

Hans Zwipp · Stefan Rammelt · Sven Barthel

Klinik und Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie,  
Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, TU Dresden

# Management offener Fersenbeinfrakturen

## Zusammenfassung

Offene Kalkaneusfrakturen sind eines der ungenügend gelösten Probleme in der Unfallchirurgie. Die Infektraten liegen um das 5- bis 7fache höher als bei geschlossenen Frakturen. Aufgrund der spezifischen Anatomie des Kalkaneus entstehen überwiegend zweit- bis drittgradig offene Weichteilschäden bei zudem schwereren Frakturformen. Ein notfallmäßiges, konsequentes Débridement, die perkutane Reposition und Stabilisierung sowie regelmäßige Second- und Third-look-Operationen mit definitiver Osteosynthese im Intervall stellen die Eckpfeiler der klassischen Therapie dar. Von entscheidender Bedeutung bei der Infektophylaxe ist der frühzeitige stabile Weichteilverschluss. In den letzten Jahren hat sich bei komplexen Fußverletzungen mit ausgedehnten Defekten das Konzept der frühen definitiven Weichteildeckung mit freiem Gewebetransfer als verheißungsvolle therapeutische Alternative mit deutlich geringeren Infektionsraten erwiesen. Das Komplikationsmanagement bei posttraumatischer Kalkaneusosteitis umfasst wiederholte radikale Débridements, die Plattenentfernung und ggf. Restosteosynthese mit Schrauben, Einlage von Antibiotikaträgern und schließlich die definitive Versorgung verbliebener Defekte. Bleibende funktionelle Defizite sind in diesen Fällen jedoch unvermeidbar, weswegen das chirurgische Handeln konsequent auf die Infektvermeidung ausgerichtet sein muss.

## Schlüsselwörter

Offene Kalkaneusfraktur · Notfallversorgung · Infekt · Weichteildefekt · Lappendeckung

Die prekäre Weichteildeckung des Rückfußes mit einer dünnen, vulnerablen Haut über dem lateralen und medialen Aspekt des Fersenbeins und einer durch gleichwertiges Gewebe praktisch unersetzbaren, kompliziert gekammerten Planta pedis macht die offenen Kalkaneusfrakturen zu einer der größten Problemfrakturen in der Unfallchirurgie. In der Literatur wurden Infektraten von bis zu 60% und Amputationsraten bis 14% beschrieben [27].

Im eigenen Krankengut wurden im 5-Jahres-Zeitraum 240 Kalkaneusfrakturen operativ behandelt, in 34 Fällen (14,1%) lagen offene Verletzungen vor [21]. Die postoperative Komplikationsrate lag bei diesen Patienten um das 5- bis 7fache höher als bei denjenigen mit geschlossenen Frakturen. So wurden nach offenen Frakturen in 23,5% der Fälle oberflächliche Wundrandnekrosen und in 17,6% tiefe Weichteil- und Knocheninfektionen gesehen, verglichen mit 3,2% Wundrandnekrosen und 3,4% tiefen Weichteil- und Knocheninfektionen nach geschlossenen Frakturen [21]. Dem initialen Management offener Kalkaneusfrakturen kommt somit eine erhebliche prognostische Bedeutung zu.

## Verletzungsmechanismus

Durch die spongiöse Binnenstruktur und den hohen Anteil an Gelenkflächen entstehen am Kalkaneus gegenüber anderen Knochen häufiger Frakturen mit Gelenkbeteiligung, eingestauchte Frakturen und Trümmerbrüche. Über 3/4 aller Kalkaneusfrakturen sind intraartikulär,

davon weisen 97% intraartikuläre Verwerfungen der posterioren Facette, 59% zusätzlich des Kalkaneokuboidgelenks und 8% der anterioren Facette auf [31].

Typischerweise kommt es durch axiale Gewalteinwirkung beim Sturz aus der Höhe oder beim Dezelerationstrauma aufgrund der seitlich zueinander versetzten Vertikalachsen von Talus und Kalkaneus zu einer Scherfraktur unter Ausbildung eines superomedialen, sustentaculumtragenden und posterolateralen, tuberositären Hauptfragments.

