Trauma Berufskrankh 2016 · [Suppl 3]:
18:S264–S269
DOI 10.1007/s10039-015-0092-7
Online publiziert: 19. Oktober 2015
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

T. Pillukat · J. van Schoonhoven
Klinik für Handchirurgie, Bad Neustadt an der Saale, Deutschland

Nahttechniken und Nahtmaterial in der Beugesehnenchirurgie

Das Hauptproblem der Beugesehnenchirurgie ist die Tendenz zu Verklebungen und Vernarbungen zwischen Sehne und umgebendem Gewebe. Besonders ausgeprägt ist diese Neigung im Bereich der Beugesehnenscheiden. Die einzige bisher realisierbare Möglichkeit, solche Verklebungen zu vermeiden, besteht in der frühzeitigen Bewegung der Sehne. Die Einführung von Nachbehandlungskonzepten mit passiver Bewegung [1] führte zu einer deutlichen Verbesserung der Ergebnisse nach Beugesehnennähten im Verlauf der Beugesehnenscheiden. Noch bessere Ergebnisse ergeben aktive Nachbehandlungskonzepte. Bei allen Verfahren wird die Nahtstelle mechanisch belastet, bevor die Sehne geheilt ist. Dies stellt an die Stabilität der Naht hohe Anforderungen.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Darstellung der Nahttechniken für tiefe Beugesehnen im Bereich der osteofibrösen Gleitkanäle. Diese Techniken lassen sich auch proximal der Gleitkanäle einsetzen und distal, sofern der distale Sehnenstumpf länger als 1 cm ist. Bei kürzeren Sehnenstümpfen erfolgt die unmittelbare ossäre Refixation der Sehne an der Endphalanx. Der flache Querschnitt der oberflächlichen Beugesehnen in den Gleitkanälen lässt in der Regel nur einfache achterförmige oder U-förmige Nähte zu, die nach den gleichen technischen Gesichtspunkten durchgeführt werden wie die Nähte an den kräftigeren tiefen Beugesehnen.

Problemstellungen

Technisch gesehen treten bei Sehnennähten die 3 nachfolgend aufgeführten Probleme auf.

Ruptur der Nahtstelle

In etwa 80 % der Fälle kommt es durch mechanische Überlastung zum Riss des Nahtmaterials. Eine deutliche Schwächung des Nahtmaterials entsteht durch Knotenbildungen, die die Festigkeit um bis zu 50 % reduzieren können [2]. Die Ruptur der Naht tritt daher meistens am Knoten auf. In 20 % der Fälle kommt es zum Ausriss der Naht aus dem Sehnengewebe.

Dehiszenz der Nahtstelle

Auch wenn es nicht zur Ruptur kommt, kann sich unter den mechanischen Wechselbelastungen der Nachbehandlung eine schleichende Dehiszenz, d. h. ein Auseinanderweichen der Sehnenstümpfe, entwickeln. Ursächlich sind das Auslockern der Naht in der Sehne oder eine relative Plastizität des Nahtmaterials. Biomechanische Untersuchungen zeigen, dass es im Weiteren zu einer intratendinösen Narbe kommt. Sie bildet eine Schwachstelle und führt zu einer Überlänge der Sehne, was später funktionell stört. Bei Dehiszenzen über 3 mm nimmt die Festigkeit im Heilungsverlauf nach dem 10. postoperativen Tag gegenüber der ursprünglichen Festigkeit zum Zeitpunkt der Naht nicht mehr zu, sodass hier eine hohe Rupturgefahr besteht [3]. Nicht zu unterschätzen sind auch Beugedefizite durch eine Überlänge. Sie lassen sich durch die Beobachtung erklären, dass 1,3 mm Sehnengleitweg im Mittelgelenk eine Winkeländerung von 10° bewirken [4]. Solche Dehiszenzen, englisch auch als „gap“ bezeichnet, sind von außen praktisch nicht erkennbar und können nur durch eine entsprechende Nahttechnik vermieden werden.

Störungen der Gleitfähigkeit

Es gibt eine ganze Reihe von Faktoren, die die Gleitfähigkeit der Naht insbesondere in den Gleitkanälen deutlich stören können. Dazu gehören:

- Auftreibung der Nahtstelle durch zu festes Anziehen der Kernnaht oder durch Einbringen exzessiver Mengen Nahtmaterials,
- Nahtmaterial und Knoten, die nicht im Sehnengewebe versenkt sind,
- im Nahtbereich überstehende Fasern aus den Sehnenstümpfen,
- Dehiszenzen im Nahtbereich.

Durch die erhöhte Reibung steigt der Gleitwiderstand, sodass dessen Überwindung bei der Nachbehandlung einen erhöhten Kraftaufwand erfordert, der die Sehnennaht zusätzlich belastet. Außerdem fördert die lokale Reizung die Bildung von Adhäsionen und Vernarbungen.

