

Infektpseudarthrosen

Wann werden wir aktiv?

Hintergrund

Trotz der Fortschritte in der operativen Behandlung von Frakturen der langen Röhrenknochen durch gewebeschonende Operationstechniken und anatomische Implantate muss mit einer ausbleibenden Knochenheilung in Risikogruppen in bis zu 30% der Fälle gerechnet werden. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. Neben Instabilität und Defektsituationen gilt die Infektion als ein wesentlicher Faktor für die Ausbildung von Pseudarthrosen. Dabei ist das klinische Erscheinungsbild sehr vielfältig und reicht von der schmerzfreien Funktion bis hin zum septischen Krankheitsbild [15, 17, 25, 26, 36, 41, 43, 62, 72]. Die Herausforderung besteht darin, eine Infektion als Ursache für die ausbleibende knöchernen Konsolidierung zu detektieren und zu sanieren, um sowohl die Heilung des Infekts als auch des Knochens zu erreichen. Aufgrund der langwierigen Therapie ist die frühzeitige Identifikation der Problematik Voraussetzung für eine definitive Versorgung.

Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung der verschiedenen Optionen zur Diagnostik und Therapie der Infektpseudarthrose an langen Röhrenknochen und der Stellung der Indikation einzelner Therapieverfahren.

Definition/Klassifikation

Von einer Pseudarthrose wird im allgemeinen Sprachgebrauch ausgegangen,

wenn es in einem Zeitraum von 6 bis 12 Monaten nach einer Frakturversorgung nicht zur knöchernen Konsolidierung kommt. Die Infektpseudarthrose ist zusätzlich durch eine chronische Osteomyelitis im Bereich der Pseudarthrose gekennzeichnet [10, 25, 51, 58, 76].

Die Klassifikation von Pseudarthrosen kann anhand des klinischen Erscheinungsbildes nach Weber u. Cech [71], nach radiologischen Kriterien, nach dem Ausmaß des Knochendefekts (Paley-Klassifikation, [46]) und nach dem Infektstatus (Cierny/Mader-Klassifikation, [12]) erfolgen [5, 19, 47, 52, 62, 63]. Auch neuere Scoresysteme wurden publiziert, um die Therapie besser differenzieren und die Prognose abschätzen zu können. Allerdings finden sie in der Praxis bisher wenig Anwendung [8, 31].

Epidemiologie

Die Pseudarthrosenrate an langen Röhrenknochen wird mit bis zu 48% angegeben [5, 7, 15, 25, 29, 43, 60, 62, 72], die der Infektpseudarthrose mit bis zu 15% [41, 47, 74]. Am häufigsten ist die Problematik der fehlenden Konsolidierung an der Tibia zu beobachten, gefolgt von Femur und Humerus.

Im eigenen Patientenkollektiv wurde von Hackl et al. (pers. Mitteilung) in einer retrospektiven Analyse von 143 Tibiapseudarthrosen in 23% (n=33) ein positiver bakteriologischer Befund nachgewiesen. Führend wurde *Staphylococcus*

aureus in über 3/4 der Fälle isoliert. Als Parameter mit signifikanter Differenz zwischen beiden Gruppen erwies sich der CRP-Wert (CRP: C-reaktives Protein) mit einem Durchschnitt von 30 mg/l (3 mg/dl) bei den von einer Infektion betroffenen Patienten im Vergleich zu 60 mg/l (6 mg/dl) in der Gruppe mit aseptischer Pseudarthrose ($p < 0,05$). Durch Resektion der Pseudarthrose, testgerechte Antibiotikatherapie über 6 Wochen und eine stabile Osteosynthese konnten alle Pseudarthrosen zur Ausheilung gebracht werden (Hackl, pers. Mitteilung).

Eine wesentliche Ursache für die Häufung an der Tibia dürften die limitierte Weichteildeckung und die relativ schlechte Perfusion in dieser Region sein.

Die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung einer Infektpseudarthrose ist u. a. mit offenen Frakturen, langer Operationsdauer, unzureichender Immunkompetenz und der Durchblutungssituation assoziiert [5, 7, 15, 24, 25, 43, 52, 56, 62, 76]. Eine Infektpseudarthrose liegt vor, wenn neben der fehlenden Konsolidierung des Knochens eine bakterielle Infektion vorhanden ist.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie es zu einer Kontamination im Frakturbereich kommen kann, die dann zu einer manifesten Infektion führt. Bei offenen Frakturen scheint diese Frage einfach zu beantworten zu sein, da man davon ausgehen kann, dass durch die Durchtrennung des schützenden Weichteilmantels Bakterien aus der Um-

gebung in die Knochenwunde eindringen können. Aber dennoch kommt es nicht bei jeder offenen Fraktur zu einer Infektion! Führt man eine primär geschlossene Fraktur einer operativen Behandlung zu, wird diese in eine offene Fraktur überführt. Zwar ist die Kontamination unter sterilen Bedingungen gering, aber durch die Manipulation und Gewebetraumatisierung während der Operation können Voraussetzungen geschaffen werden, die die Entwicklung einer Infektion begünstigen. Hierzu gehören neben der Gewebetraumatisierung die Dauer der Operation und letztendlich meist die Implantation eines großen Fremdkörpers (Implantat). Wird eine kritische Anzahl an Bakterien im Situs überschritten, ist die körpereigene Immunabwehr nicht mehr in der Lage, die Erreger erfolgreich zu phagozytieren, und die Bakterien können sich auf der Oberfläche des Implantats absiedeln und aus der planktonischen in die sessile Form übergehen (Biofilm) [14]. Damit ist die Kaskade der sog. frustranen Phagozytose [68] in Gang gesetzt, und es resultiert das klinische Bild der implantatassoziierten Infektion [67, 68, 69, 70]. Findet dieser Prozess im Frakturspalt statt, wird die Konsolidierung verhindert, und es liegt eine Infektpseudarthrose vor.

Erreger. Den typischen Erreger im Falle einer Infektpseudarthrose gibt es nicht, auch wenn bei implantatassoziierten Infektionen besonders häufig multiresistenter *Staphylococcus epidermidis* (MRSE) nachgewiesen werden. Auch *Staphylococcus aureus*, Pseudomonaden und teilweise auch gramnegative Erreger können Ursache der Infektion sein [4, 7, 10, 48, 53, 74]. Klinisch sind Infektionen mit MRSE häufig eher inapparent und zeigen eine geringe entzündliche Reaktion, oft über Jahre. Nicht selten gelingt die Eradikation des Erregers nicht. Trotz Resektion und Implantatwechsel oder -entfernung ist eine Persistenz der Bakterien möglich, sodass im klinischen Alltag nicht immer von einer Heilung der Infektion, sondern eher von einer Infektberuhigung ausgegangen werden muss [23, 55].

