

Sabine Ochman, Ann-Sophie C. Weigel, Alexander Milstrey, Michael J. Raschke

Kompartmentsyndrom des Fußes

Zusammenfassung:

Ein Kompartmentsyndrom des Fußes ist ein chirurgischer Notfall, meist im Rahmen von high energy-Verletzungen mit Mittelfuß- und Calcaneusfrakturen vergesellschaftet und sollte nicht übersehen werden. Die klinischen Zeichen sind variabel – Schmerzen, Schwellung, eine gespannte, glänzende Haut, im weiteren Verlauf Spannungsblasen und sensomotorische Defizite bei meist erhaltenen peripheren Pulsen.

Die klinische Diagnose kann durch eine Messung des intrakompartimentellen Druckes ergänzt werden, die Indikation zur Dermatofasziotomie sollte großzügig gestellt werden, ab 25 mmHg oder Differenz des Kompartimentdruckes > 10–30 mmHg zum diastolischen Blutdruckwert aufgrund der geringen Toleranz der kurzen Fußinnenmuskulatur gegenüber einem erhöhten Druck. Eine frühzeitige Fasziotomie kann im Verlauf zu einer geringeren Morbidität und besserem Outcome führen. An Folgen können neurologische Defizite und Fehlstellungen auftreten.

Schlüsselwörter:

Kompartmentsyndrom, Fuß, komplexes Fußtrauma, Fasziotomie

Zitierweise:

Ochman S, Weigel A-SC, Milstrey A, Raschke MJ: Kompartmentsyndrom des Fußes

OUP 2025; 14: 146–150

DOI 10.53180/oup.2025.0146-150

Einleitung

Ein Kompartmentsyndrom des Fußes ist ein chirurgischer Notfall und kann zu Folgen wie neurologische Defizite und Fehlstellungen führen. Ursächlich liegt meist ein Trauma zugrunde. In bis zu 6 % der Patientinnen und Patienten mit Fußverletzungen nach Hochrasanztrauma entwickeln ein Kompartmentsyndrom des Fußes, bei einem komplexen Fußtrauma ist die Inzidenz bis zu 50 % [1–3].

Insbesondere bei Patientinnen und Patienten mit Chopart'schen und Lisfranc'schen Gelenkverletzungen entwickelt sich in 25 % bzw. 34 % ein Kompartmentsyndrom [4]. Crush injuries sind in 28 % mit einem Kompartmentsyndrom vergesellschaftet, Sturz aus großer Höhe sowie Verkehrsunfälle in 26 % der Fälle [5]. Bei Calcaneusfrakturen zeigt sich ein hohes Risiko von 23 %, gefolgt von Lisfranc-Gelenkverletzungen in 21 % sowie komplexe Metatarsale-Frakturen in 18 % [5]. Nicht traumatische Ursachen sind z.B. Revaskularisationen

nach akuter Extremitätenischämie oder Injektionstherapien im Bereich des Fußes [6, 7]. Auch kann es, wenn auch selten, nach körperlicher Anstrengung zu einem Fußkompartmentsyndrom kommen, was die Bedeutung einer hohen klinischen Wachsamkeit bei atypischen Pathomechanismen betont [8]. Eine epidemiologische Analyse traumatisch entstandener Kompartmentsyndrome in Deutschland zwischen 2015 und 2022 mit 13.305 Fällen konnte in 44,4 % ein Kompartmentsyndrom im Bereich der unteren Extremität sowie höhere Inzidenz bei Männern mit einer 2,3:1 Ratio feststellen. Insbesondere im Alter zwischen 22 und 23 Jahren sowie 55 Jahren kam ein Kompartmentsyndrom gehäuft vor. Insgesamt zeigte sich jedoch ein Trend zu einer geringeren Inzidenz im Laufe der Jahre [9]. Auch heute noch werden Kompartmentsyndrome des Fußes primär übersehen, typische Spätfolgen sind aufgrund der Atrophie und Fibrose der Fußinnenmuskula-

tur Krallen- und Hammerzehenbildungen [10].