Zu variabel verlaufenden sekundären und tertiären Frakturlinien kommt es je nach der Stellung des Fußes zum Unfallzeitpunkt sowie der Gewalt der Impaktion des Processus fibularis tali in die posteriore Gelenkfacette des Kalkaneus. So entstehen bis zu 5 Hauptfragmente:

1. Tuber calcanei
2. Sustentaculum
3. separates posteriores Facettenfragment
4. Processus-anterior-Fragment
5. ggf. zusätzlich anteriores Facettenfragment

Das tuberositäre Fragment wird durch den Zug der Achillessehne, das Processus-anterior-Fragment durch das Lig. bi-

Dr. Stefan Rammelt

Klinik und Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie,  
Universitätsklinikum Carl Gustav Carus,  
TU Dresden, Fetscherstraße 74, 01307 Dresden,  
E-Mail: strammelt@hotmail.com,  
Tel.: 0351-4583777, Fax: 0351-4584307

## Management of open calcaneal fractures

### Abstract

Open calcaneal fractures are one of the most challenging problems in trauma surgery. Infection rates are five- to seven-fold that in the case of closed calcaneal fractures. Because of the unique anatomy of the calcaneus and its soft tissue envelope, grade II or III open fractures with comminution of the bony fragments are among the most serious forms of fracture. The classic treatment consists of thorough emergency debridement, percutaneous reduction and retention of fragments and second- and third-look surgery, with definitive osteosynthesis after soft tissue consolidation. Early and stable soft tissue coverage is of decisive importance in the prevention of infection. In recent years the concept of early definitive soft tissue coverage with free tissue transfer (within 120 hours) has emerged as a promising treatment alternative in complex foot trauma with extensive defects. Complication management in the event of calcaneal osteitis includes radical, serial debridements with plate removal, minimally invasive stabilization, temporary insertion of antibiotic beads and definitive closure of soft tissue and bone defects, for which, again, it may be necessary to transpose free tissue. However, persisting functional impairment is inevitable in these cases. Therefore, surgical treatment of open calcaneus fractures must be directed consistently at preventing infection.

### Keywords

Open calcaneal fracture · Emergency treatment · Soft tissue defect · Infection · Free tissue transfer

## Problemfrakturen

Tabelle 1  
Kalkaneusfrakturskala [31]

Fragment	Punkte	
Hauptfragmente	Maximal	5
Betroffene Gelenkfacetten	Maximal	3
Weichteilschaden (erst- bis drittgradig offen/geschlossen)	Maximal	3
Trümmerzone eines Hauptfragments/regionale Zusatzfraktur	+	1
Summe	Maximal	12

furcatum und das Lig. interosseum zusätzlich nach kranial disloziert. Die 5 Hauptfragmente und 3 Gelenkfacetten (posterior, anteromedial und kalkaneokuboidal) bilden die Grundlage einer CT-gestützten Kalkaneusfrakturskala (Tabelle 1). Aufgrund der eminenten Bedeutung des Weichteilschadens geht die Graduierung desselben nach Tscherne u. Oestern [30] ebenfalls in die Klassifikation mit ein, wodurch sich ein prognostisch-prädiktiver Wert von 86% ergibt [31].

Entstehen bei dem beschriebenen Frakturmechanismus offene Frakturen, liegt die Wunde fast ausschließlich medial. Während die dünne laterale Kortikalis bei ausgedehnten Trümmerfrakturen eher schalig ausbricht (lateral bulge) und somit nicht zu einer Weichteilgefährdung führt, zerreißt die mediale Fersehaut beim Vorliegen eines verkipperten, scharfkantigen Sustentaculumfragments mit entsprechend stärkerer Kortikalis (Abb. 1 a). Da das Sustentaculum tali über eine gute Bandaufhängung verfügt, ist für eine derartige mediale Dislokation eine erhebliche Gewalteinwirkung erforderlich, weswegen bei offenen Kalkaneusfrakturen regelhaft bereits von Seiten des Knochens schwere Frakturformen vorliegen, was die Behandlung zusätzlich erschwert.

