

# Rekonstruktionen von Weichteildefekten der Achillessehnenregion – eine Literaturübersicht

## Reconstruction of Soft Tissue Defects of the Achilles Tendon Region: a Literature Review

### Autoren

Susanne Rein, Thomas Kremer

### Institut

Städtisches Klinikum Sankt Georg Leipzig, Klinik für Plastische und Handchirurgie mit Schwerbrandverletzentzentrum

### Schlüsselwörter

Achillessehne, freie Lappenplastik, Fuß, Rekonstruktion, Weichteilverletzung;

### Key words

achilles tendon, foot, free flap, reconstruction, soft tissue injury

eingereicht 04.06.2021

akzeptiert 03.03.2022

online publiziert 22.06.2022

### Bibliografie

Handchir Mikrochir Plast Chir 2022; 54: 464–474

DOI 10.1055/a-1794-5449

ISSN 0722-1819

© 2022. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag, Rüdigerstraße 14,  
70469 Stuttgart, Germany

### Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Susanne Rein

Städtisches Klinikum Sankt Georg Leipzig Klinik für Plastische und Handchirurgie mit Schwerbrandverletzentzentrum  
Delitzscher Straße 141

04129 Leipzig

Deutschland

susanne.rein@web.de



Zusätzliches Material finden Sie unter <https://doi.org/10.1055/a-1794-5449>

### ZUSAMMENFASSUNG

**Hintergrund** Weichteildefekte der Regio tendinis achilleae treten nach Traumata und insbesondere als Komplikation nach offener Rekonstruktion der Sehne mit nachfolgendem Infekt auf.

**Ziel der Arbeit** Es werden Empfehlungen zur Therapie von Weichteilverletzungen mit Beteiligung der Achillessehne im Kontext der Literatur formuliert.

**Material und Methoden** Es wurde eine Recherche der deutsch-, französisch- und englischsprachigen Literatur zur Rekonstruktion von Hautweichteildefekten der Achillessehnenregion durchgeführt, welche in singuläre und kombinierte tendokutane Defekte differenziert wurden. Kombinierte Defekte wurden basierend auf drei rekonstruktiven Prinzipien weiter untergliedert in: ein alleiniger Verschluss der Haut ohne Sehnenrekonstruktion sowie eine Rekonstruktion der Haut zusammen mit einer Sehnenrekonstruktion als vaskularisiertes oder avaskuläres Transplantat.

**Ergebnisse** Lokale und distal gestielte Lappenplastiken sind für die Rekonstruktion über der Achillessehne mit einer hohen lokalen Morbidität behaftet, weshalb die Autoren freie Lappenplastiken aufgrund der geringeren Komplikationsrate favorisieren. Hier eignet sich für kleine Defekte die freie Medial Sural Artery (MSAP-)Lappenplastik, bei großen Defekten Muskeloder fasziokutane Lappenplastiken. Technik der Wahl für die kombinierte tendokutane Rekonstruktion ist die ALTLappenplastik mit vaskularisierter Fascia lata. Als nicht vaskuläre Sehnenrekonstruktion werden häufig die Sehne des M. flexor hallucis longus oder des M. peroneus brevis verwendet.

**Fazit** Die Rekonstruktion der Achillessehnenregion erfordert dünne strapazier- und gleitfähige Lappen, die eine Schuhversorgung ermöglichen. Die postoperative Kraft und Beweglichkeit des Sprunggelenkes zeigen vergleichbare funktionelle Resultate nach vaskularisierter und nicht vaskularisierter Sehnenrekonstruktion.

### ABSTRACT

**Background** Soft tissue defects in the achilles tendon region occur after trauma, but also as a complication after open reconstruction of the tendon with subsequent infection.

**Objectives** Recommendations for the treatment of soft tissue injuries involving the Achilles tendon are presented.

**Materials and Methods** A search of the German, French and English literature on reconstruction of soft tissue defects of the Achilles tendon region was performed, which were differentiated into singular and combined tendocutaneous defects. Combined defects were further subdivided into three recons-

tructive principles: a simple soft tissue reconstruction without tendon repair or a combined reconstruction of the soft tissue as well as the tendon using either a vascularized tendon transplant or an avascular tendon graft.

**Results** Local and distally-based pedicled flaps include a relatively high risk of perioperative morbidity, whereas free flaps are described with significantly lower complications rates. Therefore, the authors prefer free flaps for reconstruction. Potential donor sites are the Medial Sural Artery (MSAP-) flap for smaller defects or free fasciocutaneous or muscle flaps in patients with

large defects. The standard for tendocutaneous reconstructions is the free anterolateral thigh flap including vascularized fascia. Non-vascularized tendon grafts are frequently applied from the flexor hallucis longus- or peroneus brevis tendon.

**Conclusions** Reconstructions over the Achilles tendon require thin and stable reconstructions that additionally allow slippage of soft tissues. Moreover, the use of normal shoes should be possible. The postoperative strength and range of motion of the ankle joint show comparable functional results after vascularized and non-vascularized tendon reconstruction.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ALT	anterolateraler Oberschenkel-Lappen
AOFAS	American Orthopedic Foot and Ankle Score
ATRS	Achilles tendon total rupture score
FHL	Sehne des M. flexor hallucis longus
MRT	Magnetresonanztomographie
MSAP	Medial Sural Artery Perforator Lappen
PB	Sehne des M. peroneus brevis
SF-36	Short Form 36 Fragebogen
TFL	Tensor fasciae latae Lappen

## Einleitung

Rekonstruktionen der Achillessehne mit zusätzlichem Hautweichteildefekt sind eine therapeutische Herausforderung und bedingen ein differenziertes Vorgehen, um die biomechanischen Besonderheiten dieser Region zu adressieren. Dabei ist es von grundlegender Bedeutung, ob eine isolierte Hautrekonstruktion oder zusätzlich eine Rekonstruktion der Achillessehne vorgenommen werden soll. Deshalb wird dieser Aspekt im Kontext einer Literaturübersicht erörtert.

## Material und Methoden

Es wurde eine Recherche der deutsch-, französisch- und englischsprachigen Literatur zur Rekonstruktion von Hautweichteildefekten der Achillessehnenregion mit der Suchplattform Pubmed durchgeführt, indem die Stichwortkombination: achilles tendon, flap, injury, reconstruction, repair, soft tissue defect, eingegeben wurden. Die 72 erhaltenen Literaturquellen wurden analysiert und entsprechend der Rekonstruktionsmethodik von singulären und kombinierte tendokutanen Defekten differenziert. Kombinierte Defekte wurden basierend auf drei rekonstruktiven Prinzipien weiter untergliedert in: ein alleiniger Verschluss der Haut ohne Sehnenrekonstruktion sowie eine Rekonstruktion der Haut zusammen mit einer Sehnenrekonstruktion als vaskularisiertes oder avaskuläres Transplantat. Eingeschlossen wurden nur Arbeiten zur singulären oder kombinierten Rekonstruktion von Hautweichteildefekten der Regio tendinis achilleae. Artikel, welche sich isoliert auf die Techniken der Achillessehnenrekonstruktion beziehen, wurden nicht berücksichtigt. Zusätzlich wurden weitere 17 Artikel mit

Grundlagen zur Thematik inkludiert. So wurden nach Literaturdurchsicht die im Referenzverzeichnis aufgelisteten 89 Artikel im Zeitraum von 1978 bis 2020 zur Bearbeitung der nachfolgenden Thematik eingeschlossen.

