



Prinzipien der Defektrekonstruktion nach weiter Resektion primärer maligner Knochentumoren des Fersenbeins

Principles of defect reconstruction after wide resection of primary malignant bone tumours of the calcaneus

Jan Marino Farei-Campagna^a, Andreas Toepfer^{a,*}, Primoz Potocnik^a, Thomas Schubert^b

^a Department für Orthopädie und Traumatologie des Bewegungsapparates, St. Gallen, Schweiz

^b Service d'orthopédie et de traumatologie de l'appareil locomoteur, Cliniques universitaires Saint-Luc, Brussels, Belgium

Received 14 December 2022; accepted 7 February 2023
Available online

SCHLÜSSELWÖRTER:

Fußtumor;
Chondrosarkom;
Osteosarkom;
Weite Tumorresektion;
Calcanektomie;
Allograft;
Knochensarkom;
3D-Druck;
custom-made Implan-
tat;
Individualprothese

Zusammenfassung

Primäre maligne Knochentumoren sind eine seltene und heterogene Gruppe von bösartigen Neoplasien. Die häufigsten Tumorentitäten der Knochensarkome sind das Osteosarkom, Chondrosarkom und Ewingsarkom. Der Rückfuß stellt mit Talus und Calcaneus bei Befall von Fuß und Sprunggelenk die häufigste Lokalisation dar. Die chirurgische Resektion ist die Hauptstütze der Behandlung eines lokalisierten Knochentumors, wobei je nach histologischem Subtyp, Grading und Lage des Tumors verschiedene Techniken zur Verfügung stehen. Bei schlecht differenzierten Knochensarkomen ($\geq$ G2) ist die weite Resektion essenziell um das Tumorleiden lokal wie auch systemisch erfolgreich behandeln zu können. Die Rekonstruktion der dadurch entstehenden Defektsituationen stellt aufgrund der Seltenheit der Erkrankung, Heterogenität des Tumorbefalls und individueller Patientenfaktoren eine Herausforderung an den behandelnden Chirurgen dar. Während für die Rekonstruktion nach Resektion von Knochensarkomen der häufigsten Lokalisationen (distales Femur, proximale Tibia, proximaler Humerus) bewährte Therapiekonzepte existieren (z.B. modulare Megaprothese, Umkehrplastik), scheinen diese an Fuß und Sprunggelenk weniger etabliert zu sein.

Abkürzungsverzeichnis: MRT, Magnetresonanztomogramm; CT, Computertomogramm; ACT, Atypischer chondromatöser Tumor; μ m, Mikrometer; PMMA, Polymethylmethacrylat

E-mail: andreas.toepfer@kssg.ch (A. Toepfer).

* Korrespondenzadresse. PD Dr. med. Andreas Toepfer, Department für Orthopädie und Traumatologie des Bewegungsapparates, Kantonsspital St. Gallen, Rorschacherstr. 95, 9007 St. Gallen, Schweiz.

<https://doi.org/10.1016/j.fuspru.2023.02.002>

KEYWORDS:

Foot tumor;
Chondrosarcoma;
Osteosarcoma;
Wide tumor resection;
Calcanectomy;
Allograft;
Bone sarcoma;
3D-printed implant;
Custom-made implant

Möglichkeiten rekonstruktiver Verfahren nach Calcanektomie sind vielfältig, aufgrund ihrer Seltenheit in der Literatur meist jedoch lediglich in Form von Einzelfallberichten publiziert. Prinzipiell kann die Defektrekonstruktion in biologische (autolog oder allogene) und alloarthroplastische Verfahren unterteilt werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit einer Resektionsarthroplastik nach partieller oder totaler Calcanektomie mit Transposition der Achillessehne auf den Processus posterior tali.

Ziel dieses Beitrags ist es, die Prinzipien der calcanearen Defektrekonstruktion nach weiterer Tumorresektion anhand einer Literaturübersicht darzustellen und mögliche Problematiken der unterschiedlichen Rekonstruktionsarten anhand von beispielhaften Fallberichten aufzuzeigen.

Abstract

Primary malignant bone tumors are a rare and heterogeneous group of malignancies. The most common tumor entities of bone sarcomas are osteosarcoma, chondrosarcoma, and ewing's sarcoma; with talus and calcaneus, the hindfoot represents the most common localization affected. Surgical resection is the mainstay of treatment for localized bone tumor, with various techniques available depending on the histologic type, grading, and location of the tumor. In poorly differentiated bone sarcomas ($\geq$ G2), wide resection is essential to successfully treat the tumor disease locally as well as systemically. Reconstruction of the resulting defect situations poses a challenge to the treating surgeon due to the rarity of the disease, heterogeneity of tumor involvement, and individual patient factors. While proven therapeutic concepts exist for reconstruction after resection of bone sarcomas of the most common localisations (distal femur, proximal tibia, proximal humerus) e.g. with modular megaprosthesis or rotationplasty, these seem to be less established for the foot and ankle. Reconstructive procedures after calcanectomy are manifold, but due to their rarity, they are mostly published as case reports. In principle, defect reconstruction can be divided into biological (autologous or allogenic) and alloarthroplastic procedures. Moreover, we will discuss the option of a resectionarthroplasty after partial or total calcanectomy with transposition of the Achilles tendon.

This article aims to present the principles of calcaneal defect reconstruction after extensive tumor resection based on a literature review and to highlight possible problems of different types of reconstruction with exemplary case reports.

Einführung

Fuß- und Sprunggelenktumoren sind selten, aber die Vielfalt möglicher Entitäten ist groß. Bei einer malignen Neoplasie sind eine frühzeitige Diagnose und die korrekte Behandlung Schlüsselfaktoren für das Überleben des Patienten [1]. Die sehr variable klinische Präsentation von bösartigen Knochentumoren an Fuß und Sprunggelenk sowie das fehlende Bewusstsein für maligne Differentialdiagnosen unklarer Raumforderungen dieser Körperregion erklärt die hohe Zahl an verzögerten und falschen Diagnosen [2]. Eine verzögerte Diagnosestellung ist hier deutlich häufiger als bei vergleichbaren Tumoren anderer Skelettabschnitte [3]. Die Etablierung der korrekten Diagnose eines primär malignen Knochentumors erfordert stets die histopathologische Verifizierung der klinisch und radiologisch erhobenen Verdachtsdiagnose. Nicht nur (neo-)adjuvante Therapieoptionen können sich von Entität zu Entität erheblich unterscheiden, auch das histologische Grading der jeweiligen

Tumorart ist für die Art und Weise der Tumorresektion entscheidend um eine Über- oder Untertherapie zu vermeiden [4,5].

Die Biopsie sollte dabei vorzugsweise an einem muskuloskelettalen Tumorzentrum nach eingehender Analyse durch ein interdisziplinäres Tumorboard durchgeführt und ausgewertet werden, um Fehler bei der Biopsie sowie Interpretation der radiologischen und histopathologischen Befunde zu minimieren [6–9]. Eine unsachgemäß durchgeführte Biopsie kann die definitive Patientenversorgung erschweren und die Prognose negativ beeinflussen [8].

Die chirurgische Therapie von Fuß- und Sprunggelenktumoren unterscheidet sich prinzipiell nicht von anderen Lokalisationen und basiert auf den etablierten Prinzipien der Klassifizierung und Behandlung gutartiger und bösartiger muskuloskelettaler Neoplasien von Enneking [10–11].

Die Herausforderung für den behandelnden Tumororthopäden und Fußchirurgen nach weiterer Tumorresektion besteht darin, eine Amputation

zu vermeiden und ein möglichst gutes funktionelles Ergebnis zu erzielen.

Grundsätzlich kann die Rekonstruktion großer Knochendefekte nach Trauma, Infektionen oder Tumorentfernung in Extremitäten-erhaltende (limb salvage) und ablative (Amputation) Verfahren unterteilt werden. Ablative Verfahren können ausserdem nach internen (insbesondere am Becken und am Fuss) und externen Amputationen der Extremitäten unterteilt werden. Der in Abb. 1a und 1b demonstrierte Fall eines G2 Chondrosarkoms des 3. Os metatarsale repräsentiert ein Beispiel für eine interne Amputation ohne anschließende Defektrekonstruktion. Abb. 1c

Extremitätenerhaltende Rekonstruktionen sind des Weiteren in biologische und allo(arthro)plastische Prozeduren zu unterscheiden. Eine alloplastische Prozedur beschreibt den Einsatz von synthetischem Material, um Defekte im Körper zu rekonstruieren. Am Beispiel des Calcaneus kann hierzu u.a. eine 3D-gedruckte Calcaneus-Prothese aus Titan eingesetzt werden, was im weiteren Verlauf dieses Beitrags näher erläutert wird.

