



Aktuelle Therapie von Beugesehnenverletzungen

U. M. Kraneburg, K. Megerle

Sektion Handchirurgie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München

Beugesehnenverletzung – Wide-awake-Technik – Handverletzung – Sehnenverletzung

chirurgische praxis 85, 1–9 (2019)
Mediengruppe Oberfranken –
Fachverlage GmbH & Co. KG

■ Einleitung

Sehnenverletzungen im Bereich der Hand und des Unterarms sind häufig [1, 2]. Zwar werden sie meist richtig erkannt, jedoch häufig in der Komplexität unterschätzt [1]. Das Verletzungsausmaß kleinerer Stichverletzungen ist nicht immer auf den ersten Blick erkennbar. Eine Studie von Tuncali et al. zeigt, dass Sehnenverletzungen zu 54,8 % bei Patienten schon mit einer kleinen Lazeration auftreten. Von den betroffenen Patienten zeigen 92,5 % zusätzliche Begleitverletzungen der Nerven und Arterien [3].

Der Erfolg der Beugesehnenchirurgie ist nicht nur abhängig von der Nahttechnik oder einer besonderen Nachbehandlung. Viele Details während der gesamten Behandlungsdauer wirken sich auf das Ergebnis aus. Wir empfehlen daher, Handverletzungen einem Handchirurgen vorzustellen, da ungünstige Primärergebnisse häufig vermeidbar und in der Regel sehr schwer zu korrigieren sind.

In dieser Übersichtsarbeit sollen neue Aspekte sowie mögliche Schwierigkeiten bei der Behandlung von Beugesehnenverletzungen bei der Versorgung dargelegt werden.

■ Präoperative Untersuchungen

Eine sorgfältige Anamnese und eine eingehende präoperative klinische Untersuchung sind unerlässlich. Der zugrunde liegende Mechanismus des Traumas gibt bereits wichtige Informationen zur Einschätzung der Verletzung. Bei stumpfen Traumata kommt es eher zu Sehnausrissen und Quetschverletzungen, wohingegen bei spitzen Verletzungen mit der glatten Durchtrennung von Gefäßen, Nerven und Sehnen zu rechnen ist. Während der präoperativen Untersuchung der Hand müssen Sensibilität, Motorik und Durchblutung überprüft werden. Ergänzend kann ein Röntgenbild zum Ausschluss einer knöchernen Beteiligung oder Inkorporation eines Fremdkörpers durchgeführt werden.

Zur Untersuchung der Beugesehnen erfolgt die isolierte Prüfung der Sehnen des M. flexor

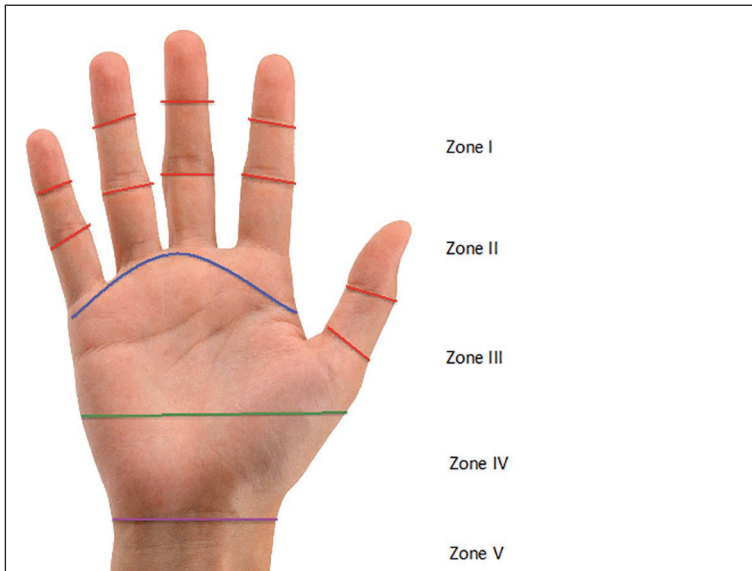


Abb. 1 | Zoneneinteilung

digitorum superficialis (FDS), M. flexor digitorum profundus (FDP) und M. flexor pollicis longus. Die FDP-Sehne ist leicht zu testen. Zur Untersuchung fixiert der Chirurg die mittlere Phalanx und fordert den Patienten auf, die distale Phalanx zu beugen. Die FDS-Sehne wird isoliert untersucht, indem die nicht involvierten Finger durch den Untersucher in Streckung gehalten werden und der Patient angehalten wird, den betroffenen Finger zu beugen.