## Ergebnisse

### Die Regio tendinis achilleae

An die lappenplastische Rekonstruktion der Regio tendinis achilleae werden besondere Anforderungen gestellt. Zum einen sollte die Lappenplastik dünn sein, damit eine Schuhversorgung möglich ist. Andererseits muss das Gewebe ausreichend strapazierfähig sein, um den lokalen biomechanischen Anforderungen zu genügen. Weitere notwendige Eigenschaften sind eine gute Gleitfähigkeit zwischen Sehne und Lappenplastik, zwischen Schuhwerk und Lappenplastik sowie eine ausreichende Elastizität, um dem enormen Bewegungsradius zwischen Dorsalextension und Plantarflexion des Fußes gerecht zu werden [1]. Eine Gleitfähigkeit von 4 cm zwischen Lappenplastik und Sehne ist notwendig, um eine normale Beweglichkeit im Sprunggelenk zu erhalten [2]. Zusätzlich kommt es bei forcierter Plantarflexion größer 20° zu einer reduzierten Perfusion der Haut über der Achillessehne [3], weshalb ein höheres Risiko für Wundnekrosen in diesem Areal mit konsekutiven oberflächlichen Hautweichteilinfektionen besteht. Aus diesem Grund sind Weichteildefekte der Regio tendinis achilleae nicht selten. Sie treten hauptsächlich nach Traumata, Infektionen oder nach offener Rekonstruktion der Achillessehne auf [4]. Obwohl die Rerupturrate der Achillessehne nach operativer Therapie im Vergleich zur konservativen Therapie signifikant niedriger ist, wird in einer Metaanalyse eine allgemeine postoperative Komplikationsrate von 11,7% angegeben [5]. Widersprüchliche Angaben existieren zu Komplikationsraten nach offenem versus minimalinvasivem Vorgehen. Während Stavenuiter und Mitarbeiter in einer Metaanalyse eine erhöhte Rate an Wundproblemen nach minimal-invasiver Therapie beschrieben, 5% offenem Vorgehen versus 7,6% nach minimal-invasiver Operation, [5], fanden Gatz und Kollegen signifikant reduzierte Raten an oberflächlichen und tiefen Infektionen sowie Wundnekrosen bei minimal-invasivem Vorgehen [6]. Insgesamt ist aber die Inzidenz von oberflächlichen und tiefen Wundinfektionen nach offener Rekonstruktion der Achillessehne relevant und wird zwischen 8,2 und 14,6% bzw. zwischen 1 und 5% angegeben [7–13]. Da Infektionen in der Regio tendinis achilleae meist

nicht nur die Haut, sondern auch die Achillessehne affizieren, resultieren nach Infektanierung oft kombinierte tendokutane Defekte [8]. Während bei den seltenen rein kutanen Defekten eine Rekonstruktion der Haut ausreichend ist, bestehen bei kombinierten Defekten prinzipiell drei rekonstruktive Möglichkeiten: eine alleinige Rekonstruktion der Hautweichteile ohne Sehnenrekonstruktion sowie eine Rekonstruktion der Hautweichteile mit Rekonstruktion der Sehne mit vaskularisiertem oder nicht vaskularisiertem Transplantat. Alle diese Optionen haben Vor- und Nachteile und werden patienten-adaptiert angewandt, weshalb sie im Folgenden differenziert dargestellt werden. ▶ **Tab. 1** (nur online verfügbar) bietet zunächst eine Literaturübersicht der existierenden Techniken. Als generelle Voraussetzung für eine erfolgreiche Rekonstruktion der Hautweichteile ist die obligate präoperative Abklärung der Perfusion beider unterer Extremitäten zu formulieren, welche ggf. präoperativ optimiert werden muss [14–16].

## Rekonstruktion der Regio tendinis achilleae bei intakter Achillessehne

### Spalthauttransplantation

Die einfachste Rekonstruktion dieser Region ist eine alleinige Spalthauttransplantation, die jedoch nur möglich ist, wenn die Achillessehne über granuliert ist. Allerdings ist bei einem solchen Vorgehen die Rezidivrate mit etwa 25 % signifikant [17], wobei Reulzerationsraten aufgrund von Scherkräften insbesondere bei mobilen Patienten auftreten, weshalb die Spalthauttransplantation bei wenig aktiven Patienten eine Option ist [17]. Unabhängig davon erfordert die Spalthauttransplantation bis zum Einheilen der Haut eine Immobilisation, weswegen die Indikation nur bei erhaltenem Paratenon und gut vaskularisiertem Granulationsgewebe gestellt werden sollte.

### Lokale randomisierte Lappenplastiken

Prinzipielle Vorteile von lokalen Lappenplastiken sind die einfache und schnelle Operationstechnik, welche keine mikrochirurgische Expertise erfordert [18]. Jedoch spielen lokale randomisierte Lappenplastiken eine untergeordnete Rolle in der Rekonstruktion der Regio tendinis achilleae, da die Hebestellen nicht primär verschlossen werden können und deshalb eine Spalthauttransplantation notwendig wird [18–20]. Zudem existiert lokal kein Gewebeüberschuss und die lokale Hautdurchblutung der unteren Extremität ist insbesondere bei älteren Patient:innen durch Gefäßerkrankungen, wie eine periphere arterielle Verschlusskrankheit oder eine chronische venöse Insuffizienz, alteriert, so dass lokale randomisierte Lappenplastiken eigentlich nie adäquat sind. So werden komplette Nekrosen nach bipedikulären Lappen mit 20 % berichtet [19].

### Regional gestielte Lappenplastiken

Im Gegensatz zu randomisierten lokalen Lappenplastiken werden gestielte Lappenplastiken, wie der Suralislappen [21] oder der Peroneus brevis-Lappen [22, 23], abhängig vom therapeutischen Armamentarium der jeweiligen Klinik, regelhaft angewandt. Allerdings haben diese Lappenplastiken eine hohe Komplikationsrate. So geht der Suralis-Lappen mit totalen Verlustraten von 18,6 %, partiellen Nekrosen von 17 % und Minor-Komplikationen von 23,4 % einher [24]. Zusätzlich können schmerzhaftes Neurome des N. suralis auftreten.

Reverse distal gestielte Perforator-Lappen der A. peronea oder der A. tibialis posterior werden für Defektgrößen von durchschnittlich 3,8 × 5 cm verwendet, wobei ersterer auch mit einem avaskulärem Transplantat der Sehne des M. peroneus brevis (PB) kombinierbar ist. Für den Instep-Lappen (n = 6), den reversen Peroneal-Lappen (n = 4) und den reversen Tibialis posterior-Lappen (n = 1) wurden in 63 % gute Ergebnisse mit 5 ° Bewegungsverlust zur kontralateral gesunden Seite bedingt durch leichte Narbenadhäsionen und in 27 % moderate Ergebnisse mit bis zu 15 ° Bewegungseinschränkung aufgrund von peritendinösen Adhäsionen, einem leichten Kraftverlust, moderaten Schmerzen und einem reduzierten Aktivitätslevel erzielt [25]. Mit dem lateralen supramalleolaren Insellappen sind Defekte von bis zu 15 × 9 cm Größe rekonstruierbar, da eine Pedikellänge von bis zu 8 cm dissezierbar ist [26], jedoch wurden bei diesem zumeist distal gestielt verwendeten Lappen 5 % totale Verlustrate und 12,5–20 % partielle Nekrosen berichtet [27, 28].

Die A. calcanea lateralis ist in 97 % vorhanden, wobei sie in 73 % aus der A. peronea, in 12 % aus der A. tibialis posterior und in 15 % aus dem die beiden Arterien verbindenden R. communicans entspringt [29]. Sie versorgt einen Hautlappen, welcher als kurze (8 × 4,5 cm) und lange (14 × 4,5 cm) Variante präparierbar ist, wobei die Lappenspitzen der langen Version durchblutungsgefährdet sind [14] und so Wundheilungsstörungen begünstigen [29].

Bei Patienten mit gesundem Gefäßsystem der unteren Extremität sind Propellerlappenplastiken für kleine Hautweichteildefekte von bis zu 4 × 8 cm Größe eine Behandlungsoption. Hierbei ist insbesondere die Breite des Defektes limitierend, da ansonsten der Hebedefekt nicht primär genäht, sondern mit Spalthaut gegentransplantiert werden muss [16, 30]. Die primäre Hautnaht ergibt nicht nur ein kosmetisch besseres Ergebnis, sondern weist auch signifikant geringere Komplikationsraten im Vergleich zur Spalthauttransplantation auf [31]. Das Perforatorgefäß sollte außerhalb der Traumazone liegen, sich aber in Nähe des Hautweichteildefektes befinden, wobei eine maximale Entfernung zum Hautweichteildefekt von 7 cm in der Literatur angegeben wird [30]. Ursächlich für diese Entfernungsbegrenzung des Perforatorgefäßes ist die konsekutiv zunehmende Länge der Lappenplastik, die maximal 23 cm betragen sollte [30].

Die bekannten Vorteile von lokoregionalen Lappenplastiken mit Verwenden von ähnlichem Gewebe, „Gleiches mit Gleichem“, mit identischem Kolorit, Textur und Dicke sowie eine kürzere Operationsdauer treffen für die Propellerlappenplastiken ebenfalls zu, die dennoch mitunter eine sekundäre Ausdünnung erfordern [30]. Erste Wahl für einen Propellerlappen ist die A. tibialis posterior [16, 32], welche Perforatoren im mittleren Drittel des Unterschenkels sowie ein mit der A. peronea kommunizierendes vaskuläres Netz neben der Achillessehne im distalen Unterschenkeldrittel besitzt. Ein komplette Lappenverlust von 12,5–20 % und superfizielle Nekrosen der Lappenplastik sind als Komplikationen von Propellerlappen der A. tibialis posterior beschrieben [30, 32]. Ist ein Propellerlappen des Perforators der A. peronea geplant, kann als Rückzugsmöglichkeit ein freier Peronealarterienlappen durchgeführt werden, wenn sich der Perforator intraoperativ nicht eindeutig darstellen lässt [30].

