

Rückfußfrakturen

Historie

Die Behandlung von Frakturen des Rückfußes war lange Zeit eine Domäne der konservativen Therapie. Gründe dafür sind

- die komplexe anatomische Form von Talus (Sprungbein) und Kalkaneus (Fersenbein),
- die kritische Haut-Weichteil-Deckung und
- die häufig schwierige intraoperative Exposition der Frakturgeometrie.

So wurden im letzten Jahrhundert von der Fersenbeinmodellierung mit dem Hammer [3] bis zur primären Kalkanektomie eine Reihe von Therapiekonzepten vorgeschlagen. Erst seit den 1980er Jahren setzte sich für Fersenbeinfrakturen die primär übergreifende, nicht gelenkübergreifende Osteosynthese durch. In den letzten Jahren werden neben dem klassischen offenen Repositionsverfahren über den erweiterten lateralen Zugang als Standardzugang vermehrt gedeckte Verfahren beschrieben, für die neben den gängigen Osteosyntheseschrauben aktuell eingeschobene winkelstabile Plattensysteme und auch ein Nagelsystem (Fersenbeinnagel) auf den Markt gebracht wurden.

Für die Versorgung von Talusfrakturen erweiterte sich durch die Verwendung von kanülierten Schraubensystemen seit den 1990er Jahren das Indikationsspektrum der operativen Rekonstruktion, und zwar aus der Erkenntnis heraus, dass eine stabile Osteosynthese und zeitnahe knöcherner Konsolidierung der Talusfraktur eine Voraussetzung für die Revitalisierung der knöchernen Strukturen dieses in der Blutversorgung limitierten Fußwurzelknochens sind.

Anatomische Aspekte

Der Fuß lässt sich anatomisch in 3 Abschnitte gliedern:

- Rückfuß,
- Mittelfuß und
- Vorfuß.

Der Rückfuß ist der Skelettabschnitt vom oberen Sprunggelenk (Talokruralgelenk) bis zur Chopart-Gelenk-Linie (Articulatio tarsi transversa), er umfasst die beiden Knochen Talus (Sprungbein) und Kalkaneus (Fersenbein). Nach distal schließen sich der Mittelfuß und ab den Zehengrundgelenken der Vorfuß an.

Talus

Er ist der Schaltknochen zwischen Unterschenkel und Fuß. Er ist Bestandteil des oberen und unteren Sprunggelenks und bildet mit dem Talonavikulargelenk (Sprungbein-Kahnbein-Gelenk) den medialen Abschnitt des Chopart-Gelenks. Dies charakterisiert zum einen seine zentrale Bedeutung für die Fußfunktion, zum anderen begründet die Vielzahl der Gelenkflächen die komplexe Morphologie und den überdurchschnittlich hohen Anteil von knorpelbedeckten Gelenkflächen (Knorpelanteil an der Gesamtoberfläche von knapp 60%). Daraus resultieren ein limitiertes nutritives periostales Netzwerk an Blutgefäßen aus den 3 Unterschenkelarterien sowie eine langsame Knochenheilung und Anfälligkeit des Talus für avaskuläre Knochennekrosen nach einem Trauma [1].

Die vom Talus gebildeten Gelenke sind über eine kinematische Kette miteinander verknüpft [7]. Aufgrund der großen Kräfte, die auf das obere Sprunggelenk wir-

ken, ist der Gelenkaufbau relativ einfach ausgebildet und auf Stabilität ausgerichtet. Es besitzt eine Drehachse, die durch die Knöchelspitzen verläuft und bei plantar auf dem Boden aufgesetztem Fuß etwa horizontal in der Frontalebene des Körpers liegt.

Kalkaneus

Er ist der größte Fußwurzelknochen und macht den Hauptanteil der Fußlängswölbung und der laterale Fußsäule aus. Er besteht aus dem mächtigen Tuber calcanei, an dem kranial die Achillessehne und plantar an 2 nach vorne gerichteten Fortsätzen (Processus lateralis et medialis) die kurzen Fußmuskeln (*M. abductor digiti minimi* bzw. *M. abductor hallucis*) inserieren, die zusammen mit den hier ebenfalls ansetzenden Bandsystemen (Plantaraponeurose und *Lig. plantare longum*) die Längswölbung des Fußes abfangen.

Die obere Fläche des Kalkaneus trägt 3 Gelenkfacetten, die mit dem Talus artikulieren und das subtalare Gelenk bilden.

Der vordere Anteil des Kalkaneus bildet sich als *Processus anterior calcanei* mit der Gelenkfläche zum *Os cuboideum* (Würfelbein) aus. Im zentralen Kalkaneus findet sich eine spongiosaarme Zone, das *Trigonum calcis*, aus biomechanischer Sicht ein relativ spannungsarmer Bereich ohne große Druckkräfte. Die mediale Gelenkfacette bildet die Oberfläche des *Sustentaculum tali*, das den stabilsten Teil des Fersenbeins darstellt, mit kräftigen, nach kranial gerichteten Bandzügen zu Talus, *Os cuboideum* und *Tibia*. Diese Konstruktion verhindert zusammen mit der dynamischen Spannung der das *Sustentaculum tali* unterfahrenden langen Beugesehne der Großzehe (*M. flexor hallucis lon-*

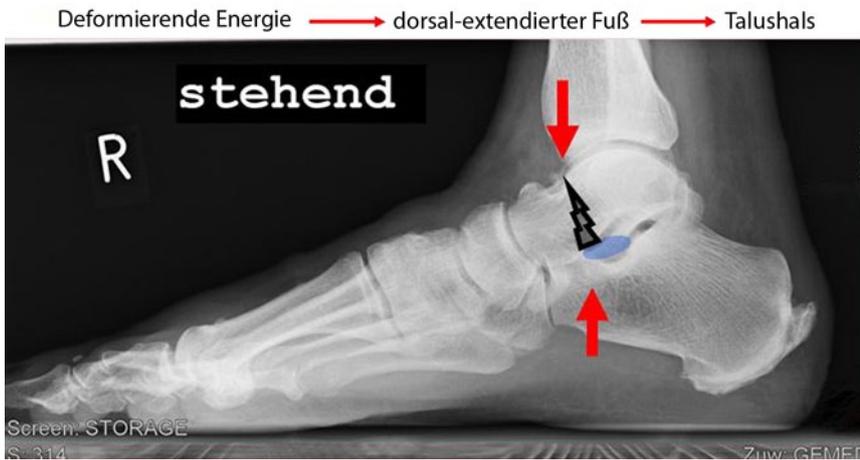


Abb. 1 ▲ Pathomechanismus der Talusfraktur: durch axial einwirkende Kräfte (rote Pfeile) über das Hypomochlion Sustentaculum tali (hellblaues Oval) bewirkte Fraktur im Talushals bzw. -körper

Typ	Hawkins	Marti u. Weber	Gelenke
I			0
II			1
III			2
IV			3

Abb. 2 ◀ Klassifikation nach Hawkins in der Modifikation nach Marti u. Weber. (Aus [8])

gus) bei vielen Frakturformen eine Dislokation des Sustentaculum-tali-Fragments.

