

Arthroskopie 2023 · 36:25–35
<https://doi.org/10.1007/s00142-022-00568-w>
 Angenommen: 5. September 2022
 Online publiziert: 13. Oktober 2022
 © Der/die Autor(en) 2022

Redaktion

A. Imhoff, München
 M. Flury, Wallisellen/CH



Distale Bizepssehnenruptur

Cedric Engler¹ · Kushtrim Grezda^{2,3,4} · Claudio Rosso^{2,3}

¹ Orthopädie und Traumatologie Spital Langenthal, Spitalregion Oberaargau SRO AG, Langenthal, Schweiz

² ARTHRO Medics, Basel, Schweiz

³ Universität Basel, Basel, Schweiz

⁴ Orthopädie und Traumatologie, Universitätsspital Basel, Basel, Schweiz

Zusammenfassung

Die Ruptur der distalen Bizepssehne tritt am häufigsten bei Männern im mittleren Alter auf (30 bis 50 Jahre). Der typische Mechanismus ist die exzentrische Belastung in strecknaher Ellbogenstellung in Supination, wobei diese Verletzung mit Kraftsport und körperlich belastender Tätigkeit assoziiert ist. Epidemiologische Daten weisen auf eine Zunahme von distalen Bizepsrupturen in den letzten Jahrzehnten hin. Risikofaktoren wie die Verwendung anaboler Steroide, Kraftsport und Nikotinabusus zeigen einen Zusammenhang mit der Verletzung. Bei reduziertem Patientenanspruch oder relevanten Komorbiditäten ist auch unter einer konservativen Behandlung ein gutes funktionelles Ergebnis mit subjektiv guter Patientenzufriedenheit zu erreichen, allerdings unter zu erwartender relevanter Kraftminderung in Flexion (20 %) und Supination (40 %). Durch eine operative Refixation lässt sich das beste funktionelle Resultat erzielen, allerdings einhergehend mit einem nicht unerheblichen Komplikationsrisiko.

Schlüsselwörter

Ellenbogen · Distale Bizepssehnenruptur · Pathogenese · Untersuchungstechniken · Therapie

In diesem Beitrag

- **Epidemiologie**
- **Spezifische Anatomie und Pathogenese**
 Sehne und Footprint · Vaskuläre Versorgung der Sehne · Einfluss des Lacertus fibrosus
- **Klinische Untersuchung**
 Hook-Test · Resisted-Hook-Test · Bizeps-Crease-Interval-Tests · Supination-Pronation-Test · Bizeps-Provokationstest
- **Weiterführende Diagnostik und Bildgebung**
 Magnetresonanztomographie · Sonographie
- **Therapie**
 Konservative Behandlung · Infiltrationsbehandlung · Operative Therapie · Chirurgische Anatomie der Fossa cubiti
- **Double- vs. Single-Incision-Technik**
 Vorteile und Komplikationen · Endoskopische Verfahren

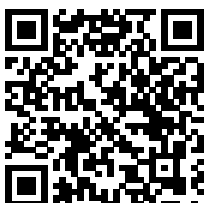
Hintergrund

Der anteriore Ellbogen ist eine heikle Region mit einer hohen Dichte an neurovaskulären Strukturen. Beim akuten Trauma mit relevanter Deformität lassen sich die Differenzialdiagnosen gut eingrenzen. Bei chronischer Beschwerdesituation jedoch kann die Symptomatik weniger klar und die Abgrenzung von ggf. koexistierenden vaskulären, neurogenen und muskuloskeletalen Differenzialdiagnosen herausfordernd sein.

Die Differenzialdiagnosen erstrecken sich im akuten Trauma vom stattgehabten Instabilitätsereignis mit konsekutiven osteoligamentären Verletzungen bis zur Ruptur der distalen Bizepssehne. Sie lassen sich mit einer exakten Anamnese sowie einer guten klinischen Untersuchung gut differenzieren.

Die häufigsten Differenzialdiagnosen beim anterioren Ellbogenschmerz sind wie folgt:

- Tendinös
 - Akute distale Bizepsruptur
 - Teilruptur oder Tendinopathie der distalen Bizepssehne
 - Bursitis bicipitoradialis
- Ossär oder das Gelenk betreffend
 - Osteochondrose
 - Gicht
 - Rheumatoide Veränderungen des Ellbogens
 - Cubitalarthrose
 - (Ältere) Koronoidläsionen
 - Kartilaginäre Exostose
- Neurogen
 - Lokale Nervenkompressionssyndrome
 - Kompression des N. interosseus posterior (PIN)/Radialistunnelsyndrom
 - Kompressionsyndrom des N. cutaneus antebrachii lateralis (LACN) [1, 2]
 - Wartenberg-Syndrom
 - Zervikogene Radikulopathie, Parsonage-Turner-Syndrom (auch



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Plexusneuritis/idiopathische Schul-
teramyotrophie)

- Vaskulär
 - Phlebitis
 - Aneurysma venös oder arteriell [3]
 - Thrombose

Im Folgenden wird auf die Pathologien der distalen Bizepssehne eingegangen.

Epidemiologie

Zur Häufigkeit finden sich in der Literatur Hinweise für eine mögliche Zunahme der Inzidenz in den letzten Jahrzehnten. So wird in einer amerikanischen Population 2002 eine Inzidenz von 1,2 Fällen [4], 2010 eine von 2,5 Fällen, regional auch bis zu 5,4 [5] Fällen auf 100.000 Einwohner/Jahr berichtet. Am häufigsten erleiden Männer im mittleren Alter (ca. 30–55 Jahre) bei Belastungen im Kraftsport oder bei körperlich belastender Arbeit eine entsprechende Verletzung. Manchmal wird eine Ruptur auch bei geringeren plötzlichen Krafteinwirkungen berichtet, was eine Vorschädigung der Sehne vermuten lässt [6]. Es gibt einen kaum erklärten auffälligen Geschlechterunterschied. So berichten Nyland et al. in einem systematischen Review über 93 Studien mit 2253 Patienten von 39 Fällen bei Frauen, was 1,7 % entspricht [7].

Als Risikofaktoren finden sich eine Assoziation zu Kraftsport, Einnahme von anabolen Steroiden, Nikotinabusus und Übergewicht [4, 5].

Spezifische Anatomie und Pathogenese

Ähnlich den Pathomechanismen an der Rotatorenmanschette gibt es auch an der distalen Bizepssehne sowohl das Konzept der vaskulären Minderversorgung wie auch des knöchernen Impingements als prädisponierende Faktoren.

Sehne und Footprint

Die distale Bizepssehne ist zwischen 7 und 12 cm lang, entspringt ca. 3 cm proximal der Beugefalte des Ellbogens aus dem muskulotendinösen Übergang und zieht 3–5 cm distal der Beugefalte an die Tuberositas radii. Die distale Bizepssehne lässt

sich im Längsverlauf in ihrem Bezug zum Lacertus fibrosus ab dem muskulotendinösen Übergang in einen prä-, para- und postaponeurotischen Abschnitt bis zur Insertion an der Tuberositas unterteilen [8].

» Im gesamten Bizepsverlauf lassen sich langer und kurzer Kopf voneinander abgrenzen

Im gesamten Bizepsverlauf lassen sich, ähnlich wie proximal an der Schulter, der lange und kurze Kopf voneinander abgrenzen. So besteht auch distal die Aufteilung in den lateral-radial verlaufenden langen Kopf und den medial-ulnar davon liegenden kurzen Kopf. Individuell unterschiedlich ausgeprägt gibt es Querverbindungen zwischen den beiden Sehnenanteilen, welche bei den meisten Individuen ein gewisses Ausmaß eines longitudinalen Gleitens zueinander erlauben [8]. Dies könnte kompensatorische Zwecke erfüllen, da die proximal und distal an der Tuberositas inserierenden Sehnenanteile am 90° gebeugten Ellbogen eine vergleichbare Strecke bewältigen, jedoch eine Streckendifferenz entsprechend der Länge der Tuberositas von etwa 2,3 cm aufweisen.