Zusammengefasst sind als wesentliche Nachteile der gestielten Lappenplastiken die häufig notwendige Spalthauttransplan-

tation im Hebe defekt zum Wundverschluss und die erhöhte Komplikationsrate auch bei versierter Operationserfahrung zu nennen.

### Freie Lappenplastiken

Gerade bei Patienten mit multiplen Begleiterkrankungen und einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit sollten auch freie Lappenplastiken in Erwägung gezogen werden, weil diese einerseits vergleichsweise geringe Komplikationsraten haben und andererseits eine optimale Anpassung an den Defekt ermöglichen, wenn die Hebestelle entsprechend gewählt wird. Hier sind zahlreiche Lappenplastiken möglich. Ist die Sehne erhalten, bietet sich bei kleinen Defekten vom ipsilateralen Bein der freie MSAP (medial sural artery perforator) – Lappen an (► **Abb. 1**). Für größere Hautweichteildefekte stehen eine Vielzahl von geeigneten Lappenplastiken zu Verfügung. Für lange, aber schmale Defekte eignet sich ein Parascapularlappen [33], Scapularlappen [34] oder ein M. gracilis-Lappen [35]. Für lange und breite Defekte sind ein Latissimus dorsi-Lappen [33] oder der ALT-Lappen [21] indiziert.

### Tendokutane Defekte – Resektion der Sehnenstümpfe mit singulärer Rekonstruktion der Hautweichteile

Liegen schwerwiegende Komorbiditäten vor, die eine aufwendige lappenplastische Rekonstruktion nicht zulassen, wird ein Wundverschluss durch komplettes Entfernen der Achillessehne erreicht. Kommt es dann zu einer ausreichenden Narbenbildung ist dadurch eine partielle Wiederherstellung der Achillessehnenfunktion möglich. So wurde nach kompletter Achillessehnenresektion die Fähigkeit zum bipedalen Zehenspitzenstand [36] und zum Einbeinstand sowie eine Beweglichkeit von 50–80% zur gesunden Gegenseite [37] bei suffizienter Plantarflexion berichtet [38], wobei in magnetresonanztomographischen (MRT) Untersuchungen eine aus Narbengewebe bestehende Neosehne nachweisbar war [37, 38]. Vereinzelt ist

nach kompletter Achillessehnenresektion sogar ein Zehenspitzenstand beschrieben worden, wobei jedoch eine deutlich reduzierte bis aufgehobene Abstoßphase des Laufens sowie nicht durchführbares Springen, Hüpfen und Laufen auf Zehenspitzen ebenso vorliegen können [39]. Nach alleiniger Rekonstruktion großer Hautweichteildefekte von etwa 20 × 11 cm mit einem Latissimus dorsi-Lappen und begleitend vorliegendem langstreckigem Verlust der Achillessehne wurde eine Dorsalextension von durchschnittlich 21° und eine Plantarflexion von 40° gemessen, wobei die Laufanalyse eine verminderte Plantarflexionskraft in der terminalen Standphase zeigte [40]. Magnetresonanztomographische Untersuchungen nach kompletter Resektion der Achillessehne zeigten eine Atrophie und Degeneration des M. triceps surae und kompensatorisch eine relative Hypertrophie der tiefen Beugerloge, welche den M. tibialis posterior, den M. flexor digitorum longus und den M. flexor hallucis longus (FHL) beinhaltet [41]. Klinisch ist eine vermehrt sichtbare Beugung der Zehen bedingt durch die Kontraktion des M. flexor digitorum longus wahrnehmbar [36]. Schon 8 Wochen nach Naht der Achillessehne wurde bei isometrischen Plantarflexionsmessungen eine kompensatorisch verstärkte Funktion des FHL beobachtet [42]. Resümierend bleibt festzuhalten, dass die Hypertrophie der angegebenen Fußmuskeln und das Ausbilden einer narbigen Neosehne teilweise die Funktionen der Achillessehne kompensieren, so dass eine aufwendige Rekonstruktion der Achillessehne bei Patienten mit schwerwiegenden Komorbiditäten und moderaten funktionellem Ansprüchen nicht erzwungen werden muss. Die Erfolgsrate mit einem Langzeitextremitätenerhalt nach singulärer Hautweichteilrekonstruktion der Regio tendinis achilleae wird mit 98% angegeben [17]. Im Vergleich zwischen Diabetikern und Nichtdiabetikern bestehen sowohl für die Spalthauttransplantation als auch für die lokalen oder freien Lappenplastiken für Diabetiker keine erhöhten Komplikationsraten [17].



► **Abb. 1** Rekonstruktion der Achillessehnenregion mit freier Medial Sural Artery Perforator-Lappenplastik. Zu sehen ist eine Wunde nach bereits erfolgtem Debridement der rechten Achillessehnenregion einer 52-jährigen Patientin **a**. Vier Wochen zuvor zog sich die Patientin beim Wandern eine Ruptur der Achillessehne, eine distale Fibulafraktur, Typ Weber A, und eine Ruptur des Ligamentum deltoideum rechts zu. Es wurden eine offene Reposition und Plattenosteosynthese der distalen Fibula, eine Reinsertion des Ligamentum deltoideum am Malleolus medialis mit Fadenanker und eine offene Naht der Achillessehne durchgeführt. Im weiteren Verlauf kam es zu einer Wundheilungsstörung, so dass nach Debridement ein Hautweichteildefekt von 6 × 4 cm Größe über der Achillessehne bestand, welcher mit einem MSAP (medial sural artery perforator) Lappen mit Entnahme vom ipsilateralen Bein rekonstruiert wurde **b, c**. Zur Verlaufskontrolle sechs Monate später ist die Lappenplastik reizlos eingeeilt und muss aufgrund der guten Konturierung auch nicht ausgedünnt werden **d–g**. Das Ausführen einer aktiven Plantarflexion **d** und geringfügigen Dorsalextension **e** sind möglich.

## Tendokutane Defekte – simultane Rekonstruktion mit vaskulären Sehnentransplantaten

Die vaskularisierte Rekonstruktion der Achillessehne erfolgt durch Bilden einer Neosehne mit zusammengerollten vaskularisierten Faszien, deren morphologischer Aufbau und biomechanische Eigenschaften sich deutlich von Sehnentransplantaten unterscheiden, die zur nichtvaskularisierten Rekonstruktion verwendet werden.

Faszien sind als welliges dreischichtiges System aus unterschiedlichen Bindegewebstypen mit variierender Kollagendichte und -orientierung aufgebaut. Innerhalb einer Schicht verlaufen die Kollagenfasern parallel, währenddessen die Faserausrichtung zwischen benachbarten Schichten 70–80° beträgt [43, 44]. Dadurch wird eine höhere Faszidichte, mit verbesserter Gleitfähigkeit bei reduzierter Reibung, und die Fähigkeit zur multidirektionalen Belastungsaufnahme erreicht. Faszien enthalten die Kollagentypen I, III, IV, V, VI, XI, XII, XIV und XXI [45, 46]. Das Kollagen bietet Widerstand gegen Spannung und Dehnung des Gewebes. Die variable Kombination von verschiedenen Kollagentypen in der extrazellulären Matrix spiegelt die Funktion und Anpassung der Faszien in unterschiedlichen Körperregionen wider. Da Fibroblasten sich an ihre Umgebungsbedingungen adaptieren, findet so ein Remodeling als biomechanische Antwort auf mechanische Stimuli statt, was als Mechanotransduktion bezeichnet wird [44, 47]. Weiterhin tragen Faszien zur Propriozeption bei, indem sie auf manuellen Druck, Temperatur und Vibration reagieren [48].

Basierend auf der Funktion und den histologischen Eigenschaften werden vier Kategorien von Faszien unterschieden: aktiv oder passiv verknüpfend, faszikulär, kompressiv und trennend [44]. Entsprechend der Terminologica anatomica wird die häufig zur Achillessehnenrekonstruktion verwendete Fascia lata dem kompressiven Fasziertyp zugeordnet [49]. Sie umhüllt die Oberschenkelmuskulatur und hat demzufolge einen Strumpfeffekt, der durch Ausüben von Kompression und Druck den Kompartimentdruck, die Muskelkontraktion, die Kraftverteilung und den venösen Rückstrom beeinflusst, was die Propriozeption durch Muskeffizienz und Koordination verbessert [44, 50]. Sie zeichnet sich durch ein dichtes regelmäßiges Bindegewebe mit multidirektional parallel angeordnetem Kollagenfaserverlauf aus, enthält hauptsächlich Kollagen I, aber auch Elastin und Ruffini-Endigungen, welche den Gelenkpositionssinn detektieren [44].