Die Untersuchung der Beugesehnen ist eine rein klinische Untersuchung. Bei Verdacht auf eine Beugesehnenverletzung besteht die Indikation zur operativen Exploration. Weitere apparative Untersuchungen sind in der Regel nicht notwendig. In speziellen Fällen, wie z. B. bei älteren Sehnenverletzungen, ist die klinische Untersuchung manchmal nicht eindeutig. In diesen Fällen kann eine ergänzende Ultraschall- oder MRT-Diagnostik sinnvoll sein [4–6].

■ Einteilung von Beugesehnenverletzungen

Beugesehnenverletzungen werden anhand ihrer Lokalisation in Zonen (► Abb. 1) eingeteilt. Je

nach Zone können unterschiedliche operative technische Schwierigkeiten in der Versorgung auftreten.

Läsionen in Zone 1 entsprechen ansatznahen Verletzungen der tiefen Fingerbeugesehne. Wenn der distale Sehnenstumpf weniger als 1 cm lang ist, ist in der Regel eine primäre Refixation an den Knochen indiziert. Wenn mehr als 1 cm Sehnenstumpf für die Naht zur Verfügung steht, kann eine direkte Sehnennaht erfolgen. Sollte es zu einer Verkürzung der Beugesehne um mehr als 1 cm kommen, kann dies zu dem sogenannten »Quadriga«-Phänomen führen [7]. Anatomisch teilen sich die tiefen Fingerbeugesehnen einen gemeinsamen Muskelbauch und bilden somit eine funktionelle Einheit. Das »Quadriga«-Phänomen wurde von Verdan im Jahre 1960 in Analogie zu einem vierspännigen römischen Streitwagen beschrieben [7]. Eine verminderte Beweglichkeit in einem Finger führt somit zu einer verminderten Flexion in den anderen drei Fingern [7].

Die Behandlung von Beugesehnenverletzungen in Zone 2 stellt eine besondere chirurgische Herausforderung dar. Die anatomische Schwierigkeit besteht in der engen räumlichen Nähe der

oberflächlichen und tiefen Beugesehnen sowie deren Sehnnenscheiden [8]. 1948 wurde von Sterling Bunnell für diese Zone daher der Begriff Niemandland (»no man's land«) geprägt [8], da bis in die 1960er-Jahre Beugesehnenverletzungen in diesem Bereich unweigerlich mit katastrophalen funktionellen Ergebnissen verbunden waren. Durch die Weiterentwicklung von Operationstechniken und Nachbehandlungsmöglichkeiten kann heute eine direkte Naht durchgeführt werden. Diese erfordert jedoch eine besondere chirurgische Expertise, so kann es z. B. aufgrund der besonderen anatomischen Situation sinnvoll sein, auf die Naht einer der beiden Beugesehnen zu verzichten, um Verklebungen zu vermeiden.

Verletzungen der Zonen 3–5 sind in der Regel unproblematisch und können mit einer direkten Naht und gegebenenfalls mit einer einfachen Ruhigstellung behandelt werden.

■ Das Zeitfenster für die operative Versorgung

Eine wissenschaftlich belegte Empfehlung zum optimalen Zeitpunkt der operativen Versorgung liegt aufgrund unzureichender klinischer Daten nicht vor. Die Arbeitsgruppe von Stone und Davidson konnte zeigen, dass zumindest in Hinsicht auf die postoperative Infektionsrate keine Nachteile durch eine Versorgung innerhalb der ersten Woche entstehen [9]. Auch ein funktioneller Nachteil konnte nicht nachgewiesen werden.

In der Praxis ist eine sofortige Versorgung der Beugesehnenverletzung somit nicht zwingend erforderlich, solange Sensibilität und Durchblutung des Fingers nicht beeinträchtigt sind. Liegt eine isolierte Beugesehnenverletzung vor, streben wir eine operative Versorgung üblicherweise innerhalb von 24 Stunden an.

