

Sehnenrupturen an der entzündlich rheumatischen Hand – Bewährtes und Neues im operativen Umgang

Tendon ruptures in inflammatory rheumatic hands: proven concepts and new techniques in surgical handling

Autorinnen/Autoren
Ingo Arnold

Institute

Rheumaorthopädie, Rotes Kreuz Krankenhaus, Bremen, Germany

Schlüsselwörter

Sehnenruptur, Sehnenheilung, Tenosynovialitis der Hand, Beugesehennaht

Key words

tendon rupture, tendon healing, tenosynovitis hand, flexor tendon repair technique

Bibliografie

Akt Rheumatol 2023; 48: 181–188

DOI 10.1055/a-2070-0296

ISSN 0341-051X

© 2023. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. Ingo Arnold
Rotes Kreuz Krankenhaus, Rheumaorthopädie,
St. Pauli Deich 24
28199 Bremen
Germany
Tel.: 04215599501, Fax: 04215599508
Arnold.I@roteskruzkrankenhaus.de

ZUSAMMENFASSUNG

Die verbesserten medikamentösen Möglichkeiten einer nachhaltigen Entzündungskontrolle hat im Bereich der Hand zu einem deutlichen Rückgang notwendiger rheumaorthopädischer Operationen im Zusammenhang mit Sehnenrupturen geführt. Ausgehend von einer ungefähren Remissionsrate von 55–60% bei RA Patienten besteht dennoch weiterhin die Notwendigkeit einer sorgfältigen Kontrolle insbesondere auch der Sehnen im Bereich von Händen und Füßen, auch weil einzelne

Gelenke sich gegenüber ansonsten systemisch gut wirksamen Remissionsinduktoren als therapierefraktär erweisen können („rebellisches Gelenk“). Durch eine Verbesserung primärer Sehnennahttechniken z. B. durch eine Erhöhung der Anzahl an Kernnähten (Stränge) haben sich auch bei Rheumapatienten die Möglichkeiten einer direkten Reparatur optimiert. In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich allerdings um protrahierte Verläufe mit postprimären Sehnenrupturen, sodaß die Defektsituation dann keine primäre Naht mehr zuläßt und profunde Kenntnisse im Umgang mit Sehenkopplungs- und Transfertechniken erfordert. Im Bereich der Beugesehnenchirurgie sollte der Rheumaorthopäde zukünftig von den jüngeren Erfahrungen aus der Handchirurgie hinsichtlich neuer Nahttechniken und frühfunktioneller Nachbehandlungskonzepte profitieren können.

ABSTRACT

Improved drug options for sustained inflammation control have led to a significant reduction in the number of rheumatoid orthopaedic surgical procedures required in association with tendon ruptures in the hand. Nevertheless, based on an approximate remission rate of 55–60% in RA patients, there continues to be a need for careful control, especially of the tendons in the hands and feet, also because individual joints may prove refractory to treatment in the face of remission inducers that are otherwise systemically effective (“silent inflammation”). Improvements achieved in primary tendon suture techniques, e. g., by increasing the number of core sutures (strands), have also optimised the possibilities of direct repair in rheumatoid patients. In the majority of cases, however, there are protracted courses with post-primary tendon ruptures, which means that the defect situation no longer permits a primary suture and requires profound knowledge in the use of visual coupling and transfer techniques. In the field of flexor tendon surgery, rheumatoid orthopaedists should, in the future, be able to profit from the recent experience gained in hand surgery with regard to new suture techniques and early functional post-treatment concepts.

Einführung

Im Unterschied zu Überlastungen des Sehngewebes, welche zu Stenosen in den fibrösen Außenschichten der Retinakula und der A1-Ringbänder sowie zu Tendinosen führen können, zeichnen sich chronisch entzündliche Erkrankungen durch eine proliferative Tenosynovialitis als Erkrankung der synovialen Innenschicht der Sehnscheide mit Sehneninfiltration und Tendinitis aus. Die Notwendigkeit rheumaorthopädischer Eingriffe im Bereich der Hand hat sich durch die Optimierung der medikamentösen Behandlungsansätze (engmaschige Krankheitskontrolle, rascher Therapiebeginn, Remission als Therapieziel) und durch den vielfältigen Einsatz von Biologika und weitere facettenreiche Therapieprinzipien, wie die Hemmung intrazellulärer Signalwege durch Januskinase-Inhibitoren, i. S. einer deutlich besseren Krankheitskontrolle sehr erfreulich reduziert.

Insbesondere schwere destruktive Veränderungen werden viel seltener beobachtet. Fakultative Destruktionen und Deformationen des rheumatischen Handgelenkes und der Hand erfolgen insofern langsamer und deutlich weniger schwer. Durch diese zielgerichteten Therapiestrategien lassen sich die tenosynovialen Entzündungen allerdings etwas weniger zuverlässig beeinflussen, als die Gelenke selbst. Sonographische und MRT-gestützte Untersuchungen an prä-RA-Kohorten fanden über zufällig Tenosynovialitiden (tiefe Beugesehne Zeigefinger, Extensor carpi ulnaris Sehne) weit bevor eine Arthritis nachweisbar war [1]. Bei immerhin 10% der Patienten mit Rheumatoider Arthritis und suffizienter Kontrolle der systemischen Aktivität, weisen einzelne Gelenke noch residuelle Synovialitiden auf. Vermutet wird, dass es sich hierbei um eine grundsätzlich andere Entzündungsentität handeln könnte mit in der Immunphänotypisierung unterschiedlichen Entzündungsmustern [2]. Eine weitere, allerdings seltene Ursache persistierender entzündlicher Tenosynovialitiden immunsupprimierter Patienten, könnte das Vorliegen einer atypischen Infektion mit primär in der Mikrobiologie nicht detektierten sog. nicht tuberkulösen Mykobakterien (NTM: nicht tuberkulöse mykobakterielle Tenosynovitis), welche unbehandelt zu sehr ausgeprägten granulomatösen Destruktionen des Sehngewebes führen können, sein [3, 4]. Durch die sehr effektive Schmerzbeeinflussung unter Biologikatherapie kann es außerdem passieren, dass Betroffene ein Fortschreiten ihrer Entzündung nicht wahrnehmen und sich dadurch schleichende Sehnenrupturen entwickeln, welche dann erst spät in Folge eines relevanten Funktionsausfalls bemerkt werden.