Im Sinus tarsi verläuft das straffe Lig. talocalcaneum interosseum, ein wesentlicher Stabilisator des unteren Sprunggelenks, zu dem funktionell auch

noch das Talonavikulargelenk gehört. Biomechanisch handelt es sich um ein Zapfengelenk, welches Drehbewegungen zulässt. Dabei beträgt der physiologische Bewegungsumfang für die Eversions-/Inversionsbewegung des Rückfußes etwa 60°.

Diese Bewegungen sind im Gangzyklus in der Phase des Fersenauftritts wichtig und dienen der Anpassung des Fußes an Bodenunebenheiten und der Stoßdämpfung. Verbleiben nach Rückfußfrakturen Störungen dieser Biomechanik, resultieren teilweise deutliche Funktionsstörungen des Fußes.

Die Blutgefäßversorgung ist für den Kalkaneus nicht so kritisch wie für den Talus. Der Knochen erhält Blut aus allen 3 Gefäßen des Unterschenkels. Etwa 45% des Fersenbeins werden von medial arteriell versorgt, damit ist in der Regel auch bei einem erweiterten lateralen Operationszugang keine Ernährungsstörung zu erwarten.

Nach einer Unfallverletzung macht die komplexe Morphologie zusammen mit der limitierten intraoperativen Übersicht/Darstellung die anatomische Rekonstruktion der knöchernen Elemente des Rückfußes so anspruchsvoll.

Unfallmechanismus

Die meisten Rückfußfrakturen entstehen im Rahmen von Verkehrs- (50%) und Sportunfällen (20%). Nicht selten handelt es sich um kombinierte Verletzungen des Talus und Kalkaneus mit möglichen Begleitverletzungen des oberen Sprunggelenks und des übrigen Fußskeletts.

Der häufigste Mechanismus ist ein axialer Stauchungsmechanismus, der bei blockierten Gelenken abhängig von der Stellung des Rückfußes zum Pilon tibiale zu Frakturen des Talushalses oder -körpers führt (■ **Abb. 1**). Bei diesen Frakturformen ist der begleitende Schaden des umgebenden Haut-Weichteil-Gewebes aufgrund der erheblichen Kräfteinwirkung häufig problematisch. Diese Verletzung ist augenscheinlich und bereitet kaum diagnostische Schwierigkeiten.

Besondere Aufmerksamkeit in der Diagnosestellung ist bei okkulten zentralen Frakturen und v. a. auch den peripheren Frakturen geboten, die etwa 1/4 aller Talusfrakturen ausmachen und als Sportverletzung (z. B. „snowboarders ankle“) oder häufig durch einfaches Umknicken des Sprunggelenks entstehen können.

Bei Kalkaneusfrakturen führt der axiale Stauchungsmechanismus zu primären und sekundären Frakturlinien durch Ein-

Tab. 1 Standardisierte Röntgendarstellung für die diagnostische Abklärung von Rückfußfrakturen

Talusfraktur	Kalkaneusfraktur
OSG a.-p. und seitlich	Fuß a.-p. und seitlich
„Mortise-view“ (20° Innenrotation)	Fersenbein axial
Fuß d.p. und schräg	
<i>a.-p.</i> anterior-posterior, <i>d.p.</i> dorsoplantar, OSG oberes Sprunggelenk	

dringen des Processus lateralis tali in das kräfte neutrale Dreieck mit der rarefizierten Spongiosa zwischen posteriorer Gelenkfacette und Processus anterior (Trigonum calcis). Obwohl die Kalkaneusfraktur die häufigste Fraktur der Fußwurzel (Tarsus) ist, macht sie nur etwa 1–2% aller Frakturen des menschlichen Skeletts aus und ist damit, wie die Talusfraktur, eine relativ seltene Verletzung.

Klassifikation und Diagnostik

Klassifikation

Für die knöcherne Verletzung der beiden Rückfußknochen sind gut brauchbare Klassifikationen etabliert, die auch eine gewisse prognostische Abschätzung ermöglichen.

Talus

Für die Talusfraktur setzte sich die Einteilungen nach Hawkins [5] aus den 1970er Jahren und in der späteren Modifikation nach Marti u. Weber [8] durch, die schematisch in **Abb. 2** dargestellt sind. Dabei lassen sich mit der Klassifikation nach Hawkins [5] lediglich die Talushalsfrakturen erfassen. Mit der Klassifikation nach Marti u. Weber [8] können alle Talusfrakturen, abhängig von der Topographie der Hauptfrakturlinien, in 4 Typen eingeordnet werden.

In der überwiegenden Zahl der Fälle sind der Talushals (50%) oder der Taluskörper (25%) betroffen, bei weiteren 25% der Frakturen handelt es sich um periphere Frakturen, die im erweiterten Sinn die Fortsatzfrakturen, die Taluskopffrakturen (5–10%) und die osteochondralen Abscherverletzungen umfassen. Begleitverletzungen sind in etwa der Hälfte im Rückfuß- und Sprunggelenkbereich zu

Trauma Berufskrankh 2015 · 17[Suppl 1]:45–53 DOI 10.1007/s10039-013-2032-8
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

J. Gabel Rückfußfrakturen

Zusammenfassung

Hintergrund. Der Rückfuß spielt für die Funktion des Fußes eine zentrale Rolle, da über ihn zum einen die Krafteinleitung des Körpergewichts, zum anderen die Ausrichtung des Fußes im bipedalen Gang erfolgt. Störungen der Biomechanik im Rückfußbereich können daher erhebliche Auswirkungen auf die Funktion des Fußes als Trag- und Fortbewegungsorgan haben.

