

Unfallchirurg

<https://doi.org/10.1007/s00113-020-00927-y>

Angenommen: 17. November 2020

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

Redaktion

B. Ockert, München

N. Hawi¹ · P. Habermeyer² · R. Meller³ · S. Razaeani¹ · C. von Falck⁴ · C. Krettek¹¹ Unfallchirurgische Klinik, Medizinische Hochschule Hannover (MHH), Hannover, Deutschland² Schulterzentrum Prof. Habermeyer, München, Deutschland³ Klinikum Dritter Orden, München, Deutschland⁴ Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Medizinische Hochschule Hannover (MHH), Hannover, Deutschland

Verletzungen des Bizeps-Labrum-Komplexes

Grundlagen, Pathologien und Behandlungskonzepte

Pathologische Veränderungen des Bizeps-Labrum-Komplexes können sowohl zu Schulterschmerz als auch zu einer Bewegungseinschränkung führen. Oft gehen Verletzungen des Bizeps-Labrum-Komplexes mit einer deutlichen Reduktion der Schulterfunktion einher. Eine Unterteilung des Bizeps-Labrum-Komplexes in anatomische Zonen erleichtert das Verständnis einer vorliegenden Pathologie und dient auch als Grundlage für eine Therapieentscheidung. Eine korrekte Diagnosestellung erfordert eine ausführliche Anamnese (Trauma, degenerativ), eine umfassende und fokussierte Untersuchung sowie eine weiterführende Bildgebung.

Anatomische Grundlagen

Die lange Bizepssehne (LBS) und das Labrum glenoidale wirken als eine sich gegenseitig beeinflussende und voneinander abhängige Funktionseinheit: der Bizeps-Labrum-Komplex. Dieser lässt sich anatomisch in 3 Zonen unterteilen: den Ursprungsbereich der LBS, den intraartikulären Verlauf und den Verlauf im Bizepssehntunnel [1–3].

Ursprungsbereich der langen Bizepssehne

Während frühe Studien das Tuberculum supraglenoidale als alleinigen Ursprung

der LBS beschrieben, zeigen aktuellere Untersuchungen vermehrt einen geteilten Ursprung, sowohl am Tuberculum supraglenoidale als auch am superioren glenoidalen Labrum [4, 5].

Intraartikulärer Verlauf

Diese Zone schließt den intraartikulären Verlauf der LBS und das Pulley-System ein. Die LBS ist in ihrem Verlauf in eine Synovialmembran eingehüllt, die sie bis

zu einem Teil in den Bizepssehntunnel begleitet [2]. Hierbei beträgt die Länge der LBS intraartikulär ca. 25 mm und hat einen Durchmesser von 5 bis 6 mm [6, 7]. Ein Herausziehen der LBS mithilfe eines Tasthakens aus dem Sulcus bicipitalis erlaubt theoretisch die Darstellung des im Sulcus bicipitalis gelegenen Anteils. Untersuchungen konnten jedoch zeigen, dass sich in dieser Weise nur ca. 40–50 % der gesamten Länge der LBS darstellen lassen [1, 8]. Für den Verlauf nach extra-

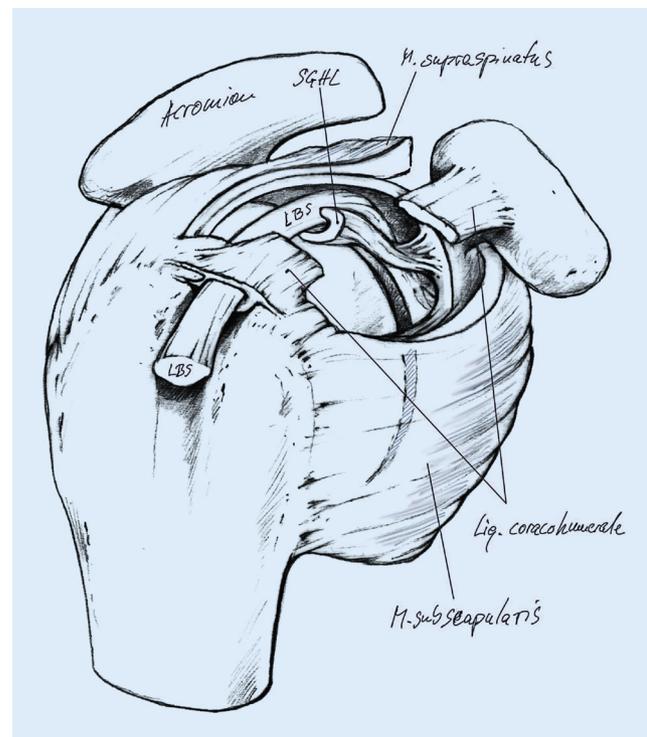


Abb. 1 ◀ Darstellung des Pulley-Systems, gebildet aus dem Lig. coracohumerale, dem superioren glenohumeralen Ligament (SGHL) und Fasern der Sehnen der Mm. supraspinatus und subscapularis. LBS lange Bizepssehne. (Aus Hawi et al. [12])

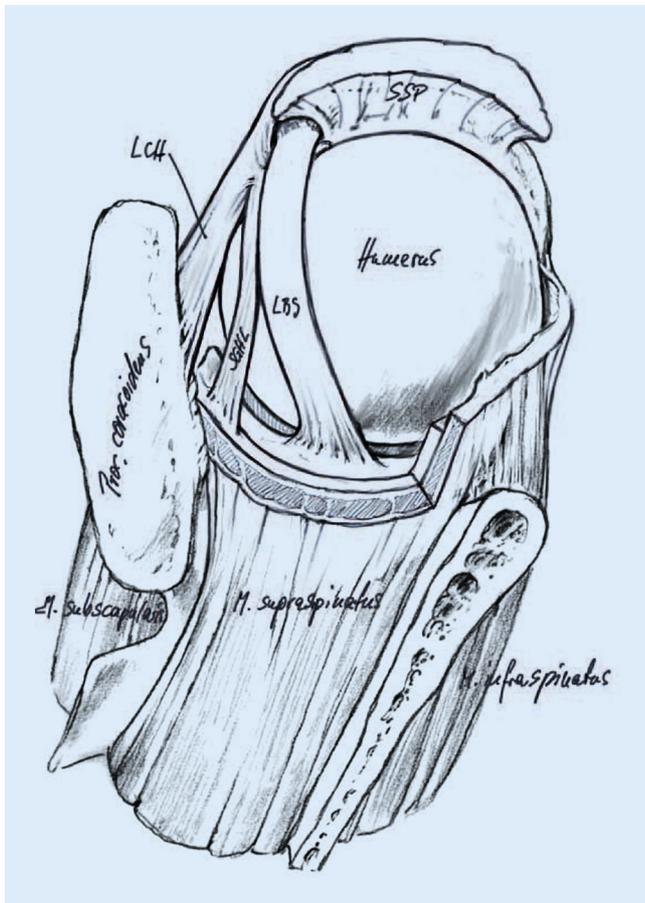


Abb. 2 ▲ Darstellung des Bizeps-Labrum-Komplexes mit Ansicht von oben. LCH Lig. coracohumerale, SGHL superiores glenohumerales Ligament, LBS lange Bizepssehne, SSP Supraspinatussehne

artikulär in den Sulcus bicipitalis neigt sich die LBS um ca. 30° um den Humeruskopf. Hierbei stabilisiert das Pulley-System als funktionelle Umlenkrolle die LBS bei ihrer dreidimensionalen Lageänderung aus einem horizontalen in einen vertikalen Verlauf [9].

Das Pulley-System wird aus dem korakohumeralen Ligament, dem superioren glenohumeralen Ligament (SGHL) sowie Fasern der Subskapularis- und Supraspinatussehne gebildet ([10]; ■ **Abb. 1 und 2**). Das korakohumerale Ligament, das dem Processus coracoideus entspringt und zweiteilig an den Tubercula majus et minus ansetzt, bildet das Dach des Pulley-Systems. Das SGHL entspringt dem anterosuperioren Labrum, zieht artikulärseitig über das Rotatorenintervall, wobei es eine U-Form ausbildet, und setzt am Sulcus bicipitalis oberhalb

des Ansatzes der Subskapularissehne an [11, 12].

Der proximale Anteil der LBS wird über Gefäße am superioren Labrum versorgt, der distale Anteil über die A. circumflexa humeri anterior [13]. Durch die zweiseitige Blutversorgung ergibt sich ein hypovaskuläres Areal ca. 12–30 mm vom Ursprung der LBS. Dieses entspricht dem Areal der LBS, an dem häufig Pathologien beschrieben werden [14]. Um die Gleitbewegung des Humeruskopfes um die LBS am Sulcus bicipitalis zu gewährleisten, ist dieser Teil strukturell fibrokartilaginärer und avaskulärer ausgebildet [15].