Klassisches Beispiel einer alloarthroplastischen Rekonstruktion nach weiter Tumorsektion eines knie- oder hüftgelenksnahen Tumors ist die modulare Megaprothese [12–13].

Bei den biologischen Rekonstruktionen kann im Allgemeinen in autologe und allogene Knochen-transplantationen sowie in strukturelle und nicht-strukturelle Rekonstruktionen unterschieden werden. Xenogenes Knochenmaterial stammt meist vom Rind, Schwein oder Pferd und steht häufig in Granulatform (z.B. Endobon®, Fa.Zimmer) alternativ für eine nicht-strukturelle Defektrekonstruktion zur Verfügung. Besonders bei cavitären Defekten kommen mitunter auch synthetische Knochenersatzmaterialien zum Einsatz (z.B. Tricalciumphosphat/-sulfat).

Auch wenn die Prinzipien der Tumorsektion gemäss Enneking (intraläsional, marginal, weit und radikal) seit Jahrzehnten etabliert sind und sich grundsätzlich nach der Dignität und dem Grading der Läsion richten, so bleibt die Behandlung ein Patienten-spezifisches und individuelles Vorgehen. Gleiches gilt für die anschliessend



Abb. 1. a&b: Beispiel einer inneren Amputation des dritten Os metatarsale rechts bei schlecht differenziertem Chondrosarkom mit extrossärer Tumorkomponente. (a) Situs nach radikaler Tumorsektion (gesamtes, tumorbetroffenes Kompartiment), (b) Resektat.



Abb. 1c. Klinisches Erscheinungsbild drei Monate postoperativ.

erforderliche Defektrekonstruktion und Wiederherstellung der Funktion.

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Rekonstruktionsmöglichkeiten nach weiter Resektion maligner Knochensarkome des Calcaneus möchten wir im Folgenden beispielhafte Fälle der biologischen und alloarthroplastischen Rekonstruktion sowie der Resektionsarthroplastik vorstellen, einschließlich der mit der spezifischen Behandlung einhergehenden Vor- und Nachteile.

Biologische Rekonstruktion

Die ansonsten bisher gesunde, 41-jährige Patientin wurde uns Anfangs November 2021 von einem niedergelassenen Orthopäden zugewiesen zur weiteren Abklärung bei unklarer Raumforderung im Calcaneus rechts. Diese war im September 2021 im MRT festgestellt worden (Abb. 2a-c und Abb. 3a-c). Die Patientin gab Fersenschmerzen seit sechs Monaten an, in Ruhe und bei Belastung. Zudem

bestätigte sie Nachtschweiss seit drei Monaten, ohne ungewollten Gewichtsverlust oder Fieber. In der klinischen Untersuchung fiel ein Schonhinken auf sowie eine Überwärmung und Schwellung der Ferse.

Die ergänzenden Röntgenbilder und ein Computertomogramm erhärteten den Verdacht auf einen malignen oder zumindest lokal aggressiven ossären Prozess (Abb. 4). Es wurde eine CT-gesteuerte Biopsie zur Verifizierung der histopathologischen Diagnose veranlasst, die im Hinblick auf die definitive Tumoresektion und bei medial extraossärer Tumorkomponente von medial durchgeführt wurde. Diese ergab den Befund eines high-grade Sarkoms, vereinbar mit einem schlecht differenzierten, konventionellen osteoblastischen Osteosarkom (G3). Nach Vorstellung am interdisziplinären Tumorboard unserer Klinik und unabhängiger Zweitbeurteilung des histologischen Befundes an einem Referenzzentrum für muskuloskelettale Tumoren erfolgte Anfangs Dezember 2022 die



Abb. 2. a-c: Präoperative, sagittale MRI-Bildgebung des rechten Calcaneus: (a) T1 TSE, (b) PD FS, (c) FS mit KM. Nach i.v. Kontrastmittelgabe (KM) zeigt sich ein heterogenes KM-Enhancement.

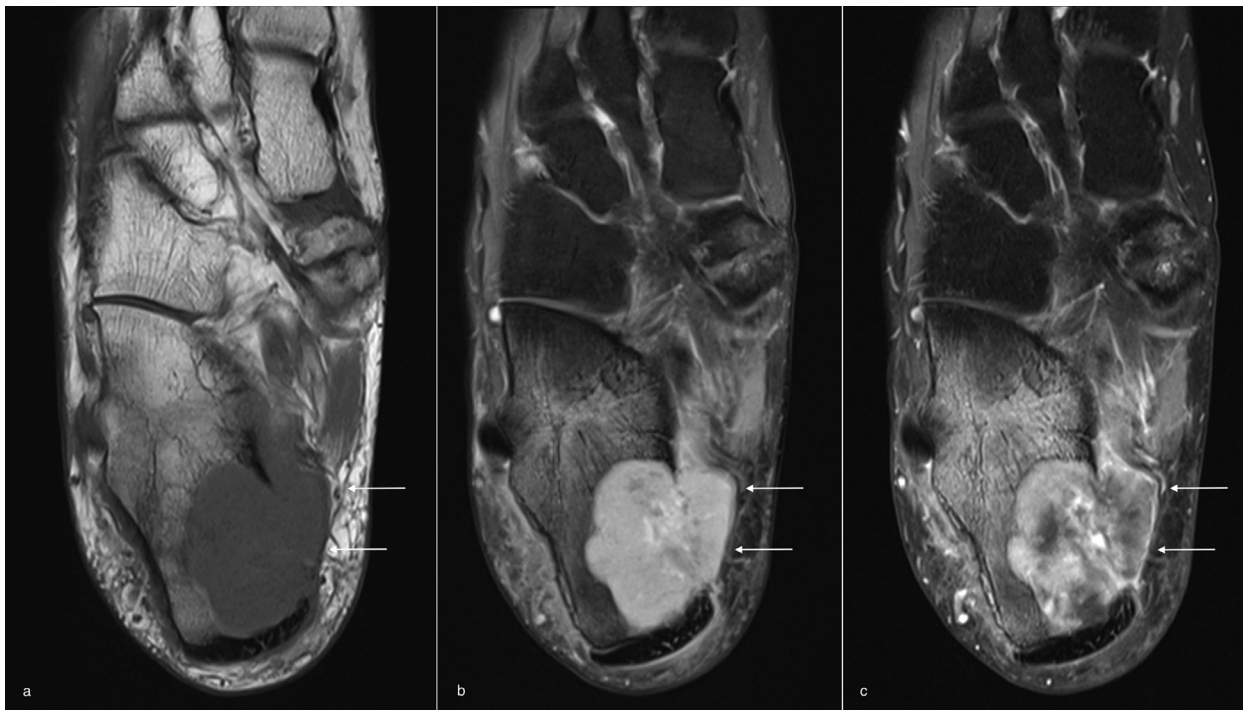


Abb. 3. a-c: Präoperative, axiale MRI-Bildgebung des rechten Calcaneus: (a) T1 TSE, (b) PD FS, (c) FS mit KM. Auffällig ist die große extraossäre Tumorkomponente medial (Pfeile).

neoadjuvante Chemotherapie nach EURAMOS 1 Protokoll. Es wurde die Indikation zur weiten Tumorresektion im Sinne einer subtotalen Calcaneotomie und Defektrekonstruktion mittels strukturellem Allograft gestellt. Der Eingriff wurde Anfang Februar 2022 über einen medialen Zugang, analog zum *Extended Lateral Approach* unter Exzision der Biopsienarbe durchgeführt. Das mediale Gefäß-Nervenbündel konnte planmässig geschont und das Resektat in toto mit makroskopisch Tumor-freien Absetzungsflächen geborgen werden

(Abb. 5a&b). Entsprechend erfolgte die direkte Defektrekonstruktion mittels allogenem Femurkopf inklusive Collum femoris mit einer subtalaren, “talofemorale”, Arthrodesen (Abb. 6a-c). Die Ansatz-nah und tumorfrei abgesetzte Achillessehne wurde mit einem *All-Suture* Anker (Q-Fix 2.8mm, Smith & Nephew) zentral im Allograft reinsertiert. Im frühen postoperativen Verlauf entwickelte sich eine Wundheilungsstörung ohne Nachweis eines tiefen Wundinfekts, welche zusammen mit den Kollegen der plastischen Chirurgie initial debridiert und



Abb. 4. Röntgen des Calcaneus lateral (links) und axial (rechts); lokal aggressiv imponierende Osteolyse vom Typ Lodwick 1c.