Im Vergleich zum Unterschenkel zeigen sich im Bereich des Fußes Unterschiede hinsichtlich der Muskelvolumina, der Dicke und Festigkeit der Faszien [11]. In Bezug auf die Anzahl der anatomischen Fußkompartimente sind unterschiedliche Angaben in der aktuellen Literatur zu finden. Anatomisch gesehen existieren bis zu 10 Kompartimente. Hiervon existieren 4 Hauptkompartimente, das mediale, das laterale, das zentrale (plantar) und das intraosäre Kompartiment. Dieses kann weiterhin in 4 intraosäre Kompartimente unterteilt werden. Das zentrale Kompartiment kann zusätzlich in ein mediozentrales und kalkaneares unterteilt werden. Das mediale Kompartiment enthält weiterhin das Abductor-Kompartiment. Ein weiteres Kompartiment stellt das dorsale Kompartiment dar. Die bekanntesten Untersuchungen zur Identifizierung und Klassifikation der Kompartimente erfolgten durch Manoli und Weber 1991 durch Injekti-

Compartmentsyndrome of the foot

Abstract: A compartment syndrome of the foot is a surgical emergency and should not be overlooked, most often associated with high-energy injuries involving midfoot and calcaneal fractures. Clinical signs are variable and include pain, swelling, tense and shiny skin, and in later stages, tense blisters and sensorimotor deficits, usually with preserved peripheral pulses. The clinical diagnosis can be supplemented by measurement of intracompartmental pressure. The indication for dermatofasciotomy should be made liberally – at pressures of 25 mmHg or a compartment pressure difference of > 10–30 mmHg compared to diastolic blood pressure – due to the low tolerance of the short intrinsic foot muscles to increased pressure. Early fasciotomy can lead to lower morbidity and better outcomes. Possible consequences of delayed treatment include neurological deficits and deformities.

Keywords: Compartment syndrome, foot, complex foot trauma, fasciotomy

Citation: Ochman S, Weigel A-SC, Milstrey A, Raschke MJ: Compartmentsyndrome of the foot
OUP 2025; 14: 146–150. DOI 10.53180/oup.2025.0146-150

onsuntersuchungen. Durch die Autoren wurden 9 Kompartimente beschrieben (Abb. 1, Tab. 1) [12].

Ein systematisches Review aus dem Jahr 2020 konnte 10 Studien einschließen. Einigkeit herrscht bezüglich der Anzahl der Kompartimente in der plantaren Region (3 große Kompartimente unterteilt durch das mediale und laterale intermuskuläre Septum). Uneinigkeit herrscht hinsichtlich der dorsalen Kompartimente [13]. Die 4 in der Tiefe liegenden interossären Kompartimente sowie die 2 tiefliegenden Kompartimente im Vorfuß- und Rückfußbereich sind besonders gefährdet für Einblutungen und infolgedessen Druckerhöhung [14].

Pathophysiologisch ist das Kompartmentsyndrom des Fußes analog zum Kompartmentsyndrom des Unterschenkels charakterisiert durch eine Circulus vitiosus. In einem begrenzten Raum kommt es zu einem erhöhten Druck, als Folge kommt es zu vermehrter Permeabilität der Kapillaren, venöser Stase und anaeroben Metabolismus. Weitere Faktoren u.a. sind Perfusionsstörungen, capillary leak, Endotheldysfunktion, Apoptose und Nekrose [15–17].

Diagnostisches Vorgehen und Indikationsstellung

Klinische Zeichen für das Vorliegen eines Kompartmentsyndroms des Fußes sind Schmerzen, eine Schwellung sowie gespannte, glänzende Haut. Im weiteren Verlauf kann es zu Spannungsblasen und sensomotorischen

Defiziten kommen (Abb. 2). Entgegen vieler Annahmen sind die Fußpulse meist palpabel [18]. Eine Schmerzzunahme bei passiver Streckung der Zehen mit entsprechender Dehnung der intrinsischen Fußmuskulatur ist als indirektes Zeichen für das Vorliegen eines Kompartmentsyndroms zu sehen [18, 19]. Die typischen Wahnsymptome, die P's (pressure, Pain out of proportion, pain with passive stretch, paresthesia, paralysis, pallor, poikilothermia und pulses present) sind in unterschiedlicher Ausprägung

vorhanden. Die Diagnose eines akuten Kompartmentsyndroms des Fußes setzt sich zusammen aus einer positiven Anamnese, dem klinischen Erscheinungsbild und Befunden sowie zusätzlicher ergänzender Diagnostik bezüglich des intrakompartimentellen Druckes [20]. Die Gewebedruckmessung zur objektiven Diagnosesicherung und Indikationsstellung zur Dermatofasziotomie wird kontrovers diskutiert und hat sich im klinischen Alltag bei wachen Patientinnen und Patienten nicht etabliert. Bei eindeuti-