Folglich lassen sich als Vorteile für eine vaskularisierte Rekonstruktion der Achillessehne mit Faszientransplantaten die einzeitige Operation, die minimale Hebmorbidity, die schnelle Heilung der Sehne, die höhere Resistenz gegen Infektionen und der potenzielle Erhalt der neuromuskulären Kontrolle durch Vorhandensein von sensorischen Nervenendigungen im Faszientransplantat formulieren. Es ist jedoch zu beachten, dass die Operationstechniken mit vaskularisierten Transplantaten und freiem Lappenplastiken eine fundierte mikrochirurgische Expertise erfordern, so dass Patienten mit entsprechendem Defektausmaß in Zentren verlegt werden sollten, wo mikrochirurgische Rekonstruktionsverfahren durchgeführt werden.

Im eigenen Vorgehen wird der anterolaterale Oberschenkel, englisch: anterolateral thigh (ALT)-Lappen mit erweiterter Präparation der Fascia lata zur Achillessehnenrekonstruktion präferiert (► **Abb. 2**) [51]. Dies wird von vielen Autoren als Technik der Wahl

für die kombinierte vaskularisierte tendokutane Rekonstruktion angesehen, da neben den genannten Vorteilen der vaskularisierten Faszientransplantate eine ausgesprochene Größenvariabilität und gute Konturanpassung der ALT-Lappenplastik bestehen [51–62]. Ein erhöhter Body-Mass-Index und eine periphere arterielle

Verschlusskrankheit wurden als Prädiktoren für ein schlechtes klinisches Endergebnis nach ALT-Lappenplastik mit vaskularisierter Fascia lata identifiziert, währenddessen das Patientenalter keinen Einfluss auf das funktionelle Ergebnis hatte [54]. Wesentliche Nachteile des ALT-Lappens sind die deutlich sichtbare Narbe am Oberschenkel und die variable Dicke in Abhängigkeit von der subkutanen Gewebeschicht [63].

Als Modifikationen sind ein ALT-Lappen mit einem Streifen des Tractus iliotibialis und Anteilen des M. vastus lateralis [64] oder eine chimäre Lappenplastik mit Tensor fasciae latae (TFL) Muskel und ALT-Lappen beschrieben, wobei der TFL zur Sehnen- und der ALT-Lappen zur Hautweichteilrekonstruktion verwendet wurden [65]. Weiterhin wurden Rekonstruktionen der Sehne durch einen umgeschlagenen Gastrosoleus-Lappen mit umhüllender vaskularisierter Fascia lata und Hautverschluss mit dem ALT-Lappen erzielt, was zur Ausheilung führte [66]. In einem Fallbericht wurde sogar ein am proximalen Achillessehnenstumpf entnommenes vaskularisiertes Sehnentransplantat, welches zwei Perforatoren enthielt, zur Rekonstruktion der Achillessehne genutzt, bevor die ALT-Lappenplastik zur Hautweichteilrekonstruktion erfolgte [67].

Eine Variante der tendokutanen Rekonstruktion ist der perforatorbasierte TFL-Lappen mit Faszie ohne Mitnahme des Muskels, welche postoperativ eine 50–70%ige Reduktion der Plantarflexionskraft zur kontralateralen Seite bei sehr gutem ästhetischem Ergebnis zeigte [68]. Die tendokutane Rekonstruktion mit einem

M. rectus femoris posterior Faszielappen als Variation des ALT-Faszielappen ergab bei der postoperativen Evaluation eine Beweglichkeit von 82% zur kontralateralen Seite, einen AOFAS Score von 71% und einen SF-36 von 22%, gut bis exzellent bewertetem ästhetische Ergebnis [69].

Postoperative Funktionsuntersuchungen nach ALT-Lappenplastiken und vaskularisierter Fascia lata wiesen in der Ganganalyse normale Spitzendrücke mit seitengleicher Fußkontaktfläche und Leistung beim Laufen [57] sowie ein 30 bis 40%iges Defizit der Dorsalextension und Plantarflexion im Vergleich zur kontralateralen gesunden Seite auf [60], obwohl im konfektionierten Schuh Treppe steigen und der Zehenspitzenstand möglich waren [58].

Falls der ALT-Lappen mit vaskularisierter Fascia lata nicht zur Verfügung steht, beispielsweise nach Verbrennungen der Oberschenkel, gibt es vielfältige Alternativen, welche nachfolgend aufgelistet werden.

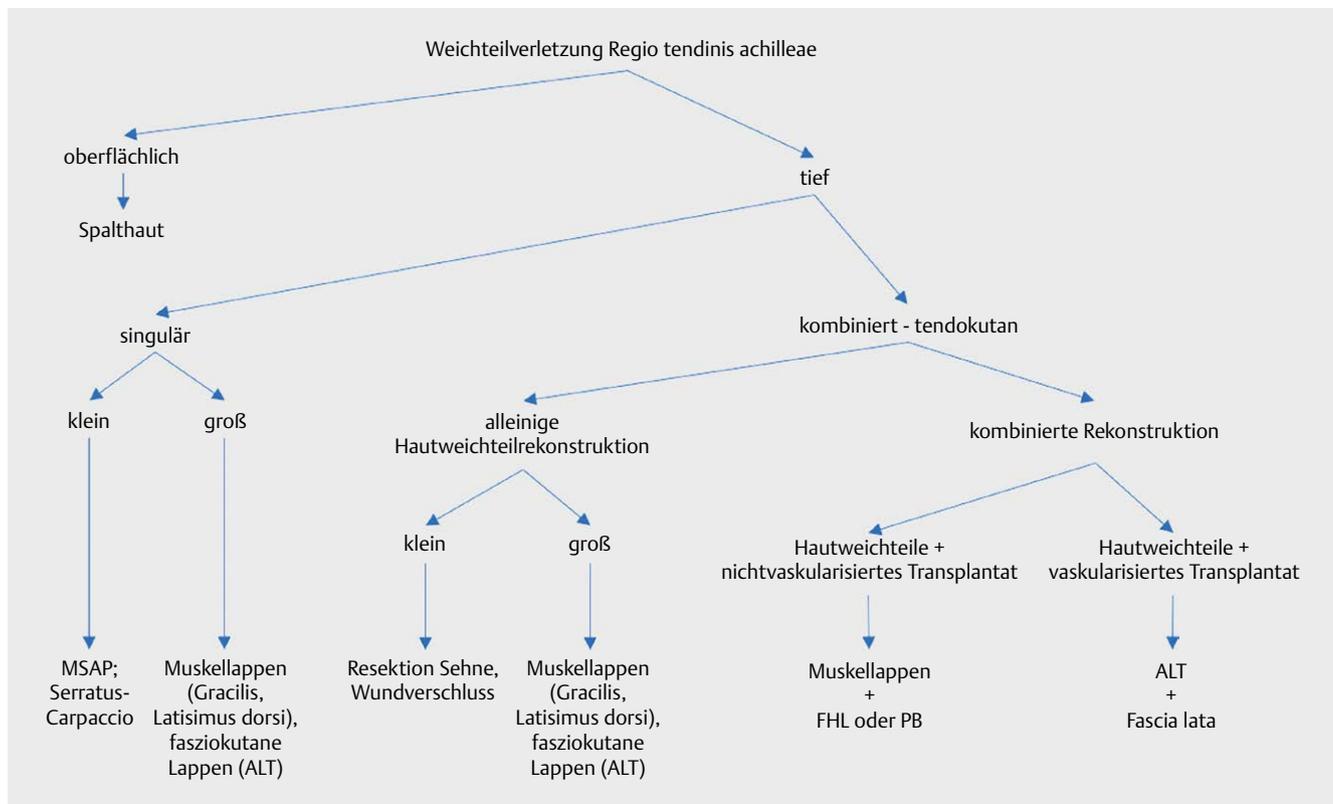
Der temporoparietale Faszielappen ist zwar sehr dünn und faltfähig, jedoch auf eine Länge von 10 cm begrenzt [70]. Anfänglich wurde er für die zirkumferente Umhüllung von geschwächten Achillessehnen mit Hautweichteildefekten nach postoperativen Wundinfekten, nach Bestrahlung, nach Trauma, nach Decubitus oder nach Verbrennungskontrakturen genutzt und anschließend Spalthaut transplantiert [71]. Bei einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 4 Jahren wurde keine Achillessehnenrerruptur evaluiert und alle Patienten waren schmerzfrei gehfähig [70]. Als Modifikation wurde dieser Lappen vereinzelt für tendokutane Defekte verwendet, wobei die zusammengerollte vaskularisierte Galea als Sehneninter-