Um diese Probleme zu umgehen, wurden im Laufe der Zeit folgende Parameter variiert:

- Technik der Kernnaht,
- Anzahl der Nahtstränge,
- Nahtstärke und Nahtmaterial,
- Technik der Feinadaptationsnaht.

Im Folgenden soll auf diese Variationen und die zugrunde liegenden Prinzipien eingegangen werden.

Prinzipien und Technik der Beugesehnennaht

Fadenführung in der Sehne

Fadenführungen, bei denen der Faden die Sehnenfasern so umfasst, dass es beim Anziehen der Naht zu einem Schließen der Schlinge kommt (blockierende Naht)

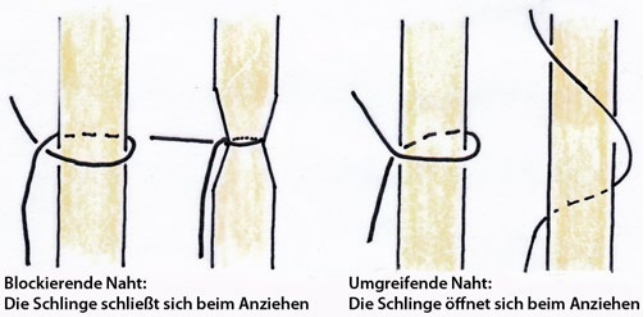

Abb. 1 ◀ Blockierende und umgreifende Nähte

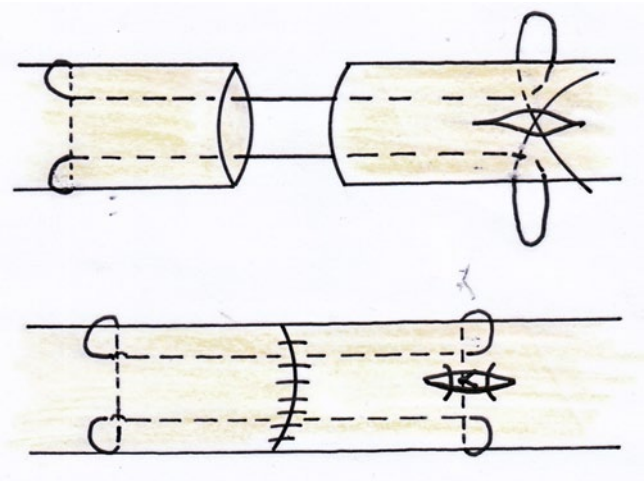

Abb. 2 ◀ Kirchmayr-Kessler-Naht [7, 8] in der Modifikation nach Zechner [9]

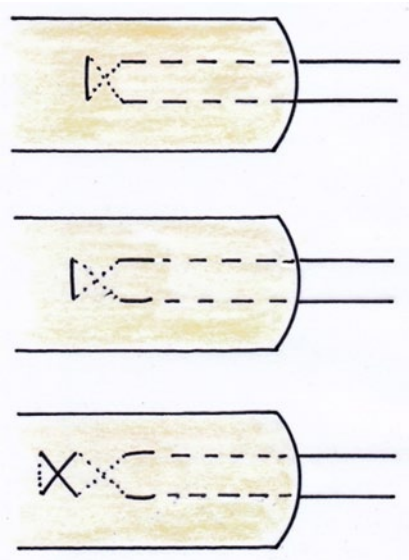

Abb. 3 ▲ Ankerpunkte nach Savage [14]

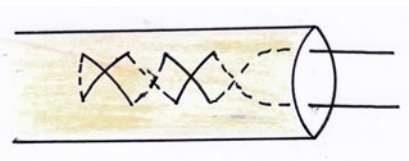

Abb. 4 ▲ Nahttechniken mit vermehrten Ankerpunkten

sind deutlich stabiler (10–50 %) als umgreifende Nähte (◘ **Abb. 1;** [5, 6]).

Ein klassisches Verfahren dieser Art ist die Naht nach Kirchmayr und Kessler [7, 8], bei der die Fäden bei der Schlingenbildung entsprechend hinterstochen werden (◘ **Abb. 2**).

Der Durchmesser der Schlingen sollte größer als 2 mm sein, weil die Schlinge sonst ausreißen kann [9]. Wird statt der Schlinge ein die Sehnenfasern umfassender blockierender Zwischenknoten angelegt, steigt die Festigkeit weiter [10]. Allerdings kann ein solcher Knoten die gleichmäßige Spannungsverteilung in der Naht verhindern, was zur Überbelastung einzelner Nahtstränge führen kann.