Diagnostik

Bildgebung

Primär ist die konventionelle Radiografie die Methode der Wahl, um die Konsolidierung einer Fraktur zu beurteilen.

Bei komplexem Frakturverlauf und eingeschränkter Beurteilbarkeit durch Implantate ist die CT-Diagnostik (CT: Computertomografie) das Verfahren der Wahl. Allerdings kann auch mit ihr eine Infektion der Pseudarthrose nicht nachgewiesen werden. Die Identifikation von Sequestern jedoch ist als Hinweis auf eine Infektion anzusehen, wenn die klinische Situation ebenfalls für eine solche spricht [23, 62].

Die nuklearmedizinischen Verfahren stellen hervorragende Methoden zum Ausschluss von Pseudarthrosen und Infektionen dar, aber lediglich die PET-CT (PET: Positronenemissionstomografie) hat den Vorteil, dass neben der exakten Lokalisation des Fokus semiquantitativ auch ein Hinweis auf das Vorhandensein einer Infektion am Knochen erhalten werden kann [42].

Die MRT (Magnetresonanztomografie) eignet sich ebenfalls zur Darstellung einer vermehrten Wasseraufnahme im Gewebe und besonders zur Beurteilung der umliegenden Weichteile, durch Implantate ist ihre Interpretation jedoch erschwert.

Die Sonografie spielt für die Diagnostik einer Infektpseudarthrose im klinischen Alltag keine Rolle.

Histologie

Die definitive Diagnose der Infektpseudarthrose kann erst mit dem histologischen Nachweis der Infektion und des Erregers gestellt werden [32], wofür die Entnahme von repräsentativen Gewebeproben unabdingbar ist. Mit der Untersuchung von Bohrmehl, z. B. beim Wechsel eines Marknagels, ist dieser Nachweis nicht immer möglich, falls die Region der Pseudarthrose nicht dezidiert dargestellt wird.

Weitere Parameter/ Diagnosestellung

Laborparameter helfen bei der Diagnosestellung nur bedingt weiter, da keiner spezifisch für eine Infektpseudarthrose ist. Im klinischen Alltag etablierte sich die Veränderung der CRP-Werte über die Zeit als zur Verlaufsbeurteilung praktikabel [6].

In seltenen Fällen kann das klinische Bild der Infektpseudarthrose auch durch eine Implantatallergie vorgetäuscht werden, wobei bisher nicht geklärt ist, ob die immunologische Reaktion auf das Implantat Ursache oder Wirkung eines Infektgeschehens darstellen kann [64].

Somit ergibt sich bei fehlender knöcherner Konsolidierung in einem Zeitraum länger als etwa 6 Monate nach der Frakturversorgung, Schmerzen, klinischen Infektzeichen, CRP-Erhöhung und dem Nachweis einer Infektion in der Histologie mit Erregernachweis die Diagnose einer Infektpseudarthrose.

Begleiterkrankungen

Die Genese von Infektpseudarthrosen, deren Behandlung und der Erfolg der Therapie werden wesentlich von den Begleitumständen des Patienten mit bestimmt. Neben den nicht beeinflussbaren Größen wie Unfallgeschehen, Alter und Art der Verletzung haben Faktoren wie Übergewicht (und die damit assoziierten Erkrankungen!), Nikotinkonsum, Alkoholkonsum, soziales Umfeld und psychische Variationen einen wesentlichen Effekt auf die Entstehung, die Therapie und den Erfolg der Behandlung von Infektpseudarthrosen.

Da die Immunkompetenz des Gewebes wesentlich durch die Qualität der Gewebedurchblutung bestimmt wird und auch die Knochen- und Gewebeheilung von ihr abhängen, ist die Perfusion des Gewebes der Schlüssel zum Erfolg bei der Prävention und Therapie von Infektpseudarthrosen. Aus diesem Grund ist die Mitbehandlung von Begleiterkrankungen wie Diabetes mellitus, Varikose und Durchblutungsstörungen sowohl bei der primären Frakturbehandlung als auch bei der Sanierung von Infektpseudarthrosen essenziell [5, 15, 21, 23, 43, 49, 52, 54, 62, 65].

Therapie

Behandlungsplan

Aus obigen Überlegungen ergibt sich, dass bei der Behandlung von Infektpseudarthrosen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden müssen.

Neben dem Alter, der Lokalisation, dem vorhandenen Implantat, der Defektgröße und der Weichteilsituation sind die Begleiterkrankungen, der funktionelle Anspruch und die Compliance des Patienten für die Durchführung der oft lang andauernden Behandlung entscheidend [23, 35, 52, 56, 62, 65].

Lokalisation

Generell sind Infektpseudarthrosen an der unteren Extremität für die Lebensqualität des Patienten wesentlich bedeutender als diejenigen an der oberen Extremität. („Auf den Armen läuft man nicht!“) Außerdem ist die Durchblutungssituation an den Beinen, besonders an der distalen Tibia, schlechter als in der Nähe des Körperstamms. Damit sind die Voraussetzungen für Knochenheilung und Infektabwehr in dieser Region eher schlechter.

Sequestrektomie/ Implantatentfernung

Grundprinzip der konsequenten Chirurgie septischer Knochenerkrankungen ist die radikale Resektion/Entfernung von avitalem Gewebe (Sequester, Fremdkörper). Daraus ergibt sich, dass die Behandlung der Infektpseudarthrose die komplette Materialentfernung und die Sequestrektomie beinhaltet. Bei kurzem schräg oder quer verlaufendem Pseudarthrosenspalt bietet sich die Resektion des erkrankten Segments an, sind mehr als 2/3 der Zirkumferenz erhalten, können auch die Resektion eines sequestrierten Biegeungskeils und die anschließende Defektaufüllung erfolgreich sein.