► **Abb. 2** Tendokutane Rekonstruktion mit ALT-Lappen und vaskularisierter Oberschenkel-faszie. Gezeigt wird ein 5 × 10 cm großer Hautweichteilde-fekt der linken Regio tendinis achilleae mit einer 4 cm langen Defektstrecke der Achillessehne eines 39-jährigen Patienten **a**. Vorausgegangen war eine traumatische Ruptur der Achillessehne beim Fußballspielen, welche mit einer perkutanen Achillessehnnahntechnik versorgt wurde. Einund-dreißig Tage postoperativ stellte sich der Patient mit einem Wundinfekt erneut vor. Die Röntgenaufnahmen des Rückfußes seitlich **b** und des oberen Sprunggelenkes anterior-posterior **c** ergaben keinen Anhalt für eine knöcherne Beteiligung. Es folgten fünf Wunddebridements zur Sanierung des Infektes vor der definitiven Rekonstruktion mit einem 15 × 5 cm großen ALT-Lappen und einem 18 × 12 cm großen vaskularisierten Fascia lata-Trans-plantat **d**. Die Fascia lata wurde zu einer Neosehne zusammengerollt **e**. Der Lappen wurde mikrochirurgisch End-zu-Seit an die A. tibialis posterior (schwarzer Pfeil in **f**) und End-zu-End an beide Vv. tibiales posteriores mit je neuem 3.0 und 2.5 Coupler (weiße Pfeile in **f**) angeschlossen. Die Rekon- struktion der Achillessehne erfolgte mit einer Vorspannung von 15° Plantarflexion durch Fridén-Naht proximal **g** und distal mit Kirchmayr-Kessler Nähten (Pfeil in **h**) an einen in das Tuber calcanei eingebrachten Corkscrew-Fadenanker **i** und **j**. Die Hebestelle am proximalen rechten Oberschenkel wurde primär verschlossen **k** und der ALT-Lappen spannungsfrei in den Hautweichteilde-fekt eingenäht **l**. Sieben Monate postoperativ zeigen sich eine reizlose Narbe am rechten Oberschenkel **m** und ein vollständig eingeeilter Lappen in der linken Achillessehnenregion **n**.

ponat eingenäht und mit der temporoparietalen Faszie umhüllt wurde [63]. Dobke und Mitarbeiter evaluierten eine minimale He- bemorbidität mit kosmetisch kaum sichtbarer Narbe bei normalem Kopfhaarwuchs sowie das einzeitige operative Verfahren bei post- operativ funktionell möglichen Zehenspitzen ► **Abb. 2** Tendokutane

Rekonstruktion mit ALT-Lappen und vaskularisierter Oberschenkel- faszie. Gezeigt wird ein 5 × 10 cm großer Hautweichteilde-fekt der linken Regio tendinis achilleae mit einer 4 cm langen Defektstrecke der Achillessehne eines 39-jährigen Patienten **a**. Vorausgegangen war eine traumatische Ruptur der Achillessehne beim Fußballspie-



► **Abb. 3** Algorithmus der Hautweichteilrekonstruktion der Regio tendinis achilleae. Es ist der Algorithmus der Hautweichteilrekonstruktion in der Achillessehnenregion zu sehen.

len, welche mit einer perkutanen Achillessehnennahttechnik versorgt wurde. Einunddreißig Tage postoperativ stellte sich der Patient mit einem Wundinfekt erneut vor. Die Röntgenaufnahmen des Rückfußes seitlich **b** und des oberen Sprunggelenkes anterior-posterior **c** ergaben keinen Anhalt für eine knöcherne Beteiligung. Es folgten fünf Wunddebridements zur Sanierung des Infektes vor der definitiven Rekonstruktion mit einem  $15 \times 5$  cm großen ALT-Lappen und einem  $18 \times 12$  cm großen vaskularisierten Fascia lata-Transplantat **d**. Die Fascia lata wurde zu einer Neosehne zusammengerollt **e**. Der Lappen wurde mikrochirurgisch End-zu-Seit an die

A. tibialis posterior (schwarzer Pfeil in **f**) und End-zu-End an beide Vv. tibiales posteriores mit je neuem 3.0 und 2.5 Coupler (weiße Pfeile in **f**) angeschlossen. Die Rekonstruktion der Achillessehne erfolgte mit einer Vorspannung von  $15^\circ$  Plantarflexion durch Fridén-Naht proximal **g** und distal mit Kirchmayr-Kessler Nähten (Pfeil in **h**) an einen in das Tuberculum calcanei eingebrachten Corkscrew-Fadenanker **i** und **j**. Die Hebestelle am proximalen rechten Oberschenkel wurde primär verschlossen **k** und der ALT-Lappen spannungsfrei in den Hautweichteildefekt eingenäht **l**. Sieben Monate postoperativ zeigen sich eine reizlose Narbe am rechten Oberschenkel **m** und ein vollständig eingehelpter Lappen in der linken Achillessehnenregion **n**.

stand als vorteilhaft [63], wobei eine Narbe am Kopf als Hebestellenmorbidity aus Sicht der Autoren kritisch zu beurteilen bleibt.

Die Rekonstruktion der Achillessehne mit kombinierter vaskularisierter Flexor carpi radialis-Sehne und Radialislappen wurde 1998

von Stamate und Mitarbeiter erwähnt [72]. Achillessehnendefekte von  $4,5 - 7$  cm Größe mit begleitendem Hautweichteildefekt von bis zu  $12,5 \times 5,5$  cm Größe wurden in dieser Technik operativ versorgt, wobei alle Lappenplastiken vital blieben, das Laufen unter

Vollbelastung nach durchschnittlich 2 Monaten unter dezenter Einschränkung der Dorsalextension möglich war und acht Monate postoperativ die MRT-Untersuchung eine gut eingehelte Sehnenplastik mit nahezu normaler Kontur der Achillessehne zeigte [32, 73]. Dieses Operationsverfahren ist aus Sicht der Autoren kritisch zu bewerten, da die Hebemorbidity sehr hoch ist. Zum einen muss für den Radialislappen die A. radialis geopfert werden, zum anderen resultiert eine am Unterarm deutlich sichtbare Narbe und die Größe des Hautlappens wird durch die verfügbare Breite eingeschränkt.

Eine weitere Alternative für die tendokutane Rekonstruktion ist ein freier fasziokutaner infraglutalealer Lappen, welcher optional mit dem N. cutaneus femoris posterior gehoben werden kann [74], dessen Verwendung Ausnahmen vorbehalten ist, da die Hebung des Lappens anspruchsvoll ist.

Mit einem freien Transfer des M. gracilis gelang sowohl die Rekonstruktion der Achillessehne durch perkutane Ausziehnahntechnik seiner Sehne am distalen Achillessehnenstumpf, Faltung des Muskels und proximaler Fixierung an die Faszien des M. gastrocnemius und M. soleus als auch die Hautweichteilrekonstruktion,

indem der Muskel mit Spalthaut bedeckt wurde. Sechs Monate postoperativ bestanden ein Kraftdrehmoment von 59 %, eine Kraft von 52 % und ein Ausdauervermögen von 81 % zur gesunden Gegenseite [75].

Der proximal gestielte A. dorsalis pedis Lappen mit Extensor digitorum brevis-Sehne wird heutzutage sehr selten indiziert und ist eigentlich bei vielfältigsten Rekonstruktionsoptionen obsolet, da er mit Wundheilungsstörungen und Sehnenverklebungen im Hebegebiet am Dorsum pedis sehr komplikationsbehaftet ist. Zusätzlich ist die Größe des Lappens auf einen Hautdefekt von 10x7cm und eine Sehnendefektlänge von 10 cm limitiert [76]. Für große tendokutane Defekte wurden chimäre Leistenlappen in einer Größe von 18,5x6,5 cm mit einer für den Sehnenersatz 8x8 cm großen zusammengerollten Faszie des M. obliquus externus abdominis angewendet, wo sich im Langzeitverlauf eine gute Stabilität und Haltbarkeit erwies [77].

Alle beschriebenen Verfahren besitzen Vor- und Nachteile, die individuell gewertet werden müssen. Daher sollte das therapeutische Armamentarium des rekonstruktiven Chirurgen ein breites Spektrum beinhalten, um individualisiert optimale Rekonstruktionen anbieten zu können. Dies zeigt sich auch bei großen Hautdefekten, wo neben ALT-Lappen mit vaskularisierter Fascia lata auch Latissimus dorsi-Lappen mit artifiziellem Sehnentransplantat und Fascia lata zur Anwendung gelangen [32].