Bizepssehnentunnel

Dieser Teil der Bizepssehne bleibt der arthroskopischen Beurteilung weitestgehend verborgen. Der Bizepssehnentunnel stellt einen extraartikulären und ge-

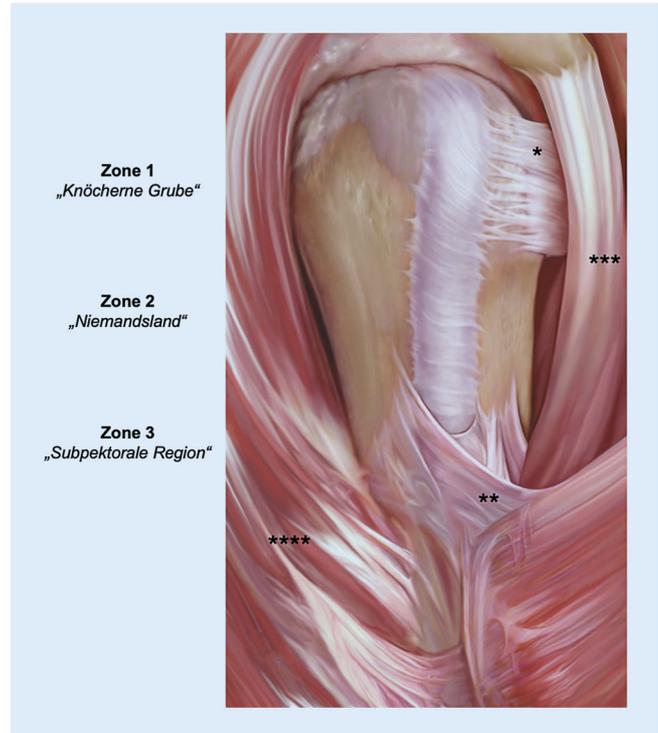


Abb. 3 ▲ Anatomische Darstellung (Ansicht von anterolateral) des extraartikulären Kanals der langen Bizepssehne (LBS) mit der Zone 1 „knöcherner Grube“ (proximal begrenzt durch die Knorpel-Knochen-Grenze und distal durch distale Begrenzung der Subskapularissehne), der Zone 2 „Niemandsländ“, da dieser Teil der LBS sowohl der arthroskopischen als auch der subpektoralen Visualisierung verborgen bleibt (begrenzt durch den distalen Ansatz der Subskapularissehne und den proximalen Ansatz der Pectoralis-major-Sehne). Asteriskus Subskapularissehne, Doppelasteriskus Pectoralis-major-Sehne, dreifacher Asteriskus kurze Bizepssehne, vierfacher Asteriskus M. deltoideus

schlossenen Raum dar, der die Bizepssehne von der Gelenkgrenze bis in die subpektorale Region begleitet. Dieser Bereich kann anatomisch in 3 Zonen unterteilt werden ([1]; ■ **Abb. 3**).

Bei der Zone 1 handelt es sich um die klassische bicipitale oder knöcherner Mulde des Sulcus bicipitalis am proximalen Humerus. Die erste Zone reicht von der Gelenkfläche bis zur unteren Begrenzung der Subskapularissehne; die Sehne ist von Synovia umgeben und durch Fasern der Subskapularissehne bedeckt [1]. Während man historisch davon ausging, dass das Lig. transversum humeri als eigenständige ligamentäre Struktur die LBS im proximalen Anteil umgibt und stabilisiert, zeigen anatomische Studien, dass es sich nicht um ein eigenständiges Ligament, sondern um eine Fortsetzung der Fasern der Subskapularissehne handelt [16].

Zone 2 reicht vom Unterrand der Subskapularissehne bis zum Oberrand des Ansatzes der Pectoralis-major-Sehne und weist eine Abflachung der knöchernen Mulde auf. Anatomische Studien zeigen hier nur noch einen partiellen Synovialüberzug. Da die LBS in diesem Bereich weder arthroskopisch noch von subpektoral kommend dargestellt werden kann, wird dieser Bereich auch als „Niemandland“ bezeichnet [2, 3]. Verschluss wird dieser Bereich des Tunnels durch axial ausgerichtete dichte Bindegewebsfasern, die die LBS umgeben und lateral knöchern anheften, sowie in Längsrichtung ausgerichteten Fasern des Lig. falciforme [2]. Anatomische Studien beschreiben das Lig. falciforme als eine Weiterführung der Fasern der Faszie des sternokostalen Anteils des Pectoralis-major-Muskels [2].

» Der nichtausgefüllte Raum im Bizepssehntunnel in Zone 3 signifikant größer als in Zone 1 und 2

Die anschließende Zone 3 stellt die subpektorale Region distal des proximalen Ansatzes der Pectoralis-major-Sehne dar. Sie hat eine flache knöchernen Mulde, bedeckt mit Faserzügen aus der Sehne des Latissimus dorsi. Das Dach des Tunnels wird durch die Pectoralis-major-Sehne gebildet, welche lateral inseriert [2].

Taylor et al. konnten zeigen, dass der nichtausgefüllte Raum im Bizepssehntunnel in Zone 3 signifikant größer ist als in den Zonen 1 und 2. Infolgedessen kann ein funktioneller Engpass zwischen den Zonen 2 und 3 resultieren [2, 3].

Pathologische Veränderungen

Pathologische Veränderungen des Bizeps-Labrum Komplexes können sich gleichzeitig über die verschiedenen anatomischen Zonen erstrecken. Taylor et al. beschreiben in ihrer Serie mit 277 Fällen mit chronischen Schulterbeschwerden bei Indikationen zur Sanierung der LBS in 47% der Fälle eine Pathologie im Bizepssehntunnel, in 44% eine Pa-

Unfallchirurg <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00927-y>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

N. Hawi · P. Habermeyer · R. Meller · S. Razaiean · C. von Falck · C. Krettek

Verletzungen des Bizeps-Labrum-Komplexes. Grundlagen, Pathologien und Behandlungskonzepte

Zusammenfassung

Hintergrund. Der Bizeps-Labrum-Komplex ist aufgrund der anatomischen Gegebenheiten und der hohen Belastung anfällig für akute Läsionen und degenerative Veränderungen. Eine pathologische Veränderung dieser Strukturen stellt einen üblichen Schmerzgenerator am Schultergelenk dar und kann die Funktion signifikant reduzieren. Anatomisch kann der Bizeps-Labrum-Komplex in 3 Zonen eingeteilt werden: Ursprungsbereich, intraartikulärer Verlauf und Bereich im Bizepssehntunnel.

Diagnostik. Trotz der fokussierten körperlichen Untersuchung und des Fortschritts der bildgebenden Verfahren verbleibt die exakte Lokalisierung der Pathologie eine Herausforderung. Durch eine Arthroskopie lassen sich v. a. Pathologien im Bereich des Ursprungs und im intraartikulären Verlauf gut diagnostizieren, jedoch nur partiell extraartikuläre Pathologien im Bereich des Bizepssehntunnels.

Therapie. Bei Versagen der konservativen Therapie kann bei korrekter Indikationsstellung operativ eine hohe Patientenzufriedenheit erreicht werden.

Während beim jungen aktiven Patienten rekonstruktive Verfahren und die Tenodese der langen Bizepssehne im Vordergrund stehen, lassen sich aber auch durch die Tenotomie hochgradig zufriedenstellende Ergebnisse erreichen. Nichtadressierte pathologische Veränderungen im Bereich des Bizepssehntunnels können zu einer Schmerzpersistenz führen. In der klinischen Anwendung zur Durchführung der Tenodese zeigen sich sowohl die unterschiedlichen Techniken als auch die verwendeten Implantate als gleichwertig.

Zusammenfassung. Dieser Beitrag beschreibt die anatomischen Grundlagen, pathologische Veränderungen, die fokussierte klinisch-apparative Diagnostik und diskutiert die unterschiedlichen Behandlungsphilosophien und deren Ergebnisse anhand aktueller Literatur.

Schlüsselwörter

Schulderschmerz · SLAP-Läsion · Tenodese · Tenotomie · Rotatorenmanschette

Injuries of the biceps-labrum complex. Principles, pathologies and treatment concepts

Abstract

Background. The biceps-labrum complex is prone to acute lesions and degenerative changes due to its anatomical structure and the high load it has to endure. Pathological changes of these structures are common pain generators and can significantly impair shoulder function. Anatomically, the biceps-labrum complex can be divided into three zones: inside, junction and bicipital tunnel.

Diagnostic procedure. Despite the focused physical examination and advancements in imaging techniques, the exact localization of pathologies remains challenging. Arthroscopy can be used to accurately diagnose inside and junctional pathologies but extra-articular changes in the region of the bicipital tunnel can only be partially visualized.

Treatment. In cases of unsuccessful conservative treatment and correct indications, a high level of patient satisfaction can be surgically achieved. In young patients an anatomical

reconstruction of inside lesions or tenodesis of the long head of the biceps tendon is performed; however, even tenotomy is a valuable option and can achieve equally satisfactory results. Unaddressed pathological changes of the bicipital tunnel can lead to persistence of pain. In clinical procedures performing tenodesis, both the different techniques and the implants used have been found to show similar results.

Summary. This article describes the anatomical principles, pathological changes, the focused clinical instrumental diagnostics and discusses the different treatment philosophies as well as the outcome according to the recent literature.