Die Erfahrungen und Berichte über ein-, zwei- oder mehrzeitiges Vorgehen spiegeln ein heterogenes Bild der aktuellen Behandlungsalternativen wider [10, 15, 23, 44, 48, 58, 60, 62, 63]. Unter Berücksichtigung der pathophysiologischen Erkenntnisse über Biofilmbildung, Resis-

Trauma Berufskrankh 2014 · 16[Suppl 4]:444–451 DOI 10.1007/s10039-014-2087-1
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

M. Militz · S. Hackl · S. Hungerer · M. Öhlbauer · V. Bühren
Infektpseudarthrosen. Wann werden wir aktiv?

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Infektpseudarthrose nach operativer Frakturbehandlung langer Röhrenknochen stellt auch im Zeitalter moderner Osteosyntheseverfahren eine Herausforderung für den Patienten, den Operateur, den Kostenträger, die Industrie und schließlich die Gesellschaft dar.

Therapie. Die Entscheidung zur Therapie beginnt mit der Diagnose bei klinischen Beschwerden und Funktionsdefizit. Chirurgisch stehen die radikale Resektion, Sequestrektomie und Entfernung aller Fremdkörper mit anschließender Rekonstruktion und Stabilisierung des Knochens im Vordergrund. Parallel müssen Komorbiditäten abgeklärt

und die antibiotische Therapie und plastische Deckung eines möglichen Weichteildefekts geplant und vorgenommen werden. Für die Wahl des Rekonstruktionsverfahrens sind u. a. die Lokalisation, die Größe des Defekts, das Erregerspektrum, das Alter und der Wunsch des Patienten maßgebend. In der rationalen und emotionalen Beurteilung der Situation ist gemeinsam mit dem Patienten ein interdisziplinärer Behandlungsplan zu erarbeiten.

Schlüsselwörter

Knocheninfekt · Pseudarthrose · Osteitis · Infektsanierung · Rekonstruktion

Infectious pseudarthrosis. When do we become active?

Abstract

Background. Even in the era of modern osteosynthetic procedures, infectious pseudarthrosis following surgical treatment of fractures of long bones represents a challenge for patients, surgeons, insurance companies, industry and ultimately society as a whole.

Therapy. The decision on therapy begins with the diagnosis of clinical complaints and functional deficits. The main aspects of surgical treatment are radical resection, sequestrectomy and removal of all foreign bodies with subsequent reconstruction and stabilization of the bone. In parallel to this, comorbidities, antibiotic therapy and plastic surgery

coverage of a possible soft tissue defect must be planned and prepared for. For the selection of the reconstruction procedure, the localization, the size of the defect, the spectrum of pathogens, age and desire of the patient are decisive. In the rational and emotional assessment of the situation, an interdisciplinary treatment plan must be developed together with the patient.

Keywords

Bone diseases, infectious · Pseudarthrosis · Osteitis · Infection cleansing · Reconstruction

tenzbildung und multifaktorielle Ursachen von Infektpseudarthrosen erscheint nach unserer klinischen Tätigkeit das mehrzeitige, individuelle Behandlungskonzept mit konsequenter Sequestrektomie, Implantatentfernung und anschließender Rekonstruktion der Weichteile und der knöchernen Strukturen als Verfahren der Wahl.

Eine besondere Herausforderung stellen Infektpseudarthrosen im metaphysären Bereich dar, da hier oft das benachbarte Gelenk am Infektgeschehen beteiligt ist und die Sanierung des Gelenkinfekts eine Erweiterung der therapeutischen Überlegungen beinhaltet.

Stabilisierung

Die Stabilität der Osteosynthese ist *eine* Voraussetzung für die erfolgreiche Konsolidierung einer Fraktur. Neben den internen Osteosyntheseverfahren kann diese auch durch den Fixateur externe oder eine Gipsanpassung erreicht werden [10, 15, 47, 57, 62]. Bei primärer Plattenosteosynthese bietet sich nach Metallentfernung und Resektion der Pseudarthrose die temporäre Stabilisierung mit Gips an, um die endostale Perfusion nicht weiter zu kompromittieren. Nach der Implantatentfernung können die bildgebende Diagnostik und ggf. Optimierung der Durchblutungssituation für die Planung der plastischen Deckung genutzt werden. Vorhandene Weichteildefekte werden sehr vorteilhaft

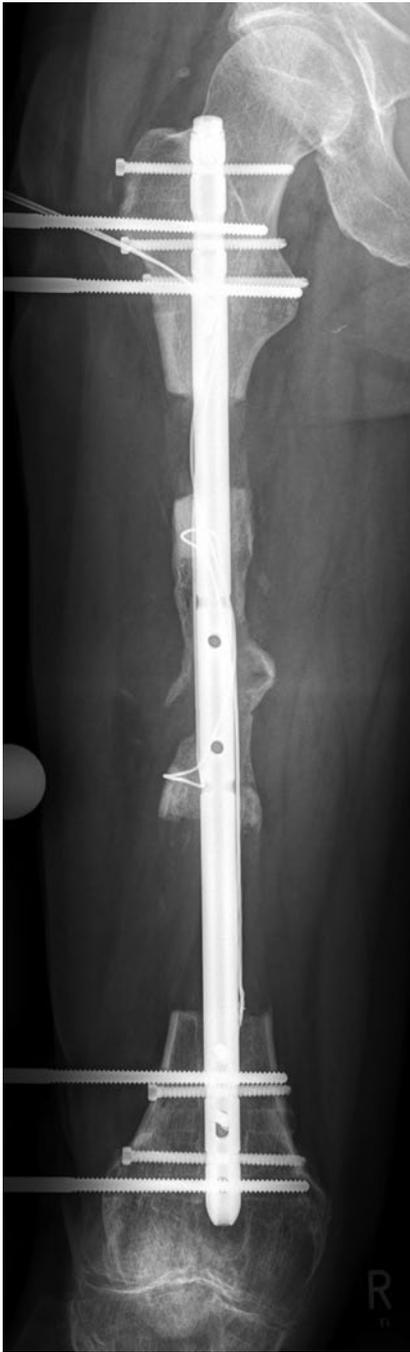


Abb. 1 ▲ Custom-made-Marknagel zur Rekonstruktion bei Femurdefekt nach Infektpseudarthrose

und komfortabel mit der Vakuumversiegelung temporär gedeckt. Im Zuge der Weichteildeckung sind die erneute Osteosynthese und Defektfüllung möglich.