Mögliche Folgen von Rückfußverletzungen. Auch wenn Frakturen des Rückfußes relativ seltene Verletzungen sind, verbleiben als Verletzungsfolgen häufig posttraumatische Funktionseinschränkungen, Gangbildstörungen und sekundäre Arthrosen, die rekonstruktive Folgeeingriffe erforderlich machen können. Die berufliche Reintegration der Unfallverletzten ist in vielen Fällen schwierig und eine Minderung der Erwerbsfähigkeit wahrscheinlich.

Diagnostik und Therapie. Verletzungen des Rückfußes verlangen ein gut strukturiertes Behandlungskonzept, das neben der Diagnostik die Primärversorgung und Nachbehandlung umfasst und an dem verschiedene Disziplinen eines Krankenhauses gleichrangig beteiligt sind. Grundlage der Behandlung sind neben der unfallchirurgisch-orthopädischen Expertise gute Kenntnisse der Anatomie und Biomechanik.

Ziel des Beitrags. Im vorliegenden Beitrag sollen ein Überblick über das Thema gegeben und zum weiteren Nachlesen dieses Gebiets angeregt werden.

Schlüsselwörter

Knochenfrakturen · Talus · Kalkaneus · Rehabilitation · Minderung der Erwerbsfähigkeit

Fractures of the hindfoot

Abstract

Background. The hindfoot plays a central role in the function of the foot. Disorders of the biomechanics in the hindfoot can therefore have a significant impact on the function of the foot as a locomotion organ.

Possible sequelae of injuries of the hindfoot. Although fractures of the hindfoot are rare, these injuries often lead to posttraumatic functional limitations, gait disturbances, and secondary arthritis, which make reconstructive surgery necessary.

Diagnosis and therapy. Injuries of the hindfoot require a well-structured treatment concept that includes the correct diagnosis, primary care and treatment which involves the various disciplines of a trauma center. The basis of the treatment in addition to surgical and orthopedic expertise is good knowledge of the anatomy and biomechanics.

Goal of the article. The goal of the following article is to provide an overview of the topic and to encourage further interest in this area.

Keywords
Bone fractures · Talus · Calcaneus · Rehabilitation · Reduction in earning capacity

diagnostizieren, jede 7. Verletzung ist eine offene Fraktur.

Kalkaneus

Für die Kalkaneusfrakturen ist nach wie vor die aus den 1950er Jahren stammende Klassifikation von Essex-Lopresti [4] für die orientierende Beschreibung gültig. Besser erfasst wird die Pathomorphologie durch die modernen CT-basierten (CT: Computertomographie) Klassifikationen nach Sanders ([14], **Abb. 3**) und Zwipp et al. [16], die neben der exakteren Zuordnung auch eine prognostische Abschätzung erlauben. In der Klassifikation nach

Zwipp et al. [16] werden neben der Frakturgeometrie auch noch die Zahl der betroffenen Gelenke und, mit Zusatzpunkten, der begleitende Weichteilschaden, mögliche Trümmerzonen in den Hauptfragmenten und Begleitverletzungen berücksichtigt.

Bildgebende Diagnostik

Die exakte Analyse der Frakturgeometrie von Talus- und Kalkaneusfrakturen auf Basis der genannten Klassifikationen ist für die Wahl des bestmöglichen Therapiekonzepts aus dem Spektrum der kon-

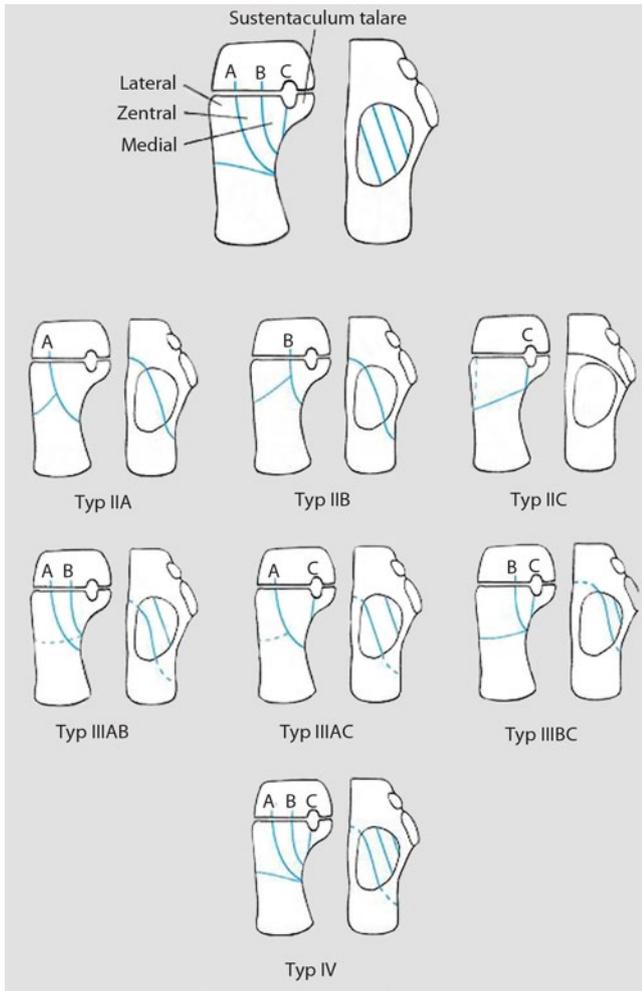


Abb. 3 ◀ Hauptfrakturtypen der Kalkaneusfraktur: Ermittlung der durch die hintere Gelenkfacette des unteren Sprunggelenks ziehenden Hauptfrakturlinien (A, B und C) in der koronaren CT-Rekonstruktion (CT: Computertomographie), Anzahl der resultierenden Hauptfragmente entspricht in römischen Ziffern dem Frakturtyp (I–IV), der in der Terminologie der Klassifikation durch entsprechende Frakturlinien ergänzt wird. (Mit freundl. Genehmigung Lippincott Williams & Wilkins, [14])

servativen bzw. meist operativen Therapie und der anschließenden individuellen Ausgestaltung der einzelnen therapeutischen Schritte entscheidend. Unverzichtbar ist daher eine hochauflösende bildgebende Darstellung zur Erfassung des komplexen polyartikulären Systems des Rückfußes, wie sie nur durch eine Computertomographie, ggf. ergänzt durch 3D-Rekonstruktion, gewährleistet ist (■ **Abb. 4**). Folgerichtig sollte auch die intraoperative Visualisierung der Frakturposition und der Implantatlage auf einem vergleichbaren Niveau möglich sein, sodass sich in den letzten Jahren chirurgische Bildgebungssysteme mit 2D-Fluoro- und integriertem 3D-Scan-Modus zunehmend etablierten.

