



# Achillessehnen- und Tibialis-anterior-Sehnenruptur

## Akute Achillessehnenrupturen

### Epidemiologie und Ätiologie

Die Inzidenz der Achillessehnenruptur steigt über die letzten Jahre kontinuierlich an. Beispielhaft in einer Dänischen Studie von 18,2 im Jahr 1984 auf 37,3/100.000 Einwohnern im Jahr 1996 [19]. Männer sind deutlich häufiger betroffen als Frauen in einem Verhältnis von ca. 5:1, die linke Achillessehne ist öfter betroffen [23, 42]. Achillessehnenrupturen finden zwischen der 2. und 8. Lebensdekade statt, mit dem Höhepunkt der Inzidenz zwischen der 3. und 5. Dekade [27, 38]. Während akute Rupturen häufiger bei älteren Sportlern auftreten, ist die Rerupturrate bei jüngeren Patienten häufiger.

Die Ätiologie der Achillessehnenruptur ist multifaktoriell. Die Achillessehne funktioniert als viskoelastische Einheit mit rascher Belastung der Muskel-Sehnen-Einheit. Wenn der Modulus der Elastizität (Vorspannung) ansteigt, erhält die Sehne eine steifere Struktur und ist anfälliger für Zerreißen [15]. Rupturen sind in nahezu allen Fällen mit größerer Aktivität (in der Regel mit Sport) assoziiert. In der gängigen Literatur haben die meis-

ten Patienten einen sitzenden Beruf und gehen gelegentlich als Hobbysportler intensiven körperlichen Aktivitäten nach. Folglich scheint der Wechsel zwischen Ruhe und starker Belastung eine prädisponierende Rolle für die Entstehung einer Sehnenruptur zu spielen. Jedoch können auch bei ausreichendem Trainingszustand durch eine außergewöhnlich schwere Überbelastung (Z. B. beim Geräteturnen oder Fallschirmspringen) sogar simultane bilaterale Achillessehnenrupturen vorkommen [17].

Direkte traumatische Ursachen sind äußerst unüblich, wie Z. B. ein Schlag gegen das hintere OSG, Quetschtrauma oder Schnittverletzungen. In der Regel liegen indirekte Ursachen vor und resultieren aus einem Zusammenspiel zwischen mechanischem Stress und intratendinöser Degeneration [18]. Alle in der Literatur beschriebenen Unfallmechanismen beschreiben Variationen einer schnellen Belastung auf eine bereits vorgespannte Sehne.

Die intrinsische Degeneration der Achillessehne wurde als Hauptfaktor für die Entwicklung einer Ruptur beschrieben [42]. Die Achillessehne wird massiv während sportlichen Aktivitäten belastet. Bei einem jüngeren Patienten mit einer normalen Sehne werden diese Kräfte toleriert. Mit dem Alterungsprozess wird die Sehne verletzungsanfälliger. Arner et al. [1] gingen soweit, dass eine Achillessehnenruptur nur in einer abnormalen Sehne vorkommen kann und dass eine Kombination von intratendinöser Degeneration und erhöhter mechanischer Belastung der Grund für eine Sehnenruptur

in allen Fällen darstellt. Die Autoren fanden in 75 histologischen Untersuchungen von Achillessehnenbiopsien von der Rupturstelle in 74 Fällen eine Sehnendegeneration inklusive mukoider Degeneration, tendinöser Kalzifikation oder Nachweis einer mikroskopischen Degeneration der normalen Kollagenfasern [1].

Obwohl Schmidt-Rohlfing et al. [43] berichten, dass keine Verbindung zwischen eingeschränkter Blutversorgung und Frequenz einer Achillessehnenruptur besteht, fanden andere Autoren [1, 41] durch Autopsie und Gefäßuntersuchungen eine eingeschränkte Anzahl und Durchmesser von Blutgefäßen in der vulnerablen Region 2–6 cm proximal der kalkanearen Insertion. Zusätzlich fand Arner et al. [1], dass nach der 3. Lebensdekade die Gefäßversorgung der Achillessehne zurückgeht. Die Autoren kamen zum Schluss, dass eine eingeschränkte Gefäßversorgung in diesem Bereich für eine chronische Achillessehnenruptur mit verzögerten Reparaturvorgängen ursächlich sein kann. Carr u. Norris [8] beobachteten, dass die Blutversorgung in dieser Region über das peritendinöse Gewebe gewährleistet wird und dass diese durch eine chronische Tendinitis reduziert oder unterbrochen sein kann. Prodromale Symptome vor einer Achillessehnenruptur wurden beschrieben und bestehen ungefähr in 10% der Fälle. Dies könnte erklären, warum indirekte Rupturen typischerweise in einem Bereich 2–6 cm proximal der kalkanearen Insertion liegen. Lea u. Smith [27] dokumentierten die Höhe der Ruptur und fanden in 3% eine distale ansatznahe Ruptur, in 73% eine intratendinöse Ruptur

### Zusatzmaterial online

Zu diesem Beitrag stehen Ihnen drei Videos zur Verfügung. Bitte folgen Sie dem Pfad: [www.DerOrthopaede.springer.de](http://www.DerOrthopaede.springer.de) >Online-Version >Beitrag >Electronic Supplementary Material oder geben Sie folgende URL ein: [dx.doi.org/10.1007/s00132-010-1691-4](http://dx.doi.org/10.1007/s00132-010-1691-4)



**Abb. 1** ▶ Patient in Bauchlage nach kompletter Achillessehnenruptur: sichtbare Lücke und fehlende Vorspannung



**Abb. 2** ▲ MRT einer ausgedehnten chronischen Achillessehnenruptur. Die hyperintensiven Bereiche entsprechen fettiger Sehnedegeneration

und in 24% eine muskulotendinöse Zerreißung.

Ein prädisponierender mechanischer Einflussfaktor kann eine starke Varus- oder Valgusfehlstellung der Ferse, oder auch eine funktionelle Hyperpronation beim Laufsport sein, welche zu einer Stresskonzentration an der medialen oder lateralen Achillessehne mit konsekutiven Mikrotraumata, Degeneration und erhöhter Rupturrate führt [10]. Barfred [4] konnte in einer In-vitro-Studie zeigen, dass bei einer 30°-Abkipfung der Ferse die Achillessehne einseitig unter Spannung gerät und sich dieser Anteil der Sehne erst um 10% verlängern muss, be-

vor die Fasern auf der konkaven Seite angespannt werden. Daher erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer Ruptur bei Fersenfehlstellung. Hierdurch könnte die individuelle Anatomie am Unterschenkel eine spezielle Prädisposition für eine Achillessehnenruptur darstellen und für die beobachtete familiärer Häufung von Achillessehnenrupturen verantwortlich sein [10]. Jessing u. Hansen [21] berichten von einem um 26% erhöhten Risiko, eine kontralaterale Achillessehnenruptur mit dem gleichen Rupturmuster wie die initiale Verletzung zu erleiden.

Allgemeine Risikofaktoren können zu einer Achillessehnenruptur prädisponieren: systemische Arthritiden (rheumatoide Arthritis, Gicht, systemische Lupus erythematoses), endokrine Erkrankungen (Niereninsuffizienz, Hyperthyreoidismus), Infektion (Syphilis, bakterielle Infektionen) und Tumoren [17]. Kujala et al. [26] fanden, dass Patienten mit Blutgruppe o und A ein größeres Risiko für eine Achillessehnenruptur hatten als die mit den Blutgruppen AB und B.

Die Einnahme von Fluorchinolonen ist in Zusammenhang mit einer Achillessehnenruptur gebracht worden [27, 44]. Orale Einnahme und lokale Injektionen von Kortikosteroiden waren Ursache in multiplen Berichten. Mahler u. Fritsch [32] analysierten 19 Studien von Achillessehnenrupturen und fanden, dass bei den meisten Patienten, welche Kortikosteroide erhielten, eine begleitende systemische Arthritis vorlag. Sie gaben zu bedenken, dass möglicherweise der entzündliche Prozess und nicht nur die pharmakologische Therapie der ursächliche Faktor der Achillessehnenruptur sein könnte.

## Anamnese und Befund

Typischerweise handelt es sich um einen mittelalten männlichen Patienten, welcher während einer sportlichen Aktivität einen Misstritt, Sprung oder Abstoßungsbewegung durchgeführt hat und dabei einen Schlag in die Achillessehne oder ein hörbares Peitschengeräusch bemerkt hat. Dieses Ereignis wird typischerweise von einem akuten Schmerz, eingeschränkter Gehfähigkeit und abgeschwächter Plantarflexionskraft begleitet. Eine Schwellung oder eine Einblutung im Bereich des Sprunggelenks kann sichtbar sein.

### ► Eine tastbare Lücke, eine aufgehobene Vorspannung und eine eingeschränkte Plantarflexionskraft sind pathognomonisch

Eine tastbare Lücke, eine aufgehobene Vorspannung und eine eingeschränkte Plantarflexionskraft sind pathognomonisch für eine Achillessehnenruptur (Abb. 1, s. Video 1 in der Online-Version des Beitrags). Das Hämatom kann innerhalb von 48 h derart aushärten, dass die Lücke schwierig tastbar wird. Wenn die Ruptur weiter proximal im Bereich des Sehnen-Muskel-Übergangs liegt, kann die eingeschränkte Plantarflexionskraft weniger deutlich ausfallen. Ein Patient mit einer vollständigen Achillessehnenruptur kann typischerweise nicht auf den Zehenspitzen stehen, jedoch kann aufgrund einer partiellen Ruptur, eines intakten M. plantaris, einer Übernahme der Funktion durch plantare Flexoren (M. peroneus brevis, M. peroneus longus, M. tibialis posterior und M. flexor digitorum longus) eine unbelastete Plantarflexionskraft erhalten sein. In solchen Fällen kann als indirektes Zeichen eine erhöhte Dorsalextension auf der Seite der Ruptur gefunden werden. Wegen geringer Schmerzhaftigkeit, keiner tastbaren Lücke und fehlender offensichtlicher Plantarflexionskraft kann die Diagnose vom Arzt und Patienten initial verpasst werden [42]. Es wird vermutet, dass in 20–25% der Fälle die Diagnose verspätet gestellt wird [42]. Maffulli [31] hat die gebräuchlichen klinischen Tests auf Sensitivität und Spezifität untersucht (Tab. 1).