Stärke des Nahtmaterials

Es ist naheliegend, dass die Festigkeit einer Naht mit der Stärke des Nahtmaterials zunimmt. Einen quantitativen Eindruck dazu ergeben Messungen [11], die für geflochtene Polyesterfäden (z. B. Ethibond®) zeigen, dass die Festigkeit einer Naht der Stärke 4/0 um 64 % höher ist als bei der Stärke 5/0. Ein Faden der Stärke 3/0 weist gegenüber einem Faden der Stärke 4/0 eine um 43 % höhere Reißfestigkeit auf, ein Faden der Stärke 2/0 gegenüber einem Faden der Stärke 3/0 eine höhere Reißfestigkeit um 63 %. Fäden der Stärke 5/0 sind für Kernnähte aufgrund ihrer geringen Festigkeit ungeeignet [12].

Anzahl der Interaktionen zwischen Faden und Sehne

Die Festigkeit einer Beugesehnennaht steigt mit der Anzahl der Schlaufen und Knotenbildungen innerhalb der Sehne. Diese Interaktionen werden auch sehr treffend als Ankerpunkte bezeichnet (◘ **Abb. 3;** [13]).

Diese Erkenntnis hat zur Entwicklung von Nahttechniken geführt, bei denen rein formal eine deutlich höhere Anzahl von Schlaufenbildungen in der Sehne stattfindet im Vergleich zu einer einfachen Kirchmayr-Kessler-Naht. Ein typisches Beispiel ist die modifizierte Kreuzstichnaht [14] in ◘ **Abb. 4** nach Becker [15].

Anzahl der Nahtstränge, die die Nahtstelle kreuzen

Nach einer Beugesehnennaht kommt es bei jeder Nahttechnik bis zum 5. Tag zu einer Abnahme der Reißfestigkeit durch Umbauvorgänge im Sehnengewebe, die bis zum 21. postoperativen Tag anhält [2]. Zahlreiche biomechanische Untersuchungen haben gezeigt [16]:

- Die Reißfestigkeit steigt ungefähr proportional mit der Anzahl der Nahtstränge.
- Die Abnahme der Reißfestigkeit zwischen dem 5. und 21. Tag ist bei allen Beugesehnennähten unabhängig von der Anzahl der Nahtstränge zu beobachten, bleibt jedoch ebenfalls proportional zur Anzahl der Nahtstränge auf unterschiedlichem Niveau.

Vergleicht man die Belastung der Sehnennaht durch die Nachbehandlung mit der Reißfestigkeit, so ist festzustellen:

- Die Reißfestigkeit der Zweistrangnaht ist ausreichend, um der Belastung durch eine passive Nachbehandlung standzuhalten.

- Die Reißfestigkeit einer Zweistrangnaht ist jedoch nicht ausreichend, um der Belastung durch eine aktive Nachbehandlung ohne Widerstand standzuhalten.
- Erst eine Vierstrangnaht oder Nahttechniken mit noch größerer Strangzahl haben eine ausreichende Reißfestigkeit für eine aktive Nachbehandlung ohne Widerstand.
- Keine Nahttechnik bietet ausreichende Stabilität für einen maximalen Krafteinsatz.

Die von Strickland [16] vorgeschlagene Vierstrangnaht bestand aus einer Kirchmayer-Kessler-Naht und einer zusätzlichen U-Naht (**Abb. 5**). Auf der Basis dieser Überlegungen ist eine Vielzahl neuer Nahttechniken entwickelt worden mit teilweise 6 bzw. 8 Strängen, bei denen die Reißfestigkeit noch weiter gesteigert werden konnte. Die **Abb. 5** zeigt einige ausgewählte Beispiele für diese Techniken ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Ursächlich für diese höhere Reißfestigkeit ist offensichtlich nicht nur die einfache Zunahme des Querschnitts an Nahtmaterial, das die Nahtstelle kreuzt, sondern eine erhöhte Anzahl von Ankerpunkten, denn die Wahl eines stärkeren Nahtmaterials allein führt nicht zu der gleichen Erhöhung der Reißfestigkeit wie die Erhöhung der Strangzahl [22]. Eine formale Vierstrangnaht mit einem doppelt genommenen Faden in der Technik nach Kirchmayr-Kessler hat ebenfalls nicht die gleiche Festigkeit wie eine damit verglichene Vierstrangnaht mit 2 getrennten Fäden [23].

Ein wenig beachteter Faktor für die Haltbarkeit der Naht ist die Spannungsverteilung in der Naht selber. Bei Mehrstrangnähten sollte sich die Spannung idealerweise gleichmäßig auf alle Stränge verteilen. Bei grobem Ungleichgewicht wird der Strang als Erstes reißen, der am meisten unter Spannung steht, weil er die gesamte Last aufnimmt [13].