Die distale Bizepssehne macht im postaponeurotischen Abschnitt eine Außenrotation um 90°. So verläuft der kurze Kopf im präaponeurotischen Abschnitt medial des langen Kopfs und inseriert an der Tuberositas distal des langen Kopfs. Der lange Kopf liegt proximal lateral und inseriert an der Tuberositas proximal des kurzen Kopfs. Die distalere Insertion des kurzen Kopfs resultiert in einem besseren Hebelarm für die Flexion. Der lange Kopf hat wegen der schräg durch den Unterarm verlaufenden Drehachse der Umwendbewegung einen besseren Hebelarm für die Supination (■ Abb. 1; [8]).

Auch die Tuberositas betreffend lassen sich unterschiedliche anatomische Typen abgrenzen. So haben Mazzocca et al. [9] die Sehneninsertion im ulnaren Teil der Tuberositas beschrieben. Diese bedeckt etwa 63 % der Länge und 13 % der Breite der Tuberositas. Radial von der eigentlichen Sehneninsertion lässt sich eine knöchernen leistenartige Erhebung („bony ridge“, Pulley oder Hypomochlion) abgrenzen. Diese ist individuell unterschiedlich ausgeprägt.

Es wurde ein „single ridge type“ (88 % der Fälle) mit variabler Größenausprägung der „ridge“ (klein, mittel, groß) von einer glatten Variante (6 %) und einem doppelten „bifid ridge type“ (6 %) abgegrenzt.

Vaskuläre Versorgung der Sehne

Die vaskuläre Versorgung der distalen Bizepssehnen lässt sich in 3 Zonen einteilen: *Zone 1* entspricht dem präaponeurotischen Abschnitt, welcher durch 2–4 Gefäße versorgt wird. Diese entspringen aus der anterolateralen A. brachialis und versorgen die Sehne sowohl über das Paratenon wie auch über intratendinöse Gefäße. Die intratendinösen Gefäße bilden im Übergang zur *Zone 2* (paraaponeurotischer Abschnitt) Arkaden ohne Weiterführung von intratendinösen Gefäßen nach distal. In *Zone 2* ist die Sehne nur von einem dünneren Paratenon mit geringerer Vaskularität eingefasst, weshalb hier ein hypovaskulärer Abschnitt besteht. *Zone 3* (postaponeurotisch) wird durch 1–3 Abgänge der A. recurrens posterior versorgt [10]. Im Insertionsbereich weist die Sehne im der Tuberositas zugewandten Teil mit fibrocartilaginären Eigenschaften eine physiologische gefäßfreie Zone auf [6]. Dies kann sich bei einer inflammatorischen Reaktion nach Mikrotraumata ändern, so dass bei pathologisch veränderten Sehnen hier Gefäßinjektionen nachgewiesen werden können. Das führt zu veränderten biomechanischen Eigenschaften und kann somit eine Ruptur begünstigen [6].

» In Supination ist der radioulnare Zwischenraum am größten, bei Pronation wird er enger

Anatomische Studien haben auch gezeigt, dass sich der radioulnare Zwischenraum während der Umwendbewegung dynamisch verändert [10]. In Supination ist der Zwischenraum am größten und in endgradiger Pronation um praktisch die Hälfte reduziert. Der Zwischenraum wird auf Höhe der Tuberositas zu 85 % durch die Bizepssehne ausgefüllt. Insbesondere bei pathologischen Veränderungen von Sehne oder Tuberositas im Sinne einer Enthesiopathie kann sich die Engstelle aggravieren und eine zusätzliche Druckbelastung mit vermehrter Friktion entstehen. Dies gilt

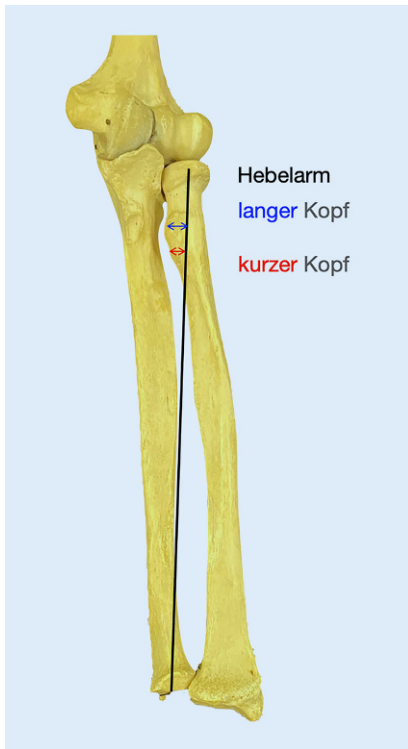


Abb. 1 ▲ Hebelarm auf die Supinationsachse von langem und kurzem Bizepskopf

es auch bei der chirurgischen Versorgung zu beachten. Denn eine Distalisierung der Sehne, durch intraossären Einzug wie auch eine voluminöse Armierung, kann ein postoperatives Impingement verursachen [11].

Einfluss des Lacertus fibrosus

Der Lacertus fibrosus ist eine dreischichtige Aponeurose mit fixer Länge. Die kräftigste oberflächliche Schicht entspringt auf Höhe des musklotendinösen Übergangs aus dem Epimysium des langen Bizepskopfes. Die tiefste Schicht entspringt auf selber Höhe aus dem posterioren Epimysium des langen Bizepskopfes. Dazwischen zieht, bei gewissen Individuen, die mittlere Schicht mesenteriumartig zur Sehne des kurzen Bizepskopfes. Nach distal strahlen die Fasern in die Unterarmfaszie ein. Hierüber inserieren sie ulnar wie auch radial, die Flexorenmuskulatur umgreifend, an der proximalen Ulna. Diese anatomische Gegebenheit hat zur Folge, dass der Lacertus angespannt wird, wenn sich die Unterarmmuskulatur kontrahiert [8, 12]. Denn hierbei kommt es zur Proximalisierung und damit Verdickung des Muskelquerschnitts in der Flexorenloge und damit



Abb. 2 ▲ Hook-Test: Der Zeigefinger des Untersuchers erfasst keinen Widerstand beim Durchgleiten durch die Ellenbeuge in Flexion des Ellbogens sowie Außenrotation und Abduktion der Schulter

einer Vorspannung des Lacertus und darüber zu einer Medialisierung der distalen Bizepssehne. Es wird diskutiert, ob dieser vermehrte Zug eventuell eine Ruptur begünstigt.

Falls bei einer Ruptur der langen Bizepssehne der Lacertus intakt bleibt, verhindert dieser eine komplette Retraktion des Sehnenstumpfs nach proximal [13].

Ist dies der Fall, gilt es zu beachten, dass der Lacertus auch das mediale neurovaskuläre Bündel bedeckt. Kommt es bei der Refixation zu einer Distalisierung des paraaponeurotischen Abschnitts, verengt sich der Raum unter dem Lacertus, und es kann ein neurovaskuläres Kompressionssyndrom entstehen.