	Kompartiment	enthaltene Strukturen
1	mediales	• M. abductor hallucis • A. + V. + N. plantaris medialis
2	mediozentrales (Adduktor)	• M. adductor hallucis (Caput obliquum + transversum) • M. flexor hallucis brevis (Caput mediale + laterale) • Arcus plantaris profundus
3	oberflächliches zentrales	Mm. flexores digitorum breves Sehnen des M. flexor digitorum longus + Mm. lubricales
4	tiefes zentrales (kalkaneares)	• M. quadratus plantae (verbunden mit dem tiefen posterioren Kompartiment des Unterschenkels) • (A. + V. + N. plantaris lateralis)
5	laterales	• M. abductor digiti minimi • M. flexor digiti minimi brevis
6–9	interossäre	• Mm. interossei dorsales et plantares • R. perforans des A. dorsalis pedis (I/II)
10	dorsales (Haut/Faszie)	• M. extensor hallucis brevis • M. extensor digitorum brevis • A. dorsalis pedis • N. peroneus profundus et superficialis

Tabelle 1 Anzahl und Inhalt der Fußkompartimente [40]

gen Symptomen ist die Indikation zur operativen Intervention eine klinische Entscheidung und es kann auf eine apparative Diagnostik verzichtet werden [21–23]. Die Aufklärung zur Dermatofasziotomie sollte die rechtfertigende Indikation sorgfältig dokumentieren [24].

Eine kontinuierliche intrakompartimentale Druckmessung konnte jedoch eine hohe Sensitivität von 94 % und Spezifität von 98 % nachweisen und wird insbesondere bei Hochrisikopatienten empfohlen, v.a. bei bewusstlosen oder intoxikierten Patientinnen und Patienten [18, 19, 25]. Gemessen wird in allen 9 Kompartimenten, das Kalkaneus-Kompartiment zeigt in der Regel die höchsten Werte und kann als Indikator gesehen werden [26]. Bei einem drohenden Kompartmentsyndrom sollte ein engmaschiges Monitoring eingeleitet werden. Hier empfiehlt sich eine regelmäßige Dokumentation der klinischen Befunde [27, 28]. Oberstes Ziel ist es, einen weiteren Druckanstieg innerhalb der Muskellogen zu vermindern. Hierzu müssen einengende Gipse oder Verbände sofort entfernt werden sowie eine entsprechende Lagerung der Extremität gesichert werden.

Die Abnahme von Laborparametern wie z.B. die Kreatinkinase eignen sich nicht zum Nachweis eines akuten Kompartmentsyndroms [23]. Die Indikation zur Dermatofasziotomie bei einem Kompartmentsyndrom des Fußes wird ab 25 mmHg aufgrund der geringen Toleranz der kurzen Fußbinnenmuskulatur gegenüber einem erhöhten Druck gesehen [27, 28]. Ein weiteres Maß ist ein Kompartimentdruck > 10–30 mmHg unterhalb des diastolischen Blutdruckwertes [19, 29]. Bildgebende Verfahren haben sich im klinischen Alltag nicht durchgesetzt, MRT und Magnetresonanztomographie werden in der klinischen Forschung eingesetzt [18].

Neuere Untersuchungen beschäftigen sich mit nicht invasiven Methoden zur Diagnostik und Monitoring akuter Kompartmentsyndrome wie z.B. thermische Sensoren mit der Möglichkeit, Temperaturgradienten zur Diagnostik hinzuzuziehen [30]. Eine weitere Studie präsentiert ein tragbares Gerät, das mit Hilfe von Force-