Im Gegensatz zu langen Röhrenknochen entstehen aufgrund der speziellen Anatomie und des Frakturmechanismus am Kalkaneus selten erstgradig offene Frakturen (einfache Durchspießungswunden), in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle liegen zweit- bis drittgradig offene Frakturen vor. Im eigenen Krankengut machten letztere immerhin 94% der offenen Frakturen aus [21]. Auch bei geschlossenen Frakturen findet sich aufgrund der oben genannten Faktoren in der Mehrzahl der Fälle ein zumindest zweitgradiger Weichteil-

schaden [33]. Aus dem Gesagten ergibt sich die eminente Bedeutung des Weichteilmanagements bei Kalkaneusfrakturen für die Prognose der Verletzung.

### Diagnostik

Offene Kalkaneusfrakturen stellen in der Regel eine Blickdiagnose dar. Der initiale Weichteilschaden sollte gut dokumentiert werden. Nach neurovaskulären Ausfällen wird gezielt gefahndet. Das Ausmaß der knöchernen Verletzung wird durch konventionelle Röntgenaufnahmen in den 3 Standardebenen (Kalkaneus lateral und axial, Fuß dorsoplantar) dargestellt. Zusätzlich werden eine OSG-a.-p.-Aufnahme sowie bei fraglicher subthalamischer Gelenkbeteiligung eine Brodén-Serie durchgeführt. Bei klarer Operationsindikation sollte präoperativ zum Vergleich eine seitliche Aufnahme des kontralateralen Fußes angefertigt werden.

Bei gesicherter Fraktur ist die Durchführung eines CT mit axialer und koronarer Schnittführung unabdingbare Voraussetzung für die Frakturklassifikation und die präoperative Planung [25, 31].

### Therapie

Offene Kalkaneusfrakturen stellen eine chirurgische Notfallindikation dar. Im klassischen Vorgehen erfolgen als Notversorgung am Unfalltag

- ein aggressives Débridement der fast ausschließlich medial gelegenen Wunde,
- eine indirekte Reposition und
- eine perkutane, minimalinvasive Fraktur stabilisierung mit Kirschner-Drähten.

Bei ausgedehnten Defekt- und Trümmerzonen können PMMA-Gentamicin-Ketten als temporäre Platzhalter von medial eingelegt werden, welche zusätzlich der lokalen Infektprophylaxe dienen

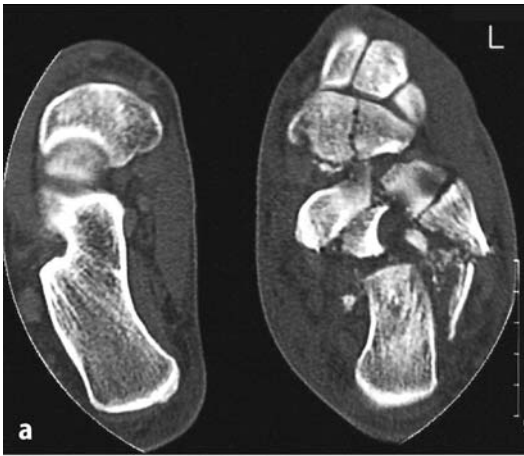
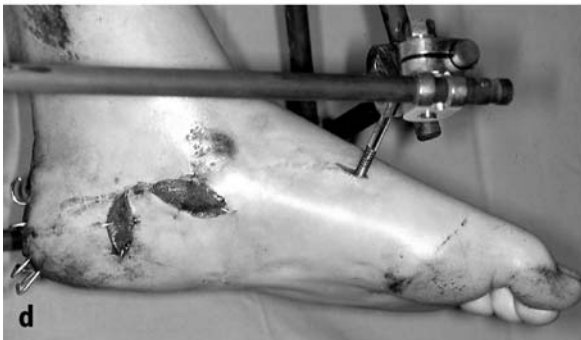
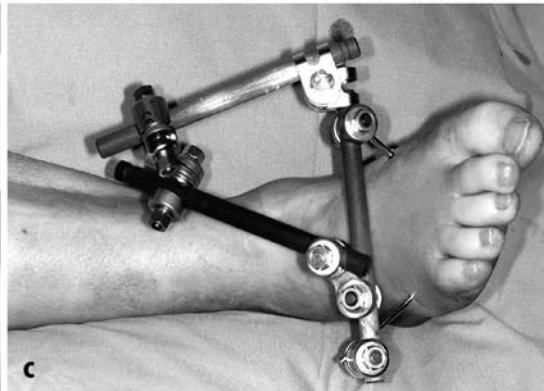
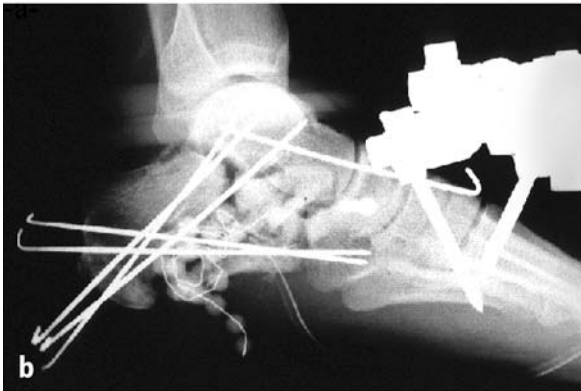