Die konventionelle Projektionsradiographie wird in der Primärdiagnostik zur orientierenden Abschätzung der vorliegenden Pathomorphologie nach der Unfallverletzung eingesetzt und sollte bei Ta-

lus- und Kalkaneusfrakturen mit den in ■ **Tab. 1** angegebenen speziellen Röntgenebenen durchgeführt werden:

Die Magnetresonanztomographie (MRT) hat ihren Stellenwert in der Diagnostik von sog. okkulten Frakturen und Knochenödemen („bone bruise“) und der Abklärung von aseptischen Talusnekrosen nach Trauma, dann auch als Verlaufsdagnostik.

Therapie

Bei Rückfußfrakturen sind in der Initialphase nach dem Trauma die Beurteilung und die sachgerechte Behandlung der häufig begleitenden Weichteilverletzung entscheidend für den weiteren Heilverlauf und die Chance auf eine bestmögliche Wiederherstellung der Fußfunktion. Ein übersehenes manifestes Fußkompartmentsyndrom wird auch nach anatomischer Rekonstruktion der knöchernen

Strukturen zu einer dauerhaften Gangbildstörung und Belastungsminderung führen. Behandlungsziel ist die bestmögliche Wiederherstellung der Integrität und Funktion des Rückfußes, der achsgerecht ausgerichtet, nur stabil und gleichzeitig in den Gelenken mobil die physiologische Fortbewegung des Menschen ermöglicht. Dabei ist zu beachten, dass die Topographie des Rückfußes 3 essenzielle Fußgelenke umfasst, also der stufenfreien Gelenkrekonstruktion eine wesentliche Rolle zukommt. Posttraumatische Arthrosen in den Rückfußgelenken können demzufolge schlecht kompensiert werden.

Therapiewahl

Frakturen des Rückfußes werden in der Regel operativ versorgt, da nur mit einer anatomischen Restitution eine möglichst physiologische Fußfunktion zu erwarten ist.

Die konservative Therapie ist bei stabil im Gipsverband retinierbaren Frakturen und reponiert stehenden Gelenken mit nur geringer Stufenbildung der Gelenkflächen (<2 mm) vorzuschlagen. Auch bei grundsätzlichen Kontraindikationen zur Operation ist das konservative Vorgehen indiziert.

In der Befundevaluation nach der Unfallverletzung sind die subtile Untersuchung des Fußes mit klinischer Beurteilung des Weichteilmantels und befundorientiert die Kompartimentüberwachung erforderlich. Ein drohendes Kompartmentsyndrom, relevante Luxationen, auch mit der Gefahr der Gefäßkomprimierung (■ **Abb. 5**), und offene Frakturen stellen eine Operationsindikation in der Notfallversorgung dar. Beim polytraumatisierten Patienten gilt es, Rückfußfrakturen nicht zu übersehen und in das Gesamtkonzept der Behandlung mit einzu beziehen.

Talusfrakturen

Aufgrund der limitierten Durchblutung des Talus sind zur Vermeidung einer avaskulären Talusnekrose eine zeitnahe Frakturpositionierung und -retention erforderlich. Angestrebt wird eine primär definitive Osteosynthese, die eine übergangsstabile Nachbehandlung ermöglicht. Alternativen

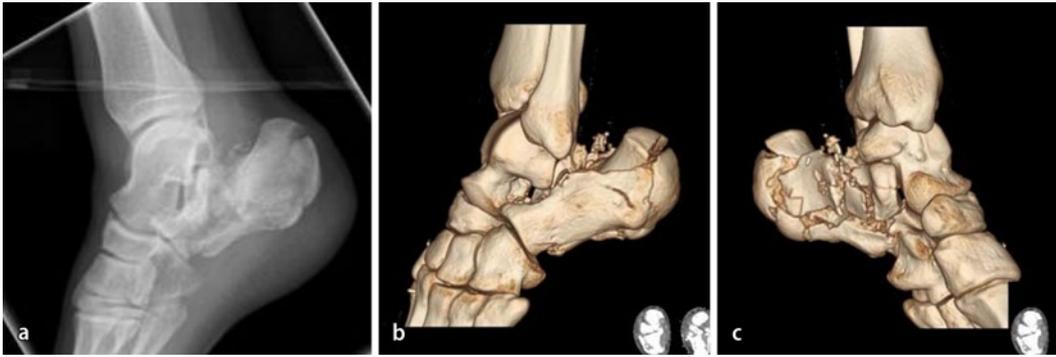


Abb. 4 ◀ Komplexe Kalkaneusmehrfragmentfraktur („joint depression type“, Sanders IV), männlicher Patient, 16 Jahre, nach Sturz von der Schwimmbadrutsche, **a** Röntgen, **b,c** verbesserte Darstellung der Frakturgeometrie und verbessertes Verständnis der Verletzung durch computertomographische 3D-Rekonstruktion



Abb. 5 ▲ Kompression der A. dorsalis pedis bei dislozierter Taluskorpusfraktur Typ III nach Marti u. Weber [8]

tiv ist nach geschlossener Reposition der wesentlichen Dislokation eine temporäre Kirschner-Draht- oder Fixateur-externe-Versorgung möglich, wenn im weiteren Verlauf eine optimierte anatomische Wiederherstellung gewährleistet werden kann. Die Mitbehandlung eines begleitenden Weichteilschadens ist gleichrangig und Grundvoraussetzung für eine Konsolidierung sämtlicher anatomischer Strukturen des Rückfußes. Bei offenen Luxationsfrakturen wird die Wahl des operativen Zugangswegs zudem von der Topographie der Läsion des Haut-Weichteil-Mantels bestimmt sein. Auch wenn nach der Rekonstruktion der knöchernen Anatomie der primäre, spannungsfreie Wundverschluss angestrebt werden sollte, sind standardisierte Behandlungsprinzipien mit Vakuumverbänden bis hin zu plastisch-chirurgischen Maßnahmen vorzuhalten.