Lediglich am Femur ist die Stabilisierung mit einem Gips nicht ausreichend und für den Patienten belastend. Daraus folgt, dass nach Pseudarthrosenresektion

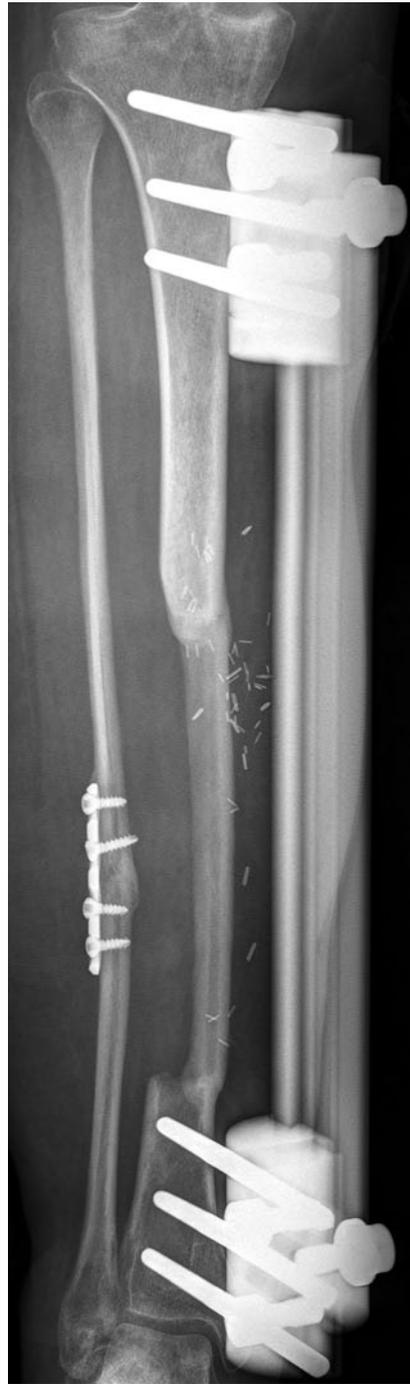


Abb. 2 ▲ Freier Fibulatransfer bei einer Defektstrecke von 18 cm an der Tibia 1,5 Jahre nach Transplantation

und Implantatentfernung zur Eradikation und Identifikation des Erregers bei ausreichender Durchblutung und Weichteildeckung die erneute Stabilisierung, möglichst mit einem Marknagel, vorgenommen werden kann. Neben der Osteosynthese mit Fixateur externe besteht auch die Möglichkeit des Implantatwechsels

zur Erhaltung der Stabilität bei gleichzeitiger Infekteradikation ohne zusätzliche Kompromittierung der periostalen Perfusion [10, 48].

Osteosynthese

Das universelle Implantat zur Erlangung einer ausreichenden Stabilität und für die oft langwierige Behandlung der Infektpseudarthrose ist der Fixateur externe in allen seinen Facetten [1, 4, 11, 21, 22, 25, 28, 33, 37, 38, 41, 44, 47, 51, 52, 54, 59, 62, 74, 79]. Allerdings sind die Nachteile des Verfahrens, wie mangelnder Komfort, Verlegung des Markraums und Behinderung des Zugangs für die Weichteildeckung im Therapiekonzept zu berücksichtigen. Unschlagbar ist der Fixateur externe bisher als Instrument zur Rekonstruktion von knöchernen Defekten an langen Röhrenknochen mittels Segmenttransport und Kallusdistraktion. Von der primären Verkürzung nach der Resektion über den Segmenttransport bis hin zur sekundären Verlängerung und Achskorrektur sind alle Verfahren umsetzbar.

Bei knöchernen Defekten bis etwa 3 cm kann neben der Defektauffüllung mit Spongiosa auch die Verkürzung in Betracht gezogen werden, da dadurch die Weichteilsituation mitunter entspannt wird. In diesen Fällen stellt der Marknagel das ideale Implantat dar. Voraussetzungen sind eine ausreichende knöcherne Substanz zu dessen Verriegelung und die sichere Infekteradikation [48]. Beim Segmenttransport bei einliegendem Marknagel sind die Verankerungsmöglichkeiten des Transportsystems in der Kortikalis beschränkt. Die Verwendung von Custom-made-Marknägeln ist zu empfehlen, da durch zusätzliche Schrauben die Stabilität erhöht und im mittleren Bereich die Fixierung der Transportsegmente zum Docking optimiert werden können (■ Abb. 1).

Resultiert nach der Infekteradikation ein Weichteildefekt, der einer plastischen Deckung zugeführt werden muss, bietet sich besonders im metaphysären Bereich vorher die Osteosynthese mit vorzugsweise winkelstabilen Platten an. Der Vorteil ist im Komfort für den Patienten durch einen sog. Fixateur interne zu sehen, der durch die winkelstabilen Schrauben in der



Abb. 3 ▲ Defektauffüllung am Pilon mit osteomyofasziokutanem Paraskapularlappen

Platte die Vorteile der stabilen Fixierung bei gleichzeitig fehlender externer Weichteilkompromittierung bietet. Segmenttransport bzw. Kallusdistraction sind mit ihm jedoch nicht möglich.

Alter

Die Behandlungsstrategie hängt jenseits der 6. Lebensdekade auch vom Alter des Patienten ab. Neben der langen Behandlungsdauer bei erhöhter Komorbidität ist eine geringere Erfolgsaussicht der Knochenregeneration nach Segmenttransport ab dem 65. Lebensjahr zu erwarten. Um möglichst rasch eine altersentsprechende Funktionalität zu erreichen, ist die Indikation für Verkürzungen, Arthrodesen oder Gelenkersatz in dieser Altersgruppe weiter zu stellen.

Knochendefektrekonstruktion

Ziel der Rekonstruktion von resezierten Knochendefekten sollte die Wiederherstellung eines vitalen Röhrenknochens zur Erhaltung der Funktion und Stabilität sein.

Durch die Auffüllung von Knochendefekten mit autologer Spongiosa wird zwar biologisch aktives Gewebe in den Defekt verpflanzt, das Remodelling hin zu einem Röhrenknochen kann jedoch mehrere Jahre in Anspruch nehmen. Je größer das Volumen der Spongiosa, desto länger dau-

ert die Erschließung der Partikel für die lokale Perfusion. Außerdem geht die Entnahme von Spongiosa immer mit einem Morbiditätsrisiko für die Entnahmestelle einher. Dennoch ist die Spongiosaplastik für die Auffüllung von kleinen (Partial-)Defekten aus oben genannten Gründen ein geeignetes Verfahren.