Abb. 1 a–e ◀ **Klassisches Vorgehen bei offener Kalkaneusfraktur.** Zumeist finden sich schwere Frakturformen mit erheblicher Dislokation des sustentaculumtragenden Fragments (a), welches reponiert werden muss, um eine fortdauernde Kompromittierung der Weichteile zu vermeiden. Zunächst notfallmäßiges Débridement, perkutane Kirschner-Draht-Osteosynthese, PMMA-Ketten-Einlage (b) und Anlage einer tibiometatarsalen Transfixation zur Weichteilprotektion (c). Der temporäre Verschluss der medial gelegenen Weichteilverletzung erfolgt zunächst mit Kunsthaut (d). Definitiver Weichteilverschluss (e) und Plattenosteosynthese erfolgen im Intervall



(Abb. 1 b). Zur Weichteilprotektion wird zusätzlich eine externe tibiometatarsale Transfixation angelegt (Abb. 1 c). Alternativ kommt ein medialer tarsaler 3-Punkt-Fixateur zur Anwendung, über welchen auch die Reposition erfolgen kann [22, 32]. Hierzu werden über einen triangulären röntgenstrahlendurchlässigen Distraktor 3 Schanz-Schrauben in den Tuber calcanei, den Talushals und das Os cuboideum eingebracht, welche eine indirekte Reposition erlauben. Der temporäre Wundverschluss wird mit Kunsthautprodukten (Epigard®, Cutinova®, Abb. 1 d), bei hochgradig infektfähigem Lokalbefund mit einem Vacuseal-Verband, erreicht. In etwa 1/3 der Fälle gelingt die Primärnaht nach Débridement und Frakturreposition.

Eine geplante Second-look-Operation wird innerhalb von 48–72 h durchgeführt. Die definitive Osteosynthese sowie die endgültige Weichteildeckung erfolgen klassischerweise im Intervall bei konsolidierten Wundverhältnissen, jedoch nicht später als 14 Tage nach dem Unfall. Die offene Reposition und Plattenosteosynthese erfolgen über den erweiterten lateralen Zugang, wie anderenorts ausführlich beschrieben [2, 22, 25, 31, 33].

Die Art der definitiven Weichteildeckung richtet sich nach der Größe und der Tiefe des Defekts sowie dem Kontaminationsgrad. Für oberflächliche Defekte der nicht lasttragenden Bezirke sind sekundäre Spalthauttransplantationen geeignet (Abb. 1 e). Diese erfordern

einen sauberen (nicht sterilen) Wundgrund ohne frei liegende Knochen, Gelenkknorpel oder Sehnen. Ungelöst sind noch die Probleme der marginalen Hyperkeratose an der Grenzregion zwischen Transplantat und ortsständiger Fußhaut [4]. Mehrschichtige Defekte erfordern einen ortsständigen oder freien Lappentransfer [5, 14, 17]. Die Lappenauswahl folgt hierbei der Defektgröße sowie dem Durchblutungsmuster und berücksichtigt die funktionell-anatomische Fußzoneneinteilung sowie das Like-with-like-Prinzip [12]. Ortsständige, gestielte Lappen sind aufgrund ihres eingeschränkten Aktionsradius für die Deckung kleinerer lateraler, medialer oder plantarer Defekte geeignet [10]. Zur Anwendung kommen fasziokutane Lap-