Typischerweise wird als *Traumamechanismus* eine exzentrische Belastung auf den mehr oder minder flektierten Ellbogen beschrieben. Neuere Literatur beschreibt so auch den Mechanismus der Belastung auf den supinierten Unterarm in extendierter Ellbogenstellung, typischerweise beim Gewichtheben oder Ausführen von Bizepscurls. Weiter ist das Auftreten beim Armdrücken oder im Turnsport in der Stützwaage gut dokumentiert [14, 15]. Es kann aber auch beim Abfangen von einem Sturz oder Auffangen eines schweren Gegenstands zu einer entsprechenden exzentrischen Belastung des Bizeps mit folgender Ruptur kommen.

Viele Patienten berichten von einem klar verspürten Rupturphänomen in der Ellenbeuge, bei einer Komplettruptur mit folgender Proximalisierung des Muskelbauchs. Hauptsymptome sind ein vordecker Ellbogenschmerz ggf. mit Schwellung

und Hämatom. Funktionell zeigt sich eine schmerzhafte Einschränkung der Kraft in Flexion und Supination im Ellbogen. Das Ausmaß der Retraktion wird entscheidend durch eine Mitverletzung des Lacertus fibrosus beeinflusst. So kann die Veränderung des Muskelreliefs bei intaktem Lacertus fibrosus oder bei einer Partialläsion sehr diskret ausfallen. Im Rahmen der Reizung und Mitreaktion der Bursa kann eine erhebliche Schwellung entstehen, welche auch äußerlich sichtbar bleiben kann. Im Rahmen einer entsprechenden raumfordernden Wirkung können auch neurologische Begleitsymptome von N. cutaneus antebrachii lateralis (LACN) oder den Ästen des N. radialis auftreten.

Klinische Untersuchung

Für die klinische Untersuchung sind mehrere Zeichen und Tests beschrieben, von welchen im Folgenden einige beschrieben werden. Im akuten Setting ist die Diagnose meist klinisch zu stellen. Eine Kombination aus Resisted-Hook-Test und Bizeps-Provokationstest hat eine kombinierte Sensitivität 98% bei einer kombinierten Spezifität von 78%, wobei die alleinige Spezifität des Bizeps-Provokationstests bei 97% liegt. Somit braucht es im akuten Setting nicht zwingend eine weiterführende Bildagnostik.

Hook-Test

Beim Hook-Test kann sich der Untersucher bei 90° flektiertem Ellbogen und aktiver Supination des Unterarms von radial mit dem Finger hinter der distalen Bizepssehne einhaken (■ Abb. 2; [16]). Das Testresultat wird als „hookable“ und somit intakt oder als nicht vorhanden beschrieben. In einer Folgestudie wurde eine zwischen Kategorie „abnormal“ ergänzt für Fälle mit vorhandener Struktur, hinter welcher man einhaken kann, mit jedoch einem vorhandenen Seitenunterschied, z. B. im Sinne von vermehrten Schmerzen oder veränderten Spannungsverhältnissen der Sehne. Diese Befunde implizieren eine Teilläsion.

Resisted-Hook-Test

Der Resisted-Hook-Test [17] beschreibt eine Erweiterung der Untersuchung, wobei



Abb. 3 ▲ Bei dieser 2-Etagen-Ruptur zeigt sich eine lateral starke Retraktion des langen Bizepssehnenanteils (*Pfeil*), wobei der mediale, kurze Bizepssehnenanteil am Lacertus fibrosus weiterhin inseriert (*Stern*)

der Patient versucht, einer einwirkenden Pronationskraft zu widerstehen. Er führt also, während der Palpation der distalen Bizepssehne im Sinne eines Hook-Tests, eine isometrische Supination gegen Widerstand aus. Eine Schmerzprovokation ist als Zeichen einer Teilläsion zu interpretieren.

Bizeps-Crease-Interval-Tests

Beim Bizeps-Crease-Interval-Tests [13] wird die Distanz von der Beugefalte des Ellbogens bis zur distalen Begrenzung des Muskelbauchs gemessen. Für eine Vergrößerung der Distanz mit einer Seitendifferenz von $\geq 1,2$ cm geben die Autoren eine Sensitivität von 93% an (▣ **Abb. 3**).

Supination-Pronation-Test

Der Supination-Pronation-Test [18] lässt sich einfach und schmerzarm auch im akuten Setting durchführen und hilft, die distale Insertion zu beurteilen. Er ist insbesondere hilfreich bei unklarem Hook-Test aufgrund eines noch intakten Lacertus fibrosus. Solange Sehnenanteile distal an der Tuberositas inserieren, kommt es bei

Pro-/Supination zu einer erheblichen Veränderung der Muskelkontur des Bizeps (▣ **Abb. 3**).

Bizeps-Provokationstest

Der Bizeps-Provokationstest [19] ist ein zweistufiger Test, bei dem der Patient aus 70° Flexion einmal in supinierter Unterarmstellung und ein zweites Mal in pronierter Unterarmstellung eine Flexion gegen Widerstand ausführt. Es wird erwartet, dass eine *Partiälläsion* der distalen Bizepssehne bei Flexion in pronierter Unterarmstellung mehr Schmerzen verursacht, da die Sehne im Bereich der Teilläsion in dieser Stellung um die Tuberositas *gewickelt* wird und im verletzten Abschnitt Kompressions- und Scherkräften ausgesetzt wird, wenn sie gegen den Knochen gedrückt wird. Die resistive Supinationsprüfung auch in höhergradiger Flexionsstellungen im Ellbogen durchzuführen, ist einleuchtend und lässt sich biomechanisch im Sinne einer vermehrten Beanspruchung des proximaleren Anteils und somit dem Sehnenanteil des langen Bizepskopfes interpretieren [20].

Weiterführende Diagnostik und Bildgebung

Als Ausgangslage ist eine konventionelle radiologische Bildgebung in mindestens 2 Ebenen empfohlen (d.-p./lateral und optimalerweise auch Radiuskopf-Zielaufnahme). Hierdurch können auch traumabedingte knöcherne Pathologien wie Avulsionen oder noch seltenere Frakturen beurteilt werden.

Magnetresonanztomographie

Eine Magnetresonanztomographie (MRT) ist nicht zwingend nötig, da die Diagnose in der Regel bei der klinischen Untersuchung gestellt werden kann. Der Goldstandard der *weiterführenden* Bildgebung ist jedoch die MRT.

Die distale Bizepssehne zieht am extendierten Ellbogen in einer Kurve in die Tiefe zur Tuberositas radii hinunter. Zudem verläuft sie insbesondere in neutraler oder pronierter Unterarmstellung schräg zu allen Ebenen der Schichtbildgebung. Die Lagerung in einer FABS-View-Posi-

on (Flexion, Abduktion, Supination) führt dazu, dass der Sehnenverlauf weitgehend parallel zum Humerus und orthogonal zu Radius und Tuberositas radii ausgerichtet ist. Somit lässt sich die Sehne in der Frontal- und Sagittalebene im gesamten Verlauf vom muskulotendinösen Übergang bis zur Insertion an der Tuberositas abbilden und beurteilen.

Neuere Studien zeigen zwar keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich Sensitivität und Spezifität für den Nachweis einer distalen Bizepssehnenverletzung zwischen der Darstellung in Extension oder in FABS-View-Position. Die FABS-View lässt jedoch aufgrund der besseren Ausrichtung der Ebenen zur Sehne und zur Tuberositas eine akkuratere Beurteilbarkeit der distalen Sehneninsertion zu und ist deshalb weiterhin die optimale und somit empfohlene Art der Bildgebung. Die FABS-View-Position erlaubt die akkurateste Beurteilung der distalen Bizepssehneninsertion [21].