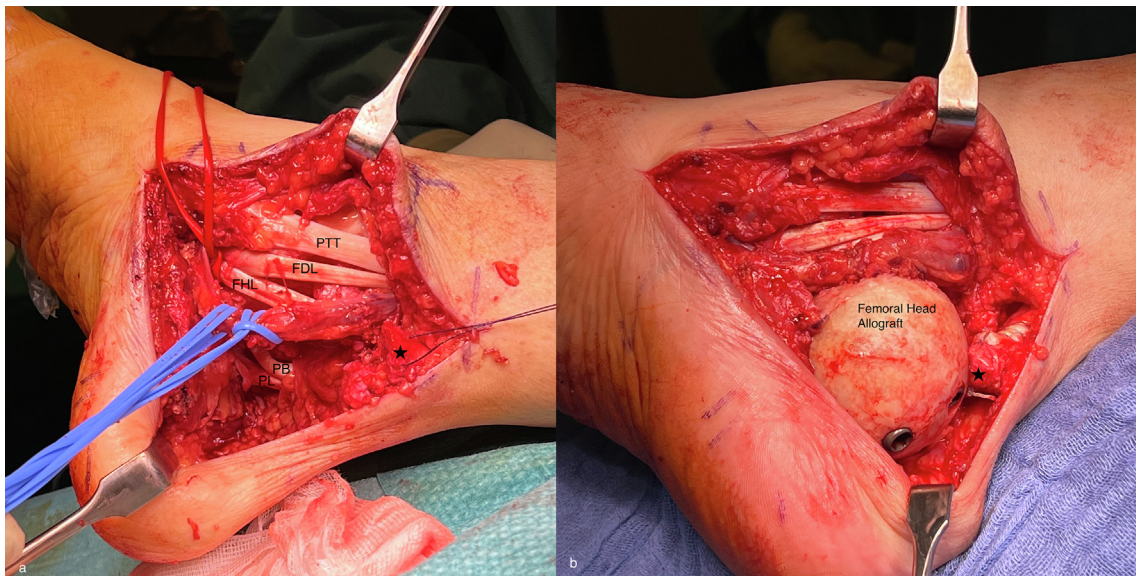


Abb. 5. a&b: Intraoperative Ansicht von medial; PTT: Tibialis Posterior Sehne, FDL: Flexor digitorum longus, FHL: Flexor hallucis longus, PB: Peroneus brevis, PL Peroneus longus, schwarzer Stern: Achillessehne angeschlungen (a) bzw. am Allograft inseriert mittels Anker (b) Das postero-mediale gefäß-Nervenbündel wurde mit Vessel-Loops angeschlungen.

im Verlauf mit einem Suralis-Rotationslappen gedeckt wurde. Letztlich zeigten sich stabile Wundverhältnisse, was die postoperativ geplante adjuvante Chemotherapie mit leichter Verzögerung ermöglichte. Diese wurde von der Patientin mehrheitlich gut toleriert. Die Belastung konnte gesteigert und die initial postoperative Spitzfuß-Stellung zur Entlastung der Achillessehnen-Refixation sukzessive reduziert werden. Bei der Patientin zeigten

sich in den bisherigen Nachkontrollen, zuletzt knapp 12 Monate postoperativ, keine Hinweise für ein Lokalrezidiv oder Metastasen-suspekte Läsionen. Sie kann in orthopädischen Massschuhen praktisch flüssig gehen und nimmt keine Analgetika ein (Abb. 7a&b). Physiotherapie zum Kraftaufbau wurde weitergeführt. Das strukturelle Femurkopf-Allograft zeigt bis dato keine Hinweise für ein mechanisches Versagen oder Lockerung des



Abb. 6. a-c: Intraoperative Fluoroskopie: (a) Markierung der anterioren Resektionsebene, (b) laterale Projektion nach „talofemorale“ Arthrodesis und Fusion zum Prozess anterior Calcanei, (c) Projektion a.p.



Abb. 7. a&b: Ansicht von dorsal (a) und medial (b) ein halbes Jahr nach Operation. Es zeigen sich reizlose Narben nach plastisch-chirurgischer Defektdeckung mittels Suralis-Lappen bei initialer Wundheilungstörung im frühen postoperativen Verlauf.

Osteosynthesematerialien auf (Abb. 8a&b). Die Plantarflexion im oberen Sprunggelenk rechts ist wieder nahezu seitengleich aktiv möglich.

Resektionsarthroplastik

Die 77-jährige Patientin wurde im Oktober 2020 von ihrem Hausarzt bei Fersenschmerzen, sowie neu MR-tomographisch nachgewiesener Raumforderung im Bereich des Calcaneus links in die Fuß-Sprechstunde zugewiesen. Sie berichtete, seit etlichen Monaten Schmerzen im Bereich der ansatznahen Achillessehne zu verspüren. Seit etwa einem Monat waren starke Schmerzen im Bereich des Fersenbeines dazugekommen. Zeichen einer B-Symptomatik bestanden nicht. Die Patientin war

bis dahin ohne Gehhilfen mobil. Vorbekannt war ein Mammakarzinom, welches 2006 kurativ behandelt wurde mit bisher stets unauffälligen Nachkontrollen.

Die klinische Untersuchung zeigte eine zarte Schwellung im Bereich der Achillessehne mit Druckschmerz. Der übrige Befund war unauffällig. Das vor der Zuweisung extern durchgeführte MRT vom linken Rückfuß zeigte eine ossäre Läsion des Calcaneus, suspekt auf eine nicht näher bezeichnete Neoplasie (Abb. 9a&b, Abb. 10a-c). Die Nachbefundung unseres tumor erfahrenen, muskuloskelettalen Radiologen vermutete einen unklaren, chondrogenen Tumor, der Befund sei höchst wahrscheinlich vereinbar mit einem Enchondrom. Der Problematik der bioptischen Verifizierung gut differenzierter

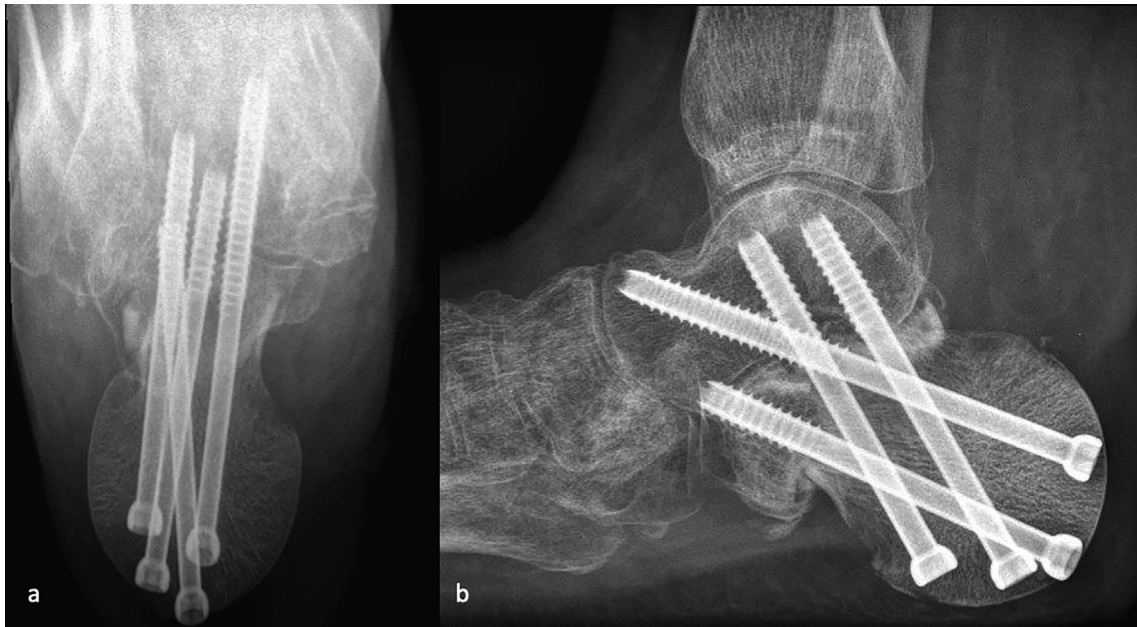


Abb. 8. a&b: (a) Axiales und (b) laterales Röntgen des Calcaneus 7.5 Monate postoperativ. Es zeigt sich eine beginnende Fusion zwischen Rest-Calcaneus anterior und dem Collum femoris sowie subtalar zwischen Talus und allogenem Strutgraft ohne Hinweise für Schraubenlockerung oder Implantatversagen.