Lage der Knoten

Die Aussagen hierzu in der Literatur sind kontrovers. Einigkeit herrscht darüber, dass der Knoten auf jeden Fall in der Sehne versenkt werden sollte. Für die Gleitfähigkeit der Naht soll es am günstigsten sein, wenn die Knoten in der Nahtstelle selbst liegen. Einige Untersucher weisen allerdings darauf hin, dass durch die Versenkung des Knotens in der Nahtstelle eine gewisse Dehiszenz verursacht wird. Außerdem reduziert ein Knoten die Kontaktfläche der Sehnenenden erheblich. Zwei Knoten in der Nahtstelle reduzieren die Kontaktfläche immerhin um bis zu 27 %, das Nahtmaterial einer Achtstrangnaht nach Savage [21] um bis zu 18 % und die Kirchmayr-Kessler-Naht nur um ca. 2 % [24].

Technisch gesehen ist es allerdings in der Regel kein Problem, den Knoten außerhalb der Nahtstelle in der Sehne zu versenken wie bei der Modifikation der Kirchmayr-Kessler-Naht nach Zechner ([25]; **Abb. 2**).

Technik und Anzahl der Knoten

Wichtig für die Haltbarkeit der Naht ist auch die Knotentechnik selber. Empfohlen wird ein chirurgischer Knoten, der 4-mal geknüpft wird [13]. Die Haltbarkeit von Knoten variiert darüber hinaus mit dem eingesetzten Nahtmaterial.

Grundsätzlich ergibt die Beschränkung auf einen Knoten pro Naht eine höhere Festigkeit als mehrere Knoten [26, 27] pro Naht. Als Ursachen werden eine ungleichmäßige Verteilung der Spannung in der Naht angesehen und die Abnahme der Reißfestigkeit [2] im Knoten selbst.

Zusammenfassung · Abstract

Trauma Berufskrankh 2016 · [Suppl 3]: 18:S264–S269 DOI 10.1007/s10039-015-0092-7
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

T. Pillukat · J. van Schoonhoven

Nahttechniken und Nahtmaterial in der Beugesehnenchirurgie

Zusammenfassung

Verklebungen und Vernarbungen zwischen Beugesehnen und Umgebung lassen sich zurzeit nur durch Bewegung der Sehne vermeiden. Günstiger als die passive Mobilisierung sind Konzepte mit aktiver Nachbehandlung. Hauptgefahren für die Beugesehnennaht sind Ruptur der Sehnennaht, schleichende Dehiszenzen und Behinderung der Gleitfähigkeit in der Beugesehnenscheide. Es gibt bisher keinen Konsens hinsichtlich einer optimalen Nahttechnik oder eines optimalen Nahtmaterials. Es gibt jedoch einige beachtenswerte Prinzipien wie den Einsatz von Nahtmaterial mit größerem Durchmesser, blockierenden Stichtechniken, Nahttechniken mit 4 und mehr Nahtsträngen sowie umlaufenden Feinadaptationsnähten. Einen technisch akzeptablen Kompromiss – auch für den weniger Geübten – stellt zurzeit die Vierstrangnaht in Kombination mit einer fortlaufenden Feinadaptationsnaht dar. Sie gewährleistet eine ausreichende Stabilität für eine aktive Nachbehandlung ohne Widerstand.

Schlüsselwörter

Sehnenrekonstruktion · Beugesehnenverletzung · Verklebungen · Vernarbungen · Nachbehandlung

Suture techniques and materials in flexor tendon surgery

Abstract

Adhesions and scar formation between flexor tendons and the surrounding tissue can currently only be prevented by mobilization oft he flexor tendon. Active treatment concepts are more favorable than passive mobilization. The main risks of flexor tendon repair are rupture of the tendon suture, gradually progressive dehiscence and inhibition of tendon gliding within the tendon sheath. Currently, there is no consensus with respect to the optimal suture technique and suture material. Nevertheless, there are some noteworthy principles, such as the use of suture material with a greater diameter, locked suture techniques, sutures with four or more strands as well as simple circular running sutures. A technically acceptable compromise, even for persons with less practice, is currently a 4-thread suture in combination with a circular running suture, which guarantees sufficient stability for active postoperative treatment without causing resistance.