In ähnlicher Weise wird bei der Masquelet-Technik [39] verfahren, bei der das Knochendefektlager nach der Resektion des infizierten Knochens mit einem Zementplatzhalter aufgefüllt wird. Dadurch kommt es zur Induktion einer Membran, welche als Transplantatlager für die nach etwa 6 bis 16 Wochen zu transplantierende Spongiosa dient. Die Osteosynthese erfolgt meist mit einer Platte. Es sind Erfolge bei der Knochenrekonstruktion beschrieben [13, 20, 30, 61, 73, 78], die eigenen Erfahrungen konnten bisher nicht überzeugen.

Den Goldstandard für die Rekonstruktion von Defekten an langen Röhrenknochen stellt weiterhin der Segmenttransport nach dem Prinzip der Kallusdistraction dar. Unter Berücksichtigung des operativen Aufwands, des Patientenkomforts und der Alternativen bietet sich dieses Verfahren ab einer Defektlänge von etwa 3 cm an. Während bis zu einer Länge von etwa 5 cm der Transport über einen Ring am Ringfixateur oder mit dem Monorail-Fixateur umgesetzt werden kann, sollten bei größeren Distanzen ein Seilzugmechanismus oder bifokaler Transport angestrebt werden, um die Kompromittierung der Weichteile zu limitieren. Bei isolierten diaphysären Defekten kann der Transport auch mit einem temporären Fixateur externe über den liegenden Marknagel vorgenommen werden [1, 10, 11, 18, 33, 35, 38, 44, 47, 50, 58, 60, 62, 75].

Bei unzureichender lokaler Weichteilsituation und Knochendefekt bietet sich der freie Gewebettransfer zur Defektrekonstruktion an. Vorteil dieses Verfahrens ist die zeitnahe Rekonstruktion des Defekts mit vaskularisiertem Knochen. Ein Nachteil ist jedoch in der limitierten Dimension der verfügbaren Spenderknochen (Fibula, Skapularand usw.) zu sehen, die eine funktionelle Nutzung oft erst nach Jahren erlaubt (■ **Abb. 2**). Für die Überbrückung von (Partial-)Defekten bis etwa 8 cm ist die Methode hervorragend geeig-

net, setzt aber eine intensive und harmonische interdisziplinäre Kooperation voraus. Der vaskularisierte Knochentransfer reicht von lokal gestielten Fibulaanteilen über freie osteomyokutane Lappen (paraskapular) bis zum freien Fibulatransfer. Dadurch wird in einer Sitzung die Defektauffüllung mit *vitale*m und *Knochengewebe* erreicht. Trotz der genannten Vorteile muss berücksichtigt werden, dass die Fibula erst durch Hypertrophie nach mehreren Monaten/Jahren die für große Röhrenknochen erforderliche mechanische Stabilität erreicht, sodass in diesen Zeitraum weiterhin eine zusätzliche Stabilisierung erforderlich ist [2, 9, 24, 56, 66, 76, 77]. Auch der Quertransport der vaskularisierten ipsilateralen Fibula zur Defektauffüllung an der Tibia wurde beschrieben [3].

Totraummanagement

Kann bei der Sequestrektomie im metaphysären Bereich die Kortikalis erhalten werden, verbleiben oft große Kavitäten. Diese wieder mit vitalem Gewebe zu füllen, stellt weiterhin eine der Herausforderungen in der septischen Chirurgie dar.

Während die Defektfüllung mit vitalem Knochen- oder Muskelgewebe größeren Volumina vorbehalten bleibt und besonders in Kombination mit der plastischen Weichteildefektdeckung Vorteile bietet (■ **Abb. 3**), stehen eine Vielzahl von Präparaten zur Verfügung, welche die Knochenregeneration anregen sollen. Da es sich dabei um avitale Materialien handelt, liegt ein Schwerpunkt auch in der gleichzeitigen Applikation von Antibiotika, um ein Infektrezidiv zu vermeiden. Trotz zahlreicher Publikationen und teilweise guter Resultate kann eine Evidenz für diese Methoden bisher nicht nachgewiesen werden [11, 16, 17, 27, 34, 40, 43, 62, 72].

Implantatwechsel

Wie bereits erwähnt, ist bei symptomatischen Infektseptidarthrosen neben der Instabilität immer von einer chronischen Osteomyelitis im umgebenden Knochengewebe auszugehen. Bei einliegendem Implantat kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit angenommen



Abb. 4 ▲ Pseudarthrose (a) mit Infekt (b) nach Sequestrektomie und 4-maligem Marknagelwechsel (c) zur Infektsanierung; Ausheilung nach 2 Jahren mit 3 cm Beinverkürzung und freier Funktion (d)

werden, dass dieses kontaminiert und mit einem Biofilm behaftet ist. Bei der konsequenten Sequestrektomie als wesentlicher chirurgischer Maßnahme der Infekteradikation ist die Entfernung aller Implantate zwingender Bestandteil des chirurgischen Konzepts. Damit stellt sich die Frage, welches Osteosyntheseverfahren bei weiterhin bestehender Instabilität indiziert ist. Zur definitiven Infektsanierung und Prävention sollte aus oben genannten Gründen auf den Einsatz eines internen Verfahrens möglichst verzichtet werden. Bei einem zwei- oder mehrzeitigem Vorgehen bietet sich bis auf eine Instabilität am Femur vorübergehend die Immobilisierung mit einem Cast an. Zur endgültigen Versorgung ist die Stabilisierung mit einem Fixateur externe zu empfehlen, da mit diesem Verfahren alle Möglichkeiten der Therapie und Rekonstruktion umgesetzt werden können. Allerdings besteht der wesentliche und erhebliche Nachteil im fehlenden Komfort für den Patienten, der Behinderung der Bildgebung sowie verfahrenimmanenten Komplikationen. Des Weiteren ist bei der Therapieplanung zu berücksichtigen, ob durch einen Verfahrenswechsel eine zusätzliche Traumatisierung des Gewebes resultiert und

damit der Vorteil des neuen Verfahrens durch die aus dem Wechsel erwachsenen Nachteile aufgehoben wird. Bei internen Osteosyntheseverfahren sollte zur definitiven Implantation ein keimnegativer Situs vorliegen.

Da eine suffiziente Stabilisierung des Femurs weder durch Cast noch durch Fixateur externe zu erreichen ist, stellt der Marknagel das ideale Implantat für die Stabilisierung dar. Zur Reduktion der Erreger wird im Fall einer Infektpseudarthrose der Markraum debridiert, sequestrektomiert und nach Jet Lavage und Tisch- und Instrumentenwechsel ein neues Implantat in exakt der gleichen Position (keine zusätzliche Traumatisierung) eingesetzt. Zusätzlich zur systemischen Antibiotikatherapie werden lokal wirksame Antibiotikaträger in maximaler Dosierung appliziert [60].