pen, A.-plantaris-medialis- und -lateralis-Lappen, A.-calcanea-lateralis- und A.-dorsalis-pedis-Lappen, die stielgedrehten A.-tibialis-anterior- und N.-suralis-Lappen sowie die kurzen Fußmuskeln (M. abductor hallucis, M. abductor digiti minimi, M. flexor digitorum brevis). Besonders wertvoll für die Deckung von Fußsohlendefekten ist der A.-plantaris-medialis-Lappen (Zone Hidalgo 2), der das typische gekammerte Muster der Planta pedis aufweist, jedoch aus der unbelasteten Fußnische stammt und dadurch mit einer nur geringen Spenderstellenmorbidity behaftet ist [12]. Die freien Lappen mit mikrovaskulärer Anastomose (M.-latissimus-dorsi-, M.-serratus-anterior-, M.-rectus-abdominis-, A.-radialis- und lateraler Oberarm-lappen) erfordern eine intakte Anschlussstelle und neben der technischen Durchführbarkeit die Beachtung des Schuhwerks und kosmetischer Aspekte [24]. Dabei sind spalthautgedeckte Muskellappen (z. B. M. latissimus dorsi) weniger auftragend als myokutane Lappen [17]. Bei unzureichenden Hauptgefäßen bietet sich der stielgedrehte Suralislappen als „salvage procedure“ an [18]. Eine präoperative Angiographie (ggf. auch Phlebographie) erleichtert die Indikationsstellung und Lappenauswahl und sollte generell durchgeführt werden [14].

Liegen lokale oder systemische Kontraindikationen zur Durchführung lokaler oder freier Lappentransfers vor, kann alternativ mit geringem operativem Aufwand eine Distraction der benachbarten gesunden Haut versucht werden, wie sie für größere Unterschenkelwunden verschiedentlich beschrieben wurde. Alternativ erfolgen ein direkter Zug an der Haut [1] oder die temporäre Implantation eines Gewebeexpanders [16, 26]. Eine kontinuierliche Hautdistraction mit seriell in den Hautrand eingebrachten Kirschner-Drähten zur Deckung plantarer Defekte wurde von Neudeck u. Klaes [19] vorgestellt, wodurch sich eine belastbare Fußsohle mit erhaltener Sensibilität erreichen ließ. Ein Nachteil des Verfahrens ist die lange Therapiezeit bei größeren Defekten aufgrund einer Distaktionsrate von 1 mm/Tag. Zudem sind für die gesamte Zeit der Hautdistraction eine Transfixation im Fixateur externe und eine hohe Compliance von Seiten des Patienten erforderlich. Des Weiteren liegt die Qualität der distrahierten Haut aufgrund von Fibro-

sierungen deutlich unter derjenigen des originären Gewebes.

### Früher Gewebettransfer

Nach offenen Kalkaneusfrakturen verbleiben auch bei strengem Vorgehen nach dem oben genannten klassischen Regime oft erhebliche funktionelle Defizite [21, 27]. Dies erklärt sich z. T. aus arthrogenen und tendogenen Fibrosierungen mit entsprechendem Bewegungsdefizit nach erforderlicher längerer Ruhigstellung [6]. Zudem sind Knochen, Gelenkknorpel und Sehnen selbst bei primärer Vitalität gefährdet, wenn sie nicht ausreichend von Gewebe gedeckt sind. Ein Hauptgrund für unbefriedigende Ergebnisse stellt jedoch nach wie vor die deutlich erhöhte Infektrate bei offenen Kalkaneusfrakturen dar [27].