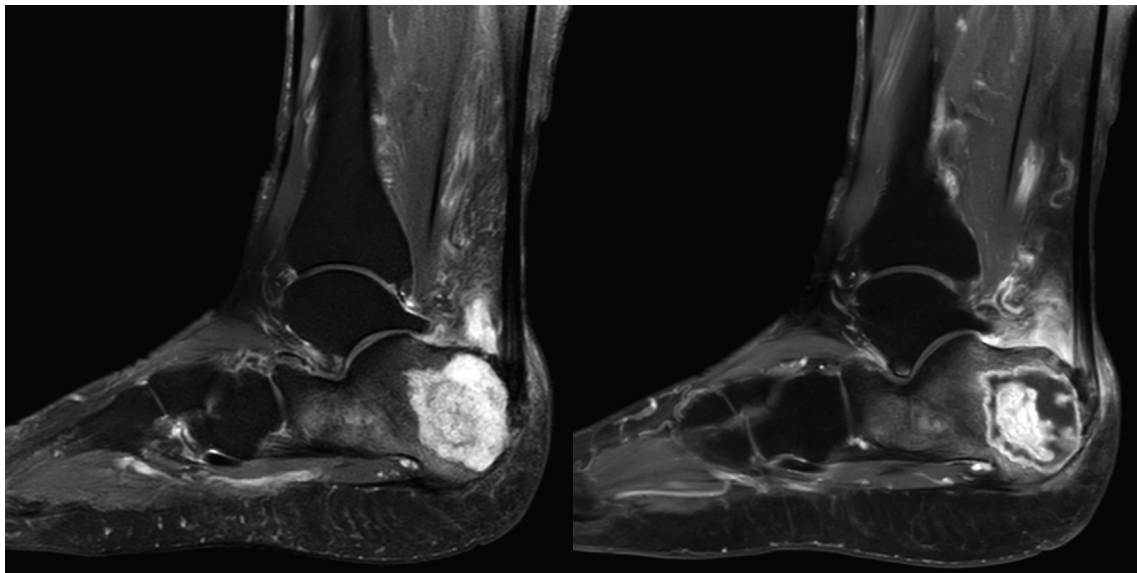


Abb. 9. a&b: Präoperatives MRI eines chondrogenen Tumors des linken Calcaneus in sagittaler Schichtung (a) links PDW TSE, (b) rechts T1W TSE mit KM. Das Bild nach Kontrastmitteldgabe (rechts) zeigt eine randständige KM-Aufnahme, sowie eine heterogene Kontrastmittelaufnahme innerhalb des Tumors, was nachträglich als unterschiedlich differenziertes Tumorgewebe interpretiert werden kann (G1 und G2).

chondrogener Tumoren bewusst, erfolgte auf expliziten Wunsch des Tumororthopäden und Fußchirurgen dennoch die Abklärung des Befunds mittels Biopsie um einen schlecht differenzierten Knorpeltumor (Chondrosarkom G2 oder schlechter) ausschliessen zu können. Mittels Biopsie ist die histopathologisch Differenzierung zwischen

Enchondrom und atypischen chondrogenen Tumor /ACT, vormalig G1 Chondrosarkom, oftmals nicht sicher möglich [3,14–16]. Therapeutische Implikationen ergeben sich hauptsächlich für die Unterscheidung zwischen ACT und G2 Chondrosarkom, da für schlechter differenzierte Knorpeltumoren eine intraläsionale Tumorresektion prinzipiell

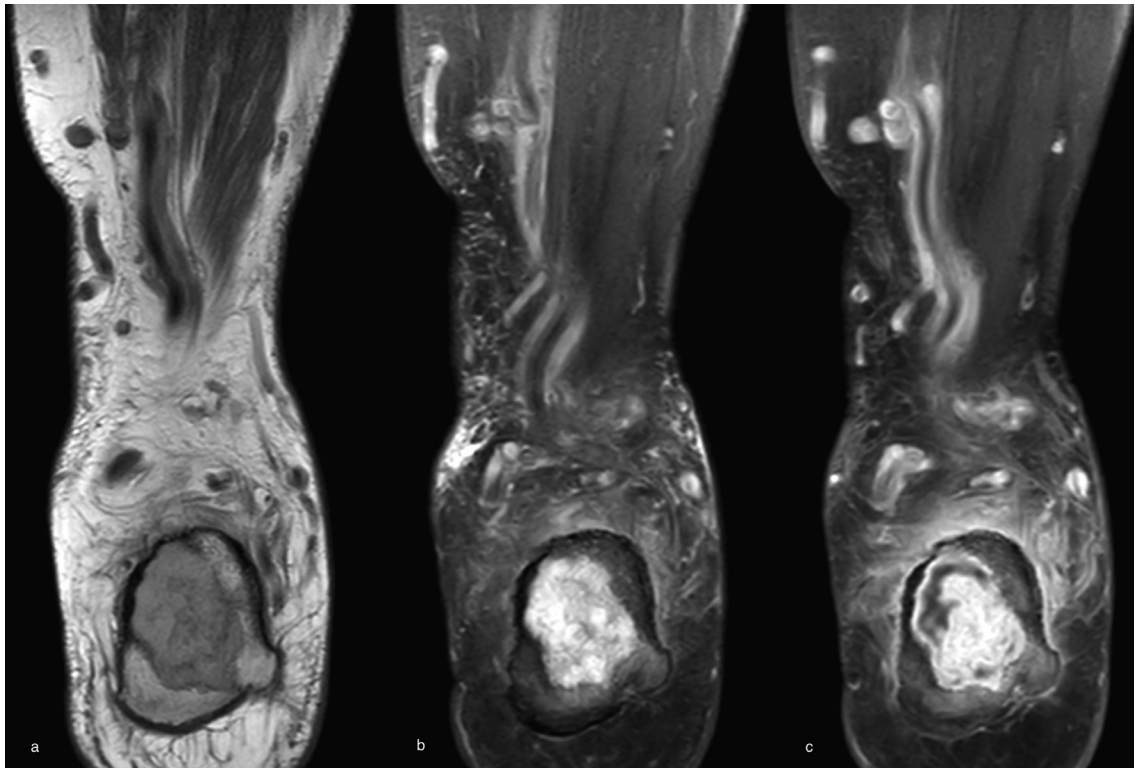


Abb. 10. a-c: Coronale MRI Untersuchung: (a) T1W TSE, (b) PDW TSE SPAIR und (c) T1W TSE nach KM-Gabe: Es zeigt sich eine gewisse Heterogenität des Tumors und unregelmäßige Kontrastmittelaufnahme. Extraossäre Tumoranteile lassen sich nicht nachweisen.

kontraindiziert ist. Der Operateur vermutete einen ACT, da er vergleichbare Fälle bei nahezu gleicher Lokalisation und Bildgebung mehrfach behandelt hatte. Entsprechend wurde eine CT-gesteuerte Feinnadelpunktion des tumorösen Prozesses von streng lateral durchgeführt mit Nachweis eines hoch differenzierten kartilaginären Tumors. Ein high-grade Chondrosarkom konnte so zunächst ausgeschlossen werden. Differenzialdiagnostisch konnte naturgemäss ein Enchondrom von einem atypischen chondromatösen Tumor (vormals G1 Chondrosarkom) weiterhin nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden. Da ein ACT weiterhin nicht ausgeschlossen werden konnte und wir dies in Zusammenschau der Bildgebung weiterhin als wahrscheinlich betrachteten, wurde im Rahmen des Tumorboards die operative Entfernung der symptomatischen Tumormanifestation beschlossen. Ende November 2020 wurde über einen *Lateral Extended Approach* die intraläsionale Tumoresektion durchgeführt. Diese beinhaltete die gründliche Kürettage und Reinigung der Knochenhöhle mit der Diamantkopf-Hochfrequenzfräse sowie die adjuvante, chemische Therapie mit 95% Ethanol und Plombage der Knochenhöhle mit Gentamycin

angereichertem Knochenzement (Abb. 11a-d). Intraoperativ wurde Kontrastmittel in die Knochenhöhle instilliert, um eine akzidentelle Perforation des Knochens auszuschliessen und einen “contained defect” sicherzustellen (Abb. 12). Die histologische Aufarbeitung des operativ entfernten Gewebes ergab im Gegensatz zur initialen Biopsie nun den Befund eines Chondrosarkom, mindestens G1 graduiert, was gemäss aktueller WHO-Nomenklatur im Bereich der Extremitäten in der Regel als ACT bezeichnet wird. Die Kollegen des Knochentumor-Referenzzentrums Basel stellten die Diagnose eines überwiegend gut differenziertes Chondrosarkom mit fokal auch mässiggradigem Differenzierungsgrad (G2). Die endgültige Diagnose eines G2 Chondrosarkoms widerlegte die initialen Einschätzungen des Radiologen (Enchondrom), Pathologen (Enchondrom oder ACT) und Tumororthopäden (ACT) und spiegelt die Schwierigkeiten der korrekten Analyse chondrogener Tumoren wider [16–19].