Im Frühstadium der RA ist die Sehnscheide noch nicht verbreitert. Erguss und/oder der Nachweis kleiner fibrinöider Reizkörper können erste Manifestationszeichen sein. Mit fortschreitender Krankheit hypertrophiert dann die Synovialis und das entzündete Gewebe infiltriert die Sehnensubstanz. Proliferative Tenosynovialitiden betreffen zunächst also das Stratum synoviale, bevor sie im Sinne einer sekundären Tendinitis die Sehne infiltrieren. Die drei häufigsten Lokalisationen für eine rheumatische Sehnscheidenbeteiligung finden sich an der dorsalen und palmaren Seite des Handgelenkes sowie palmar im Bereich der Finger. Extrinsische Faktoren, wie scharfkantige Ausstülpungen des Radius, Schwanenhals oder Knopflochfehlstellung der Finger oder eine Ulnardeviation und Subluxation des Carpus nach volar mit vermeintlichem Hochstand des Ellenköpfchens spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Die dadurch entstehenden knöchernen Vorsprünge fungieren dann quasi als eine innere „Sehnensäge“ [5, 6]. Vaskuläre Faktoren, wie eine verminderte Perfusion an den Retinakula und Pulleys spielen ebenfalls eine Rolle.

Im Zusammenhang mit karpalen Instabilitäten und der dorsalen Dislokation der Ulna reißt im Bereich der Strecksehnen am häufigsten die Sehne des Extensor digiti minimi [7]. Diese Ruptur kann klinisch unauffällig bleiben, da der Extensor digitorum communis alle vier Finger streckt und die EDM-Ruptur erst durch eine dezidierte gesonderte Untersuchung des kleinen Fingers auffällt.

Die Ruptur einzelner Sehnen führt nicht zwangsläufig zu einer deutlichen Funktionseinschränkung und wird von den Patienten häufig gut kompensiert. Isolierte Rupturen stehen aber nicht selten im Zusammenhang mit weiteren Sehnenrupturen. Eine weitere streckseitige Prädilektionsstelle für Rupturen stellt das Tuberculum lister für die Sehne des Extensor pollicis longus dar. Biel et al. haben in einer retrospektiven Studie bei 1572 rheumaorthopädischen Interventionen im Bereich der Hand 61 Rupturen der Strecksehnen finden können, was einer Prävalenz von 4% entspricht.

Rupturierte Beugesehnen treten dagegen seltener auf. Bei Rheumapatienten scheint die Beteiligung der Beugesehnen allerdings mit einer höheren Krankheitsaktivität zu korrelieren. Grey und Gottlieb beobachteten bei Patienten mit aktiver Beugesehnenentzündung eine signifikant höhere Prävalenz von Rheumaknoten und begleitendem Karpaltunnelsyndrom. Ein CTS in Verbindung mit einer Beugesehnenentzündung wird bei bis zu 60% der Patienten beobachtet [8]. Auch beugeseitig begünstigt eine progrediente Fehlstellung der Handwurzel in Verbindung mit der tenosynovialen Infiltration das Auftreten einer Beugesehnenrupturen. Die Rupturstelle befindet sich zumeist auf Höhe des Carpalkanals. Distale Rupturen sind selten. Aufgrund der anatomischen Nähe zum Kahnbein ist die Flexor pollicis longus Sehne besonders disponiert, gefolgt von der Profundusehne der Zeigefinger und des Kleinfingers. Obwohl Rupturen des FPL und auch des Index profundus bei Rheumapatienten oft nur geringe Behinderung verursachen, ist eine Operation meistens gerechtfertigt um weitere Sehnenrupturen zu verhindern.

Der Verlauf von entzündlichen Sehnenrupturen an der Hand verläuft häufig schleichend. Es können sich peritendinöse Adhäsionen bilden, welche noch eine Restfunktion garantieren. Dieser Prozess verläuft dann unbemerkt und schmerzlos, insbesondere wenn die Patienten, wie oben beschrieben, unter Biologika stehen und es dauert lange bis sich ein relevanter Funktionsausfall bemerkbar macht.

Ein solcher protrahierter Verlauf ist dann mit einer weitreichenden Zerstörung des Sehngewebes korreliert und erlaubt in den seltensten Fällen eine primäre End- zu-End-Naht.

Die Möglichkeiten einer suffizienten Sehnenheilung sind auch deshalb limitiert, weil sich das Entzündungsgeschehen viel intensiver darstellt, als bei den degenerativen Tendinopathien. Untersuchungen von Synovialproben fanden mittels Enzymimmunosay eine hohe Aktivität von den Metalloproteinasen MMP1 und MMP2 sowie MMP13 und eine um 2,5-fach erhöhte Dichte von VEGF, TIMP1 und TNF-alpha. Diese hohe Konzentration proinflammatorischer Zytokine und proteolytischer Enzyme verringert die Chancen einer primären Sehnenheilung. Die Produktion von VEGF deutet zudem darauf hin, dass die Angiogenese eine wichtige Rolle bei der tenosynovialen Proliferation und Invasion des Sehngewebes spielt [9]. Aus diesen Gründen sollte es das Bestreben sein, die Ruptur einer Sehne als Endstadium eines komplexen pathomechanischen Prozesses möglichst zu vermeiden und durch eine sorgsame und kontinuierliche klinische und vor allem sonographische Unter-

suchung Entzündungen des Tenosynoviums früh zu detektieren und suffizient mit Remissionsinduktoren zu behandeln bevor der Entzündungsprozess vom Tenosynovium auf die Sehne selbst vorschreitet. Dieses Ziel erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen der orthopädischen Rheumatologie und dem internistischen Rheumatologen.

Die Mechanismen einer chronischen Entzündung, welche den pathophysiologischen Verlauf degenerativer Tendinopathien bestimmen, unterscheiden sich von der Rheumatoiden Arthritis und der Spondyloarthropathie oder Psoriasisarthritis wesentlich. Während sich bei der SpA und PsA das Entzündungsgeschehen hauptsächlich enthesial abspielt, weist die Rheumatoide Arthritis eher ein synoviales Befallsmuster auf. Dabei ist kein mechanischer Stress als Co-Aktivator nötig, um die Kaskade des Zerstörungsverlaufs in Gang zu setzen. Der für die Genese degenerativer Tendinopathien triggernde Einfluß von mechanischer Belastung ist seit langem bekannt und wird jetzt aber auch als möglicher Auslöser für einige Formen chronisch entzündlicher Enthesitiden, insbesondere im Rahmen der Psoriasisarthritis oder Spondyloarthritis erkannt. Dafür spricht z. B., dass die unteren Extremitäten häufiger betroffen sind als die oberen. Die Überbelastung der Sehne hat deutliche Veränderungen der Zellaktivität in katabole Reaktionsmuster und Aktivierung von Metalloproteasen zur Folge, welche das Gewebegefüge der Sehne nachhaltig verändern. Bei Patienten mit PsA oder SpA ist die entzündliche Reaktion im Knochenmark in der MRT-Bildgebung als Osteitis zu erkennen. IL-23 spielt bei der Entstehung einer Enthesitis eine wesentliche Rolle: Es kann den Ablauf einer Enthesitis massiv triggern und so den postulierten mechanischen Trigger gleichsam umgehen. IL-17 wiederum fördert die Migration und Aktivierung von Neutrophilen. Die IL-17-Produktion ist ein weiterer Schritt zur Verstärkung der entzündlichen Reaktion. So könnten scheinbar unterschiedliche Erkrankungen des Bewegungsapparates ähnliche immunpathogenetische Mechanismen auslösen, welche auf mechanischen Stress beruhen [10].