Behandlungsziele der operativen Versorgung sind die anatomische Rekonstruktion der frakturierten Gelenkflächen und die Einstellung des Talus in den an-

grenzenden Gelenken mit Wiederherstellung der Talusform. Hierfür etablierten sich 3 operative Zugangswege:

Anteromedialer Zugang. Er wird lateral der Sehne des M. extensor hallucis longus geführt und ermöglicht als Standardzugang für Taluskopf- und -halsfrakturen eine gute Einsicht zum vorderen, lateralen und medialen Anteil des Talus.

Posterolateraler Zugang. Er verläuft entlang des lateralen Randes der Achillessehne und eignet sich zur Durchführung von dorsolateralen Schraubenosteosynthesen bei Talushals- und Processus posterior-tali-Frakturen.

Kombiniert anteromedialer und -lateraler Zugang. Eine gute Indikation, abhängig von der Frakturgeometrie im Taluskorpus (mediale Talusschulter), sind Talusdom- und -trümmerfrakturen. Er erlaubt auch die Durchführung einer Innenknöchelosteotomie.

Die operative Strategie ist entsprechend der Frakturgeometrie zu strukturieren und folgt einem gut definierten Schema. Einfache Talushalsfrakturen werden offen reponiert, wobei als Repositionshilfen 3- bis 4-mm-Schanzschrauben in den Taluskopf und -korpus von dorsal eingebracht werden können. Dies vermeidet eine weitergehende Exposition zur Platzierung einer Repositionszange und erlaubt, sämtliche Komponenten der Dislokation zu reponieren. Die Frakturretention erfolgt mit 2 Kleinfragmentschrauben. Biomechanisch vorteilhaft sind Teilgewindeschrauben, die vorzugsweise kanüliert (kanüliertes Schraubensystem 4,0–5,0 mm) und aus Titan (Option auf MRT-Diagnostik) sein sollten (■ **Abb. 6**).

Komplexe Talusfrakturen mit Beteiligung des Talusdoms können eine V-förmige (Chevron-Osteotomie) Innenknöchelosteotomie und u. U. einen kombinierten Zugang erforderlich machen, wenn die medialen und lateralen Taluskorpusanteile instrumentiert werden müssen. In einzelnen Fällen müssen transartikuläre Schrauben zur Retention von Fragmenten an der Talusschulter und -seitenfläche appliziert werden, bei denen die Schraubenköpfe mit einer Kopfraumfräse unter das Knorpelniveau versenkt werden sollten.

Frakturen der Gelenkfortsätze (Processus lateralis tali, Processus posterior tali) werden abhängig von der Fragmentgröße, -dislokation und -meherteiligkeit entweder konservativ im immobilisierenden Gipsverband oder operativ behandelt. Für die operative Therapie sollten bei größeren Fragmenten eine anatomische Rekonstruktion und Schraubenosteosynthese (kanüliertes Schraubensystem 3,0–4,0 mm) entweder in gedeckter



Abb. 6 ▲ Schraubenosteosynthese einer Taluskorpusfraktur (Typ III nach Marti u. Weber [8]) mit 2 Teilgewindetitanschrauben, 4,0 mm, bei einer 43-jährigen Patientin nach Klettersturz aus 10 m Höhe



Abb. 7 ▲ Erweiterter lateraler Zugang („extended lateral approach“) als Standardzugang zum Kalkaneus mit direkter Einsicht auf das untere Sprunggelenk und das abgesunkene posteriore Facettenfragment

oder offener Technik (z. B. modifizierter Ollier-Zugang, posterolateraler paraachillärer Zugang in Bauchlagerung) gewählt werden. Kleinere Fragmente, die durch Schrauben nicht suffizient zu fassen sind, sollten entfernt werden.

Das operative Vorgehen ist bei Talusfrakturen in der Regel die Therapie der Wahl, da bereits geringe Dislokationen im Talushals- und -korpusbereich zu dauerhaften Störungen der Biomechanik des oberen und unteren Sprunggelenks führen und als Präarthrose einzuschätzen

sind. Auch können eine sekundäre Dislokation oder Instabilität einer zunächst stabil eingeschätzten Fraktur die Ausbildung einer avaskulären Knochennekrose begünstigen. Die konservative Therapieoption bleibt daher wenigen ausgewählten Frakturformen vorbehalten: Fissuren bzw. stabil verbleibenden undislozierten Frakturen. In Zweifelsfällen ist auch für diese Frakturtypen eine gedeckte Verschraubung mit dem Vorteil der frühzeitigeren Mobilisierung der angrenzenden Gelenke empfohlen.

Kalkaneusfrakturen

Das operative Vorgehen wird entscheidend vom begleitenden Haut-Weichteil-Schaden bestimmt. In jedem Fall gibt er die zeitliche Planung eines angestrebten operativen Eingriffs und nicht selten auch die operative Strategie (offenes vs. gedecktes Verfahren) vor. Sollte eine operative Versorgung nicht in den ersten Stunden nach dem Unfall möglich sein, muss nach Rückbildung der initialen Schwellung (zwischen dem 5. und dem 10. Tag) die Rekonstruktion des Kalkaneus angestrebt werden. Trotz aller therapeutischen Sorgfalt sind Wundheilungsstörungen häufige Komplikationen. Die knöcherne Heilung ist aufgrund der guten Blutversorgung des Kalkaneus meist unproblematisch, Pseudarthrosen sind selten.

Behandlungsziele der operativen Versorgung sind die stufenlose Rekonstruktion der Gelenkflächen sowie die Wiederherstellung des Tubergelenkwinkels (Böhler-Winkel) und der Rückfußanatomie mit übungsstabiler Osteosynthese. Die sofortige Notfallversorgung muss bei offenen Frakturen, weichteilkompromittierenden Fehlstellungen und bei einem drohenden Kompartmentsyndrom eingeleitet werden.

Durch die Weiterentwicklung von Implantaten – beispielhaft genannt seien die winkelstabilen Plattensysteme – und eine bessere intraoperative Visualisierung mit moderner Röntgentechnik (Bildgebungssysteme mit 2D-Fluoro- und integriertem 3D-Scan-Modus) ist das operative Behandlungskonzept für intraartikuläre Kalkaneusfrakturen dem konservativ funktionellen vorzuziehen, auch wenn die Studienlage mit etwa 50 international publizierten Arbeiten in der wissenschaftlichen Literatur noch ungenügend ist [2].