## Bildgebung bei Achillessehnenruptur

Mittels genauer Anamnese und klinischer Untersuchung kann die Diagnose eindeutig gestellt werden und spezielle radiologische Untersuchungen sind nur selten nötig [18]. Frontale und seitliche Röntgenbilder können Frakturen oder Sehnenverkalkungen zeigen, jedoch sieht man in der Regel auf den Röntgenbildern nur eine Weichteilschwellung. Karger [22] beschrieb auf den seitlichen Röntgenbildern die scharfe Kontur eines Weichteilschattens (Karger-Dreieck), der anterior durch die tiefen Flexoren, posterior durch die Achillessehne und distal durch den Kalkaneus begrenzt wird. Wenn dieses Dreieck verschwommen und unscharf ist, liegt typischerweise eine Achillessehnenruptur vor.

## ► Ultraschall und MRT sind die empfohlenen diagnostischen Hilfsmittel

Ultraschall und Magnetresonanztomographie (MRT, **Abb. 2**) sind die empfohlenen diagnostischen Hilfsmittel, wenn die klinische Untersuchung nicht eindeutig ist oder die Diagnose bei einem physisch aktiven Patienten mit abgeschwächter Plantarflexionskraft erzwungen werden soll. Dabei ist das MRT besser zur Dokumentation geeignet und erzielt eine höhere diagnostische Spezifität und Sensitivität [3].

## Sehnenheilung

Die Achillessehnenheilung wird durch ein komplexes Zusammenspiel von inflammatorischen und Neuromediatoren in Kombination mit einem dosierten mechanischen Stimulus reguliert. In Tiermodellen kann die Achillessehnenheilung durch Wachstumsfaktoren, Thrombozytenkonzentrate und externe mechanische Stimulationen beschleunigt und verbessert werden. Ähnlich wie beim Knochen wird ein Hämatomkallus mit Wachstumsfaktoren und Reparaturzellen an der Rupturstelle gebildet, welcher die Rupturenden zuerst fixiert und sich dann bei zunehmender Heilung durch Belastung kontrahiert und so zu einer funktionellen Sehnenheilung im Tierversuch führt. Ohne Belastung

## Zusammenfassung · Abstract

Orthopäde 2010 · 39:1135–1147 DOI 10.1007/s00132-010-1691-4  
© Springer-Verlag 2010

G. Pagenstert · A. Leumann · A. Frigg · V. Valderrabano

## Achillessehnen- und Tibialis-anterior-Sehnenruptur

### Zusammenfassung

Achillessehnenrupturen (ASR) sind mit zunehmender Tendenz die häufigsten Sehnenrupturen der unteren Extremität, wohingegen weniger als 100 Fälle von Tibialis-anterior-Sehnenrupturen (TASR) in der Literatur beschrieben wurden. Beiden Sehnen gemeinsam sind die in der Regel degenerativ verursachten Rupturen in einem dafür anfälligen Sehnenabschnitt, wohingegen die traumatischen Durchtrennungen selten und ohne Ortsbeziehung vorkommen. Triceps surae und Tibialis anterior sind hauptverantwortlich für die sagittale Bewegung im oberen Sprunggelenk und führen bei Ruptur zu einem unverwechselbaren funktionellen Defizit. Trotzdem werden ASR in bis zu 25% und der TASR noch häufiger verspätet diagnostiziert.

Die frühzeitige primäre Naht hat die besten funktionellen Ergebnisse. Durch zuneh-

mende Retraktion und Muskelatrophie kann eine verspätete chirurgische Sehnenrekonstruktion nur ein weniger gutes funktionelles Resultat erreichen. Jedoch braucht nicht jeder Patient eine volle Belastbarkeit, Kraft und Ausdauer dieser Muskeln und so dürfen konservative Maßnahmen nicht vergessen werden. Inaktive Patienten mit eingeschränktem Allgemeinzustand und geringen Beschwerden sollten aufgeklärt werden, dass die chirurgische Therapie der TASR eine hohe Rerupturrate aufweist und der ASR selten transplantationspflichtige Wundheilungsstörungen verursachen kann.

### Schlüsselwörter

Achillessehnenruptur · Tibialis-anterior-Sehnenruptur · Konservative Therapie · Primäre Naht · Verspätete Rekonstruktion

## Achilles tendon ruptures and tibialis anterior tendon ruptures

### Abstract

Achilles tendon ruptures (ATR) are becoming the most frequent tendon rupture of the lower extremity, whereas less than 100 cases of tibialis anterior tendon ruptures (TATR) have been reported. Common in both tendons are the degenerative causes of ruptures in a susceptible tendon segment, whereas traumatic transections occur at each level. Triceps surae and tibialis anterior muscles are responsible for the main sagittal ankle range of motion and ruptures lead to a distinctive functional deficit. However, diagnosis is delayed in up to 25% of ATR and even more frequently in TATR.

Early primary repair provides the best functional results. With progressive retraction and muscle atrophy delayed tendon re-

construction has less favourable functional results. But not all patients need full capacity, power and endurance of these muscles and non-surgical treatment should not be forgotten. Inactive patients with significant comorbidities and little disability should be informed that surgical treatment of TATR is complicated by high rates of rerupture and surgical treatment of ATR can result in wound healing problems rarely necessitating some kind of transplantation.

### Keywords

Achilles tendon rupture · Tibialis anterior tendon rupture · Non-surgical treatment · Primary repair · Delayed reconstruction

**Tab. 1** Klinische Tests bei Achillessehnenruptur

|  |  |
|--|--|
| Palpation<br>(Sensitivität 0,73; Spezifität 0,89)        | Lücke in der Achillessehne meistens 3–6 cm über Insertion  |
| Thompson-Test<br>(Sensitivität 0,96; Spezifität 0,93)    | In Bauchlage wird die Wade am größten Durchmesser vom Untersucher zusammengedrückt. Bei erhaltener Sehne kommt es zu einer passiven Plantarflexion im Sprunggelenk, bei Ruptur nicht       |
| Knieflexionstest<br>(Sensitivität 0,88; Spezifität 0,85) | In Bauchlage soll der Patient beide Knie auf 90° anwinkeln. Während dieser Bewegung kommt es auf der unverletzten Seite zu einer passiven Plantarflexion im Sprunggelenk, bei Ruptur nicht |
| Einbeiniger Zehenstand                                   | Wenn der Patient einen einbeinigen Zehenstand ausführen kann, ist die Achillessehne nicht gerissen   |

**Tab. 2** Indikationen für eine chirurgische Therapie der Achillessehnenruptur

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Absolute Indikationen | Komplette akute oder chronische Rupturen mit dem Ziel der bestmöglichen funktionellen Wiederherstellung<br>Offene Rupturen   |
| Relative Indikationen | Partialrupturen mit dem Ziel der bestmöglichen funktionellen Wiederherstellung<br>Versagen der konservativen Therapie (>6 Monate)<br>Chronische Tendinose (>6 Monate)<br>Verspätete Diagnose von >4 Wochen<br>Reruptur<br>Jede Ruptur mit relevanter funktioneller Behinderung |
| Kontra-indikationen   | Inaktivität<br>Schlechter Allgemeinzustand<br>Schlechte Haut- und Weichteilverhältnisse<br>Fortgeschrittene systemische Grunderkrankung  |

kommt es nicht zur Kontraktion des Kallus und zu einer verzögerten Geweberegeneration [46]. Beim Menschen müssen die Rupturenden aneinander liegen bleiben, damit die oben genannten Stimuli ebenfalls ihre positiven Effekte zeigen. Ohne diese Sehnenzusammenführung kommt es beim Menschen zu einer Heilung der Sehne in Verlängerung mit konsekutiv geringerer Plantarflexionskraft, Belastbarkeit und Sportfähigkeit.

## Konservative Therapie

Das Grundprinzip der konservativen Therapie ist, die Enden der rupturierten Achillessehne durch Spitzfußstellung zusammen zu bringen und so die Selbstheilung des Körpers zu ermöglichen.

### Die Hauptkomplikation der konservativen Therapie ist die erhöhte Rerupturrate und die Heilung der Sehne in Verlängerung.

Die Rerupturrate wird zwischen 13 und 35% angegeben [48]. Nistor [39] beobachtete, dass alle Rerupturen in seiner Serie von konservativ therapierten Patienten

innerhalb der 1. und 7. Woche nach Gipsentfernung stattfanden, so dass von manchen Autoren eine 12-wöchige Immobilisation oder Orthesenschutz empfohlen wird. Die meisten Autoren bevorzugen einen Unterschenkelgips und sehen keinen Vorteil in einem Oberschenkelgips, welcher den gesamten Triceps surae ruhig stellt. Fruensgaard et al. [14] empfehlen jedoch einen Oberschenkelgips als initiale Therapie und konvertierten erst nach 2 Wochen in einen Unterschenkelgips und berichteten über eine geringere Rerupturrate von 4 aus 66 Patienten nach 12 Wochen Gips.

Da eine konservative Therapie die Sehnenden nicht mechanisch aneinander fixiert hält, kann es durch die gewünschte stimulierende Belastung im Gips zu einer Auseinanderweichung der Enden und Heilung in Verlängerung mit Insuffizienz kommen. Daher schlug Therrmann [47] vor, einem ultraschallkontrollierten Behandlungsalgorithmus zu folgen, um zwischen konservativ-funktioneller und chirurgischer Therapie zu entscheiden:

1. Kommen die Enden der Achillessehne im Ultraschall bei 20° Plantarflexion zusammen, wird primär konserva-

tiv im Gehgips mit 20° Plantarflexion und Vollbelastung therapiert, wenn nicht, wird primär operiert.

2. Nach 4 Wochen erfolgt eine Ultraschallkontrolle, welche einen 6–10 mm dicken Kallus um die Ruptur zeigen sollte. Zu dem Zeitpunkt sollte eine voll durchgängige Sehne getastet werden. Die Flexion gegen leichten Widerstand sollte eine Gastrocnemiuskontraktion fühlbar machen.
3. Nach 8 Wochen sollte der Ultraschall eine 10–14 mm dicke Sehne zeigen, welche zunehmend strukturierte Fasern aufweist. Der Thompson-Test ist physiologisch und der Patient sollte eine gewisse Plantarflexionskraft gegen Widerstand aufbringen können.