Die direkte Sehnennaht nach 3–4 Wochen nach der Verletzung ist erschwert durch eine zunehmende Degeneration und Retraktion der Sehnenenden sowie Narben- und Adhäsionsbildung [10, 11]. Sie geht mit gehäuft schlechten Ergebnis-

sen einher und sollte nach Möglichkeit vermieden werden. In diesem Fall kann eine sekundäre Sehnenrekonstruktion erforderlich sein.

■ Die operative Versorgung

Die adäquate Versorgung einer Beugesehnenverletzung wird unter kontrollierten Bedingungen im Operationssaal mit Anästhesie (Wide-awake-Technik, Plexusanästhesie oder Vollnarkose) sowie mit Unterstützung eines Assistenten durchgeführt. Da es sich vornehmlich um Stich- und Schnittverletzungen handelt, sind Begleitverletzungen häufig. Betreffen diese Gefäße und Nerven, sind weitere Ressourcen wie zum Beispiel Mikroskop, mikrochirurgische Instrumente, entsprechendes Nahtmaterial und mikrochirurgisch geschultes Personal erforderlich. Ist eine adäquate Versorgung des Patienten in der Aufnahmeklinik nicht gewährleistet, sollte er in eine spezialisierte Einrichtung überwiesen werden. Für den Erfolg der Operation ist auch eine Nachbehandlung durch einen spezialisierten Handtherapeuten essenziell.

Anästhesie

In der Regel erfolgt die Operation in Vollnarkose oder regionaler Plexusanästhesie. Zusätzlich wenden wir in unserer Klinik seit mehreren Jahren Operationen an Sehnen in der Wide-awake-Technik an. Bei der Wide-awake-Anästhesie oder WALANT-Technik (**W**ide **A**wake **L**ocal **A**nesthesia, **N**o **T**ourniquet) wird ein Lokalanästhetikum mit Zusatz von Adrenalin injiziert. Die durch das Adrenalin hervorgerufene Vasokonstriktion führt zu einer Blutarmut im Operationsgebiet, sodass die zusätzliche Anlage einer Blutsperre nicht notwendig ist.

Klassischerweise wurde die Anwendung von Lokalanästhetika mit Adrenalinzusatz kritisch gesehen. Bei kritischer Aufarbeitung der tatsächlich dokumentierten Fälle konnten Nekrosen der Finger jedoch nicht direkt auf den Adrenalinzusatz zurückgeführt werden [13, 14]. Eine Literaturrecherche von Publikationen zwischen 1980



Abb. 2 | Abblassen der Finger nach Injektion mit Lidocain 1 % mit Adrenalinzusatz von 1:200.000

und 2000 ergab für die Anwendung von Lidocain mit Adrenalinzusatz keinen einzigen dokumentierten Fall einer Fingernekrose [13].

Im angloamerikanischen Raum wird die WALANT-Technik in der elektiven Handchirurgie sowie in der Traumachirurgie seit mehreren Jahren angewendet, sodass die sichere Anwendbarkeit von Adrenalin in den Fingern mittlerweile durch eine große multizentrische Studie bestätigt werden konnte [15]. Eine retrospektive Analyse unseres eigenen Patientenguts hinsichtlich Operationszeit, Injektionsmenge und aufgetretenen Komplikationen sowie eine zusätzliche telefonische Befragung der Patienten zu ihrer Zufriedenheit zeigten keine relevanten Komplikationen und insgesamt eine Patientenzufriedenheit von 1,8 nach dem Schulnotensystem (unveröffentlichte Daten).

Die Vasokonstriktion kann zu einem Abblassen der Finger führen. In der Regel normalisiert sich die

Durchblutung wieder innerhalb von sechs Stunden, ohne eine kritische Ischämie im Finger zu erreichen (► Abb. 2) [12]. In der Praxis empfehlen wir bei Anwendung der Wide-awake-Technik, das Antidot Phentolamin, einen α -Rezeptoren-Antagonisten, vorrätig zu halten. In Studien zeigte sich unter dessen Anwendung eine zuverlässige Aufhebung der Adrenalin-induzierten Vasokonstriktion [16]. In unserer Klinik war eine Antidotgabe jedoch bei mehreren Hundert Operationen in dieser Technik kein einziges Mal erforderlich.

Der besondere Vorteil der WALANT-Anästhesieform in der Handchirurgie besteht darin, dass die Stabilität und Gleitfähigkeit (Exkursion) von Sehnen bereits intraoperativ überprüft werden kann, da der Patient während der Operation die Finger aktiv bewegen kann [17–20].