Ein frühzeitiger Weichteilverschluss ist bei Verletzungen der unteren Extremität anerkanntermaßen eine entscheidende Voraussetzung zur Infektvermeidung [3, 7, 8, 15, 20]. Als günstiges Zeitfenster wird hierbei eine definitive Weichteildeckung innerhalb von 72 h angestrebt, für welche eine signifikante Minderung der Infektrate beschrieben wurde [7, 8], wengleich in der Literatur Zeiträume zwischen 48 h und 2 Wochen für einen „frühen“ Gewebettransfer angegeben wurden [6]. Ein praktikables Schema ist in Tabelle 2 angegeben.

Zunächst wurde das Konzept der frühen bzw. notfallmäßigen Lappendeckung zur Behandlung komplexer Verletzungen der Hand entwickelt [15], für welche eher als für den Fuß ein höherer funktioneller Anspruch gestellt wurde, ein Unterschied, der sich heute nicht mehr aufrecht erhalten lässt [6]. Bei zweit- bis drittgradig offenen Unterschenkelchaftfrakturen hat sich die frühe [3, 7, 8, 20] oder sogar notfallmäßige Defektdeckung innerhalb von 24 h [9, 11] mit unmittelbar anschließender freier Lappenplastik (fix and flap) gegenüber verspäteter Deckung eindeutig bewährt.

Tabelle 2  
Schema der frühen Weichteildeckung [6]

Akut		Früh	Intervall
Notfall	Second look		
0–24 h	24–72 h	72–120 h	>120 h

Die Erfahrungen am Fuß sind aufgrund kleinerer Patientenzahlen wesentlich geringer. In einer eigenen, kürzlich publizierten Serie von 24 Patienten mit offenen bzw. drittgradig geschlossenen komplexen Fußverletzungen [6] wurde die frühe Weichteildeckung im Rahmen der „urgence différée“ (innerhalb von 24–120 h) durch eine gestielte bzw. freie Lappenplastik mit definitiver Osteosynthese erreicht. Dieses Vorgehen setzt jedoch eine entsprechende Infrastruktur und eine gute Kooperation von Unfall- und plastischer Chirurgie voraus und ist daher an Kliniken der Maximalversorgung gebunden, wobei eine Zuverlegung der Patienten nach auswärtiger Notfallversorgung innerhalb von 72 h zumeist möglich ist. In der angesprochenen Serie von 24 frühen Lappendeckungen bei komplexen Fußtraumen (darunter 3 Kalkaneusfrakturen) konnte die Infektrate auf 7,1% gesenkt werden. Bei 16 nachuntersuchten Patienten konnten mindestens 1 Jahr nach dem Unfall mehrheitlich gute funktionelle Ergebnisse erzielt werden [6]. Tendenziell sollten mit diesem Konzept bei tiefen, kontaminierten Defekten langwierige Verläufe mit letztlich unbefriedigenden Funktionsresultaten vermieden werden können. Seine Grenzen erfährt dieses Verfahren bei Patienten, deren durch das Trauma oder Vorerkrankungen eingeschränkter Allgemeinzustand eine Verlegung oder ausgedehnte Eingriffe nicht zulässt.

Die heute verfügbaren rekonstruktiven Möglichkeiten der Osteosynthese, Gefäß- und Nervenversorgung sowie des freien, mikrovaskulären Gewebettransfers dürfen bei komplexen, offenen Fußverletzungen jedoch nicht zu einem falschen Eifer seitens des Chirurgen und überzogenen Erwartungen seitens des Patienten bezüglich der Erhaltung des Fußes führen. Nach wie vor hat das Prinzip „life before limb“ oberste Priorität [34]. Entscheidungshilfen bei der Einschätzung der Möglichkeit des Extremitätenerhalts bieten klinische Skalen

wie der MESS (mangled extremity severity score) [13] sowie der PTS (Hannover Polytraumaschlüssel) [23]. Tscherne [29] empfahl beim komplexen Fußtrauma die primäre Amputation bei einem PTS-Wert von 3–4, den individuellen Entscheid bei einem PTS von 2.