Keywords

Flexor tendon · Suture technique · Suture material · Tendon reconstruction · Flexor tendon injury

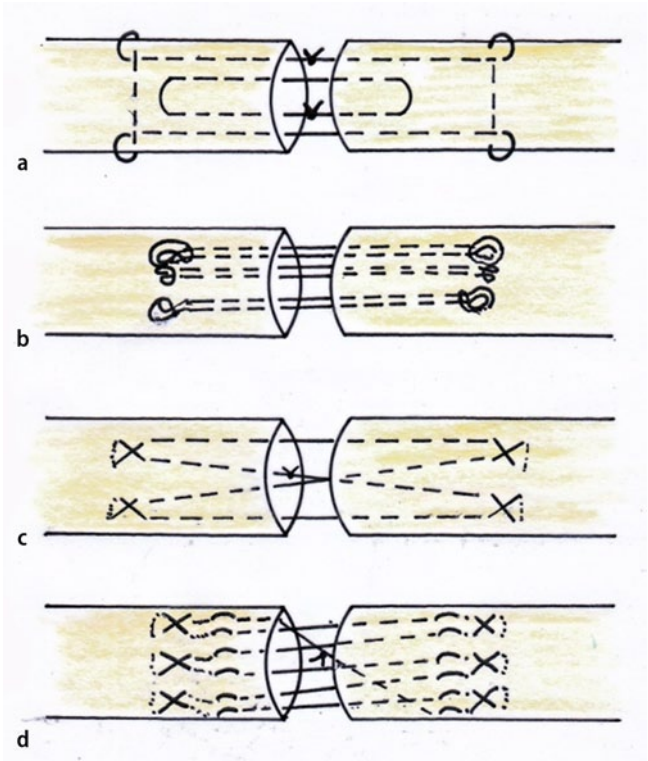

Abb. 5 ◀ Technische Beispiele für Mehrstrangnähte. **a** Vierstrangnaht nach Strickland [17]. **b** Sechsstrangnaht [18] mit modifizierter Schlingennaht nach Tsuge [19]. **c** Vierstrangnaht nach Sandow und McMahon [20]. **d** Sechsstrangnaht nach Savage [21]

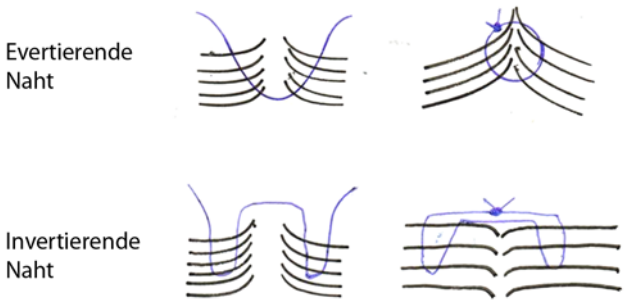

Abb. 6 ◀ Invertierende und nicht invertierende umlaufende Nähte

Lage der Naht in der Sehne

Geht man von der Tatsache aus, dass ein Teil der Sehnenernährung von der Streckseite über die Vinculae erfolgt, so erscheint es günstig, die Fäden im mehr palmaren Anteil des Sehnenquerschnitts zu platzieren. Biomechanische Untersuchungen zeigen allerdings, dass eine Platzierung der Nähte in den dorsalen Anteilen der Sehne zu einer höheren Stabilität führt [28, 29]. Eine Störung der Sehnenheilung infolge einer Minderdurchblutung wird so nicht beschrieben.

Lage der Ankerpunkte

Im Gefolge der Sehnendurchtrennung kommt es in den angrenzenden Abschnitten des Sehnenstumpfes zu degenerativen Veränderungen und zu einer Abnahme der Festigkeit. Aus diesen Gründen sollte die Verankerung der Naht nicht zu dicht am Sehnenende erfolgen. Der günstigste Bereich befindet sich in einem Abstand von 7–10 mm. Ein größerer Abstand (mehr als 12 mm) ergibt keine größere Festigkeit [30, 31]. Diese Aussage gilt für die einfache Kirchmeier-Kessler-Naht. Bei komplizierteren Nahttechniken kann es erforderlich sein, einen Teil der Ankerpunkte in größerem Abstand zum Sehnenende zu platzieren, was keinen Nachteil bedeutet.

Umlaufende Feinadaptationsnaht

Eine umlaufende Feinadaptationsnaht allein hat als Beugesehnennaht keine ausreichende Festigkeit und wird nie ohne Kernnaht eingesetzt. Das Hauptziel dieser umlaufenden Naht ist die Glättung der Oberfläche. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte die Naht so angelegt werden, dass die oberflächlichen Sehnenanteile invertiert werden ([32, 33]; ◘ **Abb. 6**).