Videos, Fallbeispiele und weiteres Informationsmaterial zur WALANT-Technik stehen auf unserer Website zur Verfügung [21].

Operative Technik

Der operative Zugang muss abhängig von der vorbestehenden Wunde gewählt werden.

Senkrecht zu Beugefurchen verlaufende Narben sind zu vermeiden. Zeigt sich die Beugesehenscheide verletzt, muss diese weiter eröffnet werden, um die Beugesehne auf Verletzungen zu überprüfen. Während der Exploration müssen zusätzlich Gefäßnervenbündel dargestellt und in deren Kontinuität überprüft werden.

Betrifft die Verletzung weniger als 60% der Beugesehne, kann von deren Naht abgesehen werden, da eine zusätzliche Naht die Gleitfähigkeit in der Sehenscheide beeinträchtigen kann, ohne die postoperative Sehnenrupturrate signifikant zu verbessern [16].

Die Beugesehnen werden von fünf Ringbändern fixiert (A1–A5) [22]. Insbesondere die Ringbänder A2 und A4 haben eine Bedeutung für die mechanische Führung der Sehnen am Knochen [10, 23, 24]. Sind die Ringbänder A2 und A4 zerstört oder insuffizient, können die Beugesehnen den vorgesehenen Verlauf ändern. Sie heben sich dabei beugeseitig beim Anspannen der Sehnen ab (Bogensehneneffekt oder »bowstringing« genannt) [23, 25–27]. In der Vergangenheit war man der Ansicht, dass die Ringbänder unter allen Umständen erhalten werden sollten. Die Behandlung der Sehenscheide hat sich jedoch in den letzten Jahren verändert. Aktuelle Studien zeigen, dass eine sehr gute Funktion des Fingers erhalten bleibt, selbst wenn eines der Ringbänder A2 oder A4 durchtrennt wurde [10, 23, 25, 26]. Aktuell wird daher empfohlen, die Ringbänder zu erhalten bzw. zu rekonstruieren, solange die Exkursion und Gleitfähigkeit der reparierten Sehne jedoch nicht behindert wird [25]. Können die Ringbänder nicht erhalten werden, empfiehlt sich eine sekundäre Ringbandrekonstruktion nach Ende der Sehnenheilung und abgeschlossener Bewegungstherapie [27].

Die Sehnenexkursion kann intraoperativ mit konventionellen Anästhesieverfahren ausschließlich passiv getestet werden. Ein großer Vorteil

ergibt sich deshalb durch die beschriebene WALANT-Technik, die eine aktive Untersuchung der Gleitfähigkeit, Nahtsuffizienz und Beweglichkeit des Fingers ermöglicht.

Häufig retrahieren sich die Sehnenenden. Es gibt verschiedene Techniken, die Sehnen wieder in die Wunde zu mobilisieren. Die Sehne sollte im Allgemeinen vorsichtig behandelt und insbesondere nicht gequetscht werden. Es kann ein einmaliger Versuch durchgeführt werden, die Sehne mit einer stumpfen Klemme aus der Sehenscheide zu mobilisieren. Ist eine Mobilisation nicht möglich, empfiehlt es sich, einen weiteren Schnitt proximal der Verletzung durchzuführen und den Sehnenstumpf von proximal nach distal vorzuschieben.

Die Blutversorgung der oberflächlichen und tiefen Beugesehnen wird u. a. über die Vincula tendinum longa und brevia gewährleistet. Diese werden idealerweise bei der Sehennaht geschont.

Die Sehennaht

Vor über 100 Jahren beschrieb Kirchmayr eine Technik zur Beugesehennaht, die in Variationen bis heute gängig ist (► Abb. 3) [16, 28].