Bei geplanter Revision ist das Prozedere identisch, bei negativem Keimnachweis erfolgt die definitive Versorgung mit einem neuen Implantat, welches nun neu positioniert wird, um eine möglichst hohe Stabilität zu erreichen. Auch bei diesem Vorgehen werden lokale Antibiotikaträger appliziert.

Mit diesem konsequenten chirurgischen Vorgehen konnte in etwa 90% des eigenen Kollektivs die Eradikation des Infekts unter Erhalt der Mobilität und des primär gewählten Osteosyntheseverfahrens erreicht werden (■ Abb. 4).

Knochenregeneration

Neben der Anwendung von Knochenwachstumsfaktoren als invasive Methode kommen niederenergetisch gepulster Ultraschall, extrakorporale Stoßwellenbehandlung (ESWT) und Magnetfeldtherapie (PEMF: pulsierende elektromagnetische Felder) als nichtinvasive Verfahren zur Anwendung [62]. Die Erfahrungen zeigen, dass auch hier der wesentliche Faktor für eine erfolgreiche Anwendung die gelungene Infekteradikation darstellt.

Immer zahlreicher kommen sog. Knochenersatzstoffe auf den Markt, wobei in Anwendungsstudien usw. teilweise beeindruckende Ergebnisse erzielt werden, eine Evidenz jedoch bisher für kein Verfahren angegeben werden kann. Oft werden den Knochenersatzstoffen Antibiotika beigemischt und damit neue Medizinprodukte hergestellt, deren Wirkung nicht deklariert werden kann. Lediglich bei der

PEMF-Behandlung wurden in experimentellen Studien auch antimikrobielle Wirkungen beschrieben [45].

Indikation zur operativen Behandlung einer Infekt pseudarthrose

Liegen eine funktionelle Beeinträchtigung des Patienten durch die Pseudarthrose, Schmerzen und/oder klinisch eine aktive Infektion vor, ist die operative Revision als Therapie der Wahl anzusehen. Da das klinische Erscheinungsbild sehr vielfältig sein kann und die individuellen Faktoren des Patienten berücksichtigt werden müssen, sollten primär die Anamnese und die aktuelle Situation genau analysiert werden. Vor der Planung chirurgischer Maßnahmen sollten evtl. vorhandene Begleiterkrankungen optimiert und der Umfang der möglichen Therapiemaßnahmen realistisch mit dem Patienten besprochen werden. Neben der Eradikation der Infektion durch Sequestrektomie und Implantatentfernung sind die Möglichkeiten der Wiedererlangung einer ausreichenden knöchernen Stabilität durch Resektion und Verkürzung oder Knochenrekonstruktion bis hin zur Amputation in Erwägung zu ziehen.

Bei kritischer Weichteilsituation ist die enge Kooperation mit den plastischen Chirurgen ebenso unabdingbar wie die testgerechte Antibiotikatherapie.

Für die Osteosynthese kommen bei langen Röhrenknochen der Fixateur externe als universellstes Implantat, aber auch der Marknagel oder winkelstabile Plattenosteosynthesen in geeigneten Situationen in Frage. Die Möglichkeiten zur Defektauffüllung sind vielfältig, bei zirkulären Defekten >3 cm bietet sich die Verkürzung, darüber hinaus der Segmenttransport zur Knochenrekonstruktion an. Semizirkuläre Defekte können mit Spongiosaplastik, Knochenersatzmaterialien oder auch vaskularisiertem Knochen-transfer überbrückt werden.

Fazit für die Praxis

- Infekt pseudarthrosen an langen Röhrenknochen stellen weiterhin eine

Herausforderung für Patienten, Chirurgen und Kostenträger dar.

- Zur Vermeidung von chronischen Verläufen ist das frühzeitige konsequente Management durch radikale Chirurgie und Antibiotikatherapie unter Berücksichtigung der individuellen patienteneigenen Faktoren erforderlich.
- Die Komplexität des Krankheitsbildes erfordert die enge interdisziplinäre Abstimmung der Therapie.
- Durch strenge Indikationsstellung, Berücksichtigung von Risikofaktoren, strikte Hygienemaßnahmen und schonende Operationstechnik kann die Inzidenz von Infekt pseudarthrosen gesenkt werden.

Korrespondenzadresse

Dr. M. Miltz

Abteilung für Septische und Rekonstruktive Chirurgie, BG-Unfallklinik Murnau, Professor-Küntscher-Straße 8, 82418 Murnau
Matthias.Miltz@bgu-murnau.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Miltz, S. Hackl, S. Hungerer, M. Öhlbauer und V. Bühnen geben 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. Abdel-Aal AM (2006) Ilizarov bone transport for massive tibial bone defects. *Orthopedics* 29:70–74
2. Amr SM, El-Mofty AO, Amin SN (2002) Anterior versus posterior approach in reconstruction of infected nonunion of the tibia using the vascularized fibular graft: potentialities and limitations. *Microsurgery* 22:91–107
3. Atkins RM, Madhavan P, Sudhakar J, Whitwell D (1999) Ipsilateral vascularised fibular transport for massive defects of the tibia. *J Bone Joint Surg Br* 81:1035–1040
4. Barbarossa V, Matkovic BR, Vucic N et al (2001) Treatment of osteomyelitis and infected nonunion of the femur by a modified Ilizarov technique: follow-up study. *Croat Med J* 42:634–641
5. Beickert R, Hierholzer C, Buehren V (2006) Diaphysäre Humeruspseudarthrosen. *Trauma Berufskrankh* 8:169–176
6. Bishop JA, Palanca AA, Bellino MJ, Lowenberg DW (2012) Assessment of compromised fracture healing. *J Am Acad Orthop Surg* 20:273–282