### Tendokutane Defekte – simultane Rekonstruktion mit nichtvaskulären Transplantaten

Für den nichtvaskularisierten Achillessehnenersatz werden überwiegend autologe Sehnentransplantate verwendet, welche frei verfügbar und nicht mit der Lappenplastik verbunden sind. Interessanterweise zeigten sich vergleichbare funktionelle Ergebnisse der Kraft und der Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes zwischen freiem Gewebettransfer mit vaskularisierter versus nichtvaskulärer Achillessehnenrekonstruktion als Allo- oder Autograft [78]. Primär wird die FHL-Sehne häufig die als Transplantat gewählt, gefolgt von der PB-Sehne. Beide Sehnen werden der Gruppe der Positionsehnen zugeordnet, welche die Muskelkraft zum Knochen weiterleiten [79]. Sie bestehen aus dicht gepackten Faszikeln mit geringer intrafaszikulärer Dehnung bei niedriger Belastung, ihre extrazelluläre

Matrix ist härter und sie haben einen niedrigen Glykosaminoglykan- und Wassergehalt. Im Gegensatz dazu gehört die Achillessehne zu den Energiespeichersehnen, welche einen höheren Glykosaminoglykan- und Wassergehalt sowie eine weichere extrazelluläre Matrix besitzt und bei physiologischer Belastung somit aufgrund geringer intrafaszikulärer Rigidität dehnbar ist [79]. Weiterhin werden bei nichtvaskularisierten Transplantaten die propriozeptiven Funktionen der distalen Achillessehne nur eingeschränkt adressiert, insbesondere vor dem Hintergrund, dass alle vier Typen von sensorischen Nervenendigungen an der knöchernen Insertion der Achillessehne lokalisiert sind, welche für die neuromuskuläre Gelenkstabilität von enormer Bedeutung sind [80].

Eine biomechanische Studie zwischen der PB- und der FHL-Sehne zeigte für die Steifheit und Versagensenergie vergleichbare Ergebnisse, jedoch war die mittlere Versagenslast der PB-Sehne signifikant höher als die der FHL-Sehne, wobei das Sehneninterponat entweder am distalen oder am proximalen Stumpf der Achillessehne ausriss [81].

Nicht vaskularisierte Fascia lata-Transplantate zur Rekonstruktion der Achillessehne mit nachfolgender Hautweichteilrekonstruktion durch einen gestielten A. tibialis posterior Perforatorlappen erzielten bei Kindern exzellente und gute Behandlungsergebnisse [82]. Weiterhin wurden zur Sehnenrekonstruktion nichtvaskularisierte Fascia lata-Transplantate mit einem lateralen Oberarm lappen umhüllt, wobei von den Autoren die Gleitfähigkeit zwischen der rekonstruierten Sehne und dem dünnen Lappen als Hauptvorteil gesehen wird [83]. Dieses Verfahren ist bei sehr adipösen Patienten oder bei nicht Verfügbarkeit des ALT-Lappens eine alternative Therapieoption. Dennoch ist gelegentlich eine sekundäre Lappenausdünnung erforderlich [84].

### Neurosensorische tendokutane Rekonstruktion

Ein lateraler Oberarm lappen in Kombination mit einem Sehnenstreifen des M. triceps brachii und des N. cutaneus brachii posterior, welcher an den N. cutaneus surae lateralis koaptiert wird, eröffnet die Möglichkeit einer neurosensorischen tendokutanen Rekonstruktion [84–86]. Ein Jahr postoperativ bestanden eine durchschnittlich geminderte Fußkraft und Plantarflexionskraft von jeweils 50 %, leichte Defizite der Oberarmextensoren bei freier Beweglichkeit des Ellenbogengelenkes im Vergleich zur jeweils gesunden kontralateralen Extremität [85] bei wiederhergestellten Zehenspitzenstand [86]. Die Zweipunktgediskrimination des Lappens betrug statisch 24–25 mm und dynamisch 17 mm [85, 86].

Nach Rekonstruktion der Achillessehne bei großflächiger Tumoresektion mit umgeschlagener Aponeurose des M. gastrocnemius, freiem TFL-Lappen und epineuraler Koaptation des sensiblen Lappennervenastes an den N. cutaneus surae lateralis wurde zwei Jahre postoperativ eine leichte Berührung von Nadelstichen sicher vom Patienten unterschieden, der Zehenspitzenstand sowie eine kräftige Plantarflexion und Dorsalextension von jeweils 30 ° waren aktiv möglich [87].

### Tendokutane und ossäre Rekonstruktion

Komplexe Verletzungen mit knöchernem Defekt des Calcaneus, einem distalen Achillessehnenverlust und einem Hautweichteildefekt sind mit einem chimären freien osteokutanen Leistenlappen inklusive der Faszie des M. obliquus externus abdominis und einem vaskularisiertem Beckenkammspan rekonstruierbar, dessen Hebe morbidity hauptsächlich eine leichte Schwäche der Bauchwand beinhaltet [2]. Wird der laterale Oberarm lappen mit der M. triceps brachii Sehne und einem knöchernen Olecranonfragment genutzt, erfolgt die knöcherne Fixation der Sehne am Tuber calcanei durch Schraubenosteosynthese [88].

Die Rekonstruktion der Achillessehne mit einem kryokonservierten Allograft und calcanearem Knochenblock, welcher distal durch Schraubenosteosynthese und proximal durch Sehnennaht fixiert wird, in Verbindung mit einer Hautweichteilrekonstruktion durch einen freien M. rectus abdominis-Lappen, bleibt einem Einzelfallbericht vorbehalten, wodurch eine freie Lauffähigkeit, eine Plantarflexion von 35 ° und eine Dorsalextension von 10 ° im oberen Sprunggelenk erreicht wurden [89].

## FAZIT FÜR DIE PRAXIS

Zur Rekonstruktion der Achillessehnenregion eignen sich dünne strapazier- und gleitfähige Lappen, die eine Schuhversorgung ermöglichen. Demzufolge ist eine Lappenausdünnung als sekundärer Schritt der Rekonstruktion oft erforderlich. Die Rekonstruktion von singulären Hautdefekten ist von kombinierten tendokutanen Defekten zu differenzieren. Lokale und gestielte Lappenplastiken sind komplikationsbehaftet. Die Technik der Wahl für die kombinierte tendokutane Rekonstruktion ist der ALT-Lappen mit vaskularisierter Fascia lata. Für die nichtvaskuläre Rekonstruktion der Achillessehne werden vorwiegend die FHL- und PB-Sehnen verwendet. Die postoperative Kraft und Beweglichkeit zeigen vergleichbare funktionelle Resultate nach vaskularisierter und nichtvaskularisierter Sehnenrekonstruktion. Abschließend wird der eigens verwendete Algorithmus für die Rekonstruktion der Regio tendinis achilleae in ► **Abb. 3** zusammengefasst.