Keywords

Shoulder pain · SLAP lesion · Tenodesis · Tenotomy · Rotator cuff

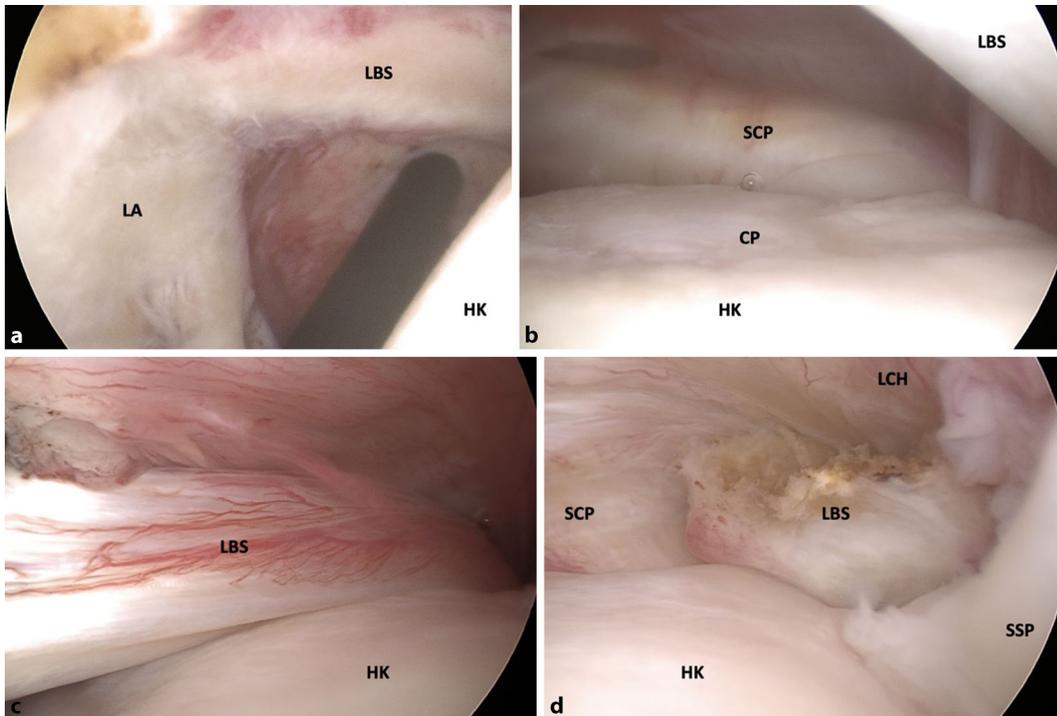


Abb. 4 ▲ Arthroskopische Aufnahmen eines 66-jährigen Patienten mit atraumatischen chronischen Schultergelenkbeschwerden, Blick durch das posteriore Standardportal. **a** Intraartikulär stellen sich eine SLAP-Läsion II/III nach Snyder und deutlich degenerative Veränderungen der langen Bizepssehne (*LBS*) dar. **b** Die Inspektion am Humeruskopf (*HK*) zeigt einen „chondral print“ (*CP*) als indirekten Hinweis einer Instabilität. Beim **c** Herausziehen der *LBS* aus dem Sulcus mit einem Tasthaken weist das positive „lipstick sign“ auf eine Entzündung hin. **d** In diesem Fall erfolgt die Tenotomie der *LBS*. Diese gleitet in den Sulcus und verklemmt dort. Bei einer Tenotomie kann es jedoch zu einem primären oder sekundären Abgleiten der Sehne in den Sulcus mit konsekutivem „Popeye sign“ kommen. *LA* Labrum, *LCH* Lig. coracohumerale, *SCP* Subskapularissehne, *SSP* Supraspinatussehne

thologie im Bereich des intraartikulären Verlaufs und in 35 % eine Pathologie am Ursprungsbereich der *LBS*. In 37 % der Fälle erstreckte sich die Pathologie über mehrere anatomische Zonen [1].

Ursprungsbereich der langen Bizepssehne

Veränderungen und Verletzungen des Bizepssehnenankers werden als SLAP-Läsionen bezeichnet (SLAP: superiores Labrum von anterior nach posterior) und üblicherweise nach Snyder in 4 Typen eingeteilt: Typ I Auffaserungen meist degenerativer Genese, Typ II Ablösung des Labrums mit Instabilität der Strukturen [17]. Hier kann der SLAP-Komplex mithilfe eines Tasthakens angehoben werden. Typ III beschreibt einen Korbhenkelriss des SLAP-Komplexes, wobei dieser in das Gelenk luxieren kann. Typ IV ist als die Fortsetzung des Korbhenkelrisses in die *LBS* definiert. Weitere Autoren geben bis zu 10 Varia-

tionen am Ursprungsbereich der *LBS* an ([17, 18]; ▣ **Abb. 4**).

Intraartikulärer Verlauf

Verletzungen der *LBS* im intraartikulären Verlauf können durch eine Arthroskopie des Schultergelenks gut visualisiert werden, wie beispielsweise eine Ruptur (partiell oder komplett) oder eine Tendinitis. Mithilfe eines Tasthakens kann die Bizepssehne zu einem gewissen Anteil aus dem Sulcus gezogen werden. Verschiedene Studien konnten jedoch zeigen, dass die Identifikation des vollständigen Ausmaßes einer Pathologie der *LBS* durch eine Arthroskopie begrenzt ist [1, 3, 19–21]. So beschreiben u. a. Gilmer et al., dass durch die diagnostische Arthroskopie nur 67 % der Pathologien identifiziert werden konnten und in 56 % der Fälle das Ausmaß unterschätzt wurde [19, 20]. Durch die diagnostische Arthroskopie können sowohl das Pulley-System als auch Knorpelveränderungen am antero-medialen Aspekt des Humeruskopfes be-

urteilt werden. Verletzungen des Pulley-Systems können zu einer Instabilität der *LBS* führen (▣ **Abb. 5**). Nach Habermeyer et al. werden Verletzungen des Pulley-Systems in 4 Grade unterteilt [9, 22]:

- Grad 1: isolierte Läsion des SGHL,
- Grad 2: Läsion des SGHL mit partieller artikulärer Läsion der Supraspinatussehne,
- Grad 3: Läsion des SGHL mit partieller artikulärer Läsion der Subskapularissehne,
- Grad 4: Läsion des SGHL mit kombinierter partieller artikulärer Läsion sowohl der Supraspinatus- als auch der Subskapularissehne

In einer eigenen Untersuchung wiesen 90 % der 382 Patienten mit Ruptur der Rotatorenmanschette ein verletztes Pulley-System auf. Weiterhin konnte ein Zusammenhang zwischen SLAP-Läsionen und dem Schweregrad der Pulley-Läsion festgestellt werden [12].

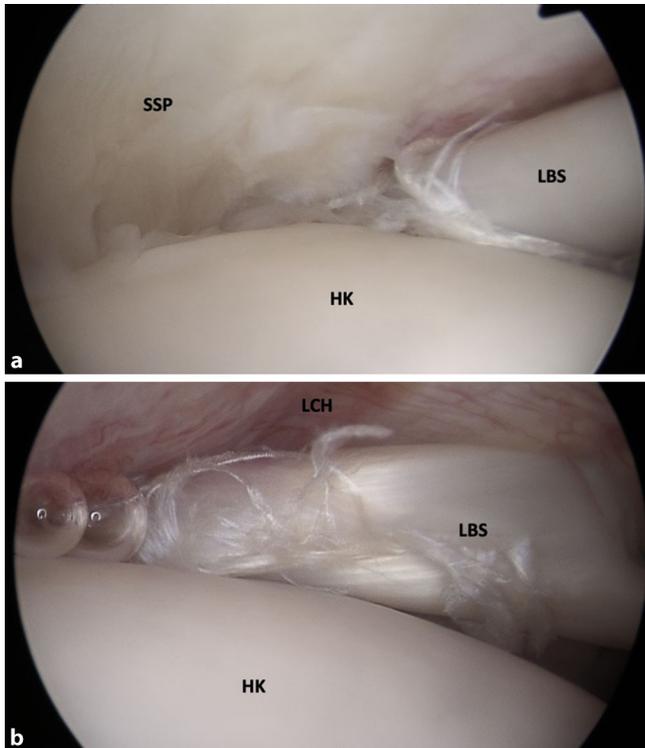


Abb. 5 ◀ Arthroskopischer Blick durch das posteriore Standardportal. **a** Pulley-Läsion Grad 2 mit Partialruptur der langen Bizepssehne (LBS) und artikulärlateraler Ruptur der Supraspinatussehne (SSP) Typ AB2 nach Habermeyer [23]. **b** Durch das Herausziehen der LBS offenbart sich erst das vollständige Ausmaß ihrer Partialruptur. LCH Lig. coracohumerale, HK Humeruskopf

Auch das dynamische Einklemmen der LBS zwischen Humeruskopf und Labrum glenoidale kann arthroscopisch nachgespielt und diagnostiziert werden. Ursache hierfür kann sowohl eine Pathologie des Labrums als auch der LBS sein [24]. Ein weiterer Hinweis auf eine Pathologie der LBS stellt die Veränderung des Knorpels (Chondromalazie, „chondral print“, „biceps footprint“) am anteromedialen Aspekt des Humeruskopfes dar. Dieses Phänomen wird als Folge einer Instabilität oder als Folge einer Einklemmung der LBS am Humeruskopf beschrieben ([25, 26]; **Abb. 4**).

Bizepssehnentunnel

Der Bizepssehnentunnel ist ein geschlossener Raum, in dem raumfordernde Strukturen, wie beispielsweise Narben, Synovitiden, freie Gelenkkörper oder Osteophyten zu einer Irritation und schmerzhaften Symptomatik an der LBS führen können. Da der nichtausgefüllte Raum des Bizepssehnentunnels in den anatomischen Zonen 1 und 2 signifikant geringer ist als in der Zone 3, kommt es v.a. in den ersten beiden Zonen zu Irritationen/Friktionen. Des Weiteren erklärt der strukturelle Engpass zwischen der anatomischen Zone 2 und 3

die Ansammlung freier Gelenkkörper v. a. in dieser Region [2, 3].