Intraartikuläre Frakturen sind mit einem Anteil von 75% die häufigsten Frakturen, kompromittieren meist die hintere Gelenkfacette und bedürfen fast immer der operativen Versorgung, da zur Vermeidung einer sekundären Arthrose Gelenkstufen über 1 mm nicht toleriert werden sollten. Das operative Vorgehen umfasst die Reposition des tuberositären Fragments durch Traktion über eine Schanz-Schraube (Westhues-Manöver) und die Reposition der abgesunkenen

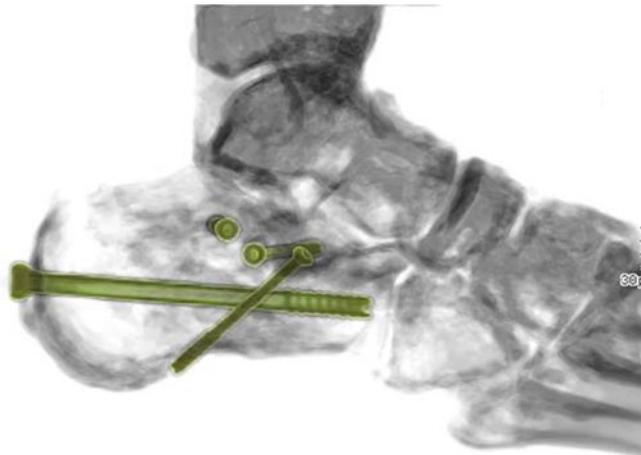


Abb. 8 ◀ Minimalinvasiv versorgte Kalkaneusfraktur (Sanders-Typ IIB) mit kanülierten Schraubensystemen, 4,0–6,5 mm bei einem 54-jährigen Patienten, Drehung: 99°, Neigung: 0°



Abb. 9 ▲ Entenschnabelfraktur, pathobiomechanisch knöcherner Ausriss der Achillessehne mit rasch progredienter Schädigung des umgebenden Haut-Weichteil-Mantels aufgrund des inneren Fragmentdrucks, relativ seltene Verletzung mit Indikation zur Notfallversorgung

posterioren Gelenkfacette an das sustentakuläre Fragment. Damit wird der Kalkaneus von medial nach lateral wieder aufgebaut. Zur Visualisierung der knöchernen Pathologie ist neben einem lateralen Zugang (modifiziert nach Palmer [10] oder erweiterter lateraler Zugang) gelegentlich eine zusätzliche mediale Schnittführung (Zugang nach McReynolds [9]) zur Instrumentierung des sustentakulären Fragments und der medialen Gelenkfacette anzulegen (■ Abb. 7).

Minimalinvasive Techniken werden zunehmend diskutiert und zeigten in kleineren Fallserien für ausgewählte Frakturformen gute funktionelle Behandlungsergebnisse. Damit wird verstärkt auch die Möglichkeit zum minimalinvasiven Vorgehen zu prüfen sein. Bestimmte Frakturformen (Frakturen in der Klassifikation nach Sanders IIA und IIB) stellen aus heutiger Sicht bei ausreichender Expertise des Behandlers eine Indikation für eine gedeckte Verschraubung mit Teilgewindeschrauben (4,0–6,5 mm) dar [12]. Vortei-

le dieses Verfahren sind in Bezug auf das Weichteilmanagement und die verbesserte Rückfußmobilität im postoperativen Verlauf zu sehen (■ Abb. 8).

Extraartikuläre Frakturen mit relevanter Fehlstellung der Fragmente (Processus anterior calcanei, Sustentaculum tali, Tuberculum calcanei) werden offen reponiert und verschraubt. Undislozierte Gelenkfortsätze können gedeckt verschraubt oder konservativ-funktionell behandelt werden.

Bei den extraartikulären Frakturen stellt die knöcherne Ausrissfraktur der Achillessehne aufgrund der Kompromittierung des Weichteilmantels eine Indikation zur Notfallversorgung dar (■ Abb. 9). Die Processus-anterior-Fraktur wird aufgrund des komplexen polyartikulären anatomischen Systems der Fußwurzel in der initialen radiologischen Diagnostik häufig übersehen und sollte bei größeren Fragmenten (gedeckt) verschraubt werden. Damit ist auch die Stabilität des Lig. bifurcatum im Chopart-Gelenk wiederhergestellt. Tuberositäre Frakturen als Folge meist eines Hochrasanztraumas können konservativ behandelt werden, ebenso biomechanisch unproblematische Processus-medialis-tuberculae calcanei-Frakturen. Die undisloziert stehende Sustentaculum-tali-Fraktur lässt sich mit 6-wöchiger Entlastung konservativ behandeln, kann aber auch – insbesondere als Begleitverletzung – gedeckt verschraubt werden.

Durch das skizzierte strukturierte und auf ein möglichst schonendes Weichteilmanagement ausgerichtete Behandlungskonzept sind Kontraindikationen für ein operatives Vorgehen seltener zu sehen. Zu nennen sind lebensbedrohliche Begleitverletzungen (Polytrauma), kritische Weichteilverhältnisse mit hohem Infektrisiko und fehlende Compliance, insbesondere auch die Kombination von arterieller Gefäßverschlusskrankung, Diabetes mellitus und Nikotinabhängigkeit.

Nachbehandlung

Grundvoraussetzung für ein gutes funktionelles Ergebnis mit erfolgreicher Rehabilitation des Unfallverletzten ist ein gut strukturiertes, konsequent umgesetztes Nachbehandlungskonzept.

Nach chirurgischer Versorgung sollte mit der übungsstabilen Osteosynthese eine frühfunktionelle Therapie direkt postoperativ begonnen werden. Eine Immobilisierung im Gipsverband ist zur Vermeidung von sekundären Schäden des Haut-Weichteil-Mantels beim operativen und konservativen Vorgehen nach Kalkaneusfraktur obsolet. Im Vordergrund steht in den ersten Tagen bis zum Abschluss der Wundheilung die Konsolidierung des Haut-Weichteil-Mantels mit geeigneten Maßnahmen, zu denen insbesondere auch die Lymphdrainage und wenn möglich die AV-Pumpenbehandlung (Pumpensystem zur externen pneumatischen Kompression des plantaren Fußplexus) gehören. In einigen Zentren mit angeschlossener Druckkammer nimmt die adjuvante hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) im Behandlungskonzept der Rückfußfrakturen eine zentrale Rolle ein.