Kommt es bei einer der Verlaufskontrollen im Ultraschall zu einem Auseinanderweichen der Enden oder uhrglasförmigen Darstellung der Sehne, empfiehlt der Autor eine perkutane Achillessehnennennaht.

Befürworter der konservativen Therapie betonen, dass die konservative Therapie weniger Komplikationen als die chirurgische Therapie hat und vergleichen die Resultate besonders nach Wundkomplikationen. In der Regel können diese Komplikationen jedoch ohne Einfluss auf das Endergebnis behandelt werden. Auf die Dauer interessieren den Patienten die Belastbarkeit und die daraus resultierenden Fähigkeiten oder Behinderungen. Möller et al. [37] fanden in einer prospektiv randomisierten Studie, dass die Patienten nach Operation 8 Wochen und 2 Jahren nach Unfall eine signifikant bessere Lebensqualität hatten als nach konservativer Therapie ihrer akuten Achillessehnenruptur.

**Fazit.** Die Therapie der akuten Achillessehnenruptur muss an die Patientenbedürfnisse angepasst werden. Chirurgen dürfen die Technik der konservativen Gipstherapie bei Achillessehnenruptur nicht vergessen, genauso wie die konservativ tätigen Ärzte nicht vergessen dürfen, dass eine Immobilisation bei Achillessehnenruptur das Risiko einer Reruptur erhöht und die vollständige funktionelle Wiederherstellung seltener ist.



## Gipstechnik bei Achillessehnenruptur

Die konservative Therapie einer Achillessehnenruptur erfolgt durch die Anlage des Gipses mit Fuß und Sprunggelenk in spontaner Spitzfußstellung bei hängendem Unterschenkel. Eine forcierte Plantarflexion ist nicht nötig und kontraindiziert. In der Literatur besteht Uneinigkeit über die Ausdehnung und Dauer der Immobilisation sowie die Position des oberen Sprunggelenks (OSG) im Gips. Wir empfehlen, je nach Indikation, eine Oberschenkel-Softcastschiene, welche in leichter Knieflexion 20–30° und Sprunggelenk in passiver Plantarflexion im Sitzen ventral auf den Oberschenkel bis hinunter zum Fußrücken angewickelt wird. Nach 4 Wochen wird auf eine Unterschenkelgipsschiene gewechselt, welche ventral auf den Unterschenkel mit Einschluss des Fußrückens aufgewickelt wird. Bei adäquater Compliance kann zur gleichen Zeit mit einem Spezialschuh mit Hintereinstieg und einem Fersenpolster von 2,5 cm Höhe und Belastung an Stöcken begonnen werden. 8 Wochen nach Ruptur wird die Schiene weggelassen und mit leichten passiven Bewegungsübungen im Sprunggelenk begonnen. Der Keil im Spezialschuh wird in 2 Stufen abgebaut. Aktive Übungen werden erst 12 Wochen nach Ruptur empfohlen.

## Chirurgische Therapie

Die Immobilisation des Sprunggelenks im Spitzfuß führt nicht regelhaft zu einer adäquaten Anlagerung und damit Heilung der rupturierten Sehnenenden. Carden et al. [7] berichten, dass bei einem verspäteten Beginn einer konservativen Therapie von >1 Woche im Vergleich zur sofortigen Gipsanlage keine gleichwertigen Resultate erreicht werden können. Daher ist eine verspätete Diagnose eine Indikation für ein chirurgisches Therapieverfahren (■ Tab. 2).

Eine weitere Indikation zur Operation kann der Patientenanspruch auf körperliche oder sportliche Belastbarkeit sein. So konnte Kellam et al. [23] zeigen, dass eine chirurgische Therapie der Achillessehnenruptur in 93% der Fälle zu einer hohen Patientenzufriedenheit führte, wäh-

rend eine konservative Therapie dies nur in 66% erreichte.

Einige Autoren empfehlen eine mediale longitudinale Inzision, um damit die Plantarissehne leicht zu erreichen und den N. suralis zu schonen. Jedoch werden auch laterale longitudinale oder sogar eine Mittellinieninzision verwendet, wobei die Mittellinieninzision mit einer höheren Rate an Wundheilungsproblemen sowie Vernarbungen assoziiert wurde [42].

### Die Inzision sollte ohne exzessive mediale oder laterale Präparation direkt auf das Peritendineum führen

Was auch immer für eine Inzision gewählt wird, sie sollte ohne exzessive mediale oder laterale Präparation direkt auf das Peritendineum führen. Zur Sehnennaht werden je nach Autor resorbierbare oder nichtresorbierbare Fäden der Stärke 2 oder 3 verwendet. Es wurden u. a. die gebräuchlichen Techniken von Kessler, Bunnell und Krackow verglichen [20]. Dabei zeigte sich die Krackow- [25] oder Dreifach-Bunnell-Naht am stabilsten. Knochenanker oder eine transossäre Verankerung am Kalkaneus haben keinen Einfluss auf die Stabilität und Lückenbildung an der Rupturstelle unter Belastung.

Augmentationen der direkten Sehnennaht wurden mit multiplen Techniken empfohlen: Ausziehdrahtnaht, Fadenanker, Plantarissehnen- oder Fascia-lata-Mantel und freie Sehnedurchflechtungen. Die direkte Naht hat zum Ziel, die beiden Sehnenenden direkt miteinander zu verbinden und die Augmentation soll lediglich die erreichte Verbindung verstärken [2].

### Bevorzugte chirurgische Technik der primären Sehnennaht.

- Der Patient wird in Bauchlage gelagert mit einer Oberschenkelblutsperre. Der kontralaterale Unterschenkel wird ebenfalls ausgelagert und desinfiziert und dient als intraoperative Kontrolle, da das Hauptziel der Operation eine Wiederherstellung der passiven Vorspannungslänge des Triceps surae ist.
- Eine ca. 10 cm lange Inzision wird ca. 1 cm medial der Achillessehne angelegt. Es wird direkt scharf bis auf die

Sehne zugegangen und ohne mediale oder laterale Dissektion direkt das Peritendineum longitudinal gespalten, um die Ruptur darzustellen.

- Das Sprunggelenk wird plantarflektiert, um die Sehnenenden aneinander zu bringen.
- Es wird mit einer 2er PDS-Kordel (Resorption nach 3 Monaten) eine Krackow-Naht angelegt, um die Sehnenstümpfe aneinander zu halten ([25], ■ Abb. 3).
- Feinadaptation mit einer fortlaufenden resorbierbaren Naht der Stärke 0.
- Bei stark ausgefransten Sehnenenden, welche v. a. bei proximalen und Etagerupturen vorkommen, werden die größeren Sehnenbündel durch die gegenseitige Sehne mittels Durchzugsfaden durchgeflechtet und jeweils mit Einzelknopfnähten gesichert.
- Bei Bedarf wird die primäre Naht mit einem nach unten geschlagenen Fasziaastreifen oder mittels aufgefächelter Plantarissehne ummantelt, was eine Vernarbung gegen die Subkutanschicht vermindern soll (■ Abb. 4).
- Wird eine strukturelle Augmentation benötigt, wird primär die Plantarissehne durch die Rupturenden mittels Pulvertaftnaht durchflochten. Ist die Plantarissehne nicht brauchbar, wird die Grazilis- oder Semitendinosussehne verwendet.
- Anschließend wird die Wunde zweischichtig verschlossen – primär das Peritendineum und dann die Haut mit Einzelknopfnähten.

### Nachbehandlung nach primärer Achillessehnennaht

Die folgende Technik zum Anlegen einer dorsalen Unterschenkeltschiene oder eines Gipses in spannungsarmer Dorsalextension im Sprunggelenk wird empfohlen: Nach 4 Wochen wird auf einen Gehgips mit zunehmend neutraler Sprunggelenkposition gewechselt. 6 Wochen nach der Operation wird der Unterschenkelgips entfernt und einen Spezialschuh mit Hintereinstieg und Abrollrampe angelegt; Vollbelastung wird erlaubt. Wichtig ist, dass der Patient nicht im Zehenstand belastet.

Zuerst konzentriert sich die Physiotherapie auf sanfte passive Bewegungs-



**Abb. 3** ▲ Beispiel einer Krackow-Naht, welche in biomechanischen Tests die höchste Stabilität unter zyklischer Belastung zeigen konnte



**Abb. 4** ▲ Plantarisummantelung der Achillessehnenrekonstruktion. Diese extra Gleitschicht soll die Vernarbungen gegen das umgebene Fettgewebe reduzieren



**Abb. 5** ▲ Stabilschuh mit Hintereinstieg, Fersenkeil und Abrollrampe. (Mit freundl. Genehmigung von Fa. Künzli-Swiss Schuh AG, Windisch, Schweiz)

übungen. 2 Wochen nach Gipsentfernung wird mit aktiven Übungen und steigendem Widerstand gearbeitet; 4 Wochen nach Gipsentfernung (10 Wochen nach der Operation) wird Gehen in normalem Schuhwerk und die Rückkehr zur sportlichen Aktivität nach 14–16 Wochen empfohlen. Mit dieser traditionellen Nachbehandlung wurden zuverlässige Resultate erreicht [12].

#### — Eine frühere Rehabilitation kann langfristige funktionelle Defizite minimieren.

Daher wird von manchen Autoren eine modifizierte aggressive Nachbehandlung empfohlen. Haggmark et al. [16] beobachteten, dass mit einer frühzeitigen Bewegungstherapie eine Wadenatrophie ver-

hindert werden konnte und fanden nach langer Immobilisation eine frühzeitige muskuläre Ermüdung. Wir empfehlen eine frühzeitige geschützte Belastung mittels Spezialschuh mit Hintereinstieg, Abrollrampe und Fersenkeil von 2 cm, welcher eine Dorsalextension beschränkt (■ **Abb. 5**). In diesem Schuh kann nach 14 Tagen und Maßgabe der Schmerzen an Stöcken voll belastet werden. 4 Wochen nach der Operation wird der Keil entfernt und der Stabilschuh weitere 2 Wochen getragen. Motivierten und verlässlichen Patienten kann diese alternative Therapie eine frühzeitige Rückkehr in die Alltagsaktivität und anschließend auch die sportliche Aktivität bieten.