Körperliche Untersuchung

In der Literatur und klinischen Praxis lassen sich unterschiedliche Untersuchungstechniken des Bizeps-Labrum-Komplexes wiederfinden, mit unterschiedlicher Spezifität und Sensitivität [27, 28]. Einen möglichen Untersuchungsgang bei Verdacht auf eine Pathologie der LBS stellt **Tab. 1** dar.

Magnetresonanztomographische Bildgebung

Die Beurteilung der LBS ist essenzieller Bestandteil jeder MRT-Untersuchung der Schulter. Aufgrund des kurvenförmigen Verlaufes, der geringen Größe und der komplexen Anatomie ist die Beurteilung insbesondere des Bizepssehnenankers und des intraartikulären Verlaufes anspruchsvoll [36, 37]. Der intraartikuläre Abschnitt der Sehne lässt sich am besten in der schräg-sagittalen Ebene beurteilen, der Verlauf im Sulcus intertubercularis hingegen in transversalen Schnitten [36, 37]. Aufgrund des hohen intrinsischen Kontrastes sollten intermediär-

gewichtete Sequenzen (TE ca. 40–45 ms) mit spektraler Fettsättigung in allen 3 Raumrichtungen sowie eine native T1-Sequenz in der koronaren oder sagittalen Ebene als Standardprotokoll akquiriert werden. Die Bildqualität profitiert deutlich von der Anwendung hoher Feldstärken (3,0T) und dedizierter Mehrkanalspulen.

» Eine ergänzende isotrope 3D-Sequenz kann die Beurteilung der komplexen Anatomie erleichtern

Veränderungen des Sehnendurchmessers und der Signaleigenschaften im Verlauf sind hinweisend auf das Vorliegen einer Tendinopathie [38]. Aufgrund des geringen Durchmessers und des gekrümmten Verlaufes ist auf Partialvolumen- und „Magic-angle“-Artefakte zu achten. Flüssigkeit in der Sehnenscheide ist aufgrund der Kommunikation mit dem Gelenkbinnenraum lediglich dann als pathologisch zu werten, wenn eine deutliche Diskrepanz zur Flüssigkeitsmenge im Glenohumeralgelenk besteht [36]. Die direkte Darstellung des Rotatorenintervalls, einschließlich des Bizepssehnenankers, gelingt nur in Anwesenheit von intraartikulärer Flüssigkeit und ist daher (in Abwesenheit eines Gelenkergusses) eine Domäne der direkten MR-Arthrographie. Um eine Kontrastmittelextravasation im Rotatorenintervall zu vermeiden, kann anstatt des anterioren Standardzugangs alternativ ein posteriorer Gelenkzugang erwogen werden. Nach Injektion des gadoliniumhaltigen Kontrastmittels werden T1-Sequenzen in allen 3 Raumebenen akquiriert, wobei in der sagittalen Ebene auf eine Fettsättigung verzichtet werden sollte, um eine übersichtlichere Darstellung des Rotatorenintervalls zu ermöglichen. Eine ergänzende isotrope 3D-Sequenz kann die Beurteilung der komplexen Anatomie erleichtern. Ein wesentliches Kriterium für die Beurteilung der Integrität des Pulley-Systems in der MRT-Bildgebung ist die Lage der LBS im Sulcus intertubercularis. Darüber hinaus sind Partialrupturen der superio-

Tab. 1 Algorithmus zur fokussierten Untersuchung des Bizeps-Labrum-Komplexes

Test	Sensitivität, Spezifität und prädiktiver Wert
Palpation des Bizepssehnetunnels [27–29]	Hohe Sensitivität (>90 %) in allen drei Regionen, negativer prädiktiver Wert für Tunnelläsionen von 96 %
„Speed's test“ [27, 28, 30–33]	Hohe Spezifität (83–87 %) in allen drei Regionen
„Yergason test“ [28, 34]	Positiver prädiktiver Wert für Tunnelläsionen (92 %)
„O'Brien sign“ [28]	Hohe Sensitivität (>88 %) in allen drei Regionen, negativer prädiktiver Wert für Tunnelläsionen von 93 %
„Throwing test“ [28]	Positiver prädiktiver Wert für eine Instabilität der langen Bizepssehne (87 %)
„Supine flexion resistance test“ [35]	Hohe Sensitivität für SLAP-Läsionen (80 %)

SLAP superiores Labrum von anterior nach posterior

ren Anteile der Subskapularissehne mit Pulley-Läsionen assoziiert [39]. Auch bei Beurteilung des Bizepssehnenanker-Labrum-Komplexes scheint die direkte MR-Arthrographie der konventionellen Arthrographie überlegen. Bei Patienten mit hohem intrinsischen Kontrast aufgrund eines Gelenkergusses kann auf eine Kontrastmittelinjektion jedoch verzichtet werden. Bei der Beurteilung der superioren Labrums ist sorgfältig auf die Differenzierung einer echten Pathologie von (häufigen) anatomischen Varianten zu achten ([40]; ■ **Abb. 6**).

Behandlungsoptionen

Bei Vorliegen einer Pathologie am Bizeps-Labrum-Komplex sollte primär ein konservativer Therapieversuch erfolgen. Patienten profitieren von einer zumindest temporären Modifikation des Aktivitätslevels, der Einnahme oraler antiinflammatorischer Medikation und einer physiotherapeutischen Beübung mit Fokus auf die dynamischen Stabilisatoren [3]. Zudem kann eine lokale Infiltration sowohl zum Stellen der korrekten Diagnose als auch im Rahmen der konservativen Therapie sinnvoll sein [41].

» Die chirurgische Intervention ist bei Versagen der konservativen Therapie über 3 Monate erwägenswert

Bei einem Versagen der konservativen Therapie über 3 Monate sollte eine chirurgische Intervention in Erwägung gezogen werden. Chirurgische Behandlungsoptionen der LBS sind jedoch weiterhin

stark in der Diskussion; ein Konsens besteht nicht. Viele Verfahren, wie beispielsweise die Rekonstruktion des Pulley-Systems haben sich jedoch nicht durchsetzen können [42].

Ursprungs-läsionen

Bei Vorliegen einer isolierten SLAP-Verletzung des jungen Menschen kann eine arthroskopische Rekonstruktion mithilfe des Nahtankers sinnvoll sein. Die diesbezüglich berichteten Ergebnisse sind jedoch sehr heterogen. Einen wichtigen prognostischen Faktor scheint das Patientenalter darzustellen. So stellten u. a. Provencher et al. ab einem Patientenalter von 36 Jahren einen signifikanten Unterschied nach operativer Behandlung fest [43–45].

Ursprungs-läsionen/Läsionen des intraartikulären Verlaufes und im Bereich des Bizepssehnetunnels

Zur Behandlung der LBS auf sämtlichen anatomischen Ebenen konkurrieren v. a. 2 Therapieansätze: das Durchführen einer Tenotomie vs. einer Tenodese der LBS. Systematische Übersichtsarbeiten konnten keinen Unterschied zwischen den beiden Methoden aufzeigen [46–49]. Jedoch bleibt anzumerken, dass Übersichtsarbeiten nicht zwischen den Techniken der Tenodese differenzierten.

Tenotomie

Die Tenotomie der LBS an ihrem Anker ist ein technisch relativ einfaches und sicheres Verfahren. Walch et al. publizierten 2005 ihre Ergebnisse nach isolierter Tenotomie der LBS in 307 Fällen, bei de-

nen keine Rekonstruktion der Rotatoren-manschette möglich war. Die Ergebnisse zeigten eine signifikante Verbesserung im Constant Score von 48 auf 68 Punkte. Es gaben 87 % der Patienten an, mit dem Ergebnis zufrieden oder sehr zufrieden zu sein [50]. Als möglicher Nachteil einer Tenotomie wird v. a. das Herabsinken des Bizepsbauches mit Ausbildung einer „Popeye“-Deformität genannt („Popeye sign“); diese kann von den Patienten als unästhetisch und störend wahrgenommen werden. Weitere Autoren beschreiben das Vorkommen von Krämpfen und ein Schwächegefühl, die wiederum von anderen Autoren nicht beobachtet wurden [49, 51–53].

Tenodese

Durch die Tenodese der LBS am Humerus kann das Absinken des Muskelbauches verhindert werden. Die Fixierung der LBS kann unabhängig von der Höhe am Humeruskopf weichteilig, über Schrauben, Buttons oder Anker durchgeführt werden. Autoren haben bei korrekt durchgeführter Technik und Einstellung der Vorspannung im Vergleich zur Tenotomie eine geringere Rate an Muskelkrämpfen und Schwächegefühl beobachtet [54].