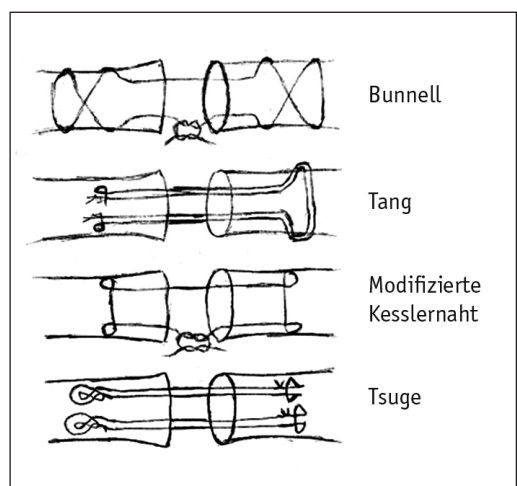


Abb. 3 | Technikbeispiele der Beugesehennaht

Anzahl der Kernnähte, Fadenmaterial und Fadenstärke bestimmen die Stabilität einer Sehnennaht [16, 29, 30]. Eine Erhöhung der Anzahl an Kernnähten (»Stränge«) erhöht die Stabilität der Sehnennaht, vermindert jedoch gleichzeitig die Gleitfähigkeit der Sehne durch das eingebrachte Fadenmaterial [30, 31]. Biomechanisch sind mindestens 4 Kernnähte notwendig, um dem Patienten in der Nachbehandlung frühzeitig aktive Beugeübungen zu ermöglichen [32]. Deshalb wird von vielen Autoren derzeit die 4-Strangnaht als Standard angesehen, obwohl ein klinischer Vorteil gegenüber der einfacheren 2-Strangnaht in Metaanalysen nicht gesichert ist.

Zur Naht von Beugesehnen können unterschiedliche Nahtmaterialien eingesetzt werden. Da es durch geflochtene Fäden zu einer Traumatisierung des Sehngewebes beim Durchzug des Fadenmaterials kommen kann, wird in der Regel monophiles Nahtmaterial empfohlen. Sowohl für resorbierbares als auch für nicht resorbierbares Nahtmaterial kann eine Vielzahl von Argumenten angebracht werden. In der Praxis hat sich jedoch bislang kein eindeutiger Vorteil für eines der beiden Konzepte gezeigt, sodass die Wahl des Nahtmaterials nach wie vor sehr unterschiedlich gehandhabt wird. Auch die Fadenstärke hat einen Einfluss auf die Stabilität der Sehnennaht. Je größer die Fadenstärke, desto mehr Stabilität wird erreicht [31, 33]. Kernnähte werden an unserer Klinik in der Regel mit einem langsam resorbierbaren Faden der Stärke 3/0 durchgeführt.

Eine zusätzliche epitendinöse Ringnaht mit einem monofilen Faden der Stärke 6/0 erhöht die Stabilität der Sehnennaht um bis zu 50% und verringert die Lücken- sowie Wulstbildung im Nahtbereich durch eine Feinadaptation [34–36].

■ Die Nachbehandlung

Eine stabile Sehnennaht ist wichtig für die Sehnenheilung. Aufgrund von Umbauvorgängen in der genähten Sehne ist nach 1–3 Wochen die Gefahr einer Nahtinsuffizienz am höchsten. Erst mit dem Beginn der Remodellierungsphase nach 4 Wochen erlangt die Sehne wieder Stabilität [37].

Die Nachbehandlung von Sehnenverletzungen ist von höchster Wichtigkeit. Es ist deshalb für den Handchirurgen sehr wichtig, ein spezielles Nachbehandlungsnetzwerk zu schaffen. Zur Rehabilitation gibt es unterschiedliche Protokolle, die je nach Qualität der Sehnennaht und Einschätzung der Compliance des Patienten angewandt werden.

Sie reichen von vollständiger Ruhigstellung über kontrollierte passive Übungsprogramme bis hin zu früh aktiven Rehabilitationsprotokollen:

Ruhigstellung

Die Behandlung mit Ruhigstellung im Gips nach Cifaldi, Collins und Schwarze wird heutzutage nur noch bei Kleinkindern angewandt. Die Ruhigstellungsdauer beträgt hier ca. 4 Wochen im Oberarmgips bzw. Faustverband [38]. Bei Jugendlichen und Erwachsenen wird die vollständige Immobilisation bis auf wenige Ausnahmen nicht mehr durchgeführt.

Passive Nachbehandlung

Die passive Mobilisation nach Beugesehnenverletzungen wurde von Duran und Houser im Jahr 1975 beschrieben. Die Ruhigstellung erfolgt zunächst in einer Schiene in Entlastung der Beugesehnen. Aus der Schiene heraus wird in Begleitung eines Therapeuten mit der passiv durchgeführten Beugung und Streckung der Finger begonnen [38]. Nach 4 Wochen wird die Flexion der Schiene vermindert und zusätzliche Halteübungen (»place and hold«) durchgeführt.