Sonographie

Die Ultraschalldiagnostik lässt eine dynamische Beurteilung der distalen Bizepssehne zu und ist sowohl gut verfügbar als auch kostengünstig. Sie ist allerdings stark untersucherabhängig. Grundsätzlich lässt sich sonographisch der gesamte Verlauf der Sehne bis zur Tuberositas einsehen. Der anatomische Verlauf der Sehne führt bei der am häufigsten verwendeten Darstellung von ventral am extendierten, supinierten Ellbogen zur starken Anisotropie in der Sehne, da der Schallkopf nicht orthogonal zum Sehnenverlauf positioniert werden kann. Dies beeinträchtigt die Beurteilung der Sehne stark. Somit wurde am flektierten Ellbogen eine Darstellung von medial (Pronator-Window) beschrieben [22]. Hier kann der Schallkopf parallel zur Sehne positioniert werden und diese durch den M. pronator bis zur Insertion an der Tuberositas dargestellt und beurteilt werden. Im muskulotendinösen Übergang kann die Sehne bis kurz vor die distale Insertion noch besser von radial dargestellt werden (Supinator-View; [23]). Diese 2 Ebenen lassen sich zudem durch eine Darstellung von posterior ergänzen, beschrieben als Cobra-View [24]. Hierfür wird der Ellbogen 90° flektiert und der Unter-



Abb. 4 ▲ Darstellung der Single-Incision-Technik, von dorsal am proximalen Unterarm zur operativen Behandlung von Partialrupturen. Ein anteriorer Ellenbeugenzugang ist somit nicht nötig

arm in Pronation gehalten, so dass sich die Tuberositas nach posteroradial dreht. Der Schallkopf wird nun auf Höhe der Tuberositas von posteroradial, quer zum Unterarm, parallel zum Faserverlauf der distalen Bizepssehne aufgesetzt. Letztere rollt sich hier um den Radius und kann so im Insertionsbereich gut beurteilt werden.

Therapie

Konservative Behandlung

Zur konservativen Therapie liegen wenige Studien vor. In den vorhandenen Berichten der jüngeren Literatur zeigen sich auch mögliche gute und zufriedenstellenden Resultate unter konservativer Behandlung, insbesondere bei Patienten mit reduziertem Anspruch, welche bereit sind, eine eingeschränkte Kraft sowie eine allfällige Deformität des Muskelbauchs zu akzeptieren. In dieser Patientengruppe wird der Kraftverlust subjektiv manchmal gar nicht bemerkt. Eine verbleibende Einschränkung der Supinationskraft von 30–60% und der Kraftausdauer bis 80% mit auch veränderter Kinematik der Supination wurde in diesen Studien jedoch konsistent nachgewiesen [25, 26].

Bei Teilrupturen, welche weniger als die Hälfte der Sehneninsertion betreffen, wird zunächst eine konservative Behandlung

empfohlen. Es besteht kein Konsens über die Nachbehandlung. Eine initial kurzfristige, symptomatische Ruhigstellung mit Anregung zur baldigen unbelasteten Mobilisation erscheint sinnvoll. Der Erhalt oder das schnelle Wiedererlangen des vollständigen Bewegungsmaßes ist oberstes Ziel. Ergänzend kann bei Bedarf eine physiotherapeutische Beübung erfolgen. Sekundär kann aufbelastet werden und ggf. – wie bei anderen Tendinopathien – eine exzentrische Kräftigung erfolgen [27].

Infiltrationsbehandlung

In der Literatur existieren auch Berichte über erfolgreiche Behandlungen chronischer Tendinopathien, Bursitiden sowie von Reizzuständen nach Teilrupturen durch die sonographisch kontrollierte Infiltration sowohl mit plättchenreichem Plasma (PRP) als auch mit Steroiden [28].

Bei grundsätzlich erhöhtem Risiko für eine Sehnenruptur nach peritendiösen Steroidinfiltrationen [29] raten wir von der Infiltration von Kortisonpräparaten ab. Allerdings sind die Berichte von PRP-Infiltrationen vielversprechend [30]. Auch für die Infiltration ist die neurovaskuläre Dichte und deren anatomische Beziehung zur Bizepssehne eine Herausforderung. Es besteht insbesondere ein Risiko zur iatrogenen Verletzung der benachbarten A. brachialis [31].

Operative Therapie

Bei unzureichender Verbesserung der Symptomatik von Partialrupturen mit persistierenden Beschwerden ist die operative Intervention mit anfrischem Débridement oder einer Komplettierung der Läsion und folgender Reinsertion der Sehne zu empfehlen. Die Autoren bevorzugen bei der Partialläsion die Single-Incision-Technik von posterior am pronierten Unterarm (■ Abb. 4). Hierbei wird in voller Pronation die Tuberositas radii dargestellt, die distale Bizepssehne angeschlungen und diese dann komplett abgelöst. Die Tuberositas wird angefrischt und die Sehne über den gleichen Zugang refixiert. Somit ist kein riskanter Zugang in der Ellenbeuge notwendig.

Durch die operative Versorgung lässt sich sowohl bei akuter (innerhalb von 2

bis 4 Wochen posttraumatisch) wie auch chronischer *Komplettruptur* (> 4 Wochen), aber auch durch Komplettierung und Refixation einer Partialläsion eine praktisch vollständige Funktion wiederherstellen [26]. Deshalb wird in Abhängigkeit von Komorbiditäten, Ansprüchen an Kraft und Kraftausdauer sowie dem Leidensdruck bei der höhergradigen Teilläsion und der Komplettierung die operative Versorgung empfohlen. Die postprimäre Versorgung ist möglich, sie ist allerdings je nach Literatur mit einer erhöhten Komplikationsrate vergesellschaftet. Deshalb ist im Fall der operativen Versorgung die frühe definitive Entscheidung klar zu bevorzugen [32].

Für die operative Versorgung sind unterschiedliche Verfahren beschrieben. Grundsätzlich lässt sich eine eher historische Variante der extraanatomischen Fixation durch eine Tenodese der distalen Bizepssehne an die Sehne des M. brachialis von der anatomischen Refixation an der Tuberositas radii abgrenzen. Die jüngere Literatur bezeichnet jedoch auch eine Reinsertion, welche zwar an der Tuberositas erfolgt, aber nicht komplett ulnar der oben beschriebenen „bony ridge“ liegt, als extraanatomische Fixation an der Tuberositas.

Für die anatomische Reinsertion an der Tuberositas lassen sich Verfahren über einen einzelnen ventralen Zugang („single incision“) von solchen über eine Kombination mit einem zusätzlichen posterioren Zugang („double incision“) abgrenzen. Es bestehen unterschiedliche ossäre Fixationsstrategien. Diese können in Onlay-Verfahren mit Fixation der Sehne auf die Tuberositas und sog. Inlay-Verfahren unterschieden werden, wobei die Sehne in einen Knochenkanal intraossär eingezogen wird. Des Weiteren kann die Reinsertion über einen Fixationspunkt oder zum Wiederherstellen der Ausrichtung der beiden Sehnenanteile (langer/kurzer Kopf) über eine 2-Punkt-Fixation erfolgen.

Darüber hinaus bestehen unterschiedliche Verankerungsmöglichkeiten:

- Fadenanker: Metall oder All-Suture
- Plättchentechnik (z. B. Bizepsbutton [Arthrex, Naples, FL, USA] oder Endobutton [Smith&Nephew, MA, USA])
 - Monokortikal, intramedullär oder

- bikortikale Verankerung mit einem Sackloch und intraossärem Einzug der Sehne mit oder ohne zusätzliche Interferenzschraube
- Transossäre Nähte

Bei chronisch stark retrahierter und degenerierter Sehne kann in der Regel eine Refixation in maximaler Ellbogenflexion erfolgen. Die Patienten beüben dann in den postoperativen Wochen sukzessive die Extension. Sollte auch in vermehrter Flexion keine Refixation möglich sein, ist eine Graftaugmentation nötig. Diese kann mittels auto-/allogener Semitendinosussehne oder meist mit einem allogenen Achillessehnengraft erfolgen.