Intraartikulär/supraperoneal ohne Dekompression

Die Tenodese kann sowohl knöchern und weichteilig intraartikulär oder supraperoneal erfolgen. Diese Techniken sind sowohl arthroskopisch als auch „mini-open“ gut durchführbar und mit einer Rekonstruktion der Rotatoren-manschette vereinbar [55–57]. Eine Dekompression des Bizepssehnetunnels

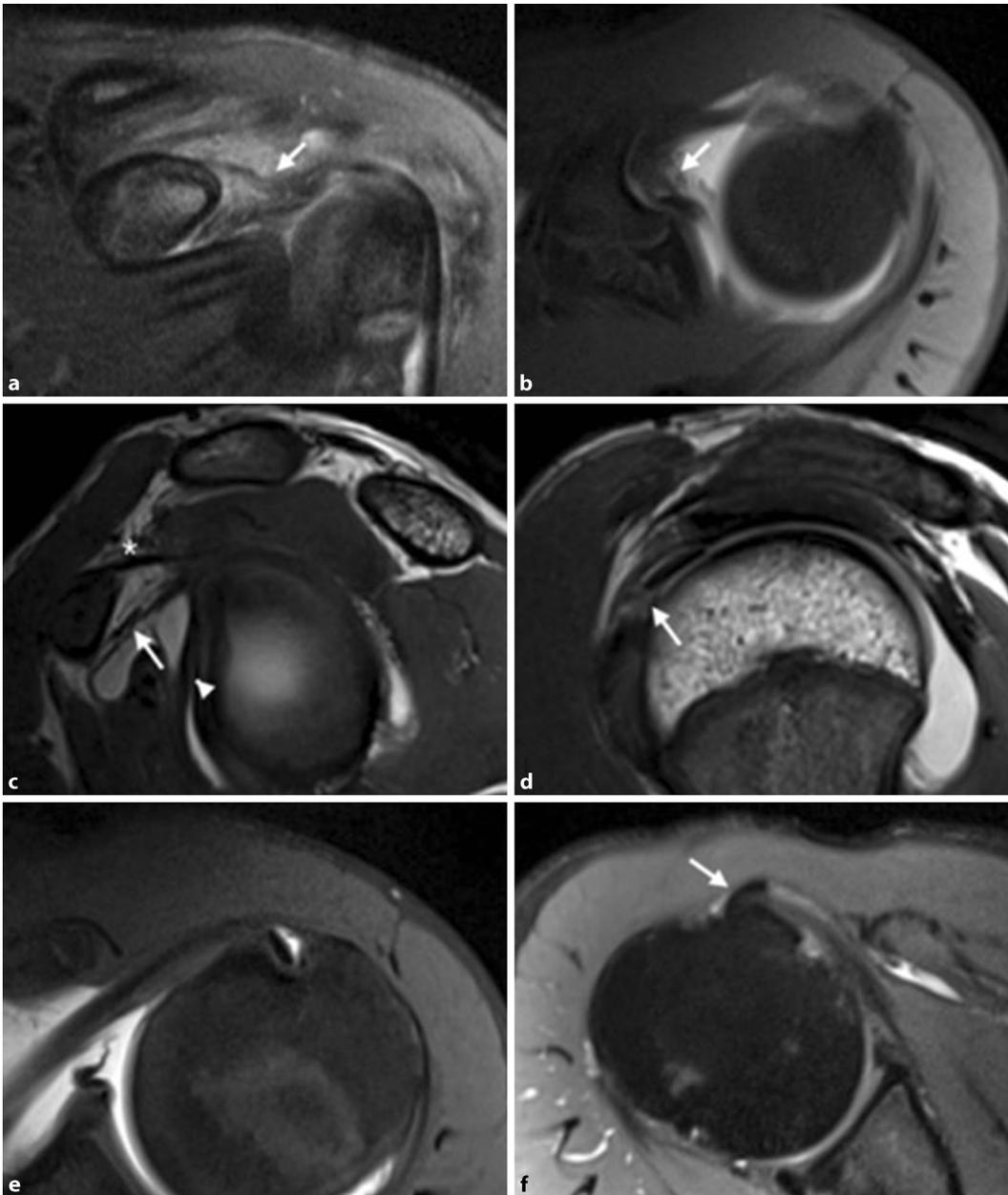


Abb. 6 ◀ a Native Magnetresonanztomographie, direkt nach akutem Trauma mit Läsion des Rotatorenintervalls (Pfeil). Die direkte MR-Arthrographie (b–e) nach 4 Wochen zeigt eine Partialruptur des superioren glenohumeralen Ligaments (SGHL, b, Pfeil). c Sagittale Reformation der Arthrographie (PD-SPACE) mit intaktem korakohumeralen Ligament (Asteriskus), Partialruptur des SGHL (Pfeil) und intaktem „middle glenohumeral ligament“ (Pfeilspitze). d Verplumptes, aber in der Kontinuität erhaltenes Pulley-System (Pfeil). e In der transversalen Ansicht regelrechte Lage der langen Bizepssehne (LBS) als Hinweis auf ein funktionell intaktes Pulley-System (Pfeil). f Typische Subluxation der LBS aus dem Sulcus (Pfeil) bei einem anderen Patienten mit arthroskopisch gesicherter Pulley-Läsion

findet bei den meisten dieser Methoden üblicherweise nicht statt. Im Vergleich zur Tenotomie erfordert die Tenodese jedoch eine längere Rehabilitationsphase. Autoren beschreiben zudem bei der supraperkoralen Tenodese ohne Dekompression des Bizepssehntunnels das erhöhte Vorkommen einer „frozen shoulder“ [49, 58–60].

Nichtsdestotrotz ist die mögliche Schmerzpersistenz nach Tenodese, aber auch nach Tenotomie ein nicht ganz unbekanntes Phänomen [61]. Als Grund hierfür wird eine verbliebene und nicht-behandelte Pathologie im Bereich des

Bizepssehntunnels diskutiert [3, 46, 62].

Supraperkoral/subperkoral/Transfer der LBS mit Dekompression des Bizepssehntunnels

Die Dekompression des Bizepssehntunnels betrifft den Bereich bis zum Oberrand der Sehne des M. pectoralis major. Sowohl Mini-open- als auch arthroskopische Verfahren zu supraperkoraler direkter Dekompression und Tenodese der LBS sind beschrieben als auch die subperkoralen Tenodese als indirektes Verfahren der Dekompression.

Eine weitere Option, verbunden mit einer Dekompression der Sehne, ist die Verlagerung auf die kurze Bizepssehne [63–68]. Das übliche und am häufigsten durchgeführte Verfahren stellt die subperkoralen Tenodese dar. Jedoch ist eine Inzision in Nähe der Axilla erforderlich, mit den potenziellen Risiken einer Infektion, der Verletzung neurovaskulärer Strukturen oder gar von Frakturen v.a. beim aktiven Patienten ([69–73]; **Abb. 7**).