Formal hätte diese Diagnose initial eine weite Resektion und nun nach Erhalt des definitiven Gratings des Tumors eine weite Nachresektion des Tumors mit subtotaler Calcanektomie erfordert,

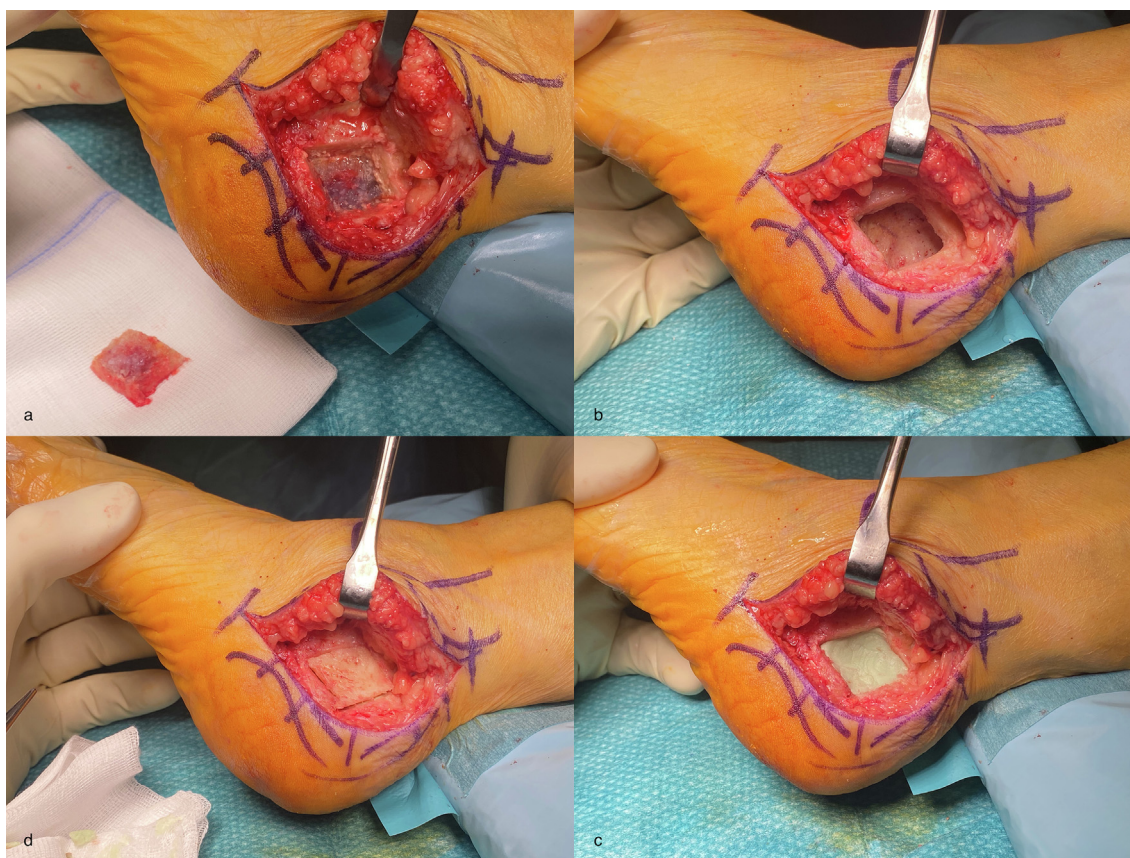


Abb. 11. a-d: Intraoperativer Situs. Im Uhrzeigersinn von oben links: (a) Situs nach Eröffnung des lateralen Knochenfensters. Es zeigt sich der typische Aspekt eines chondrogenen Tumors mit Griessbrei-artiger Konsistenz. (b) Zustand nach intraläsionaler Tumorresektion und intraoperativer adjuvanter Therapie. (c) Auffüllung mit PMMA, was eine sofortige Stabilität gewährt und zusätzliche thermische, Tumor-denaturierende Effekte (Hitze) erwirkt. (d) Der gereinigte Knochendeckel wird wieder aufgesetzt.

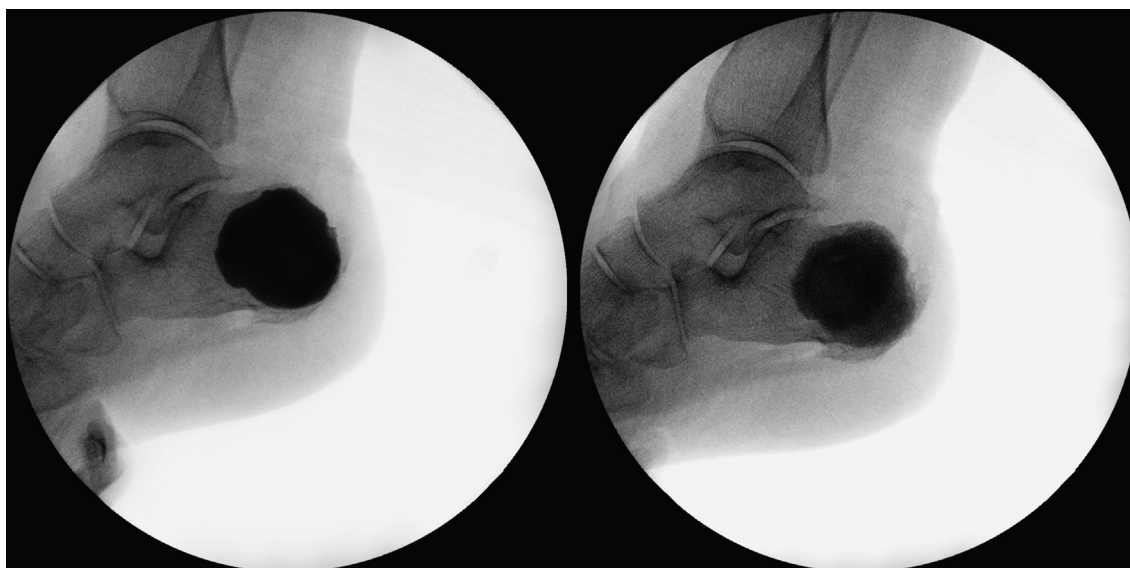


Abb. 12. intraoperative Durchleuchtung. Die Defekthöhle wurde mit Kontrastmittel gefüllt zum Ausschluss einer Kortikalisperforation (links) und anschliessend mit PMMA plombiert (rechts).

die intraläsionale Tumorresektion ist für schlecht differenzierte Tumoren ($\geq G2$) nicht suffizient. Aufgrund des fortgeschrittenen Alters der Patientin und expliziten Patientenwunschs gegen eine nochmalige Operation entschieden wir uns jedoch für engmaschige Kontrollen und ergänzten die Diagnostik mit einem CT der Lunge, was keine Hinweise für eine Metastasierung erbrachte.

Drei Monate postoperativ war die Patientin zufrieden mit dem Verlauf und nahezu schmerzfrei. MR-tomographisch zeigte sich bis auf eine 4mm kleine, fokale Signalstörung der Spongiosa angrenzend an die zementgefüllte Resektionshöhle kein Hinweis für ein Rezidiv (Abb. 13a). Ein halbes Jahr nach der Operation berichtete die Patientin über wieder vermehrte Beschwerden im Bereich der linken Ferse. Die planmässig durchgeführte MRT zeigte eine Größenprogredienz des vormals festgestellten Befundes von 4 auf 8mm (Abb. 13b). In Anbetracht des Alters der Patientin und um die selbstständige Mobilisation der Patientin nicht zu gefährden entschieden wir uns auf Wunsch der Patientin zunächst für eine Kompromisslösung. Diese bestand wiederum aus einer erneuten intraläsionalen Tumorresektion, adjuvanter chemischer intraoperativer Therapie mit 95% Ethanol und erneuter Zementauffüllung, was im Mai 2021 durchgeführt wurde. Das resezierte Knochengewebe ergab wiederum den Befund eines G2 Chondrosarkoms, jedoch ohne Nachweis von höhergradigen Zelltypen wie bei einem G3 Chondrosarkom.