Die verschiedenen Fixationen wurden betreffend ihrer biomechanischen Eigenschaften und Ausreißkräfte ausführlich untersucht. Die Fixation mittels Plättchenfixation (440 N) weist die höchste Bruchlast auf, gefolgt von der Fixation mittels Fadenankern (381 N) sowie transossären Nähten (310 N). Die geringste Ausreißkraft zeigt die Fixation über eine Interferenzschraube (232 N), hingegen weist diese Art der Fixation das geringste Gapping auf (Auf-treten einer Lücke zwischen Sehne und Knochen; [33]).

Chirurgische Anatomie der Fossa cubiti

In der Fossa cubiti besteht eine hohe Dichte neurovaskulärer Strukturen mit auch individueller Varianz. Oberflächlich muss je nach Schnittführung und individueller Aufzweigung ein Seitenast der V. mediana cubiti ligiert werden. Im Bereich des Unterarms beschreibt die radiale Begrenzung der distalen Bizepssehne eine relativ sichere Zone. Nach proximal liegt die V. cephalica und der N. cutaneus antebrachii lateralis („lateral antebrachial cutaneous nerve“, LACN) in unmittelbarer Nähe zum radialen Rand der Bizepssehne und muss vor allem bei chronisch retrahierter und vernarbter Situation dargestellt und geschont werden. Insbesondere der LACN läuft Gefahr, durch den Hakenzug in seiner Funktion kompromittiert zu werden. Dies entspricht der häufigsten Komplikation des Eingriffs. Der N. radialis liegt weiter radial und ist weniger gefährdet. Nach distal teilt sich dieser in den Ramus superficia-

lis und den Ramus profundus auf. Letzterer ist im englischen Sprachraum besser bekannt als „posterior interosseous nerve“ (PIN). Er zieht nach radial dem Radius Hals entlang und tritt hier unter der Frohse-Arkade in den M. supinator ein. Bei der bikortikalen Plättchenverankerung ist er hier beim Durchbohren der Kortikalis wie auch durch das Plättchen selbst potenziell gefährdet. Er kann aber auch durch Hakenkompression oder das Aufsetzen eines Hohmann-Hebels radiallyseitig am Radius Hals bei einem ventralen Zugang geschädigt werden.

Posteromedial der Bizepssehne, unter dem Laceratus fibrosus, läuft das Haupt-Nerven-Gefäßbündel mit der A. brachialis, der V. basilica und dem N. medianus. Als Variante kann die A. brachialis auch direkt posterior des Bizeps liegen. Distal des Laceratus taucht die distale Bizepssehne in die Tiefe und zieht an die Tuberositas. Hierbei zieht sie unter die A. radialis, welche dort vom Übergang der A. brachialis in die A. ulnaris abzweigt und nach distal unter den M. brachioradialis zieht. Knapp proximal der Tuberositas (4–15 mm proximal der Tuberositas) queren bei manchen Individuen einer, manchmal mehrere, Recurrenssäste der A. radialis, ventral über die distale Bizepssehne und ziehen zurück nach proximal. Diese müssen ggf. ligiert werden, wodurch auch eine bessere Mobilisierung der A. radialis nach ulnar gelingt.

In der *Single-Incision-Technik* erfolgt ein Zugang von ventral. Es sind unterschiedliche Schnittführungen beschrieben. Die Autoren dieses Beitrags verwenden meist eine Querinzision ca. 2 fingerbreit distal der Beugefalte im Verlauf der Hautspaltlinien auf Höhe der Tuberositas. Unter ausreichender Flexion im Ellbogen und Mobilisation des Zugangs nach proximal kann der Sehnenstumpf gefasst werden. Andernfalls, z. B. bei einer chronischen Ruptur mit Retraktion, muss eine proximale Zweitinzision ergänzt werden, um den Sehnenstumpf zu mobilisieren. Eine ausreichende Darstellung der Tuberositas kann mit erheblichem Hakenzug einhergehen, was wiederum mit einem erhöhten Risiko für neurologische Komplikationen vergesellschaftet ist.

Als Limitation dieses Zugangs gilt, dass eine komplett anatomische Reinsertion, ulnar der „bony ridge“, auch unter maxima-

ler Supination allein von ventral unmöglich ist. Um eine anatomische Refixation an die Tuberositas zu erreichen, ist ein Vorgehen in Double-Incision-Technik mit einem zweiten posterioren Zugang nötig.

Bei der *modifizierten Double-Incision-Technik* [34] wird ebenfalls ein ventraler Zugang durchgeführt und sowohl der Sehnenstumpf wie auch die Tuberositas dargestellt. Nun kann in supinierter Stellung eine Klemme auf die Tuberositas aufgelegt und unter Durchführung einer Pronation, interossär unter stetigem Kontakt zur Tuberositas, nach posterior durchgeführt werden. Hier kann die Klemme von posteroradial palpirt und unter Eingehen auf die Klemme ein entsprechender posteriorer Zugang durchgeführt werden. Dabei wird das Intervall zwischen Extensor digitorum communis und Extensor carpi ulnaris angestrebt und der darunterliegende M. supinator im Faserverlauf gespalten werden. Das Ausmass des Supinator-Split gilt es zu minimieren, da der Split eine fettige Atrophie des M. Supinator mit sich bringt [35].

» Kontakt zur Ulna gilt es zu vermeiden, da ein stark erhöhtes Risiko für heterotope Ossifikationen besteht

Einen Kontakt zur Ulna gilt es unbedingt zu vermeiden, da hiervon ein stark erhöhtes Risiko für heterotope Ossifikationen ggf. mit Ausbildung einer radioulnaren Synostose ausgehen kann. Der Unterarm befindet sich nun in pronierter Stellung, womit sich auch der Verlauf des PIN nach ventral verlagert. In Pronation ist die Tuberositas radii deutlich sichtbar.

Double- vs. Single-Incision-Technik

Vorteile und Komplikationen

Beide Operationsverfahren sind ausführlich untersucht und beschrieben. Sie erlauben gute klinische Resultate mit jeweils spezifischen Vor- und Nachteilen sowie eigenem Risikoprofil.

Übersichtsarbeiten und Metaanalysen der vergangenen Jahre konnten keine Überlegenheit der einen oder anderen Methode herausarbeiten. Sie konnten jedoch klar aufzeigen, dass die operative

Hier steht eine Anzeige.