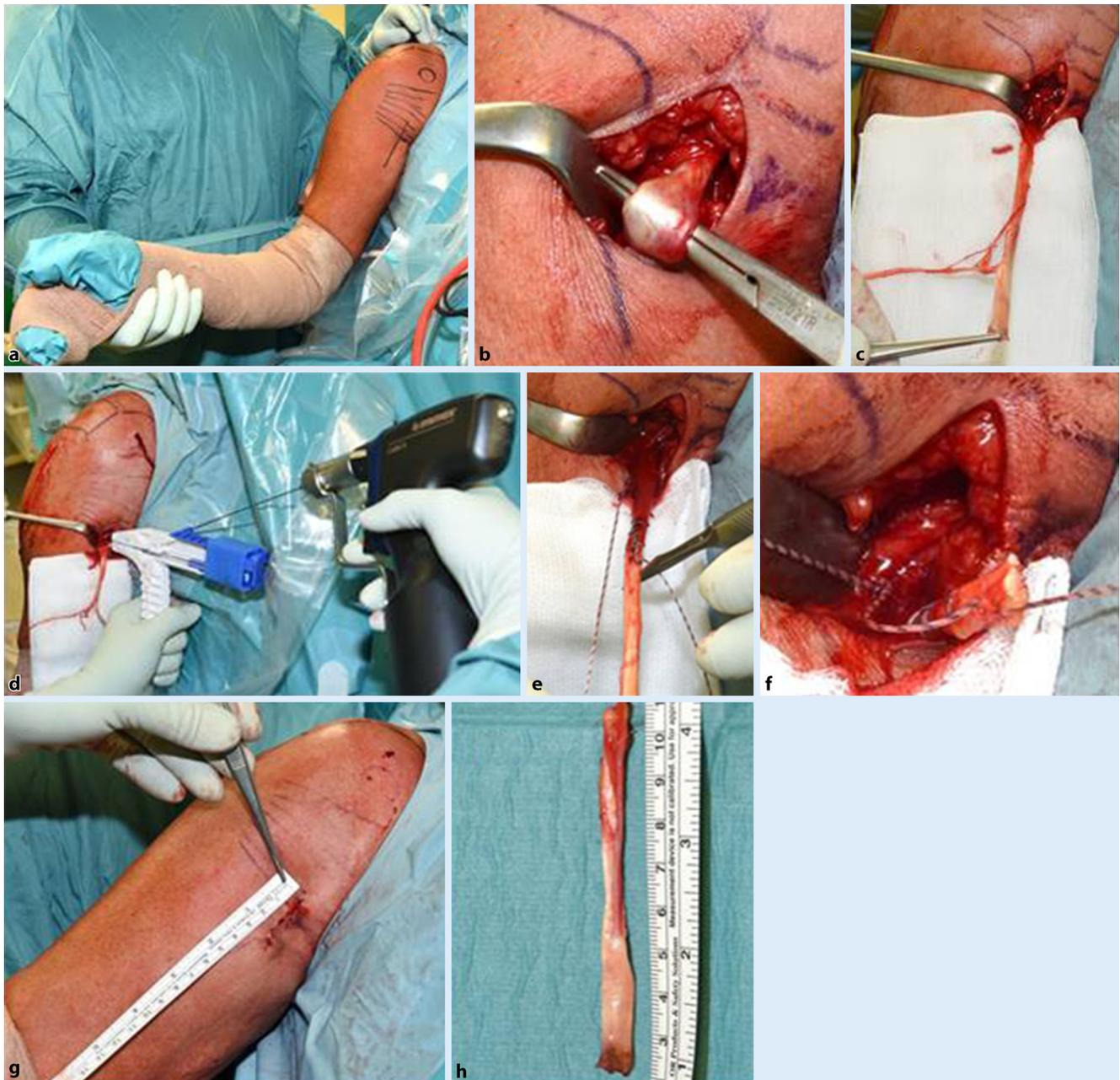


Abb. 7 ▲ Subpektorale „Mini-open“-Bizepsstenodese mithilfe des „All-suture“-Fadenankers (TruShot TM, Y-Knot, Durchmesser der Bohrung 1,3 mm; Fa. Conmed, Utica, NY, USA) in „Onlay“-Technik. **a** Markierung des Unterrandes der Pectoralis-major-Sehne und des Zugangs. **b, c** Inzision und stumpfes Eingehen in den Sulcus, Identifikation der langen Bizepssehne (LBS) und Herausziehen. **d** Knöchernes Anfrischen des Sulcus, Vorbohren mit 1,3 mm und Einschlagen des All-suture-Fadenankers. **e** Identifizieren des muskulotendinösen Übergangs, Armierung der Sehne mit einem Fadenschenkel mithilfe der Krackow-Nahttechnik und Kürzen der Sehne. **f** Einziehen der Sehne über den frei gebliebenen Fadenschenkel und tiefes Verknöten. **g** Wundverschluss mithilfe einer subkutanen und einer Hautnaht. **h** Darstellung der entnommenen LBS

Diskussion

Schmerzen im Bereich des Schultergelenkes sind nicht selten auf Veränderungen im Bereich der LBS zurückzuführen [74]. Oft sind diese mit Begleitpathologien an dem Labrum und/oder der Rotatorenmanschette vergesellschaftet. Auch

nach operativer Versorgung an dem Labrum (SLAP-Läsionen) oder der Rotatorenmanschette kann eine schmerzhafte LBS prominent werden [12]. Die klinische Untersuchung ist meist wegweisend. Bei Verdacht auf das Vorliegen einer Pathologie im Bereich des Sulcus erfolgt im eigenen Vorgehen sowohl aus diagnosti-

scher als auch therapeutischer Sicht die lokale Infiltration mit einem Kortikosteroid. Studien konnten zeigen, dass durch das Verwenden der Sonographie die Genauigkeit der Applikation signifikant erhöht werden kann [41].

An operativen Verfahren konkurrieren v. a. 2 Behandlungsoptionen: die

Tab. 2 Altersabhängiger Algorithmus zur Behandlung von Pathologien des Bizeps-Labrum-Komplexes unter Berücksichtigung bestimmter Modifikatoren

	Bis 35 Jahre	35 bis 55 Jahre	Ab 55 Jahre
SLAP-Läsion	Repair des SLAP/ Tenodese der LBS	Tenodese/Tenotomie der LBS	Tenotomie der LBS
Anterosuperiore Rotatorenmanschettenläsion	Rekonstruktion der RM + Tenodese der LBS	Rekonstruktion der RM + Tenodese/Tenotomie der LBS	Rekonstruktion der RM + Tenotomie der LBS
Pulley-Läsionen	Tenodese der LBS	Tenodese/Tenotomie der LBS	Tenotomie der LBS

Potenzielle Modifikatoren: Patientenwunsch, Kosmetik, Revisionseingriff, Risskonfiguration der Rotatorenmanschette, Qualität der langen Bizepssehne (LBS), Allgemeinzustand und biologisches Alter des Patienten
RM Rotatorenmanschette, SLAP superiores Labrum von anterior nach posterior

Tenotomie vs. Tenodese. Die Tenotomie ist eine relativ simple Methode, die LBS zu behandeln. Im Vergleich zur Tenodese finden Übersichtsarbeiten keine relevante Veränderung in Bezug auf Kraft, Funktion und Umwendbewegung. Die Tenotomie geht jedoch mit einer höheren Rate an Patienten mit postoperativer Distalisierung des Muskelbauches im Sinne einer Popeye-Deformität einher [49, 59, 75]. Bei der Tenodese wird hingegen ein Absinken des Muskelbauches in den meisten Fällen verhindert und damit ein kosmetisch ansprechenderes Ergebnis erreicht. In der täglichen Praxis hat es sich als günstig erwiesen, diesen Aspekt präoperativ mit dem Patienten zu besprechen. So zeigte eine Patientenbefragung, dass sich Patienten männlichen Geschlechts, mit starken Schmerzen im Bereich des Bizepssehntunnels und bei Ablehnung zusätzlicher Implantate für die Tenotomie entschieden, wohingegen Patienten weiblichen Geschlechts, mit der Befürchtung des Absinkens des Bizepsbauches und der möglichen Schmerzpersistenz für die Tenodese entschieden [76]. Des Weiteren geht die Tenodese mit einem längeren Heilungsverlauf und postoperativer Immobilisierung einher [77].

» Bei der Tenodese kann ein Absinken des Muskelbauches in den meisten Fällen verhindert werden

Ogleich der überwiegende Anteil der Patienten von der Tenotomie profitiert, verbleibt weiterhin ein Teil der Pati-

enten mit Schmerzpersistenz [51, 78]. Deutlicher ergibt sich dieses Bild nach durchgeführter Tenodese [79]. Sanders et al. untersuchten Revisionsraten sowohl nach Tenotomie und Tenodese der LBS in 127 Fällen [62]. Die Autoren konnten zeigen, dass die Revisionsraten bei den Prozeduren mit einer Dekompression des Bizepssehntunnels 6,8% und bei Verfahren ohne Dekompression 20,6% betragen. Eine weitere Übersichtsarbeit über 30 Studien zeigt, dass bei Versorgungen der LBS mit Dekompression des Bizepssehntunnels ein höherer Constant Score erreicht wurde [80]. Eine verbliebende Pathologie im Bereich des Bizepssehntunnels im Sinne einer Tenosynovitis, die verbliebene Schmerzzinnervation im proximalen Anteil des Bizepssehntunnels oder ein verbliebener Anteil der Bizepssehne im Tunnel selbst wird als Grund der Schmerzpersistenz diskutiert [3, 46, 62]. Dieses deckt sich auch mit der Beobachtung von Lutton et al., die bei einer distaleren suprapektoralen Tenodese eine geringere Inzidenz an Schmerzpersistenz fanden [81]. Die subpektorale Form der Tenodese ist ein reproduzierbares Verfahren, die LBS definitiv aus dem Gelenk und dem Bizepssehntunnel zu entfernen und damit mögliche Gründe für eine Schmerzpersistenz zu vermeiden. Jedoch erfolgt die Tenodese über eine zusätzliche Inzision im Bereich der Axillarfalte mit dementsprechender Narbenbildung und potenzieller Infektionsgefahr [82]. Des Weiteren sind Frakturen und die potenzielle Gefahr von Nervenverletzungen beschrieben.

In biomechanischer Hinsicht können bei der Fixierung der LBS sowohl ver-

schiedene Lokalisationen als auch die unterschiedlichen Arten (Schrauben, Anker, Buttons) als gleichwertig betrachtet werden [83]. Jedoch konnte gezeigt werden, dass durch eine Nahttechnik, die den muskulotendinösen Übergang der Sehne miterfasst, eine deutlich stabilere Fixierung erreicht werden kann [84].

Resümee

Der Bizeps-Labrum-Komplex ist ein häufiger Schmerzgenerator am Schultergelenk. Die genaue Lokalisierung der Pathologie an der LBS stellt jedoch weiterhin eine diagnostische Herausforderung dar. Nach klinisch fokussierter Untersuchung kann die MRT-Bildgebung wichtige Hinweise liefern. Die Infiltration (intrasulkal/intraartikulär) kann sowohl im Rahmen der Diagnostik als auch der Therapie hilfreich sein. Bei Persistenz der Beschwerden trotz konservativer Therapie kann operativ eine hohe Patientenzufriedenheit erreicht werden. Hierbei konkurrieren v. a. 2 Verfahren: das Durchführen einer Tenotomie vs. der Tenodese. Durch die Tenodese kann ein Absinken des Bizepsbauches im Sinne eines Popeye sign vermieden werden. Diese ist jedoch aufwendiger und üblicherweise mit zusätzlichen Implantaten verbunden und geht mit einer höheren Komplikationsgefahr einher. Durch eine Dekompression des Sulcus bicipitalis können im Sulcus bicipitalis verbliebene Schmerztrigger adressiert werden.

Das präoperative Aufklärungsgespräch des Patienten ist essenziell für die Entscheidungsfindung. Weiterhin spielen der Anspruch des Patienten und das Patientenalter eine wichtige Rolle. Die Autoren des vorliegenden Beitrags haben zur Behandlung von Pathologien des Bizeps-Labrum-Komplexes einen altersabhängigen Algorithmus mit Berücksichtigung von Modifikatoren entwickelt, der bei der Entscheidungsfindung helfen soll (▣ Tab. 2).