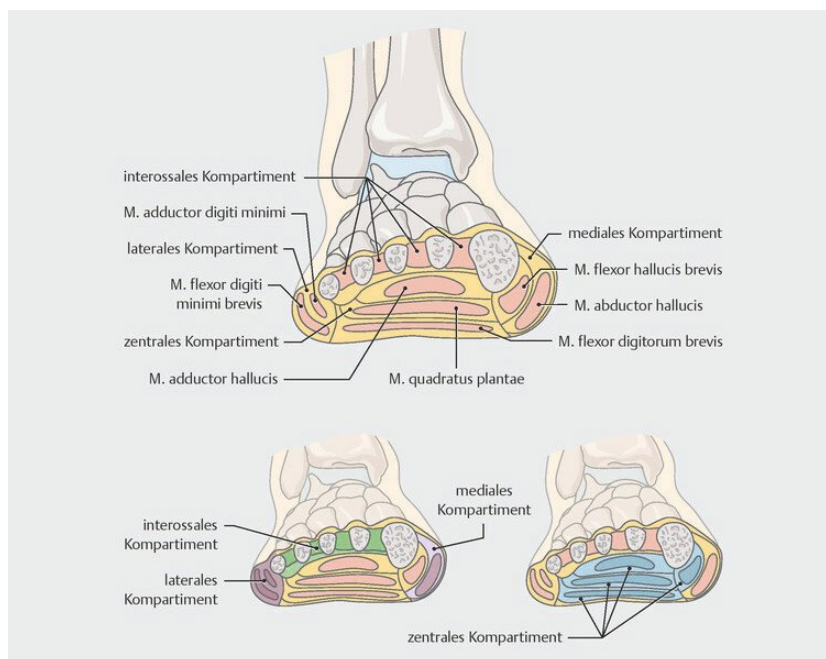


Abbildung 1 Kompartimente des Fußes [40]

Sensitive Resistors (FSRs) und einem Random-Forest-Algorithmus eine nicht-invasive Diagnose des akuten Kompartmentsyndroms ermöglicht. Dieses Gerät erkennt ein akutes Kompartmentsyndrom mit Hilfe eines Maschinenlernmodells, dass Ersatzdruckwerte von auf der Haut platzierten kraftempfindlichen Widerständen (FSRs) verwendet [31]. Andere Autoren entwickelten ein tragbares faseroptisches Gerät zur intramuskulären Sauerstoffmessung, dass eine frühzeitige Erkennung von Kompartmentsyndromen ermöglicht [32]. Weitere zukünftige Möglichkeiten bestehen im Einsatz ultraschallbasierte Verfahren wie z.B. pulsed phase locked loop ultrasound (PPLL-US) oder Verfahren, basierend auf der etablierten Elastographie. Hier bleiben klinische Studien abzuwarten [33, 34]. In der Regel wird die Indikation zur Dermatofasziotomie klinisch gestellt. Diese ist großzügig zu stellen, da zusätzliche Risikofaktoren wie zusätzlicher Weichteilschaden, Hypovolämie und komplexe Frakturen bei komplexen Verletzungen hinzukommen [35]. Durch die zunehmende Verbreitung von Big Data-Analysen besteht zudem die Möglichkeit der Risikoabschätzung, wie z.B. die Identifikation spezifischer Prädiktoren für das akute Fußkompartmentsyndrom durch Analyse großer Datenmengen [36].

Therapie

Erster Schritt in der Therapie eines Kompartmentsyndroms des Fußes besteht in der sofortigen Entfernung aller einengenden Verbände oder Orthesen/Gips. Die Extremität sollte flach oder leicht hochgelagert werden über Herzhöhe, maximal 10 % [37]. Bei Anheben der Extremitäten über das Herzniveau kann es zu einer Verringerung der Perfusion kommen. Bei Lagerung unter Herzniveau kann der venöse Rückstrom vermindert und so der Druck weiter gesteigert werden [22]. Eine frühzeitige Applikation eines AV-Impulsgerätes kann ebenfalls den Druck effektiv senken [18]. Im Gegensatz zu einem manifesten Kompartmentsyndrom ist der Einsatz von Antikoagulantien oder Steroiden bei einem drohenden Kompartmentsyndrom als vorteilhaft beschrieben worden [22].

Bei einem manifesten Kompartmentsyndrom ist die Indikation zur Fasziotomie zu stellen. Vor der operativen Therapie des Kompartmentsyndroms muss entschieden werden, ob ein Vorfuß- bzw. Mittelfuß-Kompartmentsyndrom vorliegt oder ein Rückfuß-Kompartmentsyndrom. Im Bereich des Rückfußes kommt es häufig zu einem Kompartmentsyndrom im Rahmen von Kalkaneusfrakturen aufgrund einer Blutung aus Fragmenten des Sustentaculum tali oder der me-



Abb. 2: Universitätsklinikum Münster

Abbildung 2 Kompartmentsyndrom des Fußes bei einem 61-jährigen Patienten mit Mittelfußverletzung (Lisfrancluxationsfraktur) nach lokalem Quetschtrauma. Klinisch Nachweis einer plantaren Ekchymose, Schwellung und „glänzender“ Hautverhältnissen mit beginnender Blasenbildung 2 Stunden nach Unfallereignis. Intraoperative Durchleuchtung mit Nachweis einer Instabilität des Lisfranc-Gelenkes. Dermatomofasiotomie durch 2 dorsale Inzisionen und temporäre alloplastische Defektdeckung.