Tab. 1 Vergleichende Aufstellung zu Outcomes und Komplikationen aus 3 verschiedenen Studien							
Outcome und Komplikationen nach Zugang							
	Grewal 2012 [36] n = 91		Dunphy 2017 [37] n = 784		Cuzzolin 2021 [26] n = 1380		
	SI n = 47	DI n = 43	SI n = 639	DI n = 145	SI n = 708	DI n = 459	Konservativ n = 2013
Outcome							
DASH & Mayo Elbow Performance Index	≈	≈	kA	kA	≈	≈	DASH 8,5 Mayo. 7,3 weniger als Op.
ROM F/E	k. A.	k. A.	F/E 132,9°	F/E 129,4	≈	≈	≈
ROM P/S	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	81,5°	76,1°	k. A.
Flexionskraft Ratio zum Gegenarm	94 %	104 %	k. A.	k. A.	94,7 % SI vs. DI ≈		83 %
Supinationskraft Ratio zum Gegenarm	≈	≈	k. A.	k. A.	89,3 % SI vs. DI ≈		62,7 %
Komplikationen							
Gesamtkomplikationsrate	k. A.	k. A.	36 %		k. A.	k. A.	1 Steifheit
Reoperationsrate	k. A.	k. A.	2,3 %	8,3 %	k. A.	k. A.	–
LACN-Läsion	40 %	7 %	24,4 %	4,1 %	~10 %	5,1 %	–
Nervenläsionen ohne transiente LACN-Läsionen	7 %	0 %	5,8 %	6,9 %	k. A.	k. A.	–
PIN-Läsion	0	0	0,8 %	3,4 %	1,8 %	1,2 %	–
Heterotope Ossifikationen	1	1	2,7 %	7,6 %	11 %	9 %	–
Reruptur	3	1	1,3 %	2,8 %	k. A.	k. A.	–
Infektion	1	0	1,3 %	2,8 %	k. A.	k. A.	–

DI „double incision“, LACN N. cutaneus antebrachii lateralis, PIN N. interosseus posterior, ROM Bewegungsumfang, F/E Flexion/Extension, P/S Pronation/Supination, SI „single incision“, ≈ keine signifikante Differenz, k. A. keine Angaben

Versorgung verglichen mit der konservativen Ausbehandlung die besseren funktionellen Ergebnisse ermöglicht [25, 26]. In **Tab. 1** ist eine vergleichende Aufstellung zu Outcomes und Komplikationen aus 3 Studien aufgeführt.

Die randomisierte Studie von Grewal et al. zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Verfahren betreffend PROM („patient-reported outcome measures“) bei auch biomechanisch vergleichbarer isometrischer Kraft in Pronation und Supination, jedoch etwas besserer Kraft in endgradiger Flexion nach Double-Incision-Versorgung [36]. Dennoch gibt es Hinweise, dass eine ausreichend ulnare Reinsertion, eine verbesserte Kraft in endgradiger Supination ermöglicht [35]. Eine entsprechend ulnare Reinsertion und somit anatomische Refixation ist nur über eine Double-Incision-Versorgung möglich. Gemäß einer Kadaverstudie von Hasan et al. [38] weist ein Sackloch, welches über einen ventralen, Single-Incision-Zugang gebohrt wird, nur 10 % Überlappung mit dem anatomischen Footprint auf. Demgegenüber zeigt ein Knochenkanal über

einen posterioren Zugang (bei Double-Incision-Technik) eine Überlappung mit dem Footprint von ca. 75 %.

Die Metaanalyse von Cuzzolin [26] zeigt bezüglich Nervenläsionen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zugängen. Die häufigste Komplikation des Eingriffs ist eine transiente Nervenläsion, angegeben in 11 % der Fälle, welche vorwiegend den LACN betrifft und sich häufig innert 1–6 Monaten erholt. Nur in 1,5 % der Fälle bleiben persistierende Nervenläsionen. Das Risiko für eine Läsion des PIN ist deutlich geringer mit 1,6 % angegeben. Es ist jedoch aufgrund des motorischen Ausfalls des Radialisastes eine gravierende Komplikation mit großer klinischer Relevanz.

Die zweithäufigste Komplikation ist das Auftreten von heterotopen Ossifikationen, angegeben in 2–30 % der Fälle. Diese Komplikation war historisch assoziiert mit einem Double-Incision-Zugang nach Boyd-Anderson. Seit der Modifikation nach Morrey mit Anpassung des ursprünglichen Vorgehens nach Boyd-Anderson zu einem „muscle split“ unter

Schonung des ulnaren Periosts haben sich diese Zahlen deutlich reduziert [2, 34]. Auch der Verschluss des Bohrlochs könnte auf die Entwicklung von heterotopen Ossifikationen einen relevanten Einfluss haben. So variiert die Rate von heterotopen Ossifikationen (HO) in der Untersuchung von Dunphy von „double incision“ (7,6 %) zu „single incision“ (4,1 %). Bei Single-Incision-Versorgung mittels additiver Interferenzschraube (1,2 %) oder Verwendung von Fadenankern (1,9 %) reduzieren sich die Fälle von HO weiter. Dies lässt sich evtl. durch einen besseren Abschluss des Markraums erklären. Bei Single-Incision-Versorgung über einen kortikalen Button ohne Verschluss durch eine Interferenzschraube wurde das Auftreten der heterotopen Ossifikationen doch auch in 4,7 % der Fälle beobachtet [37].

Hinsichtlich des Auftretens von heterotopen Ossifikationen zeigt die Einnahme von nichtsteroidalen Antirheumatika (NSAR) protektive Eigenschaften. Insbesondere im Bereich der Hüftprothesenversorgung konnte von diesem Effekt berich-

tet werden [39]. So ist es vielerorts üblich, auch nach einer distalen Bizepssehnenreinsertion eine entsprechende Ossifikationsprophylaxe zu verabreichen. Explizit zu diesem Eingriff besteht in der Literatur kein klarer Konsens. So zeigte sich in der Untersuchung von Hudson et al. [40] kein signifikanter Unterschied betreffend das Auftreten einer HO mit oder ohne NSAR-Einnahme. Paradoxiere sogar ein gering höheres Auftreten von HO in der Indomethacin-Gruppe. Im eigenen Vorgehen wird bei Abwesenheit relevanter Kontraindikationen allerdings eine entsprechende Prophylaxe angewendet.

Rupturen sind eine seltene Komplikation (1,8%) und in aller Regel auf Malcompliance oder einen Sturz in der frühen Heilungsphase zurückzuführen [36]. Auch die Fraktur des proximalen Radius als Risiko eines großen Bohrkanals ist sehr selten (0,12%, [37, 41]), aber wegen der problematischen Versorgung eine gefürchtete Komplikation. In der Literatur finden sich diesbezüglich wenig Angaben. Insbesondere beim Einzug der Sehne in den Knochenkanal und zusätzlicher Interferenzschraubenfixation besteht ein großes Bohrloch, welches im Verlauf wegen der einliegenden Sehnen auch nicht wieder verknöchert und somit eine verbleibende Schwächung des Radius darstellt. Zudem wurde bei der Interferenzschraube über das Auftreten von Osteolysen berichtet [42]. Die Infektionsrate wird mit 1,5% angegeben [37].

Endoskopische Verfahren

Neben den diskutierten Versorgungsvarianten gibt es neuere Berichte und Beschreibungen von endoskopischen Techniken [43–46]. Dieses Vorgehen ermöglicht eine bessere Einsicht und Beurteilung bei Teiltrupturen mit auch bestehender Möglichkeit zur Dokumentation. Die Endoskopie wurde im flüssigen oder gasförmigen Medium beschrieben. Aktuell wird diese jedoch selten durchgeführt, könnte aber in Zukunft eine wichtige Behandlungsmöglichkeit darstellen.

Zur *Nachbehandlung* besteht kein Konsens. Häufig erfolgt eine initiale Ruhigstellung über 1 Woche in 90° Flexion und neutraler Unterarmrotation, gefolgt von einer schrittweisen Steigerung des

Bewegungsausmaßes mittels artikulierter Schiene oder assistierter Nachbehandlung aus der Schiene heraus. Es existieren auch Berichte über die Nachbehandlung ohne Ruhigstellung bei Versorgung mittels kortikalem Button ohne Hinweise für erhöhte Rerupturraten [47]. Nach 6 Wochen wird meist eine freie aktive Mobilisation mit limitierter Belastung erlaubt und ab 3 Monaten in die freie Aufbelastung übergegangen. Somit ist der Einstieg in Sport oder Beruf mit einer relevanten Belastung ab 3–5 Monaten realistisch. Es gibt kaum Berichte über Rerupturen nach 3 Monaten [48]. Die Autoren bevorzugen eine Bewegungsorthese in 90–30–0°-Stellung (F/E) für die ersten 2 Wochen und danach freie Flexion und Extension (F/E) für weitere 4 Wochen in der Orthese, um die Reparatur zu schützen, da die Patienten aufgrund von geringen Schmerzen eher zu großen Belastungen tendieren.