In einer Metaanalyse von 6 prospektiv randomisierten Studien wurde jeweils eine traditionelle funktionelle mit einer frühen vollbelastenden Nachbehandlung nach Achillessehnennaht verglichen [45]. Dabei fanden die Autoren, dass bei früher Vollbelastung zufriedener Patienten, weniger Nervenirritationen und Sehnenvernarbungen auftraten, jedoch Wundheilungsstörungen und Infektionen gleich waren.

#### Primäre minioffene Achillessehnennaht

Um das Risiko einer Wundheilungskomplikation zu reduzieren, wurden perkutane Verfahren vorgestellt. Jedoch kam es zu vermehrten Irritationen des N. suralis, weshalb ein minioffenes Verfahren entwickelt wurde, mit visuell kontrollierter Annäherung der Sehnenenden und kontrol-

lierte Schonung des Nervens. Dazu wird eine kleine, ca. 2 cm große Inzision unmittelbar über der Achillessehnenruptur angelegt, das Zielinstrumentarium wird unter Sicht unter das Paratenon eingeführt und die Naht über den externen Zielbügel durch die Sehne gestochen. Wenn die proximalen und distalen Enden mit jeweils 3 Nähten versehen wurden, wird das Zielinstrumentarium herausgezogen und damit die Nähte unmittelbar unter das Paratenon geführt. Nun können diese Enden nach Vorspannung der Gegenseite zusammen geknotet werden.

Assal et al. [2] berichteten über ihre Erfahrung mit dem Achillon-Zielbügel bei 82 Patienten mit intratendinösen Rupturen und fanden bei allen Patienten inklusive einigen Eliteathleten eine Rückkehr zum ehemaligen Aktivitätslevel. Einschränkungen für die Anwendung bestehen bei Rupturen, welche nicht intratendinös lokalisiert sind, da proximal der Muskel zu wenig Halt für die 3 Einzelfäden bietet und distal der Kalkaneus eine Anwendung des Zielbügels unmöglich macht. Auch kann die erreichte Stabilität der Naht nicht mit der Dreifach-Bunnell- oder der Krackow-Naht verglichen werden und muss daher weniger aggressiv nachbehandelt werden.

Es gibt unzählige chirurgische Techniken zur primären Naht der Achillessehne. Das zentrale Ziel aller chirurgischen Therapieformen ist es, die anatomische Länge des Triceps sure durch eine Aneinanderlagerung der rupturierten Sehnenenden wieder herzustellen. Ohne Zweifel

wird ein Hochleistungsathlet eine primär chirurgische Naht und ein aggressives postoperatives Rehabilitationsprogramm wählen, um ein bestmöglich funktionelles Ergebnis zu erzielen. Jedoch brauchen nicht alle Patienten eine komplette Rehabilitation von Muskelkraft, Dauerbelastbarkeit und funktioneller Kapazität.

## Komplikationen

In einem Übersichtsartikel fanden Wills et al. [48], dass 55 von 777 Fällen (20%) eine chirurgische Komplikation aufwiesen. Die Komplikation umfasst Narbenkeloide, Verletzungen des N. suralis, Sehnenadhäsionen, Infektionen, Wundheilungsstörungen und Rerupturen. Viele der berichteten Komplikationen sind geringfügig und haben wenig Einfluss auf das funktionelle Endergebnis. Zusätzlich wurden die meisten Komplikationen in den 1970er Jahren beschrieben und sind heutzutage durch eine verbesserte chirurgische Technik und perioperative Antibiose selten geworden. Ein aktuellerer Bericht von Liebermann et al. [29] berichtet über eine relevante Komplikationsrate von 0–3% postoperativ.

### ➤ Bereits eine relativ kleine Wundheilungsstörung kann katastrophale Folgen haben

Auch wenn die Achillessehnennaht eine relativ einfache Operation ist, können die relevanten Komplikationen gravierend sein, da die Operation in einem Gebiet durchgeführt wird, in dem Wundheilungsstörungen sehr schlecht kompensiert werden können. Bereits eine relativ kleine Wundheilungsstörung kann eine katastrophale Folge haben. Häufig können diese Weichteildefekte nicht mit lokalen Maßnahmen verschlossen werden und Hauttransplantationen oder Lappenplastiken werden benötigt.

Hingegen ist die Rerupturrate nach primärer Naht mit <2%, [48] im Gegensatz zu 13–35% nach konservativer Therapie, extrem tief. Bei einer großen Übersichtsarbeit zeigten Wills et al. [48], dass die Inzidenz von Rerupturen bei 12 von 777 (1,5%) nach chirurgischer Therapie und 40 von 226 (18%) Rerupturen nach konservativer Therapie gefunden wurden.

## Sekundäre chirurgische Rekonstruktion

Der häufigste Grund für eine verspätete Therapie einer akuten Achillessehnenruptur ist eine verspätete Diagnose. Jedoch kann auch eine langwierige Tendinose mit Mikrorupturen sukzessive zu einer Verlängerung der Achillessehne und Sehnendysfunktion führen [13]. In der Literatur werden folgende Begriffe für diese Pathologie gebraucht: chronische Ruptur, verpasste Ruptur, alte oder verspätete Ruptur mit verzögerter Rekonstruktion. Bosworth [5] beobachtet, dass eine relative Triceps-surae-Kontraktur mit Verkürzung innerhalb von 3–4 Tagen nach der Ruptur eintritt und dann eine chirurgische Readaptation der Enden erschwert ist. Daher gibt es Empfehlungen, dass Achillessehnenrupturen innerhalb der ersten 48 h nach dem Unfall versorgt werden sollten [13]. Vier Wochen ist in der Literatur das gebräuchlichste Intervall zur Bezeichnung einer verspäteten Naht zwischen Ruptur und Naht. Auch wenn die Definition einer chronischen Achillessehnenruptur diskutiert wird, ist das Ergebnis oft eine kontrahierte Sehne, bei der eine End-zu-End-Adaptation mittels einfacher Plantarflexion im Sprunggelenk nicht erreicht werden kann (■ Abb. 6).

Manchmal können sich Patienten an einen speziellen Unfall während einer sportlichen Aktivität erinnern, jedoch fehlen oft persistente Schmerzen oder eine signifikante Schwellung, so dass keine ärztliche Konsultation aufgesucht wurde.

Daher beklagen Patienten mit chronischen Achillessehnenrupturen oft einen asymmetrischen Gang mit Schwierigkeiten, Treppen herauf und hinab zu gehen oder einseitig auf den Zehen zu stehen. Schmerzen sind eher ungewöhnlich.

## Befunde bei chronischer Achillessehnenruptur

Bei klinischer Untersuchung kann in der Regel keine Lücke im Bereich der ehemaligen Ruptur gefühlt werden. Das Hauptsymptom ist eine vermehrte Dorsalextension im OSG im Vergleich zur kontralateralen Seite sowie eine abgeschwächte Plantarflexionskraft. Abhängig von dem

Ausmaß der Achillessehnenverlängerung kann es sein, dass der Patient einen zweibeinigen Zehenstand bewältigen kann, jedoch sind in der Regel der einbeinige Zehenstand oder Wiederholungen desselben eingeschränkt, wenn nicht unmöglich.

## Bildgebung bei chronischer Achillessehnenruptur

Im Ultraschall findet sich ein signalarmes Vakuum mit dicken und unregelmäßigen Enden. Im MRT zeigt sich typischerweise ein signalintensives Areal in der T2-Gewichtung, welches Narbengewebe und fettiger Degeneration entspricht.

## Konservative Therapie der chronischen Achillessehnenruptur

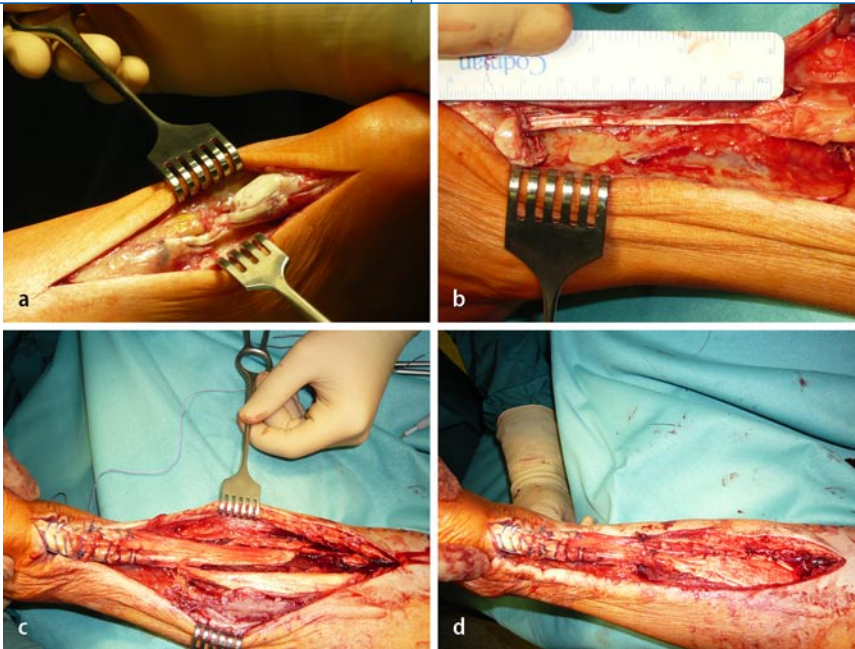
Bei schlechten Weichteilverhältnissen, Diabetes mellitus, starken Rauchern oder lokalen Vernarbungen kann eine konservative Therapie indiziert sein. Eine simple symptomatische Therapie umfasst einen Spezialschuh mit Fersenerhöhung und Abrollrampe und begleitend eine aggressive muskelstärkende Physiotherapie. Jedoch ist die konservative Therapie bei chronischen Rupturen unüblich. In einem Bericht von chirurgisch und konservativ therapierten chronischen Rupturen fanden Cetti et al. [9], dass 75% der Patienten nach chirurgischer Therapie ein akzeptables Resultat gegenüber nur 56% von Patienten, welche konservativ therapiert wurden.

## Chirurgische Therapie der chronischen Achillessehnenruptur

Es gibt multiple Techniken für die verspätete Rekonstruktion der verpassten Achillessehnenruptur. Auch hier ist das Ziel, eine kräftige, kontinuierliche Achillessehne zu rekonstruieren. Typischerweise kontrahiert sich der Gastrosoleuskomplex mit der Zeit und nach Exzision des Narbengewebes bleibt eine Lücke, welche eine End-zu-End-Naht unmöglich macht (■ Abb. 6b).