7. Blum AL, BoniogVanni JC, Morgan SJ et al (2010) Complications associated with distraction osteogenesis for infected nonunion of the femoral shaft in the presence of a bone defect: a retrospective series. *J Bone Joint Surg Br* 92:565–570
8. Calori GM, Philipps M, Jeetle S et al (2008) Classification of non-union: need for a new scoring system? *Injury [Suppl 2]* 39:S59–S63
9. Chang MC, Low WH, Chen CM, Chen TH (1999) Treatment of large skeletal defects in the lower extremities using double-strut, free vascularized fibular bone grafting. *Orthopedics* 22:739–744
10. Chen CE, Ko Jy, Wang JW, Wang JC (2003) Infection after intramedullary nailing of the femur. *J Trauma* 55:338–344
11. Chen CE, Ko JY, Pan CC (2005) Results of vancomycin-impregnated cancellous bone grafting for infected tibial nonunion. *Arch Orthop Trauma Surg* 125:369–375
12. Cierny G III, Mader JT, Penninck JJ (2003) A clinical staging system for adult osteomyelitis. *Clin Orthop Relat Res* 414:7–24
13. Flamans B, Pauchot J, Petite H et al (2010) [Use of the induced membrane technique for the treatment of bone defects in the hand or wrist, in emergency]. *Chir Main* 29(5):307–314
14. Frommelt L (2006) Principles of systemic antimicrobial therapy in foreign material associated infection in bone tissue, with special focus on periprosthetic infection. *Injury [Suppl 2]* 37:S87–S94
15. Gerlach UJ, Schmidt HGK, Fuchs S et al (2002) Pseudarthrosen und Infektionen proximaler Oberschenkel. *Trauma Berufskrankh* 4:482–486
16. Giannoudis PV, Einhorn TA, Schmidmaier G, Marsh D (2008) The diamond concept – open questions. *Injury [Suppl 2]* 39:S5–S8
17. Giannoudis PV, Jones E, Einhorn TA (2011) Fracture healing and bone repair. *Injury* 42:549–550
18. Giannoudis PV, Calori GM, Begue T, Schmidmaier G (2013) Bone regeneration strategies: current trends but what the future holds? *Injury [Suppl 1]* 44:S1–S2
19. Gonschorek O, Mückley T, Trapp O, Josten C (2005) Pseudarthrosen an Femur und Tibia. *Trauma Berufskrankh* 7:258–265
20. Gouron R, Deroussen F, Juvet M et al (2011) Early resection of congenital pseudarthrosis of the tibia and successful reconstruction using the Masquelet technique. *J Bone Joint Surg Br* 93:552–554
21. Gualdrini G, Pascarella R, Colozza A, Stagni C (2000) Infected nonunion of the humerus. *Chir Organi Mov* 85:251–255
22. Gualdrini G, Stagni C, Fravisini M, Giunti A (2002) Infected nonunion of the femur. *Chir Organi Mov* 87:225–233
23. Heppert V, Wagner C, Scherf K, Wentzensen A (2005) Infekt-/Defekt pseudarthrose. *Trauma Berufskrankh* 7:110–119
24. Hou SM, Liu TK (1992) Reconstruction of skeletal defects in the femur with 'two-strut' free vascularized fibular grafts. *J Trauma* 33:840–845
25. Jain AK, Sinha S (2005) Infected nonunion of the long bones. *Clin Orthop Relat Res* 431:57–65
26. Johnson KD (1987) Management of malunion and nonunion of the tibia. *Orthop Clin North Am* 18:157–171
27. Julka A, Ozer K (2013) Infected nonunion of the upper extremity. *J Hand Surg Am* 38:2244–2246
28. Kaminski A, Muhr G (2008) Pseudarthrosen. *Orthop Unfall Up2date* 3:41–56
29. Kiran M, Jee R (2010) Ilizarov's method for treatment of nonunion of diaphyseal fractures of the humerus. *Indian J Orthop* 44:444–447