## Interessenkonflikt

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

## Literatur

- [1] Baden JM, Warr RP, Khan U. Immediate free tissue transfer for coverage of Achilles tendon injury or reconstruction. *Foot Ankle Surg* 2010; 16: 164–169
- [2] Wei FC, Chen HC, Chuang CC et al. Reconstruction of achilles tendon and calcaneus defects with skin-aponeurosis-bone composite free tissue from the groin region. *Plast Reconstr Surg* 1988; 81: 579–587
- [3] Poynton AR, O'Rourke K. An analysis of skin perfusion over the Achilles tendon in varying degrees of plantarflexion. *Foot Ankle Int* 2001; 22: 572–574
- [4] Reda Y, Farouk A, Abdelmonem I et al. Surgical versus non-surgical treatment for acute Achilles' tendon rupture. A systematic review of literature and meta-analysis. *Foot Ankle Surg* 2019 S1268-7731(19)30053-0: Im Internet: doi:10.1016/j.fas.2019.03.010
- [5] Stavenuiter XJR, Lubberts B, Prince RM et al. Postoperative complications following repair of acute Achilles tendon rupture. *Foot Ankle Int* 2019; 40: 679–686
- [6] Gatz M, Driessen A, Eschweiler J et al. Open versus minimally-invasive surgery for Achilles tendon rupture: a meta-analysis study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2020; Im Internet: doi:10.1007/s00402-020-03437-z
- [7] Wong J, Barrass V, Maffulli N. Quantitative review of operative and nonoperative management of Achilles tendon ruptures. *Am J Sports Med* 2002; 30: 565–575
- [8] Pajala A, Kangas J, Ohtonen P et al. Rerupture and deep infection following treatment of total Achilles tendon rupture. *J Bone Jt Surg – Ser A* 2002; 84: 2016–2021
- [9] Nilsson-Helander K, Grävare Silbernagel K et al. Acute achilles tendon rupture: a randomized, controlled study comparing surgical and nonsurgical treatments using validated outcome measures. *Am J Sports Med* 2010; 38: 2186–2193
- [10] Marican MM, Fook-Chong SMC, Rikhray JS. Incidence of postoperative wound infections after open tendo achilles repairs. *Singapore Med J* 2015; 56: 549–554
- [11] Khan RJK, Fick D, Keogh A et al. Treatment of acute Achilles tendon ruptures: A meta-analysis of randomized, controlled trials. *J Bone Jt Surg – Ser A* 2005; 87: 2202–2210
- [12] Jildeh TR, Okorooha KR, Marshall NE et al. Infection and rerupture after surgical repair of achilles tendons. *Orthop J Sport Med* 2018; 6: 1–5
- [13] Highlander P, Greenhagen RM. Wound complications with posterior midline and posterior medial leg incisions: a systematic review. *Foot Ankle Spec* 2011; 4: 361–369
- [14] Grabb WC, Argenta LC. The lateral calcaneal artery skin flap (the lateral calcaneal artery, lesser saphenous vein, and sural nerve skin flap). *Plast Reconstr Surg* 1981; 68: 723–730
- [15] Rein S, Kremer T. Systematik der plastischen Defektrekonstruktion am Fuß. *Unfallchirurg* 2021; 124: 797–806
- [16] Vaienti L, Calori GM, Leone F et al. Posterior tibial artery perforator flaps for coverage of Achilles region defects. *Injury* 2014; 45: 133–137. Im Internet: doi:10.1016/j.injury.2014.10.037
- [17] Attinger CE, Ducic I, Hess CL et al. Outcome of skin graft versus flap surgery in the salvage of the exposed Achilles tendon in diabetics versus nondiabetics. *Plast Reconstr Surg* 2006; 117: 2460–2467
- [18] Lin CT, Chen SG, Chen TM et al. Bipedicled flap for the reconstruction of soft tissue defects of the Achilles tendon. *Ann Plast Surg* 2015; 74: 484–487
- [19] Koski A, Tukiainen E, Suominen S et al. Reconstruction of iatrogenic skin defects of the Achilles tendon region: An analysis of 25 consecutive patients. *Eur J Plast Surg* 2003; 26: 298–303
- [20] Fumarola A. A one-stage reconstruction of a large defect of the tendo Achilles and the overlying skin. *Br J Plast Surg* 1985; 38: 403–406
- [21] Zhu YL, Xu YQ, Mei L B et al. Open Achilles tendon defects: A 12-year study on the injury mechanisms, reconstructions, and late complications. *J Reconstr Microsurg* 2014; 30: 569–580
- [22] Vaienti L, Cottone G, Zaccaria G et al. One-Step Approach for Infections After Achilles Tendon Open Repair: The Distally Based Peroneus Brevis Muscle Flap. *Int J Low Extrem Wounds* 2020; 1–7
- [23] Fansa H, Frerichs O, Schneider W. Der distal gestielte M. peroneus brevis-Lappen zur Defektdeckung am Unterschenkel. *Unfallchirurg* 2006; 109: 453–456
- [24] Baumeister SP, Spierer R, Erdmann D et al. A realistic complication analysis of 70 sural artery flaps in a multimorbid patient group. *Plast Reconstr Surg* 2003; 112: 129–140
- [25] Kumta SM, Maffulli N. Local flap coverage for soft tissue defects following open repair of achilles tendon rupture. *Acta Orthop Belg* 2003; 69: 59–66
- [26] Masquelet AC, Beveridge J, Romana C et al. The lateral supramalleolar flap. *Plast Reconstr Surg* 1988; 81: 74–84
- [27] Demiri E, Foroglou P, Dionysiou D et al. Our experience with the lateral supramalleolar island flap for reconstruction of the distal leg and foot: A review of 20 cases. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 2006; 40: 106–110
- [28] Hamdi MF, Khelifi A. Lateral supramalleolar flap for coverage of ankle and foot defects in children. *J Foot Ankle Surg* 2012; 51: 106–109
- [29] Omokawa S, Yajima H, Tanaka Y et al. Long-term results of lateral calcaneal artery flap for hindfoot reconstruction. *J Reconstr Microsurg* 2008; 24: 239–245
- [30] Jakubietz RG, Jakubietz DF, Grünert JG et al. Reconstruction of soft tissue defects of the achilles tendon with rotation flaps, pedicled propeller flaps and free perforator flaps. *Microsurgery* 2010; 30: 608–613
- [31] Feng K-M, Sudirman SR, Shih H-S et al. Experience on primary closure of fibular flap donor sites and development of an algorithm for closure based on different flap designs. *Microsurgery* 2020; 40: 741–749

- [32] Innocenti M, Innocenti A, Ghezzi S et al. Achilles region soft-tissue defects: a reconstructive algorithm based on a series of 46 cases. *J Reconstr Microsurg* 2017; 33: S40–S47
- [33] Sauerbier M, Erdmann D, Brüner S et al. Die Deckung von Weichteildefekten und instabilen Narben über der Achillessehne durch freie mikrochirurgische Lappenplastiken. *Chirurg* 2000; 71: 1161–1166
- [34] Baden JM, Warr RP, Khan U. Immediate free tissue transfer for coverage of Achilles tendon injury or reconstruction. *Foot Ankle Surg* 2010; 16: 164–169. Im Internet: doi:10.1016/j.fas.2009.10.006
- [35] Huemer GM, Larcher L, Schoeller T et al. The free gracilis muscle flap in Achilles tendon coverage and reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 2012; 129: 910–919
- [36] Yuan W, Satkunanatham M, Sechachalam S. Results of Achilles tendon excision for purpose of wound closure: case series. *J Foot Ankle Surg* 2019; 58: 184–186. Im Internet: doi:10.1053/j.jfas.2018.08.006
- [37] Fourniols E, Lazennec JY, Rousseau MA. Salvage technique for postoperative infection and necrosis of the Achilles tendon. *Orthop Traumatol Surg Res* 2012; 98: 915–920. Im Internet: doi:10.1016/j.otsr.2012.07.009
- [38] Monnerie C, Le Nen D, Hu W et al. Treatment of necrosis of Achilles tendon without tendon reconstruction: About four cases. *Ann Chir Plast Esthet* 2019; 64: 208–214
- [39] Saunders ED, Hochberg J, Wittenborn W. Treatment of total loss of the achilles tendon by skin flap cover without tendon repair. *Plast Reconstr Surg* 1978; 62: 708–712
- [40] Lee HB, Lew DH, Oh SH et al. Simultaneous reconstruction of the Achilles tendon and soft-tissue defect using only a latissimus dorsi muscle free flap. *Plast Reconstr Surg* 1999; 104: 111–119
- [41] Boorboor P, Lahoda LU, Spies M et al. Resektion der infizierten Achillessehne: Ergebnisse nach plastischer Defektdeckung ohne Achillessehnenersatz. *Chirurg* 2006; 77: 1144–1151
- [42] Finni T, Hodgson JA, Lai AM et al. Muscle synergism during isometric plantarflexion in achilles tendon rupture patients and in normal subjects revealed by velocity-encoded cine phase-contrast MRI. *Clin Biomech* 2006; 21: 67–74
- [43] Benetazzo L, Bizzego A, De Caro R et al. 3 D reconstruction of the crural and thoracolumbar fasciae. *Surg Radiol Anat* 2011; 33: 855–862
- [44] Kumka M. Fascia: a morphological description and classification system based on a literature review. *J Can Chiropr Assoc* 2012; 56: 179–191
- [45] Gelse K, Pöschl E, Aigner T. Collagens – structure, function, and biosynthesis. *Adv Drug Deliv Rev* 2003; 55: 1531–1546
- [46] Gordon MK, Hahn RA. Collagens. *Cell Tissue Res* 2011; 339: 247–257
- [47] Engler AJ, Sen S, Sweeney HL et al. Matrix elasticity directs stem cell lineage specification. 2006; 126: 677–689
- [48] Fede C, Porzionato A, Petrelli L et al. Fascia and soft tissues innervation in the human hip and their possible role in post-surgical pain. *J Orthop Res* 2020; 38: 1646–1654
- [49] Federative Committee of Anatomical Terminology Terminologica Anatomica: international anatomical terminology. Stuttgart-New York: Thieme; 1998
- [50] Fourie W. Fascia lata: Merely a thigh stocking, or a coordinator of complex thigh muscular activity? *J Bodyw Mov Ther* 2008; 12: 265
- [51] Youn SKI, Kim SWHA, Kim YH et al. The composite anterolateral thigh flap for achilles tendon and soft tissue defect reconstruction with tendon repair by fascia with double or triple folding technique. *Microsurgery* 2015; 35: 615–621
- [52] Okochi M, Momiyama M, Okochi H et al. Early mobilizing and dangling of the lower leg after one-stage reconstruction of Achilles tendon and overlying tissue defect using an anterolateral thigh flap with vascularized fascia lata. *Case Reports Plast Surg Hand Surg* 2017; 4: 89–95. Im Internet: doi:10.1080/23320885.2017.1396902
- [53] Michel G, Ho Quoc C, Assaf N et al. Dynamic reconstruction of Achilles tendon by free composite perforator flap with functional assessment. *Ann Chir Plast Esthet* 2015; 60: 78–83. Im Internet: doi:10.1016/j.anplas.2014.05.004
- [54] Jandali Z, Lam MC, Merwart B et al. Predictors of clinical outcome after reconstruction of complex soft tissue defects involving the Achilles tendon with the composite anterolateral thigh flap with vascularized fascia lata. *J Reconstr Microsurg* 2018; 34: 632–641
- [55] Andreu-Sola V, Aguilera-Sáez J, Rivas-Nicolls D et al. Reconstruction fonctionnelle d'une brûlure du tendon d'achille dans la phase aigue par un lambeau composite antero latéral de cuisse avec fascia lata: À propos d'une observation. *Ann Burns Fire Disasters* 2017; 30: 309–312
- [56] Duhamel P, Mathieu L, Brachet M et al. Reconstruction of the Achilles tendon with a composite anterolateral thigh free flap with vascularized fascia lata: A case report. *J Bone Jt Surg – Ser A* 2010; 92: 2598–2603
- [57] Ehrl D, Heidekrueger PI, Schmitt A et al. The anterolateral thigh flap for Achilles tendon reconstruction: functional outcomes. *Plast Reconstr Surg* 2019; 143: 1772–1783
- [58] Houtmeyers P, Opsomer D, Van Landuyt K et al. Reconstruction of the achilles tendon and overlying soft tissue by free composite anterolateral thigh flap with vascularized fascia lata. *J Reconstr Microsurg* 2012; 28: 205–209
- [59] Inoue T, Tanaka I, Imal K et al. Reconstruction of Achilles tendon using vascularised fascia lata with free lateral thigh flap. *Br J Plast Surg* 1990; 43: 728–731
- [60] Kuo YR, Kuo MH, Chou WC et al. One-stage reconstruction of soft tissue and achilles tendon defects using a composite free anterolateral thigh flap with vascularized fascia lata: Clinical experience and functional assessment. *Ann Plast Surg* 2003; 50: 149–155
- [61] Lee JW, Yu JC, Shieh SJ et al. Reconstruction of the Achilles tendon and overlying soft tissue using antero-lateral thigh free flap. *Br J Plast Surg* 2000; 53: 574–577
- [62] Lee YK, Lee M. Treatment of infected achilles tendinitis and overlying soft tissue defect using an anterolateral thigh free flap in an elderly patient a case report. *Med (United States)* 2018; 97: e11995
- [63] Dobke M, Suliman A, Mackert GA et al. Single-Stage Reconstruction of Achilles Tendon and Overlying Tissue With the Extended Temporo-parietal Fasciagaleal Flap – 23-Year Follow-Up and the Review of the Literature. *Ann Plast Surg* 2016; 76: 165–170
- [64] Sato R, Hibino N, Yamano M et al. One-Stage Reconstruction for Re-rupture of Achilles Tendon with Soft Tissue Infection: Using an Anterolateral Thigh Flap Incorporating a Vascularized Muscle Flap and a Strip of Iliotibial Tract. *J Hand Microsurg* 2018; 10: 105–108
- [65] Ando J, Sakuraba M, Sugawara A et al. Free flap reconstruction of Achilles tendon and overlying skin defect using ALT and TFL fabricated chimeric flap. *Case Reports Plast Surg Hand Surg* 2019; 6: 82–85. Im Internet: doi:10.1080/23320885.2019.1635023
- [66] Kelahmetoglu O, Gules M, Elmadag N et al. Double-layer reconstruction of the Achilles' tendon using a modified Lindholm's technique and vascularized fascia lata. *J Hand Microsurg* 2018; 10: 49–51
- [67] Chalmers R, Tare M, Niranjana N. Vascularised Achilles tendon graft re-construction – By the tendon for the tendon. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg* 2010; 63: 273–276. Im Internet: doi:10.1016/j.bjps.2009.07.014
- [68] Deiler S, Pfadenhauer A, Widmann J et al. Tensor fasciae latae perforator flap for reconstruction of composite Achilles tendon defects with skin and vascularized fascia. *Plast Reconstr Surg* 2000; 106: 342–349
- [69] Defazio MV, Han KD, Iorio ML et al. Combined free tissue transfer for the management of composite achilles defects: Functional outcomes and patient satisfaction following thigh-based vascularized reconstruction with a neotendon construct. *J Reconstr Microsurg* 2014; 30: 431–440