In einigen Fällen ist es möglich, mit stumpfem, teils scharfem Lösen von Verwachsungen des proximalen Gastrosoleuskomplexes eine Apposition der Sehnenenden zu erreichen, sodass keine überbrückende Interposition nötig ist. Jedoch





**Abb. 6** **a** Chronische Achillessehnenruptur mit sichtbarer Degeneration und Defektbildung. **b** Nach Débridement des weichen Gewebes bleibt ein Defekt von 8 cm. **c** Nach V-Verlängerung des Achillessehnen spiegels können die Rupturenden mittels Krackow-Naht und leichter Spitzfußstellung in enge Apposition gebracht werden. **d** Die V-Verlängerung wird Seit-zu-Seit verschlossen, woraus ein Y-förmige Naht entsteht

sollte die Vorspannung der Gegenseite beachtet werden, da auch eine zu große Vorspannung die Funktion des Triceps surae beeinträchtigt. Mehrere Techniken benutzen daher freie autologe Sehneninterponate, welche durch die Rupturenden geflochten werden und den Achillessehnen-defekt überbrücken. Gebräuchliche und empfohlene Transplantate sind Plantaris-, Gracilis-, Semitendinosus- und Fascia-lata-Streifen.

### Plantarissehnenplastik zur Defektüberbrückung

Die Technik besteht in einer medialen, longitudinalen Inzision zur Exposition der Achillessehnenruptur und Darstellung der Plantarissehne.

- Die Sehne wird mit einem offenen Sehnenstripper nach proximal bis zur Kniekehle entnommen und bleibt distal am Tuber calcaneus inseriert.
- Die Sehne wird nun mehrfach senkrecht zum Achillessehnenverlauf durch den distalen, dann den proximalen Sehnenstumpf und zurück zum Kalkaneus in einer Pulvertaftnaht-technik durchgezogen und am Ende das Transplantat mit der Achillessehne distal vernäht. Zusätzlich werden

mehrere Einzelknopfnähte zur Sicherung der Durchflechtungen mit resorbierbarem Nahtmaterial angelegt.

- Anschließend werden das Peritendineum und die Wunde verschlossen.

### Nachbehandlung

Die Nachbehandlung ist konservativer als bei der akuten Naht und zieht sich über 12 Wochen. In den ersten 6 Wochen wird ein Spezialschuh mit Hintereinstieg und 2,5 cm Fersenkeil mit Belastung nach Maßgabe der Schmerzen an Stöcken erlaubt, in der Nacht eine Unterschenkelgipsschiene vom Fußrücken zum Tibiaplateau, welche die Spitzfußstellung sichert. In den zweiten 6 Wochen wird im 2-Wochen-Rhythmus die Fersenkeilhöhe reduziert, sodass am Ende eine Vollbelastung in OSG-Neutralstellung im Spezialschuh stattfindet. Im Anschluss daran erfolgt die stufenweise Entwöhnung vom Spezialschuh.

### Defektüberbrückung durch Achillessehnenplastiken

Liegen größere Defekte vor, wird eine intensivere Ersatzplastik benötigt. Dazu bieten sich der Turn-down-Achillessehnenplastik oder die VY-Verlängerung an.

### Turn-down-Achillessehnenplastik.

- In Bauchlage wird eine posteromediale longitudinale Inzision von Mitte der Wade bis zur Ferse durchgeführt.
- Die Ruptur und der Wadenmuskel werden dargestellt.
- Die Sehnenenden werden débridiert. Die entstandene Lücke sollte nicht größer als 5 cm sein, da der faszianteil des Muskel-/Sehnenübergangs in der Länge limitiert ist.
- Von der proximalen Gastrocnemiusfaszie werden 1 oder 2 Lappen 2×8 cm bzw. 1×8 cm vom Muskel gehoben und dabei der mediale und laterale Fasziarand belassen. Distal wird der Lappen bis ca. 2–3 cm proximal der Rupturseite fixiert belassen und mit resorbierbaren Nähten stabilisiert.
- Die Lappen werden um 180° gedreht und über den Defekt gespannt.
- Die Lappen werden, gemäß der Vorspannung der Gegenseite an den distalen Achillessehnenstumpf und zueinander genäht.
- Der Wundverschluss erfolgt schichtweise mit Apposition des Peritendineums.
- Die Nachbehandlung entspricht derjenigen der Plantarissehnen-defektüberbrückung.

### VY-Achillessehnenverlängerung.

- Nach Inzision und Sehrendébridement kann eine Defektsituation von bis zu 8 cm mittels VY-Verlängerung überbrückt werden. Je größer die Verlängerung benötigt wird, desto spitzer muss die V-förmige initiale Inzision im muskulotendinösen Übergang angelegt werden (s. Video 2 in der Online-Version des Beitrags).
- Nach V-Inzision werden die angeschlungenen Rupturenden in Apposition gebracht und mittels 3-fach-Bunnell- oder Krackow-Naht verknötet (Abb. 6c).
- Anschließend wird die V-förmige Inzision Y-förmig, entsprechend der gewünschten Vorspannung, welche durch die Gegenseite bestimmt wird, verschlossen (Abb. 6d).
- Die Nachbehandlung entspricht derjenigen bei Plantarissehnen-defektüberbrückung.



## Resultate nach Achillessehnenrekonstruktion

Lynn [30] benutzte die Plantarissehne zur Augmentation, indem er sie auffächerte und seine End-zu-End-Achillessehnenennaht damit einwickelte. Andere Autoren [42] haben die Plantarissehne wie beschrieben durch die Rupturen gezogen und fanden eine größere Belastbarkeit der Achillessehnenrekonstruktion. Jedoch fanden Dalton et al. [13], dass in ca. einem Drittel der Fälle die Plantarissehne ebenfalls zerrissen war und in verpassten Rupturen die Plantarissehne oft im Narbengewebe stark verbacken und schwierig zu identifizieren war. In solchen Fällen bieten sich andere Sehnen zur Augmentation an, wie z. B. die Semitendinosus- oder die Gracillissehne. Nicht empfohlen wird die Verwendung von Sehnen, welche eine signifikante Entnahmemorbidität entwickeln, wie die Entnahme der Tibialis-posterior- oder der Peroneus-brevis-Sehne. Auch weniger relevante Sehnen wie die Flexor-hallucis-longus- und Flexor-digitorum-longus-Sehne sollten nicht als freie Sehnaugmentation, sondern (wenn nötig) als funktionelle Muskeltransfers verwendet werden.

Generell können Patienten erwarten, dass nach einer verspäteten chirurgischen Rekonstruktion bei chronischen Achillessehnenrupturen ein relativ gutes funktionelles Ergebnis wiederhergestellt werden kann, welches jedoch schlechter als nach primärer Sehnennaht ist [6].

## Funktionelle Sehnentransfers zur Achillessehnenrekonstruktion

Nach Débridement zeigt sich ein größerer Defekt, welcher nicht durch die vorhergehend beschriebenen Methoden überbrückt werden kann. Alternativ kann die Vitalität des Sehnengewebes durch starke Vernarbung oder systemische Erkrankung so eingeschränkt sein, dass eine vitale, funktionell aktive Muskel-/Sehneneinheit zur Rekonstruktion benötigt wird. In diesen Fällen empfiehlt sich die Flexor-hallucis- oder Flexor-digitorum-longus-Transferoperation:

- Eine Inzision wird medioplantar am medialen Fußgewölbe angelegt. Oberhalb des Abductor hallucis wird bis

zur Flexorenloge am medialen Fußgewölbe vorpräpariert und die Sehnen identifiziert.

- Bei der Sehnenverbindung (Henry-Knoten) zwischen Flexor digitorum und Flexor hallucis longus wird die gewünschte Sehne durchtrennt und nach proximal ausgeleitet. Dabei wird die Sehnenverbindung belassen, sodass die Funktion der transferierten Sehne jeweils von der verbliebenen übernommen werden kann. Gegebenenfalls wird eine Seit-zu-Seit-Verstärkung zwischen Flexor digitalis und Flexor hallucis longus.
- Die transferierte Sehne wird durch ein horizontal quer oder senkrechtes Bohrloch am Kalkaneus eingezogen und dort mittels Knochenanker oder Interferenzschraube fixiert. Auch hier wird die Vorspannung der Gegenseite als Vorbild genommen.
- Die restliche Achillessehne wird mittels Turn-down-Lappen verlängert und Seit-zu-Seit mit der Flexor-hallucis- oder Digitorum-longus-Sehne vernäht.
- Die Nachbehandlung entspricht derjenigen bei Plantarissehnendefektüberbrückung.

## Resultate nach Sehnentransfer

Mann et al. [33] berichten über 5 exzellente und 2 gute Resultate mit einem Flexor-digitorum-longus-Transfer. Andere Autoren [11] berichten über gute und exzellente Resultate mit Flexor-hallucis-longus-Transfer. Bei 23 von 26 Patienten wurde kein Defizit am großen Zehen bemerkt. Eine biomechanische Studie zeigte nur einen geringen Druckunterschied unter dem 1. oder 2. Zehengrundgelenk und keine klinische funktionelle Defizite nach Flexor-hallus-longus-Transfer [11].

## Synthetische und Allotransplantationen

Für die Rekonstruktion einer verpassten Achillessehnenruptur wurden die unterschiedlichsten synthetischen Materialien vorgeschlagen. Die Vorteile dieser Techniken liegen in der freien Verfügbarkeit des Materials im Gegensatz zum begrenzten autologen Gewebe, welches z. T. si-

gnifikante Entnahmemorbidität aufweist. Der vorrangige Nachteil ist die Anwendung von körperfremdem Material in einem Bereich, wo die körpereigene Heilungskapazität bekannterweise bereits begrenzt ist.

## Die Vorteile dieser Techniken liegen in der freien Verfügbarkeit des Materials

Ozaki et al. [40] verwendeten bei 6 Patienten ein Marlex-Netz und berichten nach 6 Jahren Nachuntersuchungszeit über gute Resultate. Liebermann et al. [29] verwendeten Dacrongefäßprothesen, welche durch die Sehnenenden mit einer Bunnell-Naht-Technik durchflechtet wurden. Levy et al. [28] berichteten über 5 Patienten mit verpassten Achillessehnenrupturen und verwendeten die gleiche Technik. Sie berichteten, dass eine Immobilisation nicht nötig war, um gute Resultate zu erreichen.