Darüber hinaus ist bekannt, dass für die Integrität der Extrazellulärmatrix neurovegetative Reize und ein auf die Belastung abgestimmtes Gefäßsystem von entscheidender Bedeutung sind. Bänder und Sehnen des Bewegungsapparates weisen durch spezifische Belastungsmuster eine sehr komplexe Morphologie auf [11].

Strecksehnenrupturen

Rupturen der Strecksehnen bei Rheumapatienten treten bevorzugt an mechanisch belasteten Bereichen auf. Biehl et al. [12] fanden in ihrem Kollektiv von 1572 Operationen an rheumatoiden Handgelenken 61 Strecksehnenrisse bei 41 Patienten. Der durchschnittliche Zeitraum zwischen den ersten rheumatischen Symptomen an der Hand und der Operation betrug 6,4 Jahre. Die durchschnittliche Dauer der RA betrug 7,8 Jahre. 26 Patienten mit 27 Sehnenrekonstruktionen wurden mit einer durchschnittlichen postoperativen Dauer von 4,6 Jahren (3 bis 14,2 Jahre) in die Nachuntersuchung einbezogen. Am häufigsten riss die Sehne des extensor pollicis longus gefolgt von der Strecksehne des kleinen Fingers. Das Auftreten einer Tenosynovialitis wird meist früher bemerkt als eine radiocarpale Arthritis und betrifft am Handrücken vor allem das ulnarseitige fünfte und sechste Strecksehnenfach. Letzteres beinhaltet die Extensor carpi ulnaris Sehne, die zwar selten reißt, aber häufig nach palmar luxiert. Die Konturzunahme um die ECU-Sehnscheide ist

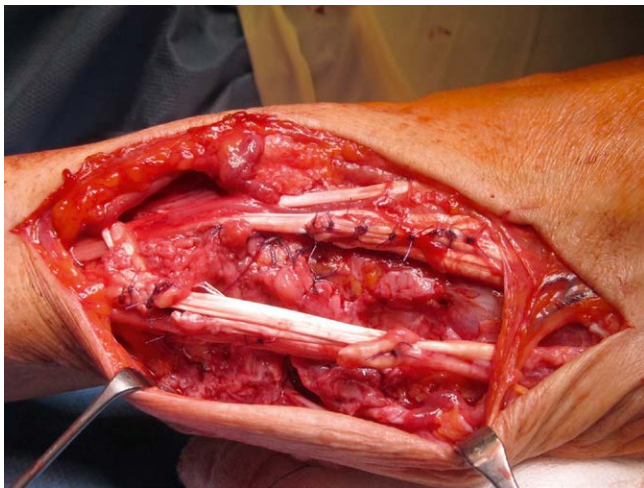
häufig das erste klinische Zeichen einer rheumatischen Handgelenkarthritis, wobei die Synovialitis eher im Radiocarpalgelenk beginnt. Dessen Rezessus ulnaris ist nur durch eine sehr dünne synoviale Schicht von der ECU-Sehnscheide getrennt, sodass die Entzündung sich sehr schnell ulnarseitig ausbreiten kann. Durch das Abrutschen der Sehne nach palmar wirkt der Musculus extensor carpi ulnaris dem sehr mobilem radiocarpalen Gelenk nicht mehr stabilisierend in ulnarer und palmarer Richtung entgegen, sodass das Handgelenk jetzt nicht mehr über dem Ulnaköpfchen zentriert bleibt. Die Handwurzel rutscht in der Folge mit dem Radius nach palmar ab, was zu dem paradoxen Erscheinungsbild des sogenannten Höherentretens des Ulnaköpfchens (Bäckdahl-Prozess) führt. Die ulnarseitigen Fingerstrecksehnen (Extensor digitorum communis und Extensor digiti minimi) können dann über den prominenten Ulnaköpfchen unter mechanischen Stress geraten, weil sie allein der palmaren Luxation von Radius und Carpus entgegenwirken. Gleichzeitig können Knochenkanten des Ulnaköpfchens als innere Sehnen säge wirken. Sind diese Sehnen arrodiiert, kann eindringendes synovialtisches Granulationsgewebe den Rupturprozess beschleunigen. Im Rahmen dieses Caput ulnae –Syndroms rupturieren damit zunächst die ulnarseitigen Strecksehnen. Der Ausfall der Kleinfingerstreckung ist hierfür das typische Kardinalsymptom. Bleibt dann eine unmittelbare rheumaorthopädische handchirurgische Intervention aus, droht die Ruptur weiterer Sehnen durch die Progredienz des Entzündungsprozesses im Zusammenhang mit der mechanischen karpalen Desintegration. Diese besteht auch in einem Abweichen des Carpus von der Mittelhand nach radial im Zusammenhang mit einem Shift des proximalen Handgelenkes nach ulnar [13].

Finden sich dann auch Entzündungen im Bereich der Fingergrundgelenke mit Aufweitungen von Kapseln und Bändern, luxieren die Strecksehnen in den ulnaren Interdigitalraum. Die Finger weichen dann nach ulnar ab (Handskoliose mit Ulnardeviation der Langfinger). Aus rheumaorthopädischer Sicht muss es das Bestreben sein, diesem Instabilitätsprozess rechtzeitig zu begegnen, das Handgelenk als Schlüsselgelenk zu begreifen und durch rechtzeitige stabilisierende Maßnahmen zu präventieren. Eine frühe operative Therapieoption besteht in der Stärkung des ulnarseitigen Komplexes durch dynamische Unterstützung der geschwächten Extensor carpi ulnaris Sehne. Hierzu wird nach Tenosynovialektomie der ECU-Sehne die Extensor carpi radialis longus-Sehne distal abgesetzt und auf die ECU-Sehne transponiert. Die Naht erfolgt dann meist in sogenannter Pulvertaft-Technik [14, 15].