dialen kalkanearen Arterie in das tiefe Kompartiment und in Folge zur Kompression der Gefäßnervenbündel plantar zwischen dem Musculus quadratus plantae und flexor digitorum [38]. Bei Bestehen eines akuten Kompartmentsyndroms über 24 Stunden ist mit einem schlechten funktionellen Outcome und hohem Infektionsrisiko aufgrund der bereits eingetretenen Nekrosen zu rechnen und dementsprechend ist eine Fasziotomie hier nicht mehr sinnvoll [22]. In der Regel erfolgt die operative Intervention in Rückenlage mit Unterpolsterung des Gesäßes zur Verminderung der Außenrotation des Beines. Eine Blutsperrre sollte angelegt werden, jedoch nicht primär genutzt, lediglich bei Be-

darf eingesetzt werden. Die operativen Zugänge liegen über dem Fußrücken, entweder als eine dorsomediale Inzision über dem Os metatarsale II oder 2 dorsale Zugänge, zum einen medial über dem 2. und zum anderen lateral über dem 4. Os metatarsale. Zur Spaltung des Rückfußkompartimentes eignet sich ein medialer plantarer Zugang (Abb. 2, 3). Bei einem kombinierten Kompartmentsyndrom des Fußes und Unterschenkels kann die dorsale Fasziotomie mit der Dermatomofasiotomie des Unterschenkels verknüpft werden. Hierzu verläuft die Inzision bogenförmig über dem oberen Sprunggelenk [18].

Die Faszien der intraossären Muskulatur werden über den dorsalen Zu-

gang jeweils einzeln eröffnet, des Weiteren medial das M. abductor hallucis Kompartiment. Das distale Retinaculum extensorum wird hierzu eröffnet, bei zusätzlichem Kompartmentsyndrom des Unterschenkels sollte auch das proximale Retinaculum extensorum durchtrennt werden. Medial wird das zentrale Kompartiment mit dem Musculus quadratus plantae durch die Inzision der Faszie des Musculus flexor digitorum brevis und das Ligamentum plantare longum eröffnet. Hierbei muss das Gefäßnervenbündel sorgsam geschont werden. Die Inzision hierfür verläuft parallel zum plantaren Aspekt des Fußes auf Höhe des ersten Os metatarsale nach dorsal, der Musculus abductor hallucis wird nach dor-

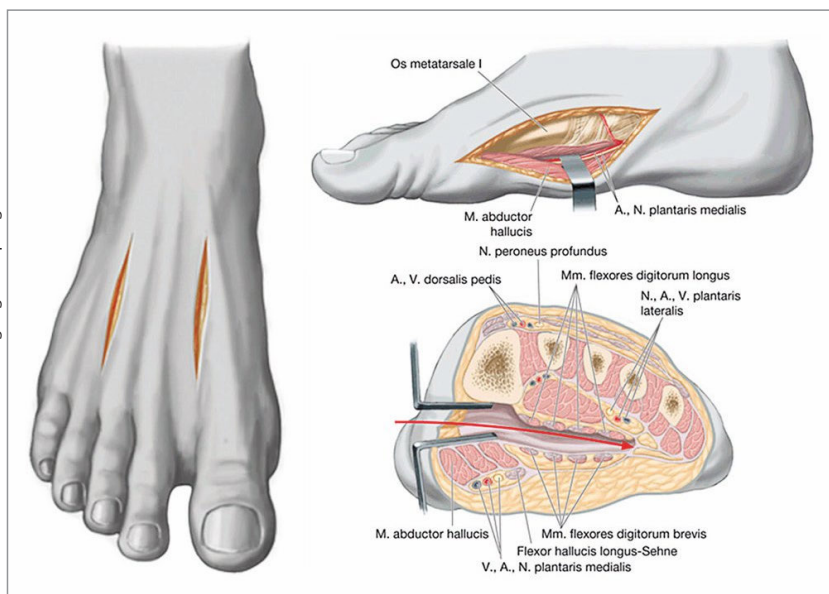


Abbildung 3 Operative Zugangswege zur Dermatofasziotomie am Fuß [22]

sal gehalten und dann in die Tiefe am Unterrand des Os metatarsale I Richtung Musculus quadratus plantae präpariert (Abb. 3).