Die Teilbelastung der verletzten unteren Extremität mit 15–20 kg erlaubt eine limitierte Mobilität und wird nach CT-Diagnostik stufenweise bis zur Vollbelastung geführt. Eine Besonderheit ist die lange Teilbelastungsphase bei zentralen Talusfrakturen, die aufgrund der langsameren Knochenheilung mit 12 Wochen vorzugeben ist. In den ersten 4 Wochen ist hier zudem eine relative strikte Immobilisierung des plantigrad eingestellten Fußes im abnehmbaren Gipsverband zur Vermeidung einer kontrakten Spitzfußstellung von Vorteil. Im Anschluss daran lässt sich aus dieser physiologischen Fußstellung heraus die Gelenkbeweglichkeit besser wiederherstellen. Periphere und undislozierte Talusfrakturen werden wie intraartikuläre Kalkaneusfrakturen 8 bis 10 Wochen entlastet. Die Verwendung eines Vakuum-Walkers sichert die rekonstruierte knöcherne Anatomie und die Mobilität des Patienten. Zum Zeitpunkt der Aufbelastung ist die ergänzende Verordnung von orthopädischen Fußeinlagen zur Unterstützung der dynamischen und statischen Fußstabilisatoren und von Kompressionsstrümpfen (Kompressionsklasse II nach Maß) eine wirkungsvolle flankierende Maßnahme.

Das Behandlungsziel der Rehabilitationsphase ist die Wiederherstellung einer möglichst guten Beweglichkeit der Gelen-

ke des Rückfußes (Fuß als mobiler Adapter) bei schmerzfreier Vollbelastung mit guter Koordination und Kraftausdauer. Nach 3 bis 5 Monaten sollte die berufliche Wiedereingliederung umsetzbar sein. Die Entfernung von eingebrachten Implantaten kann befundorientiert, ggf. mit ergänzender Arthrolyse, nach 1 Jahr indiziert werden.

Ergebnisse

Talus

Eine wesentliche Komplikation bei Talusfrakturen ist die sich aufgrund der limitierten Knochendurchblutung ausbildende avaskuläre Talusnekrose, die durchschnittlich 11–20% der Patienten betrifft und bei höhergradigen Talusfrakturen in weit mehr als der Hälfte der Fälle auftreten kann. Auch kann die knöcherne Heilung in vielen Fällen verzögert sein oder ganz ausbleiben (Pseudarthrosenrate bis 12%). Problematisch ist – aufgrund der Funktion des Talus als Schaltknochen des Rückfußes mit Gelenkflächenanteilen für das obere und untere Sprunggelenk – die Entwicklung von sekundär-arthrotischen Veränderungen in den genannten Gelenken in etwa 47–97% der Fälle. Ursachen sind zum einen die direkte Verletzung der Gelenkoberflächen sowie möglicherweise verbleibende Inkongruenzen und Stufenbildungen mit Störung der Biomechanik der Gelenke. Demzufolge ist die Rate von notwendigen primären Arthrodesen im weiteren Verlauf mit etwa 15% relativ hoch [1]. Die Tatsache, dass bei offenen Talusfrakturen in jedem vierten Fall eine Infektion auftritt, unterstreicht die Notwendigkeit des aufwändigen Weichteilmanagements.

Die Kenntnis der hohen Rate an potenziellen Komplikationen nach Talusfrakturen sollte bei der Behandlung der akuten Verletzung immer präsent sein. Nur dann ist es möglich, die Behandlungsstrategie befundorientiert und auf Basis dieses Wissens rechtzeitig anzupassen und für den individuellen Fall zu optimieren. Auch ist eine frühzeitige prognostische Abschätzung bei der Steuerung des Heilverfahrens und Festlegung der privaten und beruflichen Reintegration hilfreich.

Kalkaneus

Auch bei Kalkaneusfrakturen ist die Liste der möglichen Komplikationen lang und in das Behandlungskonzept zu integrieren. Grundvoraussetzung für ein gutes funktionelles Ergebnis sind die möglichst anatomische Wiederherstellung der knöchernen Strukturen, v. a. die Beseitigung der Inkongruenzen der subtalaren Gelenkfläche [11], trotzdem bleibt das Ergebnis schlecht vorhersehbar. Gleichzeitig lässt sich dadurch die Rate der sekundären Arthrosen reduzieren, die nach operativer Therapie in der Literatur mit einer Häufigkeit von unter 5% angegeben werden. In der Frühphase der Behandlung verzögert die hohe Rate an Wundheilungsstörungen (Wundrandnekrose 10–13%) häufig die weitere Mobilisierung und Rehabilitation des Patienten und verlängert den Krankenhausaufenthalt. Grund hierfür sind die problematische nutritive Versorgung des Haut-Weichteil-Lappens am lateralen Rückfuß und die Lymphödembildung nach Trauma und Operation. Tiefe Infekte mit Knochenbeteiligung, die mit einer Rate von 1,3–2,5% auftreten, sind gefürchtete Komplikationen und erfordern aufwändige Revisionsingriffe. Schwerwiegende funktionelle Defizite können auch bei einem übersehenen Rückfußkompartmentsyndrom verbleiben, das jeden 10. Fall betrifft und zu ischämischen Kontrakturen der kurzen Zehenbeuger mit schwer therapierbaren Hammer- und Krallenzehebildung führt [1].

Der rehabilitative Aufwand ist analog dem Verletzungsmuster bei Talusfrakturen und individuell dem jeweiligen Fall anzupassen. Durch Ausschöpfung aller Maßnahmen aus dem operativen und physikalischen Therapiespektrum, einschließlich der Möglichkeiten der Schuhorthopädie verbesserten sich die Behandlungsergebnisse in den letzten Jahren. Erkennbar wird dies auch im rückläufigen MdE-Index (MdE: Minderung der Erwerbsfähigkeit) für die gewerblichen Berufsgenossenschaften in einem nachuntersuchten Kollektiv [17]. Grundsätzlich sind für viele Unfallverletzte dauerhafte Funktionsstörungen gutachterlich abzubilden. So betrug der Anteil der Versicherten, die im Rechtsbereich der gesetzlichen Unfallversicherung 1995

eine Erwerbsminderungsrente mit einer MdE $\geq 20\%$ erhielten, nach Talusfraktur 44,6% und nach Kalkaneusfraktur 73,1%. Der MdE-Index war bei Kalkaneusfrakturen mit einer durchschnittlichen MdE von 25,5% am höchsten [6].