Nach zunächst unauffälligen Verlaufskontrollen 3 und 6 Wochen postoperativ, wies das geplante MRT drei Monate postoperativ drei grössenprogre-diente, rezidivsuspekte Läsionen am medioplantaren, plantaren und lateroplantaren Aspekt der Resektionshöhle auf. Das ebenfalls routinemässig geplante CT-Thorax zeigte weiterhin keine Hinweise für Metastasen. Eine erneute operative Revision war bei kurativem Therapieansatz unumgänglich, der Versuch des Knochenerhalts musste als gescheitert betrachtet werden. Trotz des fortgeschrittenen Alters wurde die partielle Calcanektomie mit Transposition der Achillessehne auf den Processus posterior tali indiziert. Die weite Resektion wurde schliesslich im September 2021 durchgeführt (Abb. 14 & 16a) und das eingesandte Resektat (Abb. 15) zeigte in der histopathologischen Aufarbeitung eine vollständige Resektion mit tumorfreiem Absetzungsrand (R0). Die Patientin konnte nach Abschluss der Wundheilung drei Wochen postoperativ in einer Rückfuss-Entlastungs orthese und nach drei Monaten ohne Gehhilfen unter Vollbelastung mobilisiert werden. Die weiteren, jeweils 3-monatlich MR-tomographischen Kontrollen (Abb. 16b&c) zeigten bis zuletzt (Dezember 2022) kein Rezidiv und auch die Thorax-CT keine Hinweise auf eine Metastasierung. Im Alltag ist die Patientin aktuell beschwerdefrei. Für längere Gehstrecken trägt sie zum Längenausgleich einen Fersenkeil und im häuslichen Umfeld kann sie problemlos barfuss gehen (Abb. 17a-d). Das belastete

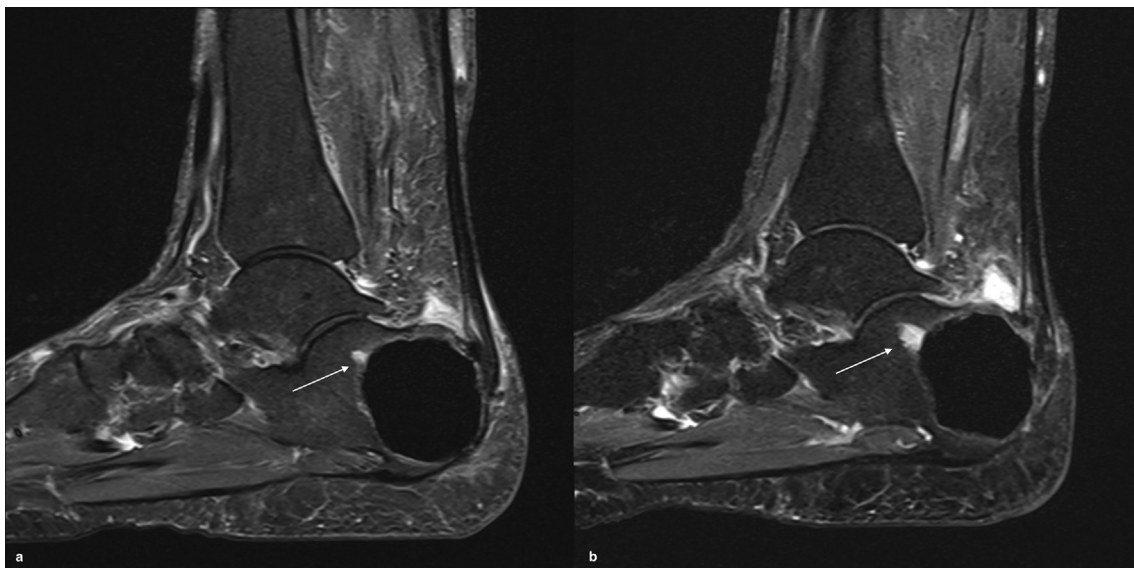


Abb. 13. a&b: Drei Monate (a) und sechs Monate (b) postoperativ zeigt sich im ventralen Bereich der ehemaligen Tumorhöhle eine initial unklare Signalalteration (weisse Pfeile) welche bei Größenprogredienz als Rezidiv gewertet werden musste.

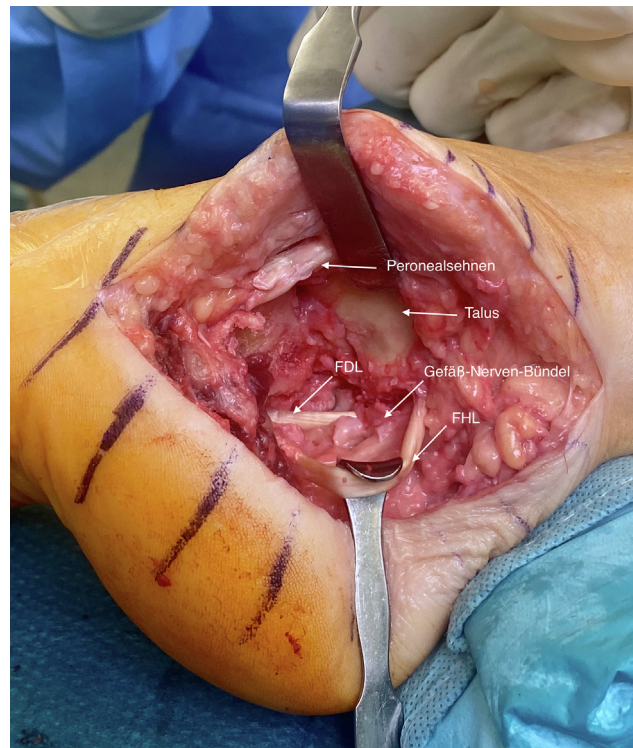


Abb. 14. Intraoperativer Situs nach subtotaler Calcanektomie rechts über einen Extended Lateral Approach.



Abb. 15. Resektat von cranial betrachtet. Die Osteotomie erfolgte knapp ventral der posterioren subtalaren Gelenkfläche.

Röntgenbild (**Abb. 18**) zeigt den Status ein Jahr nach subtotaler Calcanektomie.

Alloarthroplastische Rekonstruktion / Individualprothese

Die Schwierigkeiten der Individualprothetik soll anhand von einem kurzen Fallbeispiel aus dem eigenen Patientengut (TS) dargestellt werden:

Bei einer 45-jährigen Patientin machte die weite Resektion eines Hämangioendothelioms (**Abb. 19a-d**) die Rekonstruktion mittels Individualprothese unter Erhalt des Subtalargelenks erforderlich (**Abb. 20**). Fünf Monate postoperativ kam es zu einer Stressfraktur des Sustentaculum tali, die erfolgreich konservativ ausbehandelt werden konnte (**Abb. 21a-c**). Die Patientin ist auf die Verwendung massgefertigter Einlagen angewiesen, da



der anatomisch geformte Auftrittspunkt der Prothese plantar als prominent und zu spitz empfunden wird. Dies ist nicht nur durch das (anatomische) Design der Prothese, sondern auch durch die tumorbedingte Resektion des parossären Weichteilgewebes zu erklären (Ausdünnung des plantaren Fettpolsters).

In einem weiteren Fall erfolgte die subtotale Calcaneektomie und Ersatz mittels custom-made Prothese bei einem Ewing-Sarkom des Calcaneus (Abb. 22a, Abb. 23). Ein Jahr nach der Operation stürzte die Patientin und zog sich einen Ausriss der Achillessehne zu (Abb. 22b). Im vorbestrahlten und voroperierten Bereich des distalen dorsalen Unterschenkels entwickelte sich daraufhin eine ausgedehnte Hautnekrose und sekundäre Superinfektion, die schließlich zu einer Unterschenkelamputation führte. Seit Ausheilung der Amputation ist die Patientin Hochleistungssportlerin.

Technische Aspekte der Individualprothetik

Die Daten für eine Individualprothese des Fersenbeins stammen meist aus einem Dünnschicht-CT der spiegelverkehrten Gegenseite. Aus den elektronischen 3D-Daten wird durch die Applikation eines Elektronenstrahls aus Pulver (Titanlegierung TiAl6V4) schichtweise die Struktur und Geometrie der Implantatkomponente aufgebaut. Die Implantate können mit einer hochporösen Oberfläche versehen werden, was ein Einwachsen von Knochengewebe und der Weichteile und damit die langfristige Sekundärverankerung ermöglichen soll. Zur Unterstützung der Osseointegrität kann eine zusätzliche dünne, bioaktive Calcium-Phosphat-Schicht appliziert werden [19]. Das Implantat bietet Perforationen, was die Verankerung der Achillessehne erleichtern soll. Der Fertigungsprozess benötigt ca. 4 Wochen, was bei der Planung der definitiven Rekonstruktion berücksichtigt werden muss. Die temporäre Defektüberbrückung mittels PMMA Spacer stellt eine Möglichkeit dar, das endgültige Ergebnis der histopathologischen Untersuchung abzuwarten. Voraussetzung für die erfolgreiche Funktion der Individualprothese ist u.a. die

Abb. 16. a-c: (a) Intraoperative Fluoroskopie und Vorbereitung der Transposition der Achillessehnen auf den Processus posterior tali mittels Fadenanker, postoperatives MRT mit (b) T1W TSE und (c) T1W TSE FS Wichtungen ohne Nachweis eines erneuten Rezidivs, Fadenanker mit transponierter Achillessehne (Pfeile).



Abb. 17. a-d: Klinischer Befund 1 Jahr nach subtotaler Calcanektomie links. Die Patientin kann barfuss schmerzfrei gehen, links ist der Zehenspitzenstand mit geringer Einschränkung möglich.