Insgesamt muss vor der Verwendung von synthetischem Material gewarnt werden, da es im Bereich der distalen Achillessehne zu Wundheilungsstörungen, Rupturen, Infektionen oder Fremdkörperreaktionen, N. -suralis-Verwachsungen und in einigen Fällen zu ausgedehnten Weichteilnekrosen gekommen ist.

Nellas et al. [38] gebrauchten Achillessehnenallografts und berichteten über gute Resultate ohne Abstoßungsreaktion. Auch wird eine theoretische Krankheitsübertragung durch Allografts diskutiert. Bei mittlerweile mehr als 10 Mio. Anwendungen weltweit, konnte jedoch noch kein Fall identifiziert werden. In Europa ist die Verfügbarkeit von Allografts begrenzt, jedoch ist diese Methode attraktiv und die Ergebnisse gleichen denen der Autograftanwendung.

In Zukunft könnten bei großen Defekten mit eingeschränkter Vitalität evtl. Hybridmethoden aus angereicherten autologen Wachstumsfaktoren mit synthetischen hergestellten Geweben („tissue engineering“) eingesetzt werden.

## Zusammenfassung

Die Therapie der Achillessehnenruptur richtet sich nach den Bedürfnissen des Patienten. Für ein bestmögliches funkti-

onelles Ergebnis liefert die offene primäre Sehnennaht mit anschließender funktioneller Therapie die verlässlichsten Ergebnisse. Eine ultraschallkontrollierte konservative Therapie kann eine Alternative darstellen. Insbesondere dann, wenn der Patient keine maximale Muskelkraft, Ausdauer und Belastbarkeit benötigt, wird die konservative Therapie ein akzeptables funktionelles Resultat liefern mit Ausschluss der chirurgischen Wundheilungskomplikation, welche im Maximum eine freie Lappenplastik benötigen kann. Wenn chronische Achillessehnenrupturen relevante Behinderungen verursachen, zielen konservative Optionen auf symptomatische Therapie und es muss für eine Ursachentherapie in der Regel eine Rekonstruktion durchgeführt werden. Jedoch erreicht die Rekonstruktion nicht mehr das gleiche funktionelle Ergebnis wie die primäre Naht.

## Tibialis-anterior-Sehnenrupturen

### Epidemiologie und Ätiologie

Tibialis-anterior-Sehnenrupturen sind selten. Aktuell gibt es ca. 100 Fallberichte in der Literatur. Davon sind 80% spontane Rupturen und ca. 20% traumatische Durchtrennungen. Als prädisponierte Faktoren für eine Tibialis-anterior-Sehnen Degeneration wurden entzündliche Arthritiden, Diabetes mellitus, lokale Steroidinjektionen und mechanisches Impingement durch Osteophyten beschrieben [34]. Es handelt sich meist um ältere Patienten, bei denen es dann bei Bagatelverletzungen indirekt zur Sehnenruptur kommt. Der typische auslösende Mechanismus ist eine forcierte Plantarflexion gegen eine kontrahierte Tibialis-anterior-Sehne [24, 35]. Die Rupturen liegen in der Regel im Bereich der avaskulären Zone des superioren und inferioren Retinaculum ca. 2–3 cm proximal der Insertion. In diesem Bereich liegt die Sehne auch auf der distalen Oberfläche der Tibia und ist hier bei Frakturen oder externen Verletzungen in Gefahr [34].

### Anamnese und Befund

Liegt ein akutes Trauma vor, erlauben starke Schmerzen, Hämatom und Funktions-

verlust eine eindeutige sofortige Diagnosestellung. Die chronische Ruptur wird in der Regel von Patient und Arzt initial verpasst. Typischerweise kann sich der Patient nicht an ein traumatisches Ereignis sondern wenn, an einen kurzen Schmerz erinnern. Der Grund für die Arztkonsultation ist im Verlauf ein schmerzfreier Fallfuß, mit dem er an Gegenständen hängen bleibt. Der Befund kann als Peroneusparesis interpretiert werden oder mit einer Radikulopathie L4/5 verwechselt werden [35]. Durch eine normale Sensibilität am Fußrücken und im 1. Interdigitalraum kann diese Ursache ausgeschlossen werden.

### ➤ Starke Schmerzen, Hämatom und Funktionsverlust erlauben eine eindeutige Diagnosestellung

Bei der Inspektion kann der Patient nicht auf den Fersen gehen und die Fußspitzen vom Boden abheben. Nach der Fersenlandung fällt der Vorfuß auf den Boden, eine langsame kontrollierte Abrollbewegung ist nicht möglich. Jedoch können viele Patienten das Sprunggelenk ohne Belastung dorsal extendieren, da Extensor hallucis und Digitorum longus die Funktion teilweise übernehmen [36]. Zum Teil kann die Dorsalextensionskraft für den Patienten unbemerkt eingeschränkt sein und erst dem Untersucher beim Seitenvergleich auffallen [24]. Bei der Palpation fehlt die Tibialis-anterior-Sehne. Durch die starke Vorspannung der Sehne kommt es zu einer deutliche Retraktion und signifikanten Lückenbildung von mehreren Zentimetern. Manchmal kann der Sehnenstumpf als fixierter Knoten am vorderen Sprunggelenk distal des Retinaculum extensorum tastbar werden [24].

### Bildgebung

Ultraschall und MRT können bei der Diagnosestellung und Bestimmung der Rupturhöhe hilfreich sein [24]. Normale Sehnen haben im MRT eine niedrige Signalintensität und kontrastieren deutlich mit dem umgebenden Fettgewebe, welches eine hohe Signalintensität hat. Degenerierte Sehnenanteile haben ebenfalls eine hohe Signalintensität.

## Konservative Therapie

Die Therapie besteht im Anlegen einer Orthese oder eines Gehgips in passiver Dorsalextension des Sprunggelenks und Belastung an Stöcken mit Sohlenkontakt für 6 Wochen. Anschließend erfolgt der Übergang auf eine gipsfreie Vollbelastung innerhalb weiterer 6 Wochen. Wegen der regelhaft deutlichen Retraktion des proximalen Sehnenendes lagern sich die Rupturenden durch Dorsalextension des Sprunggelenks nicht aneinander und können folglich nicht „ad integrum“ heilen. Das proximale Sehnenende retrahiert in der Regel bis zum Retinaculum und bleibt dort primär hängen.

### ➤ Die konservative Therapie zielt darauf ab, eine progrediente Retraktion der Sehne zu verhindern

Daher zielt die konservative Therapie darauf ab, eine progrediente Retraktion der Sehne zu verhindern. Es soll eine Vernarbung am umgebenden Weichteilgewebe, bestenfalls am Retinaculum extensorum erreicht werden, mit dem Ziel eine Restfunktion zu erhalten. Bei alten chronischen Rupturen kann durch eine Orthese, wie die Heidelberger-Schiene, der Fallfuß stabilisiert werden. Auch wenn mit diesen Mitteln keine volle funktionelle Rehabilitation erreicht werden kann, kann die Restfunktion und Gehfähigkeit bei wenig aktiven, alten Patienten akzeptabel sein.

Markarian et al. [34] verglichen konservative vs. chirurgische Therapie bei 16 älteren Patienten und fanden keinen signifikanten Unterschied nach einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von 4 Jahren. Gerade die verspäteten Rekonstruktionen zeigten dabei oft eine Reruptur oder keine funktionelle Verbesserung. Andererseits wünschen manche Patienten eine operative Rekonstruktion, da sie eine dauerhafte Hilfsmitteltherapie ablehnen, obwohl das Hilfsmittel ihr Aktivitätslevel verbessert hatte [34]. Daher empfehlen wir bei Rupturen >4 Wochen, die körperlichen Ansprüche und Ziele der Patienten genau abzuwägen, bevor automatisch eine chirurgische Rekonstruktion durchgeführt wird.

## Primäre Naht

Die beste Voraussetzung für eine funktionelle Wiederherstellung ist eine frühe Diagnose und damit die Möglichkeit einer sofortigen primären Naht. Für Patienten, welche eine Wiederherstellung oder ein möglichst hohes funktionelles Resultat anstreben ist die primäre Naht indiziert.

Technik der primären Tibialis-anterior-Naht:

- Rückenlage und Oberschenkelblutsperrung,
- Inzision über dem Verlauf der Tibialis-anterior-Sehne bis zum medialen tarsometatarsalen Gelenk.
- In der Regel kann die Tibialis-anterior-Sehne unter dem Retinaculum extensorum hervorgezogen werden. Bei Bedarf muss das Retinaculum extensorum durchtrennt werden.
- Die Präparation sollte medial der Extensor-hallucis-longus-Sehnen (EHL) bleiben, da A. dorsalis pedis und N. peroneus profundus lateral der EHL-Sehne verlaufen und geschont werden sollen.
- Nach Débridement werden die Enden mit einem nicht resorbierbaren Faden der Stärke 2 mit einer in Form einer Krackow- oder zweifachen Bunnell-Naht angeschlungen und adaptiert. Die Feinadaptation erfolgt mit einer resorbierbaren fortlaufenden Naht der Stärke 2.
- Falls die Sehne insertionsnah vom Knochen rupturiert ist, wird das Sehnenende angeschlungen und mittels 6-mm-Bohrloch und Interferenzschraube oder mit einem Knochenanker am medialen Cuneiforme reinseriert und mit Periostnähten zusätzlich gesichert.
- Das inferiore Retinaculum extensorum muss nicht über der Sehne zu verschlossen werden. Zum Teil bilden sich bei plumper Naht Vernarbungen, welche die Gleitfähigkeit der Sehne einschränken. Der Sehnenverlauf unter der Haut verursacht keine Probleme.