Im Falle bereits eingetretener Sehnenrupturen erscheint ein ungünstiger Verlauf nach Sehnennaht eng mit der der Anzahl der rupturierten Sehnen und der Zeit, die bis zur operativen Intervention vergangen ist, korreliert zu sein. Zögerliches Zuwarten führt zu schlechteren funktionellen Ergebnissen und beeinträchtigen insbesondere auch die patientenspezifische Einschätzung der postoperativen Ergebnisse (PROM's). Die verfügbaren Funktionsscores bewerten nur die Gesamtsituation der Hand. Einen spezifischen Score für die Fingerfunktion gibt es nicht. Die globale Handgelenkfunktion ist jedoch für das tägliche Leben der Patienten von entscheidender Bedeutung, was bei der Planung und Bewertung therapeutischer Optionen berücksichtigt werden muss. Die Validität der verfügbaren Hand und Handgelenk Outcome Scores ist mit weniger als 60% leider eher niedrig und



► **Abb. 1** 62jährige ccP/Rf + RA Patientin mit guter Krankheitskontrolle unter MTX 15 mg/wö. und Adalimumab bs-DMARD mit chronischer Ruptur der Strecksehnen EDC IV und V. Aufgrund der Defektsituation keine End zu End Naht mehr möglich.



► **Abb. 2** Intraoperativer Befund nach Transfer EDC 3 auf 4 und Überbrückung der langen Defektstrecke der EDC V Sehne durch Palmaris longus Interponat.

insbesondere zur Einschätzung der Funktionalität im Bereich der Langfinger kritisch zu beurteilen [16].

Sehnen mit einem langen Bewegungsumfang, die in Knochennähe in ihrer Verlaufsrichtung umgelenkt werden, sind von Sehnencheiden umgeben. Der Aufbau entspricht im Wesentlichen der Struktur von Gelenkkapseln mit einem äußeren Stratum fibrosum und einem inneren Stratum synoviale. Das Stratum synoviale entspricht einem doppelwandigen Schlauch, dessen Spaltraum (Cavitas synovialis) mit Synovia gefüllt ist. Das innere Blatt (Lamina visceralis) ist mit dem Epitendineum und das äußere Blatt mit Stratum fibrosum fest verwachsen. Im Bereich der Fingersehnen finden sich zarte gefäßführende Bänder, die als Vincula brevia beziehungsweise longum bezeichnet werden. Sehnenabschnitte, die weit entfernt von diesen Versorgungsbrücken liegen, weisen eine verminderte Blutversorgung auf. Diese kritische Situation ist operativ zu berücksich-

tigen um spätere Komplikationen wie Ausriss der Nähte, Nahtdehizenzen und Störungen des Gleitvorganges zu vermeiden [17].

Zu den chirurgischen Optionen zur Behandlung einer Strecksehnenruptur, gehören die direkte End-zu-End-Naht, die Sehnenreplantation und ein Sehnentransfer durch benachbarte Sehnen [18]. Bevor über eine Strecksehnenrekonstruktion nachgedacht wird, sollte unbedingt der Zustand und die Funktion von Fingergrundgelenken und dem Handgelenk selbst bekannt sein. Falls erforderlich sollten unbedingt subluxierte Strecksehnen gleichzeitig im Zusammenhang mit einer Sehnenrekonstruktion über den Fingergrundgelenken rezentriert werden beziehungsweise ist das Handgelenk durch geeignete Techniken zu stabilisieren (Extensor carpi radialis longus-Transfer, radiolunäre Arthrodesse Chamay, RSL-Fusion) [19]. Auch sollte unbedingt eine Synovialitis im distalen Radioulnargelenk beziehungsweise ein Hochstand des Ulnaköpfchens beseitigt werden (weichteilige Stabilisierung nach Allieu, Formen der Resektionsarthroplastik des Caput ulnae) [14]. Weiterhin ist präoperativ zu klären, ob der Patient für einen möglicherweise langwierigen Rehabilitationsprozess mit nicht vorhersehbarem Ergebnis geeignet ist und wie stark der Patient durch die Rupturen in seiner Funktion überhaupt sich eingeschränkt zeigt. Insbesondere dann, wenn die Fingerelenke bereits sehr arthritisch befallen sind kann alternativ zur Sehnenrekonstruktion an den Interphalangealgelenken auch eine Arthrodesse durchgeführt werden. Dies hat den Vorteil der einfacheren Nachsorge. Aufgrund des meist längeren Prozesses der mechanischen und inflammatorischen Sehnen-schädigung besteht meist eine große Ausdehnung der Zerstörung innerhalb der Sehne. Damit sind End-zu-End-Reparaturen meistens nicht mehr möglich. Insofern sind die in der Rheuma-Orthopädie am häufigsten angewandten Techniken der Sehnentransfer und die Sehnenrekonstruktion mit einem freien Sehnentransplantat. Letzteres hat den Nachteil, dass zwei Nahtstellen generiert werden mit einer fakultativ größeren Gefahr postentzündlicher Adhärenzen. Die Palmaris longus-Sehne eignet sich sehr gut als freies Sehnen-transplantat (► **Abb. 1** und ► **2**), [20, 21]. Wird zusätzlich eine Handgelenkfusion notwendig, kann auch ein Transplantat aus den radialen Handgelenkstreckern, die dann ja entbehrlich sind, verwendet werden. In seltenen Fällen können auch Strecksehnen der Zehen entnommen werden, wobei hier die Donor-Morbidität negativ zu berücksichtigen ist. Sehr gut geeignet für den Transfer ist, wenn vorhanden, auch die Sehne des Extensor indicis proprius (EIP), gefolgt vom Flexor superficialis des Ring- oder Mittelfingers. Rupturen der EPL-Sehne lassen kaum eine direkte Naht zu. Die Rekonstruktion erfolgt dann nach Umlagerung der Extensor indicis proprius-Sehne (Indicis-Transfer) in Durchflechtungsnaht und Pulvertaft-Technik, wobei intraoperativ und auf eine geeignete Vorspannung zu achten ist. Bei gebeugtem Handgelenk sollte das Daumenendgelenk gestreckt sein, bei gestrecktem Handgelenk gebeugt.

Sehnenrekonstruktionen bei einfachen oder doppelten Rupturen erweisen sich prognostisch am günstigen, während die Behandlung multipler Rupturen eher als Rettungsmaßnahme anzusehen wäre. Für einen Sehnentransfer wird hingegen von einer Verwendung der Handgelenkstrecksehnen abgeraten, da die Auslenkung der Handgelenkmotoren deutlich geringer ist, als die der Fingerstrecksehnen, was dann zu einer unvollständigen Bewegung führen kann. Auch im Sinne einer Dorsal-Wrist-Stabilisation, hat es sich rheuma-orthopädisch be-

währt, bei Rekonstruktionen der ulnarseitig gerissenen Sehnen, zur Verbesserung des postoperativen Gleitverhalten das Retinaculum extensorum dann unter die Sehnen zu transponieren [22].