Fazit für die Praxis

- Die lange Bizepssehne ist häufiger Schmerzgenerator an der Schulter.
- Sowohl durch die Tenotomie als auch durch die Tenodese lassen sich

eine hohe Patientenzufriedenheit erreichen.

- Eine umfassende Aufklärung des Patienten ist essenziell.
- Die Fixationsart im Rahmen einer Tenodesis spielt eine untergeordnete Rolle.
- Durch eine subpektorale Tenodesis können distale Pathologien im Bereich des Bizepssehntunnels adressiert werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. N. Hawi, MBA

Unfallchirurgische Klinik, Medizinische Hochschule Hannover (MHH)
Carl-Neuberg-Str. 1, 30625 Hannover, Deutschland
hawi.nael@mh-hannover.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. N. Hawi, P. Habermeyer, R. Meller, S. Razaiean, C. von Falck und C. Krettek geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Taylor SA, Khair MM, Gulotta LV et al (2015) Diagnostic glenohumeral arthroscopy fails to fully evaluate the biceps-labral complex. *Arthroscopy* 31(2):215–224
2. Taylor SA, Fabricant PD, Bansal M et al (2015) The anatomy and histology of the bicipital tunnel of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg* 24(4):511–519
3. Gausden EB, Taylor SA, Ramkumar P et al (2016) Tenotomy, Tenodesis, transfer: a review of treatment options for biceps-labrum complex disease. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 45(7):E503–E511
4. Habermeyer P, Kaiser E, Knappe M, Kreuzer T, Wiedemann E (1987) Functional anatomy and biomechanics of the long biceps tendon. *Unfallchirurg* 90(7):319–329
5. Vangsness CT Jr., Jorgenson SS, Watson T, Johnson DL (1994) The origin of the long head of the biceps from the scapula and glenoid labrum. An anatomical study of 100 shoulders. *J Bone Joint Surg Br* 76(6):951–954
6. Denard PJ, Dai X, Hanypsiak BT, Burkhart SS (2012) Anatomy of the biceps tendon: implications for restoring physiological length-tension relation during biceps tenodesis with interference screw fixation. *Arthroscopy* 28(10):1352–1358
7. Ahrens PM, Boileau P (2007) The long head of biceps and associated tendinopathy. *J Bone Joint Surg Br* 89(8):1001–1009
8. Hart ND, Golish SR, Dragoo JL (2012) Effects of arm position on maximizing intra-articular visualization of the biceps tendon: a cadaveric study. *Arthroscopy* 28(4):481–485
9. Habermeyer P, Magosch P, Pritsch M, Scheibel MT, Lichtenberg S (2004) Anterosuperior impingement of the shoulder as a result of pulley lesions: a prospective arthroscopic study. *J Shoulder Elbow Surg* 13(1):5–12
10. Werner A, Mueller T, Boehm D, Gohlke F (2000) The stabilizing sling for the long head of the biceps tendon in the rotator cuff interval. A histoanatomic study. *Am J Sports Med* 28(1):28–31
11. Gohlke F, Essigkrug B, Schmitz F (1994) The pattern of the collagen fiber bundles of the capsule of the glenohumeral joint. *J Shoulder Elbow Surg* 3(3):111–128
12. Hawi N, Lioudakis E, Garving C, Habermeyer P, Tauber M (2017) Pulley lesions in rotator cuff tears: prevalence, etiology, and concomitant pathologies. *Arch Orthop Trauma Surg* 137(8):1097–1105
13. Cooper DE, Arnoczky SP, O'Brien SJ, Warren RF, DiCarlo E, Allen AA (1992) Anatomy, histology, and vascularity of the glenoid labrum. An anatomical study. *J Bone Joint Surg Am* 74(1):46–52
14. Cheng NM, Pan WR, Vally F, Le Roux CM, Richardson MD (2010) The arterial supply of the long head of biceps tendon: anatomical study with implications for tendon rupture. *Clin Anat* 23(6):683–692
15. Elser F, Braun S, Dewing CB, Giphart JE, Millett PJ (2011) Anatomy, function, injuries, and treatment of the long head of the biceps brachii tendon. *Arthroscopy* 27(4):581–592
16. MacDonald K, Bridger J, Cash C, Parkin I (2007) Transverse humeral ligament: does it exist? *Clin Anat* 20(6):663–667
17. Snyder SJ, Karzel RP, Del Pizzo W, Ferkel RD, Friedman MJ (1990) SLAP lesions of the shoulder. *Arthroscopy* 6(4):274–279
18. Powell SE, Nord KD, Ryu RK (2012) The diagnosis, classification, and treatment of SLAP lesions. *Oper Tech Sports Med* 20(1):46–56
19. Gilmer BB, DeMers AM, Guerrero D, Reid JB 3rd, Lubowitz JH, Guttman D (2015) Arthroscopic versus open comparison of long head of biceps tendon visualization and pathology in patients requiring tenodesis. *Arthroscopy* 31(1):29–34
20. Moon SC, Cho NS, Rhee YG (2015) Analysis of "hidden lesions" of the extra-articular biceps after subpectoral biceps tenodesis: the subpectoral portion as the optimal tenodesis site. *Am J Sports Med* 43(1):63–68
21. Festa A, Allert J, Issa K, Tasto JP, Myer JJ (2014) Visualization of the extra-articular portion of the long head of the biceps tendon during intra-articular shoulder arthroscopy. *Arthroscopy* 30(11):1413–1417
22. Martetschlager F, Zampeli F, Tauber M, Habermeyer P (2020) Lesions of the biceps pulley: a prospective study and classification update. *JSES International* 4(2):318–323
23. Habermeyer P et al (2008) A new arthroscopic classification of articular-sided supraspinatus footprint lesions: a prospective comparison with Snyder's and Ellman's classification. *J Shoulder Elbow Surg* 17(6):909–913. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2008.06.007>
24. Verma NN, Drakos M, O'Brien SJ (2005) The arthroscopic active compression test. *Arthroscopy* 21(5):634
25. Castagna A, Mouhsine E, Conti M et al (2007) Chondral print on humeral head: an indirect sign of long head biceps tendon instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15(5):645–648
26. Sistermann R (2005) The biceps tendon footprint. *Acta Orthop* 76(2):237–240
27. Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie (DVSE) e. V. (2012) Untersuchungstechniken des Schultergelenks. *Obere Extremität* 7(1):1–67
28. Taylor SA, Newman AM, Dawson C et al (2017) The "3-Pack" examination is critical for comprehensive evaluation of the biceps-labrum complex and the Bicipital tunnel: a prospective study. *Arthroscopy* 33(1):28–38
29. DePalma AF (1983) Disorders associated with biologic aging of the shoulder. In: DePalma AF (Hrsg) *Surgery of the shoulder*, 3. Aufl. Lippincott, Philadelphia, S 268–269
30. Bennett WF (1998) Specificity of the Speed's test: arthroscopic technique for evaluating the biceps tendon at the level of the bicipital groove. *Arthroscopy* 14(8):789–796
31. Crenshaw AH, Kilgore WE (1966) Surgical treatment of bicipital tenosynovitis. *J Bone Joint Surg Am* 48(8):1496–1502
32. Holtby R, Razmjou H (2004) Accuracy of the Speed's and Yergason's tests in detecting biceps pathology and SLAP lesions: comparison with arthroscopic findings. *Arthroscopy* 20(3):231–236
33. Parentis MA, Mohr KJ, ElAttrache NS (2002) Disorders of the superior labrum: review and treatment guidelines. *Clin Orthop Relat Res* 400:77–87
34. Chen HS, Lin SH, Hsu YH, Chen SC, Kang JH (2011) A comparison of physical examinations with musculoskeletal ultrasound in the diagnosis of biceps long head tendinitis. *Ultrasound Med Biol* 37(9):1392–1398
35. Ebinger N, Magosch P, Lichtenberg S, Habermeyer P (2008) A new SLAP test: the supine flexion resistance test. *Arthroscopy* 24(5):500–505
36. Woertler K (2015) Rotator interval. *Semin Musculoskelet Radiol* 19(3):243–253
37. Petchprapa CN, Beltran LS, Jazrawi LM, Kwon YW, Babb JS, Recht MP (2010) The rotator interval: a review of anatomy, function, and normal and abnormal MRI appearance. *AJR Am J Roentgenol* 195(3):567–576
38. Buck FM, Grehn H, Hilbe M, Pfirrmann CW, Manzanell S, Hodler J (2009) Degeneration of the long biceps tendon: comparison of MRI with gross anatomy and histology. *AJR Am J Roentgenol* 193(5):1367–1375
39. Schaeffeler C, Waldt S, Holzappel K et al (2012) Lesions of the biceps pulley: diagnostic accuracy of MR arthrography of the shoulder and evaluation of previously described and new diagnostic signs. *Radiology* 264(2):504–513
40. De Coninck T, Ngai SS, Tafur M, Chung CB (2016) Imaging the glenoid labrum and labral tears. *Radiographics* 36(6):1628–1647
41. Hashiuchi T, Sakurai G, Morimoto M, Komei T, Takakura Y, Tanaka Y (2011) Accuracy of the biceps tendon sheath injection: ultrasound-guided or unguided injection? A randomized controlled trial. *J Shoulder Elbow Surg* 20(7):1069–1073
42. Maier D, Jaeger M, Suedkamp NP, Koestler W (2007) Stabilization of the long head of the biceps tendon in the context of early repair of traumatic subscapularis tendon tears. *J Bone Joint Surg Am* 89(8):1763–1769
43. Sullivan S, Hutchinson ID, Curry EJ, Marinko L, Li X (2019) Surgical management of type II superior labrum anterior posterior (SLAP) lesions: a review of outcomes and prognostic indicators. *Phys Sportsmed* 47(4):375–386