Kontrolliert passive Nachbehandlung

Zu den bekanntesten Nachbehandlungsprotokollen gehört die kontrolliert passive Bewegungstherapie (»early passive motion« oder »controlled passive motion«) nach Kleinert [39]. Grundlage der Behandlung ist die passive Flexion unter Zügelung durch Gummibänder und die freie aktive Extension unter Schienenprotektion. In Eigentherapie und zusätzlicher Anleitung eines Therapeuten erfolgen die stündliche Wiederholung der aktiven Extension sowie die zusätzliche Wiederholung von isoliert passiver Flexion in den Mittel- und Endgelenken.

Kontrolliert passive und aktive Nachbehandlung

Die dauerhafte Beugstellung durch das Zügel-system kann zu Beugekontrakturen in den Mittel- und Endgelenken führen. Chow et al. entwickelten das Kleinert-Regime im Jahre 1987 weiter und präsentierten das Chow-Washington-Regime (»controlled passive and active motion«) [40]. Grundlage des Konzepts ist die Modifikation der Kleinert-Schiene. Aus einem durchgehenden Gummiband entstanden 2 Bänder mit unterschiedlichen Stärken: ein kräftiges Band für den Erhalt der Flexionsstellung der Finger und ein weniger starkes Gummiband während der aktiven Extension. Zusätzlich zur aktiven Extension des Mittel und Endgelenks wird das Grundgelenk passiv in maximaler Beugung gehalten, um Kontrakturen zu verhindern.

Kontrolliert aktive Nachbehandlung

Im Jahr 1989 führten Small et al. eine kontrolliert aktive Bewegungstherapie (»controlled active motion«) ohne Zügel-führung ein. Dieses Konzept eignet sich für gut führbare und motivierte Patienten bei ausreichend stabiler Sehnennaht [41]. Eine dorsalseitig angelegte Schiene hält das Handgelenk in Flexionsstellung, Grundgelenke in etwa 60°-Beugung und die Interphalangealgelenke in 0°-Stellung. Die Schiene lässt die freie, bis zur distalen Hohlhandfalte reichende Flexion und Extension der Finger zu. Eine neuere Entwicklung stellt der Manchester Short Splint dar. Diese Schiene umfasst lediglich Mittelhand und Finger, das Handgelenk wird nicht immobilisiert [42].

Je nach klinischer Situation bzw. Präferenz können die unterschiedlichen Behandlungskonzepte auch kombiniert werden. So werden in vielen Kliniken auch nach Anlegen einer Kleinert-Schiene bereits nach einigen Wochen aktive Beugeübungen begonnen.

Die Vollbelastung der Sehne wird nach 12 Wochen erreicht. Die Rupturrate wird nach einer primären Beugesehnennaht auf 4–17% geschätzt [43].

■ Zusammenfassung

Sehnenverletzungen im Bereich der Hand und des Unterarms sind häufig. In dieser Übersichtsarbeit werden vor allem neue Aspekte sowie mögliche Schwierigkeiten bei der operativen Versorgung und Nachbehandlung von Beugesehnenverletzungen dargestellt. Hierzu gehören Nahttechniken, lokale Anästhesieverfahren, Behandlung der Sehnen-scheiden sowie die besondere handtherapeutische Nachbehandlung. Gute Ergebnisse in der Beugesehnenchirurgie sind von vielen Details während der gesamten Behandlungsdauer abhängig und können nur in der engen interdisziplinären Zusammenarbeit erreicht werden.

Kraneburg UM, Megerle K:
Current therapy of flexor tendon injuries

Summary: Tendon lacerations of the hand and forearm are very common. In this review we present new aspects in the treatment of flexor tendon injuries as well as possible difficulties and new developments in the treatment of flexor tendon injuries. These include suture techniques, local anesthesia procedures, treatment of tendon sheaths and physiotherapy. The success of flexor tendon surgery depends on many details throughout the treatment course.