Durch eine Verbesserung primärer Sehnennahttechniken haben sich auch bei Rheumapatienten die Möglichkeiten einer direkten Reparatur optimiert [23]. Eine Erhöhung der Anzahl an Kernnähten (Stränge) erhöht die Stabilität der Sehnennaht, vermindert jedoch gleichzeitig die Gleitfähigkeit der Sehne durch das eingebrachte Fadenmaterial und ein „Aufwerfen“ der Rupturränder (bulking).

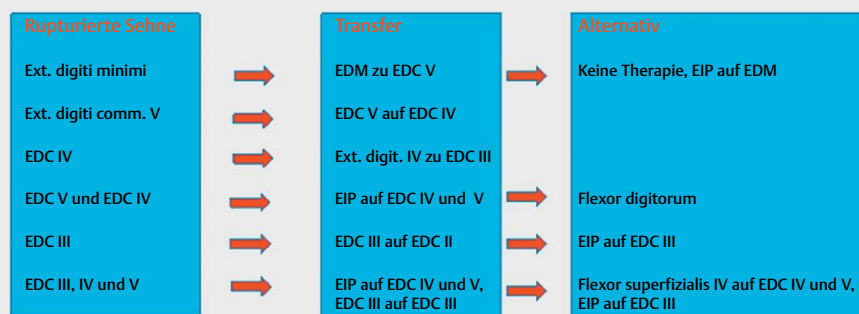
Anzahl der Kernnähte, Fadenmaterial und Fadenstärke bestimmen die Stabilität einer Sehnennaht. Für die Strecksehnen gilt es zu berücksichtigen, dass je weiter die Ruptur vom Muskelbauch entfernt liegt, desto flacher wird die Sehne im Querschnitt. Dies macht Nahttechniken, wie bei dem Beugesehnen mit Corenähten und zirkulärer Feinadaptation nicht immer möglich. Die häufigste Lokalisation einer postarthritischen Strecksehnenruptur betrifft allerdings die Zone 6 und 7 in der Einteilung von Verdán.

Hier zeigen die Strecksehnen einen ovalen Querschnitt, der in der Regel in der gleichen Technik wie Beugesehnen genäht werden kann. In der Vergangenheit wurden häufig die Nahttechniken nach Kirchmayr und Kessler mit einer Kernnaht (4×0) und fortlaufender Adaptationsnaht (5×0 oder 6×0) verwendet. Die von Lee [24] beschriebene Kernnahtmethode erhöht, je nach Anzahl der verwendeten Stränge, die Stabilität. Bei dieser Methode wird eine geschlungene Naht intratendinös mit einer Verriegelungsschleife platziert und ebenso am anderen Rupturende wieder zurückgeführt. Der Knoten wird dann innerhalb der reparierten Sehne platziert, um das Gleitverhalten möglichst gering zu beeinträchtigen. Shin et al. [25] konnten zeigen, dass mit 8 oder 10 Strangkernnähten versorgte Strecksehnenrupturen selbst bei schlechter Stumpfqualität zu guten funktionellen Ergebnissen führte. Limitationen diese aus der Beugesehnenchirurgen bekannten Techniken auch auf die Strecksehne zu übertragen, bestehen insbesondere durch eine zu voluminöse Sehnenreparatur und das Auftragen durch die verwendeten Verschlusschlaufen. Meist sind die Sehnenenden aber lang genug, um die „Locking Loops“ versetzt einzubringen. Zudem erlaubt ein Release oder eine Umlagerung des Retinaculum extensorum einen zusätzlichen Freiraum für den Sehnengleitvorgang.

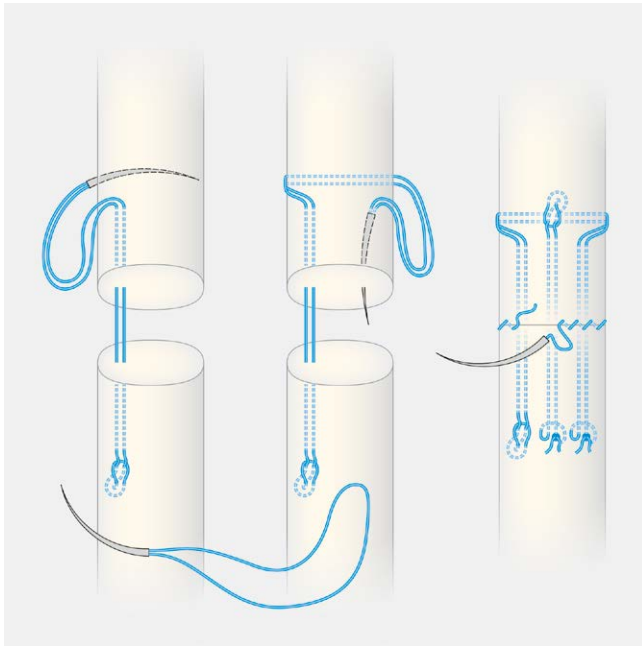
Shin et al. konnten zeigen, dass die Sehnenvorspannung und damit auch das funktionelle Ergebnis mit der direkten Naht günstiger ausfallen, als durch Sehneninterpositionen. Bei Letzteren lässt es sich häufig nicht vermeiden, dass ein gewisses aktives Extensionsdefizit der Finger bestehen bleibt. Pillukat et al. [26] dagegen untersuchten für ein nicht-RA Kollektiv, ob es keinen Unterschied in den Ergebnissen der freien Sehnentransplantation oder des Transfers der Extensor-Indicis-Sehne für die Rekonstruktion der Extensor-Pollicis-Longus-Sehne gibt. Beide Methoden führen zu gleich guten Ergebnissen. Die freie Sehnentransplantation ist technisch anspruchsvoller, erhält aber eine stärkere isolierte Streckung des Zeigefingers und sollte daher bei Patienten mit besonderen Anforderungen an diese Funktion (z. B. Musiker) bevorzugt werden. Der Transfer der Strecksehne ist technisch weniger anspruchsvoll, erfordert eine Umschulung und kann die isolierte Funktion des Zeigefingers beeinträchtigen.

Sehnennähte in zu starker Verkürzung sind ungünstig, weil diese die aktive Flexion limitieren. Der postoperativ erreichte Bewegungsumfang der Finger steht unstrittig im direkten Zusammenhang mit der Zufriedenheit des Patienten nach der Operation rheumatischer Strecksehnenrisse. Mag ein Flexionsdefizit mit vermehrtem Fingerkuppen-Hohlhandabstand noch gut kompensiert werden (Einschränkung bei dem musikalischen Gebrauch von Saiteninstrumenten), so fallen Streckdefizite kosmetisch mehr ins Gewicht und beeinträchtigen die Patienten zum Beispiel beim Waschen des Gesichtes. Bei der Planung einer Strecksehnenrekonstruktion ist es zwingend erforderlich, zuvor die Funktion des Handgelenkes und der Fingergrundgelenke zu beurteilen, denn keine noch so gute Strecksehnenrekonstruktion kann ein subluxiertes Fingergrundgelenk wieder mobilisieren oder rezentrieren und wird diesbezüglich erst ein weiterer Eingriff notwendig, bleiben die Ergebnisse im Vergleich zum einzeitigen Vorgehen schlechter. Im Zweifel sollte sich der Operateur durch Zug an den distalen rupturierten Strecksehnenenden davon überzeugen, ob damit noch eine ausreichende Qualität der Streckfähigkeit des MCP erzielt werden kann. Sehnentransfers können als End-zu-Seit- oder als End-zu-End-Rekonstruktionen durchgeführt werden [27]. (► **Abb. 3**).