Fazit für die Praxis

- Durch eine präzise Anamnese und eine gute klinische Untersuchung unter Kombination von Hook-Test- und Bizeps-Provokationstests sowie in der schmerzhaften Akutphase auch dem passiven Supination-Pronation-Test lassen sich Verletzungen der distalen Bizepssehne sehr gut diagnostizieren.
- Ergänzend ist eine gute Beurteilung von Ellbogenstabilität und Nervenfunktion von großer Wichtigkeit.
- Insbesondere bei Teilläsionen, chronischen Rupturen oder der Bursitis bicipitoradialis kommt der spezifischen Bildgebung *FABS-View* in der Magnetresonanztomographie (MRT) eine wichtige Rolle zu.
- Beim aktiven Patienten lässt sich durch die zeitnahe operative Versorgung das beste funktionelle Resultat erreichen.
- Die aktuelle Literatur ergibt keine klare Überlegenheit einer spezifischen Operationstechnik.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Claudio Rosso
ARTHRO Medics
Thannerstr. 45, 4054 Basel, Schweiz
c.rosso@arthro.ch

Förderung. Dr. med. Kushtrim Grezda erhält einen Grant vom Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation, Departement des Inneren, Schweiz mit der Nummer 2021.0015.

Funding. Open access funding provided by University of Basel

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Engler, K. Grezda und C. Rosso geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

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

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Booth SM, Abosala A, Peach C (2017) Anterior elbow pain caused by compression of the lateral antebraclial cutaneous nerve. *J Orthop Case Reports* 7(5):63–66. <https://doi.org/10.13107/jocr.2250-0685.898>
2. Kodde IF, Baerveldt RC, Mulder PGH, Eygendaal D, van den Bekerom MPJ (2016) Refixation techniques and approaches for distal biceps tendon ruptures: a systematic review of clinical studies. *J Shoulder Elbow Surg* 25(2):e29–e37. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2015.09.004>
3. Debnath D, Wallace S, Mylona E, Myint F (2007) Aneurysm of antecubital vein: an unusual complication of peripheral intravenous cannulation. *BMC Surg* 7:9. <https://doi.org/10.1186/1471-2482-7-9>
4. Safran M, Graham S (2002) Distal biceps tendon ruptures: Incidence, demographics, and the effect of smoking. *Clin Orthop Relat Res* 404:275–283
5. Kelly MP, Perkinson SG, Ablove RH, Tueting JL (2015) Distal biceps tendon ruptures: an epidemiological analysis using a large population database. *Am J Sports Med* 43(8):2012–2017. <https://doi.org/10.1177/0363546515587738>
6. Koch S, Tillmann B (1995) The distal tendon of the biceps brachii. *Anat Anz* 177(5):467–474. [https://doi.org/10.1016/S0940-9602\(11\)80155-X](https://doi.org/10.1016/S0940-9602(11)80155-X)
7. Nyland J, Causey B, Wera J, Krupp R, Tate D, Gupta A (2017) Distal biceps brachii tendon repair: a systematic review of patient outcome determination using modified Coleman methodology score criteria. *Knee Surg Sports Traumatol Ar-*

Rupture of the distal biceps tendon

Rupture of the distal biceps tendon is an injury most frequently occurring in middle-aged men (30–50 years). The typical mechanism is an eccentric load on the supinated forearm in a slightly flexed elbow position. There is an association with power sports and physically demanding activities. Epidemiological data show an increase in frequency in recent decades. Risk factors, such as the use of anabolic steroids, power sports and nicotine abuse, show an association with the injury. For less demanding patients or relevant comorbidities, a good functional result can be achieved with conservative treatment with subjectively good patient satisfaction; however, a relevant reduction in supination (40%) and flexion strength (20%) is to be expected. An operative refixation enables the best functional outcome to be achieved; however, surgical treatment is accompanied by a not inconsiderable risk for complications.