Abb. 18. Röntgen ein Jahr nach subtotaler Calcanektomie und Transposition der Achillessehne auf den Processus posterior tali.

vollständige, weite Tumoresektion (R0 Status, tumorfreie Absetzungsränder). Es wird empfohlen den Calcaneusersatz 10% kleiner als das Original zu wählen, um eine bessere Passform und weniger Stress auf den Weichteilmantel zu gewährleisten. Der plantare Aufttrittspunkt des Implantats sollte möglichst breitflächig konstruiert werden, um hier belastungsabhängige Schmerzen zu vermeiden. Die Verankerung des plantaren Fettgewebes an der Prothese zur Vermeidung der sog. „Heel Pad Migration“, ähnlich der Strategie von Avulsionsverletzungen des plantaren Fersenpolsters oder dessen Fixierung nach Syme Amputation, sollte ermöglicht werden [20–24].

Diskussion

Hauptziel einer Rekonstruktion nach vollständiger oder subtotaler Calcanektomie ist die Wiederherstellung eines plantigrad belastbaren Fusses unter Erhalt der Fersenhaut, sofern dies unter Berücksichtigung der erforderlichen Tumoresektion vertretbar ist. Kann die Fersenhaut aus tumorchirurgischen Gründen nicht erhalten oder rekonstruiert werden, so ist eine Amputation in Erwägung zu ziehen. Für die Rekonstruktion der Fersenhaut (engl. *heel pad*) stehen je nach individuellen Gegebenheiten unterschiedliche plastisch-chirurgische Möglichkeiten zu Verfügung [25–27]. Die

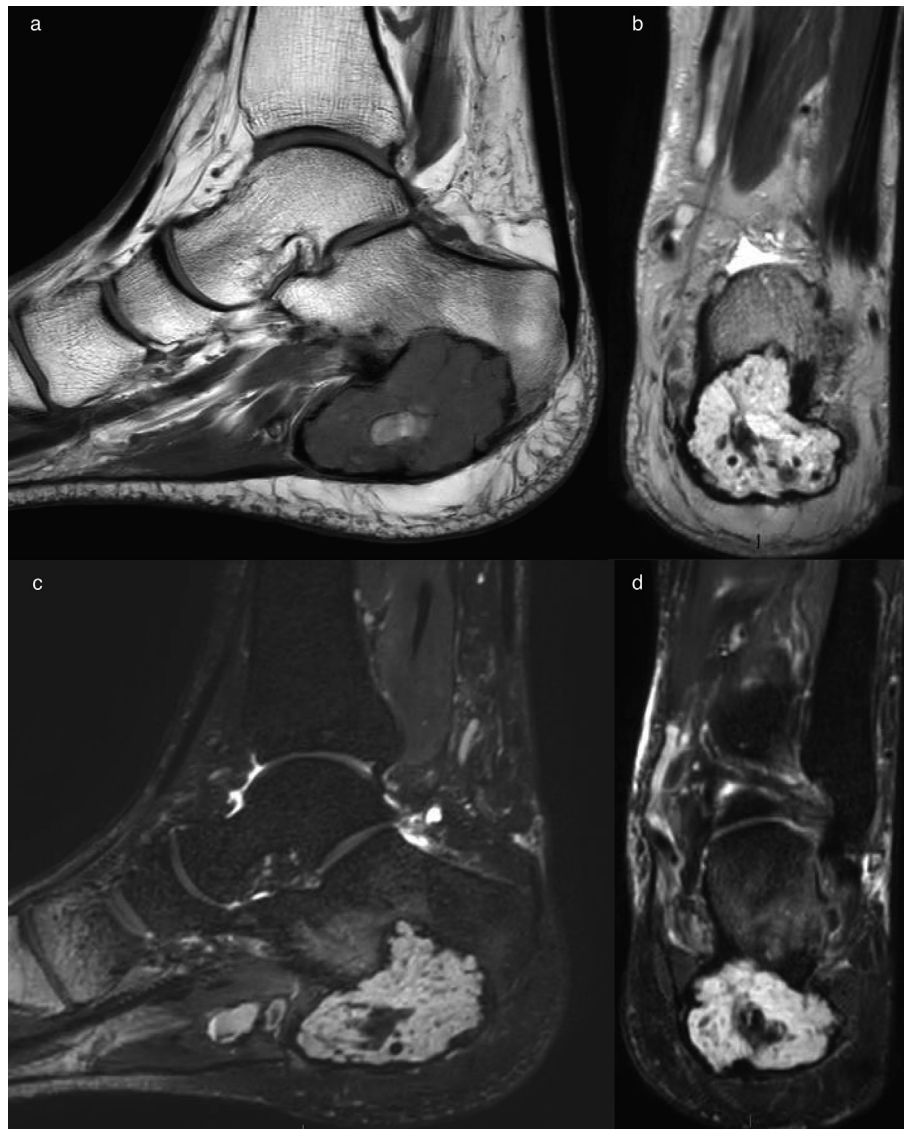


Abb. 19. a-d: Präoperatives MRI eines calcanearen Hämangioendothelioms: (a) T1w sagittal, (b) T2w coronar, (c) SPAIR sagittal, (d) SPAIR coronar.

Notwendigkeit der ossären Rekonstruktion der calcanearen Defektsituation zur subtalaren Abstützung des Rückfusses wird in der Literatur kontrovers diskutiert.

Resektionsarthroplastik

Funktionelle Resultate nach subtotaler oder vollständiger Resektion des Calcaneus ohne strukturelle Defektrekonstruktion sind in der Literatur nur spärlich vertreten (Tab. 1). Dhillon et al. berichtete 1993 von 3 Fällen junger Patienten mit subtotaler Calcanektomie ohne Rekonstruktion bei Riesenzelltumor. Zwei Fälle konnten barfuss gehen und wiesen ein leichtes Hinken nach 6 bzw. 12 Monaten auf und der dritte Fall konnte nicht

nachkontrolliert werden [23]. Ebenfalls bei einem Riesenzelltumor des Calcaneus eines 36-jährigen Patienten hat Özerdemoglu et al. 2003 den Calcaneus ersatzlos entfernt und die Achillessehne an den Processus posterior tali transferiert mit schmerzfreiem Patienten nach einem Jahr sowie Rückkehr zur Arbeit [24]. Bei einem G2 Chondrosarkom des Calcaneus mit wahrscheinlicher Kortikalisperforation behandelten Wagner et al. 2007 einen 32-jährigen Patienten in einem zweizeitigen Vorgehen zuerst mit einer vollständigen (R0) Entfernung des Calcaneus, Transposition der Achillessehne auf den Talus und temporärer Defektfüllung mit Knochenzement. Vier Monate später folgte eine talonavikuläre Arthrodeese und Entfernung der Zementplombe. Der Patient war 3 Jahre



Abb. 20. Auszug einer 3D-Computeranimation der Individualprothese.

postoperativ in massgefertigten orthopädischen Schuhen mit Fersenkeil im Alltag beschwerdefrei und konnte kurze Strecken barfuss gehen, jedoch hat er sich von einem schweren handwerklichen zu einem sitzenden Beruf umschulen lassen [25].

Grössere Fallserien von totalen Calcanektomien stammen aus der Behandlung von Infekten, vor allem der Osteomyelitis des Calcaneus im Rahmen von Diabetes mellitus [26]. Jedoch sind die Ergebnisse dieses Patientenguts mit hohen Revisions- und Re-Amputationsraten nicht uneingeschränkt mit tumor-assoziierten Indikationen zur Calcanektomie vergleichbar.

Die eigene Erfahrung des Seniorautors (AT) zu diesem Verfahren bei Sarkomen des Knochens beschränkt sich auf drei Fälle nach subtotaler Calcanektomie ohne Defektrekonstruktion. Zusätzlich zu dem in diesem Bericht geschilderten Fall wurden zwei Ewingsarkome im Alter von 9 und 31 Jahren auf ähnliche Weise versorgt. In den Abb. 23a-c findet sich der beispielhafte Verlauf des 9-jährigen Patienten mit konventionellen Röntgenbildern prä- und postoperativ. Alle drei Patienten erlangten wenige Monate nach Operation eine selbstständige Mobilisation unter Vollbelastung. Drei weitere partielle Calcanektomien ohne Rekonstruktion wurden von unserem Autorenteam (PP, AT) im Rahmen einer chronischen Osteomyelitis behandelt. Bei einer 68-jährigen Patientin kam es nach partieller Calcanektomie bei Osteomyelitis zwei Wochen postoperativ zu einer Insuffizienzfraktur des Fersenbeins. Dafür verantwortlich war ein Fehltritt ohne Verwendung der verordneten Rückfussentlastungsothese und eine

Inaktivitätsosteoporose bei vorausgegangener 14-monatiger Entlastung der operierten Extremität (Abb. 24).