Die in der Literatur berichteten Ergebnisse zwischen Sehnen-transfer und Sehnentransplantation sind weitgehend vergleichbar.



► **Abb. 3** Überblick über die möglichen Transfers für die verschiedenen Rupturszenarien. Die am besten geeignete Sehne ist die des Extensor indicis proprius (EIP), gefolgt vom Flexor superficialis des Ring- oder Mittelfingers. Die Verwendung von Extensoren des Handgelenkes (Extensor carpi radialis longus et brevis) ist nicht zu empfehlen, da deren motorischer Arbeitsbereich deutlich geringer als jener von Fingerstrecksehnen ist, was letztendlich dann den postoperativen Bewegungsumfang limitiert.



► **Abb. 4** 4-Strang-Naht in U-Tang-Technik mit 4-0 Fiber-Loop. Die M-Tang-Naht ist eine Modifikation der herkömmlichen Tang-Naht. Durch eine spezielle Nahttechnik vereint diese 6-Strang-Naht ein hohes Maß an Stabilität mit geringerer Anzahl an Knoten sowie Nähten auf der Sehnenoberfläche. Sechs längs- und zwei horizontal verlaufende Stränge bilden zusammen ein „M“-förmiges Muster. Die Kernnähte können geschützt werden durch eine zusätzliche epitendinöse fortlaufende Naht mit PDS 5-0.

Die durchschnittlichen Nachbeobachtungszeiten variieren zwischen 3 und 6 Jahren. Vorausgesetzt dass für den Sehnentransfer gesunde und nicht entzündlich betroffene Muskeln und Sehnen verwendet werden, spielt die Latenz bis zur durchgeführten Operation eine weniger wichtige Rolle, als bei Interposition eines Transplantates. Hier liegt die kritische Grenze bei circa 20 Wochen nach der Ruptur [28].

Beugesehnenrupturen

Die rheumatische Ruptur der Beugesehnen entsteht deutlich seltener als jene der Strecksehnen. Aufgrund der anatomischen Lokalisation der Nähe des Skaphoids rupturiert die Flexor pollicis longus-Sehne am häufigsten, gefolgt von der Profundussehne am Zeigefinger. Obwohl Rupturen des FPL und auch des Index-Profundus häufig bei Rheumapatienten kaum Behinderungen verursachen, ist eine Operation gerechtfertigt, um weitere Sehnenrisse zu verhindern. Die Inzidenz der Kompressionsneuropathie bei Patienten mit RA ist hoch. Ein CTS in Verbindung mit einer Beugesehnenentzündung wird bei bis zu 60 % der Patienten beobachtet. Isolierte FPL-Rupturen werden mit einem Transfer einer Superfzialissehne, insbesondere vom Ringfinger, rekonstruiert. Profundussehnen werden am günstigsten durch eine End-zu-Side-Tenodese mit einer intakten, benachbarten Profundussehne behandelt. Rupturen der Profundus- und der Superfzialissehne an einem Finger werden mit einem Sehnentransfer von einer intakten Superfzialissehne angegangen. Isolierte superfizielle Beugesehnenrupturen bedürfen

meist keiner Rekonstruktion. Grundsätzlich ist zu beachten, dass knöcherne Prominenzen im Rahmen der Sehnenrekonstruktion immer mit abzutragen sind. Das Hauptproblem der Beugesehnenchirurgie ist die Tendenz zu Verklebungen und Vernarbungen zwischen Sehne und umgebendem Gewebe. Besonders ausgeprägt ist diese Neigung im Bereich der Beugesehnen-scheiden. Die Gleitfähigkeit [29] wird beeinflusst durch:

- Auftreibung der Nahtstelle
- zu festes Anziehen der Kernnaht
- durch Einbringen von zu voluminösem Nahtmaterial
- Knoten, die nicht im Sehngewebe versenkt sind
- im Nahtbereich überstehende Fasern
- Dehiszenzen im Nahtbereich

Die Reparatur der Flexor pollicis longus-Sehne in Zone 2 wies zudem eine hohe Rate an Re-Rupturen auf. Hierauf basierend haben sich in den letzten Jahren im Hinblick auf die Versorgung traumatischer Beugesehnenverletzungen sehr viel Innovationen entwickelt. Diese betreffen neue Grundsätze der Sehnenadaptation und die Anzahl der Kernnähte und beziehen sich wesentlich auf die chinesischen Publikationen von Tang [30–32]. Auch werden inzwischen großzügiger z. T. die Ringbänder offen belassen (sogenanntes Venting) beziehungsweise partielle Resektionen der oberflächlichen Beugesehnenzüge durchgeführt. Auch zeigte sich, dass die Durchführung einer epitendinösen Naht vor der Kernnaht Stabilität und Gleitverhalten der versorgten rupturierten Beugesehnen deutlich verbessert [33]. Neben einer Verstärkung der Reißfestigkeit ist auch die Glättung der Oberfläche dadurch optimiert. Im Hinblick auf die Anzahl der Strangkernnähte hat sich gezeigt, dass hier 4–6 Ankernähte ausreichend sind. Auch wenn 8–10 Strangnähte die Festigkeit noch mehr erhöhen, sind diese mit dem Nachteil verbunden, dass sich im Nahtbereich dann zu große Wulstungen bilden, die das Gleitverhalten der Sehne wiederum beeinträchtigen. Im Hinblick auf die verwendeten Nahtmaterialien hat sich im handchirurgischen Einsatz das sogenannte Loop-Design bewährt. Mit diesen lassen sich die Strangkernnähte deutlich einfacher platzieren (► **Abb. 4**). In der Vergangenheit bestand Sorge vor einem unphysiologischen Aufspannen der Beugesehnen durch bewusstes Offenlassen eines oder mehrerer der fünf Ringbänder. Insbesondere die Ringbänder A2 und A4 galten seinerzeit diesbezüglich in der Handchirurgie als sakrosankt. Die neuen klinischen Ergebnisse haben aber allerdings zeigen können, dass auch eine zumindest partielle Eröffnung dieser Zonen ohne die Folge eines Durchhängens der Sehne (Bowstring) möglich ist. Bei dem als "Bowstring" bezeichneten Phänomen tritt die entsprechende Beugesehne am Finger deutlich hervor, wenn sie gegen Widerstand angespannt wird. Zeigt sich intraoperativ der Beugesehngleitvorgang immer noch unzureichend beeinträchtigt, ist es jetzt möglich über eine partielle oder komplette Resektion des oberflächlichen Beugesehnenzügels eine Optimierung des Gleitvorganges zu erreichen [34]. Dieses Vorgehen schwächt allerdings die aktive Flexionskraft und muss im Hinblick auf die anzustrebende Adhäsionsprophylaxe deutlich durch den Operateur abgewogen werden. Noch bleibt abzuwarten, inwieweit sich diese neueren operativen Techniken auf die entzündlich veränderten, postprimären Beugesehnenrupturen der Rheumapatienten übertragen lassen [35]. Ebenfalls derzeit nur im Zusammenhang mit der Versorgung frischer traumatischer Beu-