## Komplikationen

Kommt es trotz sorgfältigen Vorgehens zur Ausbildung einer posttraumatischen Kalkaneusosteitis, ist das frühzeitige, aggressive chirurgische Débridement die Therapie der Wahl. Jüngere klinische Studien haben erneut das Ausmaß der knöchernen Resektion als wesentlichen Faktor für die Verhinderung eines Rezidivs und damit der drohenden Chronifizierung klar herausgestellt, wobei Rezidivfreiheit bei einem Resektionsrand von mindestens 5 cm im Gesunden gegeben war [28]. Als temporäre Platzhalter und Antibiotikaträger nach großzügiger Resektion von infiziertem und avitalem Knochen werden PMMA-Gentamycin-Ketten eingelegt. Verbleibende Weichteildefekte werden zunächst mit Kunsthaut, besser noch mit einem Vaca-seal-Verband, temporär gedeckt. Für die definitive Sanierung reichen die Therapieansätze von der sekundären Wundheilung bis hin zu freien Muskellappenplastiken [5]. Die Gabe von Antibiotika sollte für mindestens 4, bei Anaerobierinfektionen bis 6 Wochen nach der Diagnosestellung fortgesetzt werden und ist am Resistogramm intraoperativ entnommener Abstriche auszurichten.

Die Osteomyelitis des Fersenbeins stellt eine besondere Herausforderung dar und endet bei adäquatem Débridement nicht selten in einer partiellen oder totalen Kalkanektomie. Außergewöhnliche Lösungen, wie ein freier mikrovasculärer Rippen-M.-serratus-anterior-Transfer, können im Einzelfall die äußere Form des Fußes bewahren, Funktionseinschränkungen verbleiben auch in diesen Fällen [5].

Insgesamt bietet die posttraumatische Osteomyelitis am Fuß ein langwieriges, zur Chronifizierung neigendes und schwer beherrschbares Krankheitsbild mit auch bei Ausheilung erheblichen verbleibenden Funktionsdefiziten. Das chirurgische Handeln sollte daher konsequent auf die Vermeidung dieser Komplikationen gerichtet sein, was die mechanische Dekontamination mit

konsequentem radikalem Débridement schwer kontusionierten und avitalen Gewebes bei der Erstversorgung sowie Second- und Third-look-Operationen primär offener Kalkaneusfrakturen beinhaltet [32, 34].

## Literatur

1. Bashir AH (1987) Wound closure by skin distraction: an application of tissue expansion. *Br J Plast Surg* 40: 582–587
2. Benirschke SK, Sangeorzan BJ (1993) Extensive intraarticular fractures of the foot. Surgical management of calcaneal fractures. *Clin Orthop* 292: 128–134
3. Bray TJ, Endicott M, Capra SE (1989) Treatment of open ankle fractures. Immediate internal fixation versus closed immobilization and delayed fixation. *Clin Orthop* 240: 47–52
4. Brenner P, Rammelt S (2002) Abdominal wall and foot reconstruction after extensive desmoid tumor resection with free tissue transfer. *Langenbecks Arch Surg* 386: 592–597
5. Brenner P, Zwipp H, Rammelt S (2000) Vascularized double barrel ribs combined with free serratus anterior muscle transfer for homologous restoration of the hindfoot after calcanectomy. *J Trauma* 49: 331–335
6. Brenner P, Rammelt S, Gavlik JM, Zwipp H (2001) Early soft tissue coverage after complex foot trauma. *World J Surg* 25: 603–609
7. Cierny G 3rd, Byrd HS, Jones RE (1983) Primary versus delayed soft tissue coverage for severe open tibial fractures. A comparison of results. *Clin Orthop* 178: 54–63
8. Godina M (1986) Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. *Plast Reconstr Surg* 78: 285–292
9. Gopal S, Majumder S, Batchelor AG, Knight SL, De Boer P, Smith RM (2000) Fix and flap: the radical orthopaedic and plastic treatment of severe open fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg Br* 82: 959–966
10. Gould JS (1987) Reconstruction of soft tissue injuries of the foot and ankle with microsurgical techniques. *Orthopedics* 10: 151–157
11. Hertel R, Lambert SM, Muller S, Ballmer FT, Ganz R (1999) On the timing of soft-tissue reconstruction for open fractures of the lower leg. *Arch Orthop Trauma Surg* 119: 7–12
12. Hidalgo DA, Shaw WW (1986) Anatomical basis of plantar flap design. *Plast Reconstr Surg* 78: 627–636
13. Johansen K, Daines M, Howey T, Helfet D, Hansen ST (1990) Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. *J Trauma* 30: 568–573
14. Levin LS, Nunley JA (1993) The management of soft tissue problems associated with calcaneal fractures. *Clin Orthop* 290: 151–157
15. Lister G, Schecker L (1988) Emergency free flaps to the upper extremity. *J Hand Surg [Am]* 13: 22–28