30. Klauke K, Knothe U, Anton C et al (2009) Bone regeneration in long-bone defects: tissue compartmentalisation? In vivo study on bone defects in sheep. *Injury [Suppl 4]* 40:S95–102
31. Kooistra BW, Dijkman BG, Busse JW et al (2010) The radiographic union scale in tibial fractures: reliability and validity. *J Orthop Trauma [Suppl 1]* 24:S81–S86
32. Krenn V (2011) Orthopedic pathology. *Pathologie* 32:181–182
33. Krishnan A, Pamecha C, Patwa JJ (2006) Modified Ilizarov technique for infected nonunion of the femur: the principle of distraction-compression osteogenesis. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 14:265–272
34. Kundu ZS, Gupta V, Wangwan SS, Kamboi P (2012) Gap nonunion of tibia treated by Huntington's procedure. *Indian J Orthop* 46:653–658
35. Kutscha-Lissberg F, Hebler U, Kälicke T, Arnes S (2004) Prinzipien chirurgischer Therapiekonzepte der postoperativen und chronischen Osteomyelitis. *Orthopäde* 33:439–454
36. Liu T, Liu Z, Ling L, Zhang X (2013) Infected forearm nonunion treated by bone transport after debridement. *BMC Musculoskelet Disord* 14:273
37. Lowenberg DW, Feibel RJ, Louie KW, Eshima I (1996) Combined muscle flap and Ilizarov reconstruction for bone and soft tissue defects. *Clin Orthop Relat Res* 332:37–51
38. Maini L, Chadha M, Vishwanath J et al (2000) The Ilizarov method in infected nonunion of fractures. *Injury* 31:509–517
39. Masquelet AC (2003) Muscle reconstruction in reconstructive surgery: soft tissue repair and long bone reconstruction. *Langenbecks Arch Surg* 388:344–346
40. McKee MD, Li-Bland EA, Wild LM, Schemitsch EH (2010) A prospective, randomized clinical trial comparing an antibiotic-impregnated bioabsorbable bone substitute with standard antibiotic-impregnated cement beads in the treatment of chronic osteomyelitis and infected nonunion. *J Orthop Trauma* 24:483–490
41. Megas P, Saridis A, Kouzelis A et al (2010) The treatment of infected nonunion of the tibia following intramedullary nailing by the Ilizarov method. *Injury* 41:294–299
42. Militz M, Weidemann H, La Fourgère C (2012) Positronenemissionstomographie-Computertomographie PET-CT – Indikationen bei Osteitis. *Trauma Berufskrankh* 14:16–20
43. Moghaddam-Alvandi A, Zimmermann G, Büchler A et al (2012) Ergebnisse der Pseudarthrosenbehandlung mit „bone morphogenetic protein 7“ (BMP-7). *Unfallchirurg* 115:518–526
44. Moutsitsi NS (2008) Management of infected nonunion of long bones: the last decade (1996–2006). *Injury* 39:155–160
45. Obermeier A, Matl FD, Friess W, Stemberg A (2009) Growth inhibition of *Staphylococcus aureus* induced by low-frequency electric and electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 30:270–279
46. Paley D, Catagni MA, Argnani F et al (1989) Ilizarov treatment of tibial nonunions with bone loss. *Clin Orthop Relat Res* 241:146–165
47. Patzakis MJ, Zalavras CG (2005) Chronic posttraumatic osteomyelitis and infected nonunion of the tibia: current management concepts. *J Am Acad Orthop Surg* 13:417–427
48. Pommer A, David A, Richter J, Muhr G (1998) Die Markraumböhrung bei infizierten Marknagelosteosynthesen an Tibia und Femur. *Unfallchirurg* 101:628–633
49. Raschke MJ, Gasch A (2012) Verzögerte Frakturheilung. Möglichkeiten des Operateurs. *Trauma Berufskrankh* 14:85–89
50. Ring D, Jupiter JB, Gans BS et al (1999) Infected nonunion of the tibia. *Clin Orthop Relat Res* 369:302–311
51. Rose RE, Palmer WS (2007) The Ilizarov method in infected non-union of long bones. *West Indian Med J* 56:246–251
52. Runkel M, Rommens PM (2000) Pseudoarthrose. *Unfallchirurg* 103:51–63
53. Sangare A, Alwata I, Sidibe S et al (2008) Osteitis at the service of orthopedics and traumatology at the Hopital Gabriel Toure in Bamako. *Mali Med* 23:27–30
54. Saridis A, Panagiotopoulos E, Tyllianakis M et al (2006) The use of the Ilizarov method as a salvage procedure in infected nonunion of the distal femur with bone loss. *J Bone Joint Surg Br* 88:232–237
55. Schmidt HGK, Hadler D, Wurm M, Jürgens C (2003) Therapie der Infekt-/Defekt-Pseudarthrosen der unteren Extremitäten. *Trauma Berufskrankh* 5:5318–5327
56. Schottle PB, Werner CM, Dumont CE (2005) Two-stage reconstruction with free vascularized soft tissue transfer and conventional bone graft for infected nonunions of the tibia: 6 patients followed for 1.5 to 5 years. *Acta Orthop* 76:878–883
57. Selhi HS, Mahindra P, Yamin M et al (2012) Outcome in patients with an infected nonunion of the long bones treated with a reinforced antibiotic bone cement rod. *J Orthop Trauma* 26:184–188
58. Shahcheraghi GH, Bayatpoor A (1994) Infected tibial nonunion. *Can J Surg* 37:209–213
59. Shiha A, Hafez AR, Kenaway M et al (2013) Salvage of complicated diaphyseal femoral fractures by 1-stage open debridement and Ilizarov technique. *Ann Plast Surg* 71:519–521
60. Schroeder JE, Mosheiff R, Khoury A et al (2009) The outcome of closed, intramedullary exchange nailing with reamed insertion in the treatment of femoral shaft nonunions. *J Orthop Trauma* 23:653–657
61. Stafford PR, Norris BL (2010) Reamer-irrigator-aspirator bone graft and bi-Masquelet technique for segmental bone defect nonunions: a review of 25 cases. *Injury [Suppl 2]* 41:S72–S77
62. Steinhausen E, Glombitza M, Böhm H-J et al (2013) Pseudarthrosen. Von der Diagnose bis zur Ausheilung. *Unfallchirurg* 116:633–647
63. Struijs PA, Poolman RW, Bhandari M (2007) Infected nonunion of the long bones. *J Orthop Trauma* 21:507–511
64. Thomas P, Thomas P, Sumner B et al (2011) Impaired wound-healing, local eczema, and chronic inflammation following titanium osteosynthesis in a nickel and cobalt-allergic patient: a case report and review of the literature. *J Bone Joint Surg Am* 93:e61
65. Toh CL, Jupiter JB (1995) The infected nonunion of the tibia. *Clin Orthop Relat Res* 315:176–191
66. Ueng SW, Wei FC, Shih CH (1999) Management of femoral diaphyseal infected nonunion with antibiotic beads local therapy, external skeletal fixation, and staged bone grafting. *J Trauma* 46:97–103
67. Wagner C, Obst U, Hansch GM (2005) Implant-associated posttraumatic osteomyelitis: collateral damage by local host defense? *Int J Artif Organs* 28:1172–1180
68. Wagner C, Hänsch GM, Wentzensen A, Heppert V (2006) Die implantatassoziierte posttraumatische Osteitis. Bakterielle Biofilme und Infektabwehr als Protagonisten der lokalen Entzündungsreaktion. *Unfallchirurg* 109:761–769
69. Wagner C, Zimmermann S, Brenner-Weiss G et al (2007) The quorum-sensing molecule N-3-oxododecanoyl homoserine lactone (3OC12-HSL) enhances the host defence by activating human polymorphonuclear neutrophils (PMN). *Anal Bioanal Chem* 387:481–487
70. Wagner C, Aytac S, Hansch GM (2011) Biofilm growth on implants: bacteria prefer plasma coats. *Int J Artif Organs* 34:811–817
71. Weber BG, Cech O (1973) Pseudarthrosen – Pathophysiologie, Biomechanik, Therapie, Ergebnisse, 1. Aufl. Huber, Bern
72. Wedemeyer C, Peppmüller R, Bredendiek T (2011) Therapieresistente, atrophe und infizierte femorale Pseudarthrose. *Orthopäde* 40:440–443
73. Wong TM, Lau TW, Li X et al (2014) Masquelet technique for treatment of posttraumatic bone defects. *ScientificWorldJournal* 2014:710302
74. Wu CC (2011) Single-stage surgical treatment of infected nonunion of the distal tibia. *J Orthop Trauma* 25:156–161
75. Xu K, Fu X, Li YM et al (2013) A treatment for large defects of the tibia caused by infected nonunion: Ilizarov method with bone segment extension. *Ir J Med Sci Oct 29*. [Epub ahead of print]
76. Yajima H, Tamai S, Mizumoto S, Inada Y (1993) Vascularized fibular grafts in the treatment of osteomyelitis and infected nonunion. *Clin Orthop Relat Res* 293:256–264
77. Yajima H, Tamai S, Mizumoto S, Ono H (1993) Vascularized fibular grafts for reconstruction of the femur. *J Bone Joint Surg Br* 75:123–128
78. Yin Q, Sun Z, Gu S (2013) [Progress of Masquelet technique to repair bone defect]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi* 27(10):1273–1276
79. Yokoyama K (2007) Acute compression and lengthening by the Ilizarov technique for infected nonunion of the tibia with large bone defects. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 15:122