Keywords

Elbow · Distal biceps rupture · Pathogenesis · Examination · Therapy

- thosc 25(7):2293–2297. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3899-7>
8. Eames MHA, Bain GI, Fogg QA, van Riet RP (2007) Distal biceps tendon anatomy: a cadaveric study. *J Bone Joint Surg Am* 89(5):1044
 9. Mazzocca AD, Cohen M, Berkson E, Nicholson G, Carofino BC, Arciero R, Romeo AA (2007) The anatomy of the bicipital tuberosity and distal biceps tendon. *J Shoulder Elbow Surg* 16(1):122–127. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2006.04.012>
 10. Seiler JG, Parker LM, Chamberland PDC, Sherbourne GM, Carpenter WA (1995) The distal biceps tendon: two potential mechanisms involved in its rupture: arterial supply and mechanical impingement. *J Shoulder Elbow Surg* 4(3):149–156. [https://doi.org/10.1016/S1058-2746\(05\)80044-8](https://doi.org/10.1016/S1058-2746(05)80044-8)
 11. Bhatia DN, Kandhari V, DasGupta B (2017) Cadaveric study of insertional anatomy of distal biceps tendon and its relationship to the dynamic proximal radioulnar space. *J Hand Surg Am* 42(1):e15–e23. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2016.11.004>
 12. Miyamoto RG, Elser F, Millett PJ (2010) Distal biceps tendon injuries. *J Bone Joint Surg Am* 92(11):2128–2138. <https://doi.org/10.2106/JBJS.101213>
 13. ElMaraghy A, Devereaux M, Tsoi K (2008) The biceps crease interval for diagnosing complete distal biceps tendon ruptures. *Clin Orthop Relat Res* 466(9):2255–2262. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0334-0>
 14. Kapicioglu M, Bilgin E, Guven N, Pulatkan A, Bilsel K (2021) The role of deadlifts in distal biceps brachii tendon ruptures: an alternative mechanism described with youtube videos. *Orthop J Sports Med* 9(3):2325967121991811. <https://doi.org/10.1177/2325967121991811>
 15. Lappen S, Siebenlist S, Kadantsev P, Hinz M et al (2022) Distal biceps tendon ruptures occur with the almost extended elbow and supinated forearm—an online video analytic study. *BMC Musculoskelet Disord* 23:599. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05546-9>
 16. O'Driscoll SW, Goncalves LBJ, Dietz P (2007) The hook test for distal biceps tendon avulsion. *Am J Sports Med* 35(11):1865–1869. <https://doi.org/10.1177/0363546507305016>
 17. Pallante G, O'Driscoll S (2019) Return of an intact hook test result: clinical assessment of biceps tendon integrity after surgical repair. *Orthop J Sports Med* 7:2325967119827311. <https://doi.org/10.1177/2325967119827311>
 18. Metzman LS, Tivener KA (2015) The supination-pronation test for distal biceps tendon rupture. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 44(10):E361–364
 19. Caekebeke P, Schenkels E, Bell SN, van Riet R (2021) Distal biceps provocation test. *J Hand Surg Am* 46(8):e1–710.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2020.12.012>
 20. Freisleder F, Papillo D, Glanzmann M, Scheibel M (2020) Distale Bizepssehnen- und Trizepssehnenrupturen. *Z Orthop Unfall* 158(06):663–682. <https://doi.org/10.1055/a-0999-8250>
 21. Schenkels E, Caekebeke P, Swinnen L, Peeters J, van Riet R (2020) Is the flexion-abduction-supination magnetic resonance imaging view more accurate than standard magnetic resonance imaging in detecting distal biceps pathology? *J Shoulder Elbow Surg* 29(12):2654–2660. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2020.05.014>
 22. Smith J, Finnoff JT, O'Driscoll SW, Lai JK (2010) Sonographic evaluation of the distal biceps tendon using a medial approach: the pronator window. *J Ultrasound Med* 29(5):861–865. <https://doi.org/10.7863/jum.2010.29.5.861>
 23. Brigidio M, Maeseener M, Jacobson J, Jamadar D, Morag Y, Marcellis S (2009) Improved visualization of the radial insertion of the biceps tendon at ultrasound with a lateral approach. *Eur Radiol* 19:1817–1821. <https://doi.org/10.1007/s00330-009-1321-x>
 24. Giuffrè B, Lisle D (2005) Tear of the distal biceps brachii tendon: a new method of ultrasound evaluation. *Australas Radiol* 49(5):404–406. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1673.2005.01469.x>
 25. Berthold D, Münch L, Cusano A, Uyeki C, Slater M, Tamburini L et al (2021) Clinical and functional outcomes after operative and nonoperative treatment of distal biceps brachii tendon ruptures in a consecutive case series. *Orthop J Sports Med*. <https://doi.org/10.1177/2325967120984841>
 26. Cuzzolin M, Secco D, Guerra E, Altamura SA, Filardo G, Candrian C (2021) Operative versus nonoperative management for distal biceps brachii tendon lesions: a systematic review and meta-analysis. *Orthop J Sports Med* 9(10):23259671211037310. <https://doi.org/10.1177/23259671211037311>
 27. Irby A, Gutierrez J, Chamberlin C, Thomas SJ, Rosen AB (2020) Clinical management of tendinopathy: a systematic review of systematic reviews evaluating the effectiveness of tendinopathy treatments. *Scandinavian Med Sci Sports* 30(10):1810–1826. <https://doi.org/10.1111/sms.13734>
 28. Lee JH, Kim KC, Lee JH, Ahn KB, Rhyou IH (2018) A case series of symptomatic distal biceps tendinopathy. *Clin Shoulder Elb* 21(4):213–219. <https://doi.org/10.5397/cise.2018.21.4.213>
 29. Lipman K, Wang C, Ting K, Soo C, Zheng Z (2018) Tendinopathy: injury, repair, and current exploration. *Drug Des Devel Ther* 12:591–603. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S154660>
 30. Sanli I, Morgan B, van Tilborg F, Funk L, Gosens T (2016) Single injection of platelet-rich plasma (PRP) for the treatment of refractory distal biceps tendinitis: long-term results of a prospective multicenter cohort study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24(7):2308–2312. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3465-8>
 31. Sellon JL, Wempe MK, Smith J (2014) Sonographically guided distal biceps tendon injections: techniques and validation. *J Ultrasound Med* 33(8):1461–1474. <https://doi.org/10.7863/ultra.33.8.1461>
 32. Thiele K, König L, Kerschbaum M, Hedgecock J, Paksoy A, Scheibel M, Gerhardt C (2022) Clinical outcomes after refixation of subacute repaired distal biceps tendon ruptures. *JSES Int* 6(3):523–529. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2021.12.004>
 33. Sethi MP, Obopilwe M et al (o. J.) Biomechanical evaluation of distal biceps reconstruction with cortical button and interference screw fixation
 34. Kelly EW, Morrey BF, O'Driscoll SW (2000) Complications of repair of the distal biceps tendon with the modified two-incision technique. *J Bone Joint Surg* 82(11):1575–1581. <https://doi.org/10.2106/00004623-200011000-00010>
 35. Schmidt CC, Brown BT, Qvick LM, Stacowicz RZ, Latona CR, Miller MC (2016) Factors that determine supination strength following distal biceps repair. *J Bone Joint Surg Am* 98(14):1153–1160. <https://doi.org/10.2106/JBJS.15.01025>
 36. Grewal R, Athwal GS, MacDermid JC, Faber KJ, Drosdowech DS, El-Hawary R, King GJW (2012) Single versus double-incision technique for the repair of acute distal biceps tendon ruptures: a randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am* 94(13):1166–1174. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.00436>
 37. Dunphy T, Hudson J, Batech M, Acevedo D, Mirzayan R (2017) Surgical treatment of distal biceps tendon ruptures: an analysis of complications in 784 surgical repairs. *Am J Sports Med* 45:36354651772020. <https://doi.org/10.1177/0363546517720200>
 38. Hasan SA, Cordell CL, Rauls RB, Bailey MS, Sahu D, Suva LJ (2012) Two-incision versus one-incision repair for distal biceps tendon rupture: a cadaveric study. *J Shoulder Elbow Surg* 21(7):935–941. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2011.04.027>
 39. Fransen M, Anderson C, Douglas J, MacMahon S, Neal B, Norton R, HIPAID Collaborative Group. (2006) Safety and efficacy of routine postoperative ibuprofen for pain and disability related to ectopic bone formation after hip replacement surgery (HIPAID): randomised controlled trial. *BMJ* 333(7567):519. <https://doi.org/10.1136/bmj.38925.471146.4F>
 40. Hudson J, Dunphy TR, Butler RK, Mirzayan R (2018) Indomethacin does not reduce heterotopic ossification in two-incision distal biceps repairs.

- Orthop J Sports Med 6(7):2325967118S00152. <https://doi.org/10.1177/2325967118S00152>
41. Badia A, Sambandam SN, Khanchandani P (2007) Proximal radial fracture after revision of distal biceps tendon repair: a case report. *J Shoulder Elbow Surg* 16(2):e4–e6. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2005.12.013>
 42. Oak NR, Lien JR, Brunfeldt A, Lawton JN (2018) Biomechanics of the proximal radius following drilling of the bicipital tuberosity to mimic cortical button distal biceps repair technique. *Hand (NY)* 13(3):331–335. <https://doi.org/10.1177/1558944717701236>
 43. Phadnis J, Bain G (2015) Endoscopic-assisted distal biceps footprint repair. *Tech Hand Up Extrem Surg* 19(2):55–59. <https://doi.org/10.1097/BTH.000000000000078>
 44. Vandenberghe M, van Riet R (2016) Distal biceps ruptures: open and endoscopic techniques. *Curr Rev Musculoskelet Med* 9(2):215–223. <https://doi.org/10.1007/s12178-016-9330-2>
 45. Caekebeke P, Galatz L, van Riet R (2020) Accuracy and safety of the endoscopic repair of the distal biceps : a cadaveric study. *Acta Orthop Belg* 86(4):711–716
 46. Bhatia DN (2021) Endoscopic anatomy of distal biceps tendon insertion and bicipitoradial bursa: a cadaveric study. *J Shoulder Elbow Surg* 30(8):1759–1767. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2020.11.033>
 47. Bergman JW, Silveira A, Chan R, Lapner M, Hildebrand KA, LeILD et al (2021) Is immobilization necessary for early return to work following distal biceps repair using a cortical button technique?: a randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 103(19):1763–1771. <https://doi.org/10.2106/JBJS.20.02047>
 48. Kruger N, Phadnis J, Bhatia D, Amarasooriya M, Bain GI (2020) Acute distal biceps tendon ruptures: anatomy, pathology and management—state of the art. *J ISAKOS* 5(5):304–313. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2019-000279>