## Nachbehandlung

Zur Nachbehandlung dient ein Unterschenkelgips in Dorsalextension mit Abrollbelastung für 2–3 Wochen. Anschlie-

ßend erfolgt der Übergang auf Vollbelastung im Gehgips. 6–8 Wochen nach der Operation wird auf eine Gipsschiene in Neutralstellung gewechselt mit Bewegungsübungen aus der Schiene heraus für 12 Wochen. Alternativ kann eine Quengelschiene mit dynamischer Feder verwendet werden, welche eine passive Dorsalextension durch das Abrollen frei gibt, aber die Plantarflexion einschränkt. Hiermit soll die mechanische Sehnenheilung mit Freisetzung von Wachstumsfaktoren und Einsprossen von Reparaturzellen angeregt werden.

## Rekonstruktion der Tibialis-anterior-Sehne

Bei alten Rupturen kommt es zu einer irreversiblen Muskelkontraktur mit Retraktion des proximalen Sehnenendes. Die chirurgische Rekonstruktion muss dann eine deutliche Lücke überbrücken.

### ■ Bekannte chirurgische Techniken sind die Tibialis-anterior-Sehnenverlängerung und die freie Sehneninterposition.

Bei der Sehnenverlängerung wird die Lücke gemessen und die Tibialis-anterior-Sehne proximal nach doppelter Lückenhälfte halbiert. Diese Hälfte wird nach distal gezogen. In der Regel bleiben dabei die Hälften aneinander im peritendinösen Gewebe verbunden. Anschließend wird mit Krackow-Naht bzw. Knochenreinsertion das distale Ende versorgt und die Verlängerungsplastik mit resorbierbaren Seit-zu-Seit-Nähten gesichert.

Bei dünner Tibialis-anterior-Sehne oder großem Defekt >5–8 cm wird eine freie Sehneninterposition empfohlen. Dazu bieten sich Gracilis- und Semitendinosussehnen an. Die von anderen Autoren verwendete Peroneus-brevis-Sehne wird wegen der erhöhten Morbidität nicht empfohlen. Das Sehnentransplantat wird auf der einen Seite ca. 3–4 cm längs gespalten und diese Hälften durch den Tibialis-anterior-Stumpf mittels Pulvertahtnaht durchflochten und mit resorbierbaren Fäden Nr. 2 gesichert. Die andere Seite des Transplantats wird durch einen 5- bis 6-mm-Bohrkanal am medialen Cuneiforme gezogen und entweder dort

mittels Interferenzschraube fixiert oder umgeschlagen und gegen sich selbst Seit-zu-Seit vernäht.

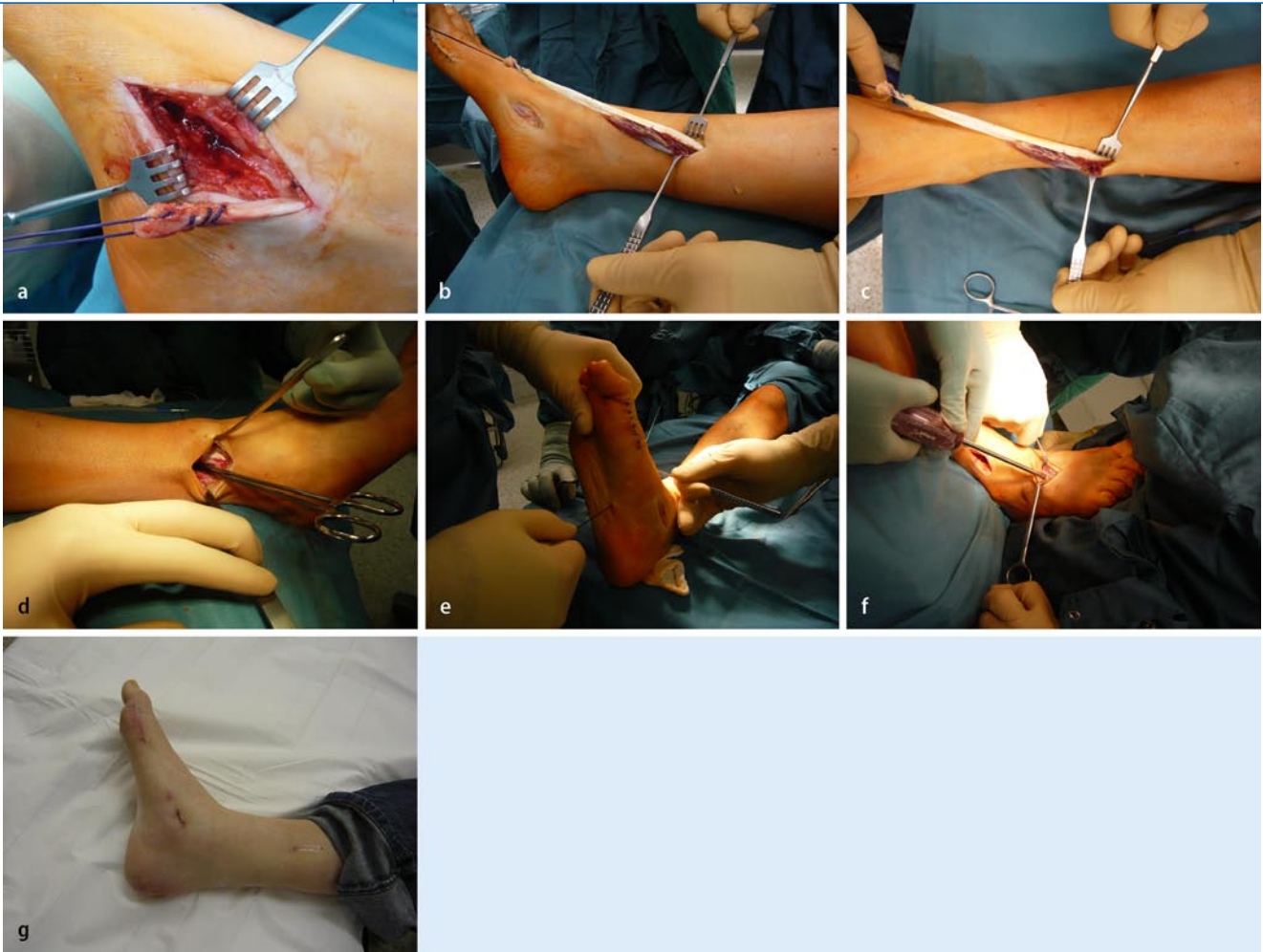
Bei Rupturen mit ausgedehnten Defekten und Funktionsverlust des Tibialis anterior kann der EHL oder der Tibialis posterior als funktioneller Muskeltransfer eingesetzt werden. Der EHL wird am Metatarsalekopf abgesetzt und dort mit einem Fadenanker oder transossär in Neutralstellung des Großzehengrundgelenks tenodisiert. Wir ziehen diese Tenodese einer Seit-zu-Seit-Naht zum Extensor hallucis brevis vor, da es durch die Achsenausrichtung des EHL zu Valgusdeviationen der Großzehe kommt. Die gewonnene EHL-Sehne wird angeschlungen und nach oben genannter Technik an das mediale Cuneiforme fixiert.

Wird ein kräftiger Sehnentransfer benötigt, wird dies mit der Tibialis-posterior-Sehne erreicht. Die Sehne wird distal mit Knochenblock vom Naviculare abgetrennt (■ Abb. 7a) und nach proximal ca. 10 cm oberhalb des Sprunggelenks über einen 2. Hautschnitt ausgeleitet (■ Abb. 7b). Über einen 3. Zugang lateral vor der Fibula, wird die Sehne vor den Extensoren durch ein 2 cm großes Fenster durch die Membrana interossea durchgeleitet (■ Abb. 7c). Oberhalb des Retinaculum extensorum wird die Sehne direkt unter der Haut zum Cuneiforme intermedium gezogen und dort in einem 5- bis 6-mm-Bohrloch mittels Interferenzschraube fixiert (■ Abb. 7e, f). Angestrebt wird hier eine neutrale Sprunggelenkstellung. Der Hebelarm der Sehne wird zwar durch diese subkutane Verlagerung geschwächt, jedoch reicht auch eine geringere Muskelkraft aus, um eine geringe aber ausreichende Dorsalextension zu ermöglichen (■ Abb. 7g, s. Video 3 in der Online-Version des Beitrags). Der Tenodeseffekt des Transfers ist damit wichtiger als eine physiologische Dorsalextension, welche nicht erreicht werden kann.

## Nachbehandlung

Die Tibialis-anterior-Rekonstruktion mittels Sehneninterposition wird wie die primäre Naht nachbehandelt. Allerdings wird eine volle Ausheilung erst nach 4–6 Monaten erwartet. Bei Sehnentransfer ist bereits nach 6 Wochen von einer Ausheilung auszugehen.





**Abb. 7** ▲ Tibialis-posterior- auf Tibialis-anterior-Transfer beim Fallfuß: **a** Entnahme der Tibialis-posterior-Sehne mit Knochenblock vom Naviculare, **b** Ausleiten nach proximal, **c** Überführen nach distal zur Abmessung der lateralen Inzision, **d** durchführen durch ein 2 cm großes Loch in der Membrana interossea, dabei muss auf die direkt dahinter laufenden Gefäße geachtet werden, **e** Ausleiten subkutan zum Cuneiforme intermedium und durch ein 6-mm-Bohrloch nach plantar, **f** Fixieren in Neutralstellung im Sprunggelenk mit Interferenzschraube, **g** klinisches Ergebnis 6 Wochen postoperativ

## Resultate und Komplikationen

Eine vollständige funktionelle Wiederherstellung nach Ruptur wurde nur nach chirurgischer Therapie berichtet. In der Literatur wird außer über Rerupturen oder einer eingeschränkten Funktion über keine signifikanten Komplikationen der chirurgischen Therapie berichtet. Selten kommt es zu Vernarbungen oder Neuromformationen. Eine besondere Bedeutung kommt einer frühzeitigen Diagnose zu. Sehnen, welche erst 4 Wochen nach Ruptur chirurgisch therapiert wurden, mussten öfter mittels Interpositionsplastiken behandelt werden. Besonders nach einer Sehneninterposition oder einem Muskeltransfer wird nur eine abgeschwächte Dorsalextensionskraft erreicht. Jedoch ist dies sel-

ten mit einer relevanten Behinderung verbunden.