Keywords: flexor tendon injury – wide awake technique – hand injury

Literatur

1. de Jong JP, Nguyen JT, Sonnema AJ, Nguyen EC, Amadio PC, Moran SL. The incidence of acute traumatic tendon injuries in the hand and wrist: a 10-year population-based study. *Clin Orthop Surg* 2014; 6: 196–202.
2. Schöffl V, Winkelmann HP. Traumatic and degenerative tendon lesions of the hand. *Orthopäde* 2010; 39: 1108–1116.
3. Tuncali D, Yavuz N, Terzioglu A, Aslan G. The rate of upper-extremity deep-structure injuries through small penetrating lacerations. *Ann Plast Surg* 2005; 55: 146–148.

4. Clavero JA, Alomar X, Monill JM, Esplugas M, Golanó P, Mendoza M, Salvador A. MR imaging of ligament and tendon injuries of the fingers. *Radiographics* 2002; 22: 237–256.
5. Lee DH, Robbin ML, Galliot R, Graveman VA. Ultrasound evaluation of flexor tendon lacerations. *J Hand Surg Am* 2000; 25: 236–241.
6. Kumar BA, Tolat AR, Theerapuraneni G, Jones B. The role of magnetic resonance imaging in late presentation of isolated injuries of the flexor digitorum profundus tendon in the finger. *J Hand Surg Br* 2000; 25: 95–97.
7. Schreuders TA. The quadriga phenomenon: a review and clinical relevance. *J Hand Surg Eur Vol* 2012; 37: 513–522.
8. Kotwal PP, Ansari MT. Zone 2 flexor tendon injuries: Venturing into the no man's land. *Indian J Orthop* 2012; 46: 608–615.
9. Stone JF, Davidson JS. The role of antibiotics and timing of repair in flexor tendon injuries of the hand. *Ann Plast Surg* 1998; 40: 7–13.
10. Tang JB. Indications, methods, postoperative motion and outcome evaluation of primary flexor tendon repairs in Zone 2. *J Hand Surg Eur Vol* 2007; 32: 118–129.
11. Wang ED. Tendon repair. *J Hand Ther* 1998; 11: 105–110.
12. Lalonde D, Martin A. Epinephrine in local anesthesia in finger and hand surgery: the case for wide-awake anesthesia. *J Am Acad Orthop Surg* 2013; 21: 443–447.
13. Denkler K. A comprehensive review of epinephrine in the finger: to do or not to do. *Plast Reconstr Surg* 2001; 108: 114–124.
14. Thomson CJ, Lalonde DH, Denkler KA, Feicht AJ. A critical look at the evidence for and against elective epinephrine use in the finger. *Plast Reconstr Surg* 2007; 119: 260–266.
15. Lalonde D, Bell M, Benoit P, Sparkes G, Denkler K, Chang P. A multicenter prospective study of 3,110 consecutive cases of elective epinephrine use in the fingers and hand: the Dalhousie Project clinical phase. *J Hand Surg Am* 2005; 30: 1061–1067.
16. Nodwell T, Lalonde D. How long does it take phentolamine to reverse adrenaline-induced vasoconstriction in the finger and hand? A prospective, randomized, blinded study: The Dalhousie project experimental phase. *Can J Plast Surg* 2003; 11: 187–190.
17. Higgins A, Lalonde DH, Bell M, McKee D, Lalonde JF. Avoiding flexor tendon repair rupture with intraoperative total active movement examination. *Plast Reconstr Surg* 2010; 126: 941–945.
18. Lalonde D, Martin A. Tumescence local anesthesia for hand surgery: improved results, cost effectiveness, and wide-awake patient satisfaction. *Arch Plast Surg* 2014; 41: 312–316.
19. Larrabee WF Jr, Lanier BJ, Miekle D. Effect of epinephrine on local cutaneous blood flow. *Head Neck Surg* 1987; 9: 287–289.
20. Leblanc MR, Lalonde J, Lalonde DH. A detailed cost and efficiency analysis of performing carpal tunnel surgery in the main operating room versus the ambulatory setting in Canada. *Hand (NY)* 2007; 2: 173–178.
21. Wide Awake Chirurgie. Video. (<http://www.handchirurgie-muenchen.eu>). Zugegriffen: 29.01.2019.
22. Lehfelddt M, Ray E, Sherman R. MOC-PS(SM) CME article: treatment of flexor tendon laceration. *Plast Reconstr Surg* 2008; 121 (4 Suppl): 1–12.
23. Moriya K, Yoshizu T, Tsubokawa N, Narisawa H, Hara K, Maki Y. Outcomes of release of the entire A4 pulley after flexor tendon repairs in zone 2A followed by early active mobilization. *J Hand Surg Eur Vol* 2016; 41: 400–405.
24. Moriya K, Yoshizu T, Tsubokawa N, Narisawa H, Hara K, Maki Y. Clinical results of releasing the entire A2 pulley after flexor tendon repair in zone 2C. *J Hand Surg Eur Vol* 2016; 41: 822–828.
25. Clark TA, Skeete K, Amadio PC. Flexor tendon pulley reconstruction. *J Hand Surg Am* 2010; 35: 1685–1689.
26. Barton NJ. Experimental study of optimal location of flexor tendon pulleys. *Plast Reconstr Surg* 1969; 43: 125–129.
27. Momeni A, Grauel E, Chang J. Complications after flexor tendon injuries. *Hand Clin* 2010; 26: 179–189.
28. Kleinert HE, Spokevicius S, Papas NH. History of flexor tendon repair. *J Hand Surg Am* 1995; 20 (3 Pt 2): S46–52.
29. Yalçın L, Demirci MS, Alp M, Akkin SM, Sener B, Koebeke J. Biomechanical assessment of suture techniques used for tendon repair. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2011; 45: 453–457.
30. Cao Y, Tang JB. Biomechanical evaluation of a four-strand modification of the Tang method of tendon repair. *J Hand Surg Br* 2005; 30: 374–378.
31. Thurman RT, Trumble TE, Hanel DP, Tencer AF, Kiser PK. Two-, four-, and six-strand zone II flexor tendon repairs: an in situ biomechanical comparison using a cadaver model. *J Hand Surg Am* 1998; 23: 261–265.
32. Savage R. In vitro studies of a new method of flexor tendon repair. *J Hand Surg Br* 1985; 10: 135–141.
33. Osei DA, Stepan JG, Calfee RP, Thomopoulos S, Boyer MI, Potter R, Gelberman RH. The effect of suture caliber and number of core suture strands on zone II flexor tendon repair: a study in human cadavers. *J Hand Surg Am* 2014; 39: 262–268.
34. Wade PJ, Wetherell RG, Amis AA. Flexor tendon repair: significant gain in strength from the Halsted peripheral suture technique. *J Hand Surg Br* 1989; 14: 232–235.
35. Diao E, Hariharan JS, Soejima O, Lotz JC. Effect of peripheral suture depth on strength of tendon repairs. *J Hand Surg Am* 1996; 21: 234–239.
36. Silfverskiöld KL, May EJ. Flexor tendon repair in zone II with a new suture technique and an early mobilization program