Zu Orientierung liegen für die Bewertung von Leistungsbeeinträchtigungen des Fußes in der gesetzlichen Unfallversicherung einschlägige Erfahrungswerte für die MdE vor: Eine Talusfraktur mit starker Zusammenstauchung des Knochens und erheblicher Arthrose wird mit einer MdE von 20–30% eingestuft. Eine mit geringer Funktionsstörung verheilte Kalkaneusfraktur wird mit einer MdE bis zu 20%, mit erheblicher Funktionsstörung und Deformierung bis zu 40% bewertet [13, 15].

Resümee

Die bestmögliche Versorgung und Rehabilitation von Rückfußfrakturen bleiben eine Herausforderung für alle an der Behandlung des Unfallverletzten Beteiligten aus den Bereichen der Traumatologie und der physikalischen Therapie. Nur ein individuell angepasstes Behandlungskonzept wird dieser häufig komplexen Verletzung gerecht und beinhaltet im ersten Schritt eine geeignete, meist operative Strategie, die neben der anatomischen Rekonstruktion der knöchernen Strukturen des Rückfußes auch ein anspruchsvolles Weichteilmanagement beinhaltet. Im zweiten Schritt muss, aufbauend auf den rekonstruierten Strukturen, die Wiederherstellung der Biomechanik und Funktion des Fußes durch umfangreiche Rehabilitationsmaßnahmen die zentrale Aufgabe für Therapeuten und Patienten sein.

Die operative Versorgung und die Behandlung der Patienten bleiben anspruchsvoll. Auf den jeweiligen Fall angepasste, neue Operationsverfahren, wie die minimalinvasiven Techniken und eine bessere prä- und intraoperative Bildgebung und Visualisierung, können helfen, die Rekonstruktionsergebnisse der komplex dreidimensionalen Knochenstrukturen des Rückfußes zu verbessern.

Die in vielen Fällen verbleibenden Unfallfolgen mit dauerhaften Funktionseinbußen in der privaten und beruflichen Lebensführung gilt es zu minimieren, um

die Lebensqualität und Arbeitsfähigkeit der Betroffenen zu erhalten. Gute Ergebnisse sind nur mit einer intensiven Nachbehandlung und optimalen Hilfsmittelversorgung zu erreichen.

Fazit für die Praxis

- Die bestmögliche Versorgung und Rehabilitation von Rückfußfrakturen erfordern ein individuell angepasstes Behandlungskonzept.
- Zur anatomischen Rekonstruktion der knöchernen Strukturen des Rückfußes ist meist ein operatives Vorgehen erforderlich.
- Ein anspruchsvolles Weichteilmanagement ist für ein gutes Resultat unverzichtbar.
- Ziel der umfangreichen Rehabilitationsmaßnahmen ist die Wiederherstellung der Biomechanik und Funktion des Fußes.
- Gute Ergebnisse sind nur mit einer intensiven Nachbehandlung und optimalen Hilfsmittelversorgung zu erreichen.
- In vielen Fällen verbleiben Unfallfolgen mit dauerhaften Funktionseinbußen in der privaten und beruflichen Lebensführung.

Korrespondenzadresse

Dr. J. Gabel

Abteilung für Fußchirurgie,
BG-Unfallklinik Murnau,
Prof.-Küntscher-Straße 8, 82148 Murnau
jgabel@bgu-murnau.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J. Gabel gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

1. Andermahr J, Jubel A, Rehm KE et al (2011) Erkrankungen und Verletzungen des Rückfußes. Deutscher Ärzteverlag, Köln
2. Buckley R, Tough S, McCormack R et al (2002) Operative compared with non-operative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: a prospective, randomized, controlled multicenter trial. *J Bone Joint Surg Am* 84-A(10):1733–1744
3. Cotten FJ, Henderson FF (1916) Results of fractures of the os calcis. *Am J Orthop Surg* 14:290–298
4. Essex-Lopresti P (1951) The mechanism, reduction technique, and results in fractures of the os calcis. *Br J Surg* 39(157):395–419
5. Hawkins LG (1979) Fractures of the neck of the talus. *J Bone Joint Surg Am* 52(5):991–1002
6. Korff S (1998) Berufliche Wiedereingliederung nach Fußverletzung. In: Hierholzer H, Kunze G, Peters D (Hrsg) Gutachtenkolloquium 13. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 263–272
7. Kummer B (2005) Biomechanik – Form und Funktion des Bewegungsapparates. Deutscher Ärzteverlag, Köln
8. Marti R (1978) Talus und Calcaneusfrakturen. In: Weber BG, Brunner C, Freuler F (Hrsg) Die Frakturbehandlung bei Kindern und Jugendlichen. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 373–384
9. McReynolds JS (1982) The surgical treatment of fractures of the os calcis. *J Bone Joint Surg Orthop Trans* 6:415
10. Palmer I (1948) The mechanism and treatment of fractures of the calcaneus; open reduction with the use of cancellous grafts. *J Bone Joint Surg Am* 30A(1):2–8
11. Rammelt S, Gavlik JM, Zwipp H (1997) Effizienz der offenen subtalaren Arthroskopie bei der operativen Versorgung intraartikulärer Calcaneusfrakturen. *Hefte Unfallchir* 268:99–104
12. Rammelt S, Zwipp H (2012) Minimally invasive fixation of calcaneal fractures. *Oper Orthop Traumatol* 24(4–5):383–395
13. Rompe G, Ehrlenkämper A, Schiltenswolf M (2009) Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane, 5. Aufl. Thieme, Stuttgart New York
14. Sanders R (1992) Intra-articular fractures of the calcaneus: present state of the art. *J Orthop Trauma* 6(2):252–265
15. Schönberger A, Mehrtens G, Valentin H (2010) Arbeitsunfall und Berufskrankheit, 8. Aufl. Schmidt, Berlin
16. Zwipp H, Wülker N, Grote R (1989) Intra-articular fracture of the calcaneus. Classification, assessment and surgical procedures. *Unfallchirurg* 92(3):117–129
17. Zwipp H, Gavlik JM, Rammelt S (1999) Operative Therapie der Calcaneusfrakturen. In: Moorahrennd U (Hrsg) Funktionelle Behandlung ausgesuchter Verletzungen der unteren Extremität. Sympomed, München, S 27–37