44. Provencher MT, McCormick F, Dewing C, McIntire S, Solomon D (2013) A prospective analysis of 179 type 2 superior labrum anterior and posterior repairs: outcomes and factors associated with success and failure. *Am J Sports Med* 41(4):880–886
45. Fedoriw WW, Ramkumar P, McCulloch PC, Lintner DM (2014) Return to play after treatment of superior labral tears in professional baseball players. *Am J Sports Med* 42(5):1155–1160
46. Hsu AR, Ghodadra NS, Provencher MT, Lewis PB, Bach BR (2011) Biceps tenotomy versus tenodesis: a review of clinical outcomes and biomechanical results. *J Shoulder Elbow Surg* 20(2):326–332
47. Slenker NR, Lawson K, Ciccotti MG, Dodson CC, Cohen SB (2012) Biceps tenotomy versus tenodesis: clinical outcomes. *Arthroscopy* 28(4):576–582
48. Frost A, Zafar MS, Maffulli N (2009) Tenotomy versus tenodesis in the management of pathologic lesions of the tendon of the long head of the biceps brachii. *Am J Sports Med* 37(4):828–833
49. MacDonald P, Verhulst F, McRae S et al (2020) Biceps tenodesis versus tenotomy in the treatment of lesions of the long head of the biceps tendon in patients undergoing arthroscopic shoulder surgery: a prospective double-blinded randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 48(6):1439–1449
50. Walch G, Edwards TB, Boulaia A, Nove-Josserand L, Neyton L, Szabo I (2005) Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: clinical and radiographic results of 307 cases. *J Shoulder Elbow Surg* 14(3):238–246
51. Kelly AM, Drakos MC, Fealy S, Taylor SA, O'Brien SJ (2005) Arthroscopic release of the long head of the biceps tendon: functional outcome and clinical results. *Am J Sports Med* 33(2):208–213
52. Berlemann U, Bayley I (1995) Tenodesis of the long head of biceps brachii in the painful shoulder: improving results in the long term. *J Shoulder Elbow Surg* 4(6):429–435
53. Gill TJ, McIrvine E, Mair SD, Hawkins RJ (2001) Results of biceps tenotomy for treatment of pathology of the long head of the biceps brachii. *J Shoulder Elbow Surg* 10(3):247–249
54. Braun S, Imhoff A (2018) Moderne Behandlungsstrategien der langen Bizepssehne. *Orthopäde* 47(2):113–120
55. Gartsman GM, Hammerman SM (2000) Arthroscopic biceps tenodesis: operative technique. *Arthroscopy* 16(5):550–552
56. Richards DP, Burkhart SS (2004) Arthroscopic-assisted biceps tenodesis for ruptures of the long head of biceps brachii: the cobra procedure. *Arthroscopy* 20(Suppl 2):201–207
57. Klepps S, Hazrati Y, Flatow E (2002) Arthroscopic biceps tenodesis. *Arthroscopy* 18(9):1040–1045
58. Werner BC, Pehlivan HC, Hart JM et al (2014) Increased incidence of postoperative stiffness after arthroscopic compared with open biceps tenodesis. *Arthroscopy* 30(9):1075–1084
59. Hufeland M, Wicke S, Verde PE, Krauspe R, Patzer T (2019) Biceps tenodesis versus tenotomy in isolated LHB lesions: a prospective randomized clinical trial. *Arch Orthop Trauma Surg* 139(7):961–970
60. Belay ES, Wittstein JR, Garrigues GE et al (2019) Biceps tenotomy has earlier pain relief compared to biceps tenodesis: a randomized prospective study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27(12):4032–4037
61. Chalmers PN, Erickson BJ, Verma NN, D'Angelo J, Romeo AA (2018) Incidence and return to play after biceps tenodesis in professional baseball players. *Arthroscopy* 34(3):747–751
62. Sanders B, Lavery KP, Pennington S, Warner JJ (2012) Clinical success of biceps tenodesis with and without release of the transverse humeral ligament. *J Shoulder Elbow Surg* 21(1):66–71
63. Werner BC, Lyons ML, Evans CL et al (2015) Arthroscopic suprapectoral and open subpectoral biceps tenodesis: a comparison of restoration of length-tension and mechanical strength between techniques. *Arthroscopy* 31(4):620–627
64. Nho SJ, Reiff SN, Verma NN, Slabaugh MA, Mazzocca AD, Romeo AA (2010) Complications associated with subpectoral biceps tenodesis: low rates of incidence following surgery. *J Shoulder Elbow Surg* 19(5):764–768
65. Mazzocca AD, Cote MP, Arciero CL, Romeo AA, Arciero RA (2008) Clinical outcomes after subpectoral biceps tenodesis with an interference screw. *Am J Sports Med* 36(10):1922–1929
66. Provencher MT, LeClere LE, Romeo AA (2008) Subpectoral biceps tenodesis. *Sports Med Arthrosc* 16(3):170–176
67. Taylor SA, Fabricant PD, Baret NJ et al (2014) Midterm clinical outcomes for arthroscopic subdeltoid transfer of the long head of the biceps tendon to the conjoint tendon. *Arthroscopy* 30(12):1574–1581
68. Verma NN, Drakos M, O'Brien SJ (2005) Arthroscopic transfer of the long head biceps to the conjoint tendon. *Arthroscopy* 21(6):764.e1–764.e5
69. Ding DY, Gupta A, Snir N, Wolfson T, Meislin RJ (2014) Nerve proximity during bicortical drilling for subpectoral biceps tenodesis: a cadaveric study. *Arthroscopy* 30(8):942–946
70. Dickens JF, Kilcoyne KG, Tintle SM, Giuliani J, Schaefer RA, Rue JP (2012) Subpectoral biceps tenodesis: an anatomic study and evaluation of at-risk structures. *Am J Sports Med* 40(10):2337–2341
71. Ma H, Van Heest A, Glisson C, Patel S (2009) Musculocutaneous nerve entrapment: an unusual complication after biceps tenodesis. *Am J Sports Med* 37(12):2467–2469
72. Dein EJ, Huri G, Gordon JC, McFarland EG (2014) A humerus fracture in a baseball pitcher after biceps tenodesis. *Am J Sports Med* 42(4):877–879
73. Sears BW, Spencer EE, Getz CL (2011) Humeral fracture following subpectoral biceps tenodesis in 2 active, healthy patients. *J Shoulder Elbow Surg* 20(6):e7–e11
74. Walch G, Nove-Josserand L, Boileau P, Levigne C (1998) Subluxations and dislocations of the tendon of the long head of the biceps. *J Shoulder Elbow Surg* 7(2):100–108
75. Shank JR, Singleton SB, Braun S et al (2011) A comparison of forearm supination and elbow flexion strength in patients with long head of the biceps tenotomy or tenodesis. *Arthroscopy* 27(1):9–16
76. Galdi B, Southren DL, Brabston EW et al (2016) Patients have strong preferences and perceptions for biceps tenotomy versus tenodesis. *Arthroscopy* 32(12):2444–2450
77. Friedman DJ, Dunn JC, Higgins LD, Warner JJ (2008) Proximal biceps tendon: injuries and management. *Sports Med Arthrosc* 16(3):162–169
78. Duff SJ, Campbell PT (2012) Patient acceptance of long head of biceps brachii tenotomy. *J Shoulder Elbow Surg* 21(1):61–65
79. Becker DA, Cofield RH (1989) Tenodesis of the long head of the biceps brachii for chronic bicipital tendinitis. Long-term results. *J Bone Joint Surg Am* 71(3):376–381
80. Taylor SA, Ramkumar PN, Fabricant PD et al (2016) The clinical impact of bicipital tunnel decompression during long head of the biceps tendon surgery: a systematic review and meta-analysis. *Arthroscopy* 32(6):1155–1164
81. Lutton DM, Gruson KI, Harrison AK, Gladstone JN, Flatow EL (2011) Where to tenodesis the biceps: proximal or distal? *Clin Orthop Relat Res* 469(4):1050–1055
82. Braun S, Minzlaff P, Imhoff A (2012) Subpectoral tenodesis of the long head of the biceps tendon for pathologies of the long head of the biceps tendon and the biceps pulley. *Oper Orthop Traumatol* 24(6):479
83. Dekker TJ, Peebles LA, Preuss FR, Goldenberg BT, Dornan GJ, Provencher MT (2020) A systematic review and meta-analysis of biceps tenodesis fixation strengths: fixation type and location are biomechanically equivalent. *Arthroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2020.05.055>
84. Spiegel UJ, Smith SD, Euler SA, Millett PJ, Wijdicks CA (2015) Biomechanical consequences of proximal biceps tenodesis stitch location: musculotendinous junction versus tendon only. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23(9):2661–2666