16. Manders EK, Oaks TE, Au VK et al. (1988) Soft tissue expansion in the lower extremities. *Plast Reconstr Surg* 81: 208–217
17. May JW Jr, Rohrich RJ (1986) Foot reconstruction using free microvascular muscle flaps with skin grafts. *Clin Plast Surg* 13: 681–689
18. Mueller JE, Ilchmann T, Lowatsch T (2001) The musculocutaneous sural artery flap for soft-tissue coverage after calcaneal fracture. *Arch Orthop Trauma Surg* 121: 350–352
19. Neudeck F, Klaes W (1995) Die kontinuierliche Hautdistraction zur Deckung von Weichteildefekten der Fußsohle. *Unfallchirurg* 98: 40–44
20. Ninkovic M, Schoeller T, Wechselberger G, Otto A, Sperner G, Anderl H (1997) Primary flap closure in complex limb injuries. *J Reconstr Microsurg* 13: 575–583
21. Rammelt S, Gavlik JM, Barthel S, Brenner P, Zwipp H (2000) Management offener Calcaneusfrakturen. *Hefte Unfallchirurg* 282: 29–30
22. Rammelt S, Gavlik JM, Barthel S, Grass R, Zwipp H (2001) Aktuelle Versorgungsstrategie der Calcaneusfrakturen. *OP J* 17: 45–54
23. Regel G, Lobenhoffer P, Lehmann U, Pape HC, Pohlemann T, Tscherne H (1993) Ergebnisse in der Behandlung Polytraumatisierter. Eine vergleichende Analyse von 3406 Fällen zwischen 1972 und 1991. *Unfallchirurg* 96: 350–362
24. Reigstad A, Hetland KR (1994) Free flap coverage in the reconstruction of foot injury. *Acta Orthop Scand* 65: 103–106
25. Sanders R (1992) Intra-articular fractures of the calcaneus: present state of the art. *J Orthop Trauma* 6: 252–265
26. Sellers DS, Miller SH, Demuth RJ, Klabacha ME (1986) Repeated skin expansion to resurface a massive thigh wound. *Plast Reconstr Surg* 77: 654–657
27. Siebert CH, Hansen M, Wolter D (1998) Follow-up evaluation of open intra-articular fractures of the calcaneus. *Arch Orthop Trauma Surg* 117: 442–447
28. Simpson AH, Deakin M, Latham JM (2001) Chronic osteomyelitis. The effect of the extent of surgical resection on infection-free survival. *J Bone Joint Surg Br* 83: 403–407
29. Tscherne H (1986) Management der Verletzungen am distalen Unterschenkel und Fuß. *Langenbecks Arch Chir* 369: 539–542
30. Tscherne H, Oesteren HJ (1982) Die Klassifizierung des Weichteilschadens bei offenen und geschlossenen Frakturen. *Unfallheilkd* 85: 111–115
31. Zwipp H (1994) *Chirurgie des Fußes*. Springer, Berlin Heidelberg New York
32. Zwipp H, Rammelt S (2002) Frakturen und Luxationen. In: Wirth CJ, Zichner L (Hrsg) *Orthopädie und orthopädische Chirurgie*, vol 8. Thieme, Stuttgart New York, S 532–618
33. Zwipp H, Gavlik JM, Rammelt S (1999) Operative Therapie der Calcaneusfrakturen. In: Moorahrennd U (Hrsg) *Funktionelle Behandlung ausgesuchter Verletzungen der unteren Extremität*, vol 5. Sympomed, München, S 27–37
34. Zwipp H, Rammelt S, Grass R (2001) Komplextrauma des Fußes. *Trauma Berufskrankh [Suppl 2]* 3: 221–229