gesehnenrupturen, stehen neue intraoperative Verfahren, dass Rekonstruktionsergebniss unmittelbar zu überprüfen. Hierzu gehört der in Kanada entwickelte Ansatz ohne Narkose und nur mit Hilfe der Lokalanästhesie einschließlich Adrenalinzusatz auf die Verwendung eines Tourniquets verzichten zu können. Dieses sogenannte wide-awake-local anaesthesia with no tourniquet (WALANT) Verfahren erlaubt es dem Operateur:in nach Reparatur im Wachzustand des Patienten, durch einen aktiven Extensionstest des operierten Fingers das Sehnengleitverhalten überprüfen zu können um gegebenenfalls noch einmal intervenieren zu können. Darüberhinaus scheint WALANT auch das postoperative Komplikationspotential zu senken [36–38].

Die beste Möglichkeit Verklebungen zu vermeiden, besteht in der frühzeitigen Bewegung der Sehne. Die Einführung von Nachbehandlungskonzepten mit passiver Bewegung führte zu einer deutlichen Verbesserung der Ergebnisse. Die traditionelle Rehabilitation nach dem Kleinert oder Washington-Regime besitzt insbesondere für Defektversorgungen selbstverständlich weiterhin einen hohen Stellenwert. Noch günstiger stellen sich allerdings aktive Nachbehandlungskonzepte dar. Bei allen Verfahren wird die Nahtstelle mechanisch belastet, bevor die Sehne geheilt ist. Dies stellt an die Stabilität der Naht hohe Anforderungen. Durch die Einführung moderner belastungsstabiler Nahttechniken hat sich inzwischen auch die Nachbehandlung verändert. Neu etabliert hat sich das sogenannte Manchester-Konzept, bei welchem der orthetische Aufwand minimiert wird zugunsten früh aktiver Eigenübungen des Patienten [39]. Auch die Entwöhnung von der Orthese ist damit bereits nach weniger als 4 Wochen möglich. Auch das Dogma das Handgelenk möglichst flektiert orthetisch einzustellen (Kleinert-Schiene), hat sich zugunsten einer nur leichten Flexion von 10–15° verändert. Es scheint dabei das Gleitverhalten und damit Belastung der Sehne günstiger zu sein, als bei maximal gebeugtem Handgelenk. Peters und Ross [40] haben in ihrem Cochrane-Review jüngst die verschiedenen Nachbehandlungskonzepte anhand von 13 RTC's mit insgesamt 1108 Patienten verglichen. Das Kleinert-Regime mit Gummizügelung war den aktiveren postoperativen Methoden nicht überlegen, zu Ungunsten eines geringeren Patientenkomforts.

Es bleibt abzuwarten und spannend, inwieweit sich diese neuen Behandlungsstrategien von der Handchirurgie auch auf die Versorgung in der Rheumaorthopädie übertragen lassen. Derzeit fehlen noch direkte Vergleiche. Ebenso fehlt es noch an Erfahrungen über den Einsatz von biokompatiblen Polymeren zur Versorgung größerer postentzündlicher Sehnendefekte. Diese Gerüstsysteme sind mit therapeutischen Wirkstoffen und Mineralien versetzt und werden im Sinne des Tissue-Engineering angewendet. Der Nachteil konventionell verfügbarer Augmente besteht in der fehlenden Biodegradierbarkeit der nicht resorbierbaren synthetischen Polymere i. S. eines implantierten Fremdkörpers, welcher die elastischen Eigenschaften nativen Sehnengewebes nicht übernehmen kann [41].

Key points

- Immunpathologische Mechanismen sind sowohl bei degenerativen, als auch rheumatologischen Sehnenerkrankungen wesentlich für den Verlauf verantwortlich
- Sehnennrupturen der RA Patienten im Handbereich verlaufen zumeist schleichend und erfordern aufgrund der Defektsitua-

tion im rheuma-chirurgischen Umgang profunde Kenntnisse im Hinblick auf Sehnennaht- und Transfertechniken

- Nahttechniken, Nahtmaterial und Nachbehandlungsprinzipien in der Beugesehnenchirurgie haben sich in den letzten Jahren erheblich verändert. Wie weit diese Konzepte aus der Sehnentraumatologie in die rheuma-orthopädische Anwendung übertragbar sind, bleibt zukünftigen Untersuchungen vorbehalten

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Humby F, Durez P, Buch MH et al. R4RA collaborative group. Rituximab versus tocilizumab in anti-TNF inadequate responder patients with rheumatoid arthritis (R4RA): 16-week outcomes of a stratified, biopsy-driven, multicentre, open-label, phase 4 randomised controlled trial. *Lancet* 2021; 397: 305–317
- [2] Samuel K, Croft AP. Critical Role of Synovial Tissue–Resident Macrophage and Fibroblast Subsets in the Persistence of Joint Inflammation. *Front Immunol* 2021; 12: 715894
- [3] Sambhawana Bhandari W, Perdomo A, Rudinskaya K et al. Nontuberculous Mycobacterial Infection Mimicking Inflammatory Tenosynovitis: A Real Head Scratcher. *Cureus* 13: 2021
- [4] Alex B, Onya O, Diana D. A refractory tenosynovitis of the wrist: a case Report. *Journal of Medical Case Reports* 2022; 16: 75
- [5] Gaulke R. Die stadiengerechte operative Therapie der rheumatischen Handgelenkinstabilität. *OUP*; 2017: 10: 484–490. DOI: 10.3238/oup.2017.0484–0490
- [6] Gaulke R. Schultergürtel und obere Extremität. Konservative und operative Therapie der rheumatischen HandOrthopädie und Unfallchirurgie up2date 2022; 17: 457–474
- [7] Arnold I. Die operative Korrektur rheumatischer Handgelenkdeformitäten. *Akt Rheumatol* 2016; 41: 462–470
- [8] Kaya Subaşı P, Güler T, Yurdakul FG et al. Carpal tunnel syndrome in patients with rheumatoid arthritis and psoriatic arthritis: an electrophysiological and ultrasonographic study. *Rheumatol Int* 2021; 41: 361–368
- [9] Jain A, Nanchahal J, Troeberg L et al. Production of cytokines, vascular endothelial growth factor, matrix metalloproteinases, and tissue inhibitor of metalloproteinases 1 by tenosynovium demonstrates its potential for tendon destruction in rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 2001; 44: 1754–60
- [10] Gracy E, Bursens A, Cambre I et al. Tendon and ligament mechanical loading in the pathogenesis of inflammatory arthritis. *Nat Rev Rheumatol* 2020; 16: 193–207
- [11] Arnold I. Sehnenpathologien im Bereich des Fußes – Inflammation versus Degeneration: wo liegen die Unterschiede? *Akt Rheumatol* 2022; 47: 192–200
- [12] Chr Biehl M, Rupp S, Kern C et al. Szalay. Extensor tendon ruptures in rheumatoid wrist. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* 2020; 30: 1499–1504
- [13] Krieg B, Mascharka Z, Maderbacher G et al. Handchirurgie an der Rheumahand – Neues und Bewährtes. *Z Rheumatol* 2018; 77: 864–873