Nach Identifikation der Sehne des Musculus flexor hallucis longus erfolgt die Präparation in die Tiefe, lateral der Sehne verläuft das Gefäßnervenbündel, welches geschont werden muss. Es besteht auch die Möglichkeit 2 parallele Schnittführungen am Fußrücken durchzuführen, über dem Intermetatarsalraum 1/2 sowie über dem Os metatarsale 4, insbesondere, wenn gleichzeitig die Versorgung einer Lisfrancfraktur geplant ist (Abb. 3). Hierbei ist auf einen Mindestabstand von 5 cm zwischen den Inzisionen zu achten. In gleicher operativer Intervention kann bei Vorliegen von Luxationen des Mittelfußes eine Reposition und Transfixation, ggf. eine Anlage eines Fixateur externe erfolgen. Analog zur Behandlung eines Unterschenkel-Kompartmentsyndroms gelten die Prinzipien zur Überprüfung der Vitalität der Muskulatur. Nekrotisches Gewebe ist zu debridieren. Die Faszien werden zur Verhinderung eines Rezi-divs nicht verschlossen. Derzeit haben sich minimal invasive Techniken noch nicht durchgesetzt, in einem Modellversuch konnte gezeigt werden, dass eine perkutane Dekompression des Vorfußes den Druck in allen 4 Fußkompartimenten effektiv senken kann. Hier besteht jedoch das Risiko der Läsion von Nachbarstrukturen [39].

Nachbehandlung

Wie auch nach Spaltung eines Unterschenkelkompartiments wird im Bereich des Fußes zur Verhinderung eines Rebounds kein primärer, sondern ein temporärer Wundverschluss durch Einsatz von synthetischen Hautersatzmaterialien oder Vakuumsystemen empfohlen [40]. Der sekundäre Wundverschluss kann im Verlauf meist nach 5 Tagen erfolgen [41]. Zusätzlich kann eine Ruhigstellung durch Anlage eines Fixateur externe erfolgen, entweder als triangulärer medialer Fixateur bei Fersenbeinfrakturen oder als Dreiecksrahmen-Konstruktion unter Einbezug der distalen Tibia und der Metatarsalia. Bei persistierender Schwellung mit dem Risiko weiterer Nekrosen empfiehlt sich ein Defektverschluss mittels Spalthaut oder Vollhaut. Bei freiliegenden Sehnen, Knochen ist eine interdisziplinäre plastische Defektdeckung in Betracht zu ziehen [42].

Komplikationen und Outcome

Frühkomplikationen bestehen in der intraoperativen Verletzung von Begleitstrukturen wie z.B. des Nervus plantaris medialis und lateralis, des Nervus peroneus superficialis oder Nervus peroneus profundus, der Arteria und Vena dorsalis pedis sowie begleitender Sehnen. Postoperativ kann es zur Wundheilungsstörung und weiteren Nekrosen der Haut oder tieferer Strukturen kommen. Des Weiteren können postoperativ tiefe Infekte auf-

treten bzw. Folgen des Gewebsuntergangs insbesondere muskulärer Strukturen. Komplikationen im Langzeitverlauf nach einem Fuß-Kompartmentsyndrom sind neurologische Komplikationen in 52 %, Entwicklung von Krallenzehen in 12 %, Amputation oder tiefe Infekte jeweils zu 12 % [43]. Auch kann es durch Muskelnekrosen zu Deformitäten wie z.B. Großzehendeformitäten kommen, insbesondere zu einem Hallux flexus [44].

Hinsichtlich des Outcomes existieren in der aktuellen Literatur lediglich Studien mit kleiner Patientenzahl, so dass nur eingeschränkte evidenzbasierte Daten zur Verfügung stehen. Eine Metaanalyse mit 4 Studien, insgesamt 39 Patientinnen und Patienten, konnte zeigen, dass 10 % der Patientinnen und Patienten zu ihrer ursprünglichen beruflichen Tätigkeit zurückkehren konnten, 13 % waren in der Lage, ohne Probleme zu laufen, 39 % hatten kleinere Einschränkungen der Gehfähigkeit [5, 19, 45–48]. In einer anderen prospektiven Studie mit 14 Patientinnen und Patienten konnten 79 % ihre berufliche Tätigkeit wieder aufnehmen, 14 % zeigten Krallenzehendeformitäten und 21 % sensible Ausfälle [49].

Interessenkonflikte:

Keine angegeben.

Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:
www.online-oup.de.



Foto: privat

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Sabine Ochman
 Klinik für Unfall-, Hand- und
 Wiederherstellungschirurgie
 Universitätsklinikum Münster
 Albert Schweitzer Campus 1,
 Gebäude W1
 48149 Münster
sabine.ochman@ukmuenster.de