Die umlaufende Naht trägt auch zur Gesamtstabilität bei (10–50 % Zunahme der Reißfestigkeit; [34]). Sie reduziert gleichzeitig die Neigung zu Dehiszenzen. Sie sollte allerdings mit feinstem Nahtmaterial durchgeführt werden, um nicht durch das außen liegende Material die Gleitfunktion zu beeinträchtigen. Der Vergleich unterschiedlicher Nahttechniken zeigt, dass die Kreuzstichnaht nach Silverskiöld oder eine blockierende Rückstichnaht die höchste Festigkeit aufweist [35]. Bei den zuletzt genannten Nahttechniken liegt allerdings ein erheblicher Teil des Nahtmaterials auf der Sehnenoberfläche und stört die Gleitfähigkeit. Sie gelten darüber hinaus als technisch schwierig, sodass viele Operateure weiterhin die einfache fortlaufende Naht bevorzugen [36]. Die günstigsten Ergebnisse werden erzielt, wenn die Naht über den gesamten Umfang verläuft und nicht nur segmental (z. B. palmar) ausgeführt wird.

Wahl des Nahtmaterials

Es gibt zurzeit keinen Konsens über ein optimales Nahtmaterial für die Beugesehnenchirurgie. Die Kontroverse zur Frage, welches Nahtmaterial benutzt werden sollte, bewegt sich zwischen den Nahteigenschaften monofil/polyfil bzw. geflochten und resorbierbar/nicht resorbierbar. Trotz einer Vielzahl von biomechanischen und klinischen Untersuchungen ist die Überlegenheit eines der vielen infrage kommenden Nahtmaterialien nicht belegt. Zu den gegenwärtig häufiger eingesetzten nichtresorbierbaren Nahtmaterialen gehören (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) geflochtene Polyesterfäden(z. B. Ethibond®), monofiles Nylon (z. B. Ethilon®), geflochtene und beschichtete Nylonfäden(z. B. Supramid®), monofiles Polypropylen (z. B. Prolene®) und Fäden aus geflochtenem Polyäthylen (Fiberwire®). Stahldraht in monofiler oder geflochtener Form [37], ursprünglich als ideales Nahtmaterial propagiert, wird gegenwär-

Tab. 1 Wichtige Prinzipien für die Durchführung von Beugesehnennähten

	Eher günstig	Eher ungünstig
Fadenverlauf in der Sehne	Blockierende Nähte Blockierende Zwischenknoten	Umgreifende Nähte
Stärke des Nahtmaterials	Fadenstärke 3/0 und 4/0	Fadenstärke 5/0 und 2/0
Ankerpunkte	Große Anzahl, z. B. Kreuzstichnaht nach Becker [15]	Geringe Anzahl, z. B. Kirchmayr-Kessler-Naht [25]
Anzahl der Nahtstränge	4 und mehr Stränge	2 Stränge
Knotenlage	In der Sehne	Außerhalb der Sehne
Abstand der Ankerpunkte vom Sehnenstumpf	7–10 mm	< 7 mm
	Umlaufende Feinadaptationsnaht	

tig wegen der erheblichen Rigidität und der erforderlichen Entfernung der Naht selten verwendet [12].

Bei resorbierbarem Material ist eine ausreichende Standzeit erforderlich, die gegenwärtig beispielsweise von Polidioxanon (z. B. PDS®) erreicht wird, dessen Festigkeit nach 42 Tagen immerhin noch 45–60 % beträgt und das nach 6 Monaten vollständig resorbiert sein soll. Der erfolgreiche Einsatz dieses Nahtmaterials in der Beugesehnenchirurgie konnte durch mehrere Studien belegt werden [38–40]. Ein weiteres geeignetes resorbierbares Nahtmaterial ist Polylactid (z. B. Maxon®).

Es bleibt daher zum gegenwärtigen Zeitpunkt der Präferenz des Operateurs überlassen, welches Nahtmaterial er wählt. Ausschlaggebend ist die individuelle Erfahrung mit einem bestimmten Nahtmaterial.

Fazit für die Praxis

Es gibt bisher keinen Konsens hinsichtlich einer optimalen Nahttechnik oder eines optimalen Nahtmaterials. Die große methodische Vielfalt der publizierten Studien (In-vivo- oder Ex-vivo-Versuchsanordnungen, Einsatz verschiedener Spezies, einfache Reißfestigkeitsmessung oder Wechselbelastung etc.) verhindert die Vergleichbarkeit und führt auch zu widersprüchlichen Ergebnissen. Allerdings gibt es einige Prinzipien (Tab. 1), die beachtet werden sollten.