- [70] Upton J, Baker TM, Shoen SL et al. Fascial flap coverage of achilles tendon defects. *Plast Reconstr Surg* 1995; 95: 1056–1061
- [71] Brent B, Upton J, Acland RD et al. Experience with temporoparietal fascial free flap. *Plast Reconstr Surg* 1985; 76: 177–188
- [72] Stamate T, Budurca A, Tamas C et al. A free microsurgical transfer of a radial (Chinese) flap in reconstructing the lower limb. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi* 1998; 102: 161–166
- [73] Innocenti M, Tani M, Carulli C et al. Radial forearm flap plus flexor carpi radialis tendon in achilles tendon reconstruction: surgical technique, functional results, and gait analysis. *Microsurgery* 2015; 35: 608–614
- [74] Papp C, Todoroff BP, Windhofer C et al. Partial and complete reconstruction of Achilles tendon defects with the fasciocutaneous infraligament free flap. *Plast Reconstr Surg* 2003; 112: 777–783
- [75] Feibel RJ, Jackson RL, Lineaweaver WC et al. Management of chronic Achilles tendon infection with musculotendinous gracilis interposition free-flap coverage. *J Reconstr Microsurg* 1993; 9: 321–323 + 325
- [76] Babu V, Chittaranjan S, Abraham G et al. Single-stage reconstruction of soft-tissue defects including the achilles tendon using the dorsalis pedis arterialized flap along with the extensor digitorum brevis as bridge graft. *Plast Reconstr Surg* 1994; 93: 1090–1094
- [77] Coskunfirat OK, Sheu TJ, Jeng SF et al. Reconstruction of Achilles tendon and overlying skin with composite groin-fascial free flap: A case report of 14-year follow-up. *Plast Reconstr Surg* 2003; 112: 215–219
- [78] Iorio ML, Han KD, Evans KK et al. Combined Achilles tendon and soft tissue defects: Functional outcomes of free tissue transfers and tendon vascularization. *Ann Plast Surg* 2015; 74: 121–125
- [79] Kaya M, Karahan N, Yilmaz B. tendon structure and classification. In: *Tendons*. Intech Open 2019; 1–9
- [80] Doral MN, Alam M, Bozkurt M et al. Functional anatomy of the Achilles tendon. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 638–643
- [81] Sebastian H, Datta B, Maffulli N et al. Mechanical properties of reconstructed Achilles tendon with transfer of peroneus brevis or flexor hallucis longus tendon. *J Foot Ankle Surg* 2007; 46: 424–428
- [82] Lin CZ, Xia X, Wang H et al. Surgical reconstruction of the fascia lata and posterior tibial artery perforator flap to treat children with simultaneous injury to the Achilles tendon and heel skin. *Med (United States)* 2018; 97: 10–13
- [83] Haas F, Seibert FJ, Koch H et al. Reconstruction of combined defects of the Achilles tendon and the overlying soft tissue with a fascia lata graft and a free fasciocutaneous lateral arm flap. *Ann Plast Surg* 2003; 51: 376–382
- [84] Smit JM, Darcy CM, Audolfsson T et al. Multilayer reconstructions for defects overlying the achilles tendon with the lateral-arm flap: Long-term follow-up of 16 cases. *Microsurgery* 2012; 32: 438–444
- [85] Berthe J V, Toussaint D, Coessens B. One-stage reconstruction of an infected skin and achilles tendon defect with a composite distally planned lateral arm flap. *Plast Reconstr Surg* 1998; 102: 1618–1622
- [86] Kim CH, Tark MS, Choi CY et al. A single-stage reconstruction of a complex Achilles wound with modified free composite lateral arm flap. *J Reconstr Microsurg* 2008; 24: 127–130
- [87] Lidman D, Nettelblad H, Berggren A et al. Reconstruction of soft tissue defects including the achilles tendon with free neurovascular tensor fascia lata flap and fascia lata: Case report. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 1987; 21: 213–218
- [88] Sylaidis P, Fatah MFT. A composite lateral arm flap for the secondary repair of a multiply ruptured achilles tendon. *Plast Reconstr Surg* 1995; 96: 1719–1723
- [89] Yuen JC, Nicholas R. Reconstruction of a total achilles tendon and soft-tissue defect using an Achilles allograft combined with a rectus muscle free flap. *Plast Reconstr Surg* 2001; 107: 1807–1811