- [14] Allieu Y, Daussin PA, Chammas M et al. Results of rheumatoid wrist surgery (arthrodesis excepted): 16 patients with more than 20 year follow-up]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2005; 91: 24–33
- [15] Berhoueta J, Rouleta S. Combined synovectomy and extensor carpi radialis longus transfer to realign and stabilise the rheumatoid wrist, *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2019; 105: 417–421
- [16] Hanson B, Suk M, David L. Helfet Wie gut sind Hand & Handgelenk Outcome Scores?. *Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie*. 54. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie. Düsseldorf, 10.-12.10.2013. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2013
- [17] Zschäbitz A. Anatomie und Verhalten von Sehnen und Bändern. *Orthopäde* 2005; 34: 516–525
- [18] De Jong JP, Nguyen JT, Sonnema AJ. 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
- [19] Fakunle OP, DeMaio EL, Spencer CC et al. A Systematic Review of Radiolunate and Radioscapholunate Arthrodesis. *J Hand Surg Glob Online* 2021; 3: 81–87
- [20] Melanie F, Daniel G, Joachim G et al. Strecksehnenverletzungen an Hand und Unterarm. *OP-JOURNAL* 2015; 31: 152–159
- [21] Lee YS, Kim HS, Kim YH et al. Long-term clinical outcome of tendon transfer and tendon graft for extensor tendon ruptures in rheumatoid hands. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2022; 23: 865
- [22] S-H Shin a, K H Kang a, Y-S Lee b, et al. Reconstruction and repair of atraumatic extensor tendon ruptures in rheumatoid wrists: Less extension lag after direct repair than interposition tendon grafting. *Hand Surgery and Rehabilitation* 2020 39 302–309
- [23] Betz C, Schleicher P, Winkel R et al. Biomechanische Untersuchung der Zugfestigkeit von Sehennähten – blockierende Zwischenknoten erhöhen die Stabilität. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2013; 45: 20–25
- [24] Lee SK. Modern Tendon Repair Techniques *Hand Clin* 2012; 28: 565–570
- [25] Shin SH, Kang KH, Lee YS et al. Reconstruction and repair of atraumatic extensor tendon ruptures in rheumatoid wrists: Less extension lag after direct repair than interposition tendon grafting. *Hand Surg Rehabil* 2020; 39: 302–309
- [26] Pillukat T, Prommersberger KJ, van Schoonhoven J. Comparison of the results between reconstruction of the extensor pollicis longus tendon using a free interposition tendon graft and extensor indicis transposition. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2008; 40: 160–4. Do
- [27] Simmen BR, Kolling C, Herren DB. The management of the rheumatoid wrist. *Current Orthopaedics* 2007; 21: 344–357
- [28] Lee YS, Kim HS, Kim YH et al. Long-term clinical outcome of tendon transfer and tendon graft for extensor tendon ruptures in rheumatoid hands. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2022; 23: 865
- [29] Pillukat T. van Schoonhoven Nahttechniken und Nahtmaterial in der Beugesehnenchirurgie. *Trauma Berufskrankh* 2016; 18: S264–S269
- [30] Jin Bo T. Flexor Tendon Injuries. *Clin Plastic Surg* 46: 2019; 295–306
- [31] Tang JB, Lalonde D, Harhaus L et al. Flexor tendon repair: recent changes and current methods. *J Hand Surg Eur Vol* 2022; 47: 31–39
- [32] Tang JB. Wide-Awake Primary Flexor Tendon Repair, Tenolysis, and Tendon Transfer. *Clin Orthop Surg* 2015; 7: 275–81
- [33] Galvez MG et al. Gliding Resistance After Epitendinous-First Repair of Flexor Digitorum Pro fundus in Zone II. *J Hand Surg Am* 2017; 42: 662. e1–662. e9
- [34] Giesen T, Reissner L, Besmens I et al. Flexor tendon repair in the hand with the M-Tang technique (without peripheral sutures), pulley division, and early active motion. *Journal of Hand Surgery (European Volume)* 0: 1–6 2018
- [35] Harhaus-Wähner L. Beugesehnenchirurgie, hot topic Handchirurgie. Vortrag Ortho und Trauma update 2022
- [36] Nolan GS, Kiely AL, Madura T et al. Wide-awake local anaesthesia no tourniquet (WALANT) vs regional or general anaesthesia for flexor tendon repair in adults: protocol for a systematic review and meta-analysis. *Systematic Reviews* 2020; 9: 264
- [37] Kurtzman JS, Etcheson JJ, Koehler SM. Wide-awake Local Anesthesia with No Tourniquet: An Updated Review. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2021; 9: e3507
- [38] Connors KM, Guerra SM, Koehler SM. Current Evidence Involving WALANT Surgery. *J Hand Surg Glob Online* 2022; 4: 452–455
- [39] Hanne Wendt BA, Lina-Marie W, Heiko B et al. Beugesehnenachbehandlung nach dem Ludwigshafener Manchester Short SplintKonzept. https://www.bgkliniken.de/fileadmin/04_ludwigshafen/_content/PDFs/LMSS_Praesentation_komplett.pdf
- [40] Peters SE, Jha B, Ross M. Rehabilitation following surgery for flexor tendon injuries of the hand. *Cochrane Database Syst Rev* 2021; 2021: CD012479
- [41] Shiroud Heidari Behzad Natural, synthetic and commercially-available biopolymers used to regenerate tendons and ligaments. *Bioactive Materials* 19: 2023; 179–197