Geringere Rupturraten von Vier- und Sechsstrangnähten gegenüber Zweistrangnähten bei guten Ergebnissen konnten anhand zahlreicher Studien (beispielsweise [41]) belegt werden (Übersicht bei [12, 13, 36, 42]). Trotzdem ist es weiterhin berechtigt, Zweistrangnähte, die über viele Jahre hinweg erfolgreich angewandt wurden, bei entsprechenden passiven Nachbehandlungskonzepten einzusetzen [36]. Die Entwicklung neuer Nahttechniken mit höherer Strangzahl und komplexen Stichformen darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass diese Verfahren auch Nachteile haben können. Sie sind technisch schwieriger durchzuführen. Das Einbringen erheblicher Mengen Nahtmaterial führt zu rigiden Nahtbereichen mit erhöhtem Gleitwiderstand. Einige Autoren halten sie daher trotz erfolgreicher persönlicher Erfahrungen wegen der geringen Dimension der menschlichen Beugesehnen für zu kompliziert in der alltäglichen Anwendung [12]. Sie weisen darauf hin, dass der Einsatz dieser Nahttechniken außerhalb spezialisierter Zentren zu enttäuschenden Ergebnissen führen kann [42]. Die Vierstrangnaht [41, 43] in Kombination mit einer umlaufenden Adaptationsnaht scheint zurzeit einen günstigen Kompromiss darzustellen [12]. Bei aller Faszination für die Technik der Beugesehnennaht sollte allerdings nicht vergessen werden, dass der Enderfolg gleichermaßen von einer kompetenten Nachbehandlung und der Kooperationsfähigkeit des Patienten abhängig ist.

Korrespondenzadresse

Priv.-Doz. Dr. med. T. Pillukat
Klinik für Handchirurgie
Salzburger Leite 1
97616 Bad Neustadt an der Saale
t.pillukat@handchirurgie.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T. Pillukat und J. van Schoonhoven geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

1. Duran RJ, Houser RG (1975) Controlled passive motion following flexor tendon repair in zones 2 and 3. In: Surgeons AAO (Hrsg) Symposium on tendon surgery in the hand. Mosby, Philadelphia, S 105–114
2. Urbaniak JR, Cahill JD, Mortenson RA (1975) Tendon suturing methods: analysis of tensile strength. In: Surgeons AAoO (Hrsg) Symposium on tendon surgery in the hand. Mosby, St.Louis, S 70–80
3. Gelberman RH, Boyer MI, Brodt MD, Winters SC, Silva MJ (1999) The effect of gap formation at the repair site on the strength and excursion of intrasynovial flexor tendons. An experimental study on the early stages of tendon-healing in dogs. J Bone Joint Surg Am 81:975–982
4. McGrouther DA, Ahmed MR (1981) Flexor tendon excursions in „no-man's land". Hand 13:129–141
5. Hatanaka H, Manske PR (1999) Effect of the cross-sectional area of locking loops in flexor tendon repair. J Hand Surg Am 24:751–760
6. Hotokezaka S, Manske PR (1997) Differences between locking loops and grasping loops: effects on 2-strand core suture. J Hand Surg Am 22:995–1003
7. Kirchmayr L (1917) Zur Technik der Sehnennaht. Zentralblatt Chirurgie 44:906–907
8. Kessler I (1973) The "grasping technique" for tendon repair. Hand 5:253–255
9. Xie RG, Tang JB (2005) Investigation of locking configurations for tendon repair. J Hand Surg Am 30:461–465
10. Betz C, Schleicher P, Winkel R, Hoffmann R (2013) Biomechanische Untersuchung der Zugfestigkeit von Sehnennähten - blockierende Zwischenknoten erhohen die Stabilitat. Handchir Mikrochir Plast Chir 45:20–25
11. Taras JS, Raphael JS, Marcyk SDBW, Culp RW (1997) Evaluation of suture caliber in flexor tendon repair. In: Hunter M, Schneider LH, Mackin EJ (Hrsg) Tendon and nerve surgery in the hand. Mosby, St.Louis
12. Wu YF, Tang JB (2014) Recent developments in flexor tendon repair techniques and factors influencing strength of the tendon repair. J Hand Surg Eur Vol 39:6–19