## Zusammenfassung

Rupturen der Tibialis-anterior-Sehnen sind selten und werden häufig von Patient und Arzt übersehen. Eine frühe Diagnose ermöglicht es dem behandelnden Arzt durch eine operative Therapie ein bestmögliches funktionelles Ergebnis anzustreben. Bei Patienten mit Anspruch auf eine höhere körperliche Funktion empfehlen wir die chirurgische Rekonstruktion. Eine sofortige primäre Naht liefert bessere Ergebnisse als eine verspätete Naht oder Interpositionsplastik. Jedoch ist die Rerupturrate in allen Fällen hoch, insbesondere nach später Rekon-

struktion und systemischer Erkrankung. Die Beschwerden können aber gering sein. Daher soll die Therapiewahl an Patientenbedürfnisse angepasst werden. Für den kranken Patienten mit geringer körperlicher Aktivität kann eine konservative Therapie mit Hilfsmittel und Aufbau der Ersatzmuskulatur genügen. Eine funktionelle Sehnenheilung kann konservativ nicht erreicht werden.

## Fazit für die Praxis

- Die Therapiewahl für Achillessehnenrupturen und Tibialis-anterior-Sehnenrupturen sollte an die Bedürfnisse der Patienten angepasst werden. Daher sollte bei jungen und aktiven Patienten auch bei geringen Symp-

tomen mit genauer Anamnese, Untersuchung und falls nötig MRT eine Diagnose erzwungen werden, um durch eine frühzeitige Operation eine best mögliche, funktionelle Muskel-Sehnen-Einheit wiederherstellen zu können.

— Goldstandard bleibt dazu die offene Naht, welche unabhängig vom Rupturtyp eine Rekonstruktion der Sehnenvorspannung ermöglicht. Jedoch sollten weder MRT noch Operation standardmäßig durchgeführt werden, da konservative Therapiemöglichkeiten zufrieden stellende Ergebnisse für Patienten liefern können, welche ein erhöhtes Operationsrisiko tragen und auch ohne wiederhergestellte maximale Muskelkraft, Spannung, Ausdauer und Belastbarkeit, aufgrund einer relativen Inaktivität kaum Einschränkungen haben.

## Korrespondenzadresse

Dr. G. Pagenstert



Behandlungszentrum  
Bewegungsapparat,  
Orthopädische Universitäts-  
klinik,  
Universitätsspital Basel  
Spitalstraße 21,  
CH-4031 Basel, Schweiz  
geert.pagenstert@unibas.ch

**Interessenskonflikt.** Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

- Arner O, Lindholm A, Orell SR (1959) Histologic changes in subcutaneous rupture of the Achilles tendon. A study of 74 cases. *Acta Chir Scand* 116:484–490
- Assal M, Jung M, Stern R et al (2002) Limited open repair of Achilles tendon ruptures: a technique with a new instrument and findings of a prospective multicenter study. *J Bone Joint Surg Am* 84:161–170
- Astrom M, Gentz CF, Nilsson P et al (1996) Imaging in chronic achilles tendinopathy: a comparison of ultrasonography, magnetic resonance imaging and surgical findings in 27 histologically verified cases. *Skeletal Radiol* 25:615–620
- Barfred T (1971) Kinesiologic comments on subcutaneous ruptures of the Achilles tendon. *Acta Orthop Scand* 42:397–405
- Bosworth DM (1956) Repair of defects in the tendo achillis. *J Bone Joint Surg Am* 38-A:111–114
- Boyden EM, Kitaoka HB, Cahalan TD, An KN (1995) Late versus early repair of Achilles tendon rupture. Clinical and biomechanical evaluation. *Clin Orthop Relat Res* 150–158
- Carden DG, Noble J, Chalmers J et al (1987) Rupture of the calcaneal tendon. The early and late management. *J Bone Joint Surg Br* 69:416–420
- Carr AJ, Norris SH (1989) The blood supply of the calcaneal tendon. *J Bone Joint Surg Br* 71:100–101
- Cetti R, Christensen SE, Ejsted R et al (1993) Operative versus nonoperative treatment of Achilles tendon rupture. A prospective randomized study and review of the literature. *Am J Sports Med* 21:791–799
- Clement DB, Taunton JE, Smart GW (1984) Achilles tendinitis and peritendinitis: etiology and treatment. *Am J Sports Med* 12:179–184
- Coull R, Flavin R, Stephens MM (2003) Flexor hallucis longus tendon transfer: evaluation of postoperative morbidity. *Foot Ankle Int* 24:931–934
- Coutts A, MacGregor A, Gibson J, Maffulli N (2002) Clinical and functional results of open operative repair for Achilles tendon rupture in a non-specialist surgical unit. *J R Coll Surg Edinb* 47:753–762
- Dalton GP, Wapner KL, Hecht PJ (2001) Complications of achilles and posterior tibial tendon surgeries. *Clin Orthop Relat Res* 133–139
- Fruensgaard S, Helmig P, Riis J, Stovring JO (1992) Conservative treatment for acute rupture of the Achilles tendon. *Int Orthop* 16:33–35
- Fung YC (1967) Elasticity of soft tissues in simple elongation. *Am J Physiol* 213:1532–1544
- Haggmark T, Liedberg H, Eriksson E, Wredmark T (1986) Calf muscle atrophy and muscle function after non-operative vs operative treatment of achilles tendon ruptures. *Orthopedics* 9:160–164
- Hanlon DP (1992) Bilateral Achilles tendon rupture: an unusual occurrence. *J Emerg Med* 10:559–560
- Hattrup SJ, Johnson KA (1985) A review of ruptures of the Achilles tendon. *Foot Ankle* 6:34–38
- Houshian S, Tscherning T, Riegels-Nielsen P (1998) The epidemiology of Achilles tendon rupture in a Danish county. *Injury* 29:651–654
- Jaakkola JL, Hutton WC, Beskin JL, Lee GP (2000) Achilles tendon rupture repair: biomechanical comparison of the triple bundle technique versus the Krakow locking loop technique. *Foot Ankle Int* 21:14–17
- Jessing P, Hansen E (1975) Surgical treatment of 102 tendo achillis ruptures – suture or tenoplasty? *Acta Chir Scand* 141:370–377
- Kager H (1939) Zur Klinik und Diagnostik des Achillessehnenrisses. *Chirurg* 11:691–695
- Kellam JF, Hunter GA, McElwain JP (1985) Review of the operative treatment of Achilles tendon rupture. *Clin Orthop Relat Res* 201:80–83
- Khoury NJ, el-Khoury GY, Saltzman CL, Brandser EA (1996) Rupture of the anterior tibial tendon: diagnosis by MR imaging. *Am J Roentgenol* 167:351–354
- Krackow KA, Thomas SC, Jones LC (1986) A new stitch for ligament-tendon fixation. Brief note. *J Bone Joint Surg Am* 68:764–766
- Kujala UM, Jarvinen M, Natri A et al (1992) ABO blood groups and musculoskeletal injuries. *Injury* 23:131–133
- Lea RB, Smith L (1972) Non-surgical treatment of tendo achillis rupture. *J Bone Joint Surg Am* 54:1398–1407
- Levy M, Velkes S, Goldstein J, Rosner M (1984) A method of repair for Achilles tendon ruptures without cast immobilization. Preliminary report. *Clin Orthop Relat Res* 187:199–204
- Lieberman JR, Lozman J, Czajka J, Dougherty J (1988) Repair of Achilles tendon ruptures with Dacron vascular graft. *Clin Orthop Relat Res* 234:204–208
- Lynn TA (1966) Repair of the torn achilles tendon, using the plantaris tendon as a reinforcing membrane. *J Bone Joint Surg Am* 48:268–272
- Maffulli N (1998) The clinical diagnosis of subcutaneous tear of the Achilles tendon. A prospective study in 174 patients. *Am J Sports Med* 26:266–270
- Mahler F, Fritschy D (1992) Partial and complete ruptures of the Achilles tendon and local corticosteroid injections. *Br J Sports Med* 26:7–14
- Mann RA, Holmes GB Jr, Seale KS, Collins DN (1991) Chronic rupture of the Achilles tendon: a new technique of repair. *J Bone Joint Surg Am* 73:214–219
- Markarian GG, Kelikian AS, Brage M et al (1998) Anterior tibialis tendon ruptures: an outcome analysis of operative versus nonoperative treatment. *Foot Ankle Int* 19:792–802
- Meyn MA Jr (1975) Closed rupture of the anterior tibial tendon. A case report and review of the literature. *Clin Orthop Relat Res* 113:154–157
- Moberg E (1947) Subcutaneous rupture of the tendon of the tibialis anterior muscle. *Acta Chir Scand* 95:455–460
- Moller M, Movin T, Granhed H et al (2001) Acute rupture of tendon Achillis. A prospective randomized study of comparison between surgical and non-surgical treatment. *J Bone Joint Surg Br* 83:843–848
- Nellas ZJ, Loder BG, Wertheimer SJ (1996) Reconstruction of an Achilles tendon defect utilizing an Achilles tendon allograft. *J Foot Ankle Surg* 35:144–148
- Nistor L (1981) Surgical and non-surgical treatment of Achilles Tendon rupture. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 63:394–399
- Ozaki J, Fujiki J, Sugimoto K et al (1989) Reconstruction of neglected Achilles tendon rupture with Marlex mesh. *Clin Orthop Relat Res* 238:204–208
- Puddu G, Ippolito E, Postacchini F (1976) A classification of Achilles tendon disease. *Am J Sports Med* 4:145–150
- Ralston EL, Schmidt ER Jr (1971) Repair of the ruptured Achilles tendon. *J Trauma* 11:15–21
- Schmidt-Rohlfing B, Graf J, Schneider U, Niethard FU (1992) The blood supply of the Achilles tendon. *Int Orthop* 16:29–31
- Shinohara YT, Tasker SA, Wallace MR et al (1997) What is the risk of Achilles tendon rupture with ciprofloxacin? *J Rheumatol* 24:238–239
- Suchak AA, Spooner C, Reid DC, Jomha NM (2006) Postoperative rehabilitation protocols for Achilles tendon ruptures: a meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res* 445:216–221
- Takai S, Woo SL, Horibe S et al (1991) The effects of frequency and duration of controlled passive mobilization on tendon healing. *J Orthop Res* 9:705–713
- Thermann H (1998) Rupture of the Achilles tendon – conservative functional treatment. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 136:20–22
- Wills CA, Washburn S, Caiozzo V, Prietto CA (1986) Achilles tendon rupture. A review of the literature comparing surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop Relat Res* 207:156–163