combining passive and active flexion. J Hand Surg Am 1994; 19: 53–60.

37. Hope M, Saxby TS. Tendon healing. Foot Ankle Clin 2007; 12: 553–567, v.

38. Sandvall BK, Kuhlman-Wood K, Recor C, Friedrich JB. Flexor tendon repair, rehabilitation, and reconstruction. Plast Reconstr Surg 2013; 132: 1493–1503.

39. Kleinert HE, Verdan C. Report of the Committee on Tendon Injuries (International Federation of Societies for Surgery of the Hand). J Hand Surg Am 1983; 8 (5 Pt 2): 794–798.

40. Chow JA, Thomes LJ, Dovel S, Milnor WH, Seyfer AE, Smith AC. A combined regimen of controlled motion following flexor tendon repair in „no man’s land“. Plast Reconstr Surg 1987; 79: 447–455.

41. Small JO, Brennen MD, Colville J. Early active mobilisation following flexor tendon repair in zone 2. J Hand Surg Br 1989; 14: 383–391.

42. Howell JW, Peck F. Rehabilitation of flexor and extensor tendon injuries in the hand: current updates. Injury 2013; 44: 397–402.

43. Tang JB. Clinical outcomes associated with flexor tendon repair. Hand clinics 2005; 21: 199–210.

Interessenkonflikt: Die Autoren erklären, dass bei der Erstellung des Beitrags keine Interessenkonflikte im Sinne der Empfehlungen des International Committee of Medical Journal Editors bestanden.



Dr. Ursula M. Kraneburg, MSc, TMR
Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie
und Handchirurgie
Klinikum rechts der Isar
Technische Universität München
Ismaninger Straße 22
81675 München

ursula.kraneburg@mri.tum.de