Allograft Rekonstruktionen

Etwas besser beschrieben sind Defektrekonstruktionen mit strukturellen Spenderknochen (Tab. 2). Eine Fallserie im Jahr 2007 von Wozniak et al. von 3 jungen Patienten mit totaler Calcanektomie bei primär malignen Tumoren des Calcaneus beschreibt eine Rekonstruktion mit allogenen Femurkopf inklusive Collum femoris, der mittels Arthrodesen zum Talus verbunden wurde. Sie konnten eine erfolgreiche ossäre Inkorporation der allogenen Knochen attestieren und eine sehr gute klinische Funktion ohne Hilfsmittel, wobei das Zeitintervall zum Zeitpunkt der letzten Kontrolle nicht angegeben wird [30].

Das längste postoperative Intervall in zwei Fällen von Rekonstruktionen mit allogenen Calcaneus-Graft berichteten im Jahr 2000 Musculo und Ottolenghi et al. nach 9 bzw. 32 Jahren mit nur mildem Kollaps des Spenderknochens aber sehr guter Funktion für alltägliche Aktivitäten ohne relevante Schmerzen [28–29]. Mit Einbezug eines dieser genannten zwei Fälle berichten Ayerza und Musculo et al. 2016 erneut von einer Fallserie von 6 Patienten mit allogener Calcaneustransplantation zur Defektrekonstruktion und ein 5- und 10-jähriges Überleben von 83% [33]. DeGeorge et al. konnte im 2016 ein Jahr nach verzögerter Implantation eines Spender-Calcaneus inklusive distaler Achillessehne eine sehr gute Funktion, einen vollen



Abb. 21. a-c: Konventionelle laterale Röntgenbilder nach Implantation der Individualprothese: (a) wenige Tage postoperativ, (b) 5 Monate postop. mit Fraktur des Sustentaculum tali (Pfeile), (c) 20 Monate postop. und Ausheilung der Fraktur.

Kraftgrad (5/5) für Plantarflexion und schmerzfreies Barfußgehen festhalten, nachdem der Patient 7 Jahre vor der Rekonstruktion eine Zementplombe nach Calcanektomie erhalten hatte [34].

Autograft Rekonstruktionen

Innocenti und Scoccianti et al. beschrieben 2019 vier Fälle von schmerzfreien Patienten und ein flüssiges Gangbild 6 bis 19 Jahre (13 Jahre Median) nach Defektrekonstruktion mit autologem Beckenkamm, der zum Talus und Cuboid verschraubt wurde. Komplikationen wie Fraktur des

Spenderknochens, Schraubenbruch und Wunddehizienz konnten konservativ behandelt werden und benötigten keine operative Revision [35–36]. Eine weitere Methode von autologer Rekonstruktion des zumindest noch partiell vorhandenen Calcaneus nach Trauma beschrieben Brenner et al. (2000) mittels vaskularisiertem Lappen von Rippen mit Serratus anterior-Muskel [39]. Weitere mikrochirurgische Rekonstruktionen wurden beschrieben bei subtotaler Calcanektomie in Fällen von Knochendefekten nach Trauma oder Infektion, diese wurden teilweise weichteilig oder mit osteomyokutanen Lappen mit Fibula, Rippen oder trikortikalem Beckenkamm gedeckt [38–45].

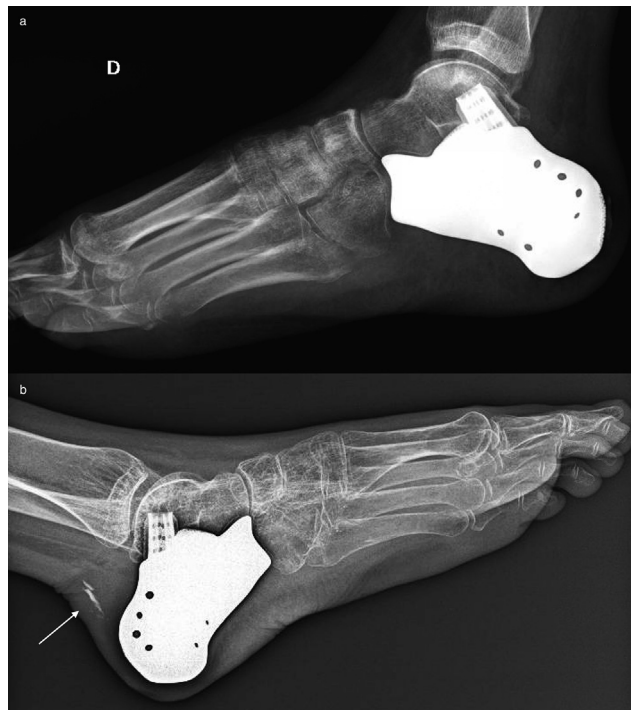


Abb. 22. a&b: (a) Laterales Röntgenbild wenige Tage postoperativ nach Rekonstruktion mittels Individualprothese bei subtotaler Calcanektomie eines bioptisch gesicherten Ewing Sarkoms des Calcaneus. (b) Ein Jahr postoperativ kam es im Rahmen eines Stolpersturzes zum Ausriss der am Implantat inserierten Achillessehne (Pfeil).

Alloplastische Rekonstruktion

Zunehmend verbreitet vertreten sind sogenannte alloplastische Rekonstruktionen mit massgefertigten Calcaneus-Prothesen (Tab. 3). Chou et al. (2007) verwendeten bei einem Osteosarkom eine massgefertigte Calcaneus-Prothese, die mit zwei Schrauben zum Talus fixiert wurde und nach 3 und 12 Jahren ein gutes funktionelles und onkologisches Resultat erreichte, jedoch blieben moderate Schmerzen beim Gehen [46]. Papagelopoulos et al. (2018) publizierten zwei gut dokumentierte Fälle eines Ewing Sarkoms mit zweizeitiger Rekonstruktion mit massgeschneiderten, 3D-gedruckten Calcaneus-Prothesen 9 Monate nach Tumoresektion und Defektfüllung mit Zement und stellten 2,5 Jahre postoperativ ein uneingeschränktes Alltagsleben der beiden PatientInnen und ein schmerzfreies Barfussgehen fest [47]. Park et al. (2018) berichteten von einer einzeitigen Rekonstruktion mit einer 3D-gedruckten Calcaneus-Prothese aus Titan-Mesh unter Erhalt des Subtalgelenks mittels polierter Gelenkfläche der Prothese bei einem 23-jährigen Patienten mit desmoplastischem Fibrom des Calcaneus und eine schmerzfreie Situation 16 Monate postoperativ. Für den Fall einer schmerzhaften Arthrose des Subtalgelenks als mögliche Spätfolge, planten sie

drei Schraubenlöcher in die Individualprothese ein, um eine spätere Arthrodese zu ermöglichen [49–50]. Liu et al. (2022) befassten sich mittels CT-basierten und Finite Element Analysen mit der Optimierung des möglichst natürlichen Elastizitätsmoduls der Anteile einer Calcaneus-Prothese mit dem Ziel, die Entwicklung von aseptischen Lockerungen zu minimieren [50].

Zusammenfassung

Beispielhaft für die Herausforderungen der geeigneten Indikation und möglicher operationsassoziierten Komplikationen beschreiben wir mit diesem Beitrag Fälle der biologischen und alloarthroplastischen Rekonstruktion sowie der Resektionsarthroplastik. Die Notwendigkeit einer (neo)adjuvanten Therapie (Radiatio, Chemotherapie) im Rahmen maligner Tumorerkrankungen sowie die Indikation bei einem akuten oder chronischen Infektgeschehen erhöhen das Risiko perioperativer Komplikationen nach biologischer und alloarthroplastischer (calcaneärer) Defektrekonstruktion, so dass stets eine individuelle Nutzen/Risiko- Abwägung erforderlich ist [35–37].

Um den Funktionsverlust einschliesslich Längendifferenz der betroffenen Extremität nach subtotaler Calcanektomie möglichst klein zu halten,



Abb. 23. a-c: Röntgenverlauf bei 9-jährigem Patienten mit einem Ewing Sarkom des Calcaneus mit ersatzloser subtotaler Calcanektomie und Transposition der Achillessehne auf den Processus posterior tali; (a) präoperativ, (b) wenige Tage postoperativ und (c) 10 Monate postoperativ.

entschieden wir uns im ersten Fall gemeinsam mit der jungen Patientin für eine biologische Rekonstruktion. Trotz fehlender Begleiterkrankungen wie Nikotinkonsum oder Diabetes mellitus kam es im Rahmen des postoperativen Verlaufs zu einer revisionsbedürftigen Komplikation mit mehreren Folgeoperationen. Als wesentlