeier A, Lenich A, u. a. Biomechanical Comparison of Intramedullary Cortical Button Fixation and Interference Screw Technique for Subpectoral Biceps Tenodesis. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* [Internet]. Mai 2013 [zitiert 18. September 2018];29(5):845–53. Verfügbar unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749806313000200>
53. Lorbach O, Trennheuser C, Kohn D, Anagnostakos K. The biomechanical performance of a new forked knotless biceps tenodesis compared to a knotless and suture anchor tenodesis. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* [Internet]. 8. Juli 2016 [zitiert 18. September 2018];24(7):2174–80. Verfügbar unter:
<http://link.springer.com/10.1007/s00167-014-3365-y>
54. Patzer T, Rundic JM, Bobrowitsch E, Olender GD, Hurschler C, Schofer MD. Biomechanical Comparison of Arthroscopically Performable Techniques for Suprapectoral Biceps Tenodesis. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* [Internet]. August 2011 [zitiert 18. September 2018];27(8):1036–47. Verfügbar unter:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749806311003689>

55. Sampatacos N, Getelman MH, Henninger HB. Biomechanical comparison of two techniques for arthroscopic suprapectoral biceps tenodesis: interference screw versus implant-free intraosseous tendon fixation. *J Shoulder Elb Surg* [Internet]. November 2014 [zitiert 18. September 2018];23(11):1731–9. Verfügbar unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1058274614001669>
56. Sethi PM, Rajaram A, Beitzel K, Hackett TR, Chowaniec DM, Mazzocca AD. Biomechanical performance of subpectoral biceps tenodesis: a comparison of interference screw fixation, cortical button fixation, and interference screw diameter. *J Shoulder Elb Surg* [Internet]. April 2013 [zitiert 18. September 2018];22(4):451–7. Verfügbar unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1058274612001255>
57. Braun S, Millett PJ, Yongpravat C, Pault JD, Anstett T, Torry MR, u. a. Biomechanical Evaluation of Shear Force Vectors Leading to Injury of the Biceps Reflection Pulley. *Am J Sports Med* [Internet].

7 Abbildungsverzeichnis

<i>ABBILDUNG 1: ANSICHT DER RECHTEN SCHULTER VON VENTRAL (5)</i>	6
<i>ABBILDUNG 2: GELENKHÖHLE IN DER ANSICHT VON VENTRAL (5)</i>	7
<i>ABBILDUNG 3: ANSICHT DER RECHTEN SCHULTER VON DORSAL (5)</i>	8
<i>ABBILDUNG 4: BEWEGUNGEN IM SCHULTERGELENK (5)</i>	11
<i>ABBILDUNG 5: MUSKELN DER ROTATORENMANSCHETTE (5)</i>	12
<i>ABBILDUNG 6: MUSKELN DER RECHTEN SCHULTER IN DER ANSICHT VON VENTRAL</i>	13
<i>ABBILDUNG 7: RECHTES SCHULTERGELENK ANSICHT VON OBEN (5)</i>	15
<i>ABBILDUNG 8: KAPSELVERSTÄRKENDE BÄNDER (5)</i>	17
<i>ABBILDUNG 9: KLASSIFIKATION DER SLAP-LÄSION NACH SNYDER (15)</i>	19
<i>ABBILDUNG 10: PRÄPARIERTE PROBE: SCHULTER EINER MENSCHLICHEN LEICHE MIT ERHALTENER GELENKKAPSEL UND BIZEPSSCHLINGE</i>	30
<i>ABBILDUNG 11: NEUARTIGE LOOP-TENODESE: A) EXTRAARTIKULÄR GEHALTENE LANGE BIZEPSSEHNE NACH BASISNAHER TENOTOMIE, B) RESEKTION DER PROXIMALEN LANGEN BIZEPSSEHNE, C) SEHNENSCHLINGE, D) NAHT AN DER SEHNENSCHLINGE, E) AUTOTENODESE DER LBS</i>	31
<i>ABBILDUNG 12: BIOMECHANISCHER TESTAUFBAU UNTER KRAFTANWENDUNG</i>	32
<i>ABBILDUNG 13: LAST-VERSCHIEBUNGSKURVE: STT = EINFACHE TENOTOMIE, LTD = LOOP TENODESE</i> 34	
<i>ABBILDUNG 14: BRUCHLAST ("ULTIMATE LOAD") / VERSCHIEBUNG ("DISPLACEMENT") DER LOOP TENODESE UND EINFACHEN TENOTOMIE</i>	34

8 Danksagung

Ich danke PD Dr. Maximilian Kerschbaum für die Unterstützung bei der Durchführung der biomechanischen Analyse.

Vielen Dank an PD Dr. Stephan Grechenig für die konstruktive Kritik und die Betreuung dieser Arbeit.

9 Lebenslauf

Persönliche Daten

Vorname/Name	Katharina Wöhrle
Adresse	Schwedenstraße 36 80805 München, Germany
Mobil	0176 42022354
E-Mail-Adresse	katharina.woehrle@schweden36.de
Geburtsdaten	30.07.1994 in München
Geschlecht	Weiblich
Staatsangehörigkeit	Deutsch

Schulausbildung

2000 – 2004	Grundschule Grundschule an der Haimhauserstraße, München
2009	Latinum
09/2005 – 06/2012	Oskar-von-Miller Gymnasium München (Neusprachlich)

Studium

10/2013 – 02/2016	Studium der Zahnmedizin an der Universität Regensburg Vorklinische Semester 1-5
03/2016	Physikum
04/2016 – 01/2019	Studium der Zahnmedizin am Universitätsklinikum Regensburg Klinische Semester (6-10)
02/2019-06/2019	Staatsexamen

Berufserfahrung

06/2017 – 07/2017	Zahnärztliches Praktikum in Myanmar
08/2018 - 09/2018	Zahnärztliches Hilfsprojekt in Malawi (Planet Action Helfende Hände e.V.)
08/2019	Zahnärztlicher Einsatz auf den Kapverden (Zahnärzte ohne Grenzen)
09/2019	Zahnärztlicher Einsatz in Myanmar

Sprachkenntnisse

Deutsch (Muttersprache)

Englisch (fließend)