13. Savage R (2014) The search for the ideal tendon repair in zone 2: strand number, anchor points and suture thickness. J Hand Surg Eur Vol 39:20–29
14. Greenwald DP, Randolph MA, Hong HZ, May JW Jr (1995) Augmented Becker versus modified Kessler tenorrhaphy in monkeys: dynamic mechanical analysis. J Hand Surg Am 20:267–272
15. Becker H, Davidoff M (1977) Eliminating the gap in flexor tendon surgery. A new method of suture. Hand 9:306–311
16. Strickland JW (2000) Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress. J Hand Surg 25:214–235
17. Strickland JW (1993) The Flexor tendon repair: Indiana method. Indiana Hand Center Newsletter 1:1–12
18. Tang JB, Shi D, Gu YQ, Chen JC, Zhou B (1994) Double and multiple looped suture tendon repair. J Hand Surg Br 19:699–703
19. Tsuge K, Ikuta Y, Matsuishi Y (1975) Intra-tendinous tendon suture in the hand–a new technique. Hand 7:250–255
20. Sandow MJ, McMahon M (2011) Active mobilisation following single cross grasp four-strand flexor tenorrhaphy (Adelaide repair). J Hand Surg Eur Vol 36:467–475
21. Savage R (1985) In vitro studies of a new method of flexor tendon repair. J Hand Surg Br 10:135–141
22. Osei DA, Stepan JG, Calfee RP et al (2014) 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 39:262–268
23. Calfee RP, Boone S, Stepan JG et al (2015) Looped versus single-stranded flexor tendon repairs: a cadaveric mechanical study. J Hand Surg 40(958–962):e951
24. Norris SR, Ellis FD, Chen MI, Seiler JG III (1999) Flexor tendon suture methods: a quantitative analysis of suture material within the repair site. Orthopedics 22:413–416
25. Zechner W, Buck-Gramcko D, Lohmann H, Goth D, Stock W (1985) Überlegungen zur Verbesserung der Nahttechnik bei Beugesehnenverletzungen. Klinische und experimentelle Studie. Handchir Mikrochir Plast Chir 17:8–13
26. Gibbons CE, Thompson D, Sandow MJ (2009) Flexor tenorrhaphy tensile strength: reduction by cyclic loading: in vitro and ex vivo porcine study. Hand (N Y) 4:113–118
27. Rees L, Matthews A, Masouros SD, Bull AM, Haywood R (2009) Comparison of 1- and 2-knot, 4-strand, double-modified kessler tendon repairs in a porcine model. J Hand Surg Am 34:705–709
28. Soejima O, Diao E, Lotz JC, Hariharan JS (1995) Comparative mechanical analysis of dorsal versus palmar placement of core suture for flexor tendon repairs. J Hand Surg Am 20:801–807
29. Aoki M, Manske PR, Pruitt DL, Larson BJ (1995) Work of flexion after tendon repair with various suture methods. A human cadaveric study. J Hand Surg Br 20:310–313
30. Tan J, Tang JB (2004) Locking repairs for obliquely cut tendons: effects of suture purchase and directions of locking circles. J Hand Surg Am 29:891–897
31. Lee SK, Goldstein RY, Zingman A et al (2010) The effects of core suture purchase on the biomechanical characteristics of a multistrand locking flexor tendon repair: a cadaveric study. J Hand Surg Am 35:1165–1171
32. Lister GD, Kleinert HE, Kutz JE, Atasoy E (1977) Primary flexor tendon repair followed by immediate controlled mobilization. J Hand Surg Am 2:441–451
33. Geldmacher J, Köckerling F (1991) Wiederherstellungsverfahren an Sehnen und ihre Anwendung nach Verletzungen von Beugesehnen der Hand. In: Sehnenchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München, S 110–152
34. Diao E, Hariharan JS, Soejima O, Lotz JC (1996) Effect of peripheral suture depth on strength of tendon repairs. J Hand Surg Am 21:234–239
35. Moriya T, Zhao C, An K-N, Amadio PC (2010) The effect of epitendinous suture technique on gliding resistance during cyclic motion after flexor tendon repair: a cadaveric study. J Hand Surg 35:552–558
36. Elliot D, Giesen T (2013) Primary flexor tendon surgery. Hand Clin 29:191–206
37. McDonald E, Gordon JA, Buckley JM, Gordon L (2011) Comparison of a new multifilament stainless steel suture with frequently used sutures for flexor tendon repair. J Hand Surg Am 36:1028–1034
38. Bruck JC, Schlögel R (1985) Erfahrungen mit resorbierbarem Nahtmaterial (PDS) bei Sehnennähten. Handchir Mikrochir Plast Chir 17:238–240
39. Wada A, Kubota H, Taketa M, Miuri H, Iwamoto Y (2002) Comparison of the mechanical properties of polyglycolide-trimethylene carbonate (Maxon) and polydioxanone sutures (PDS2) used for flexor tendon repair and active mobilization. J Hand Surg Br 27:329–332
40. O'Broin ES, Earley MJ, Smyth H, Hooper AC (1995) Absorbable sutures in tendon repair. A comparison of PDS with prolene in rabbit tendon repair. J Hand Surg Br 20:505–508
41. Winkel R, Kalbhenn O, Hoffmann R (2012) Ergebnisse von Nähten der Beugesehnen der Finger mit Kernnähten aus 2-Strängen (40 Sehnen) und Kernnähten aus 4-Strängen (64 Sehnen). Handchir Mikrochir Plast Chir 44:129–134
42. Tang JB (2013) Outcomes and evaluation of flexor tendon repair. Hand Clin 29:251–259
43. Stephan C, Saalabian A, van Schoonhoven J, Prommersberger KJ (2008) Die primäre Naht der Fingerbeugesehnen. Oper Orthop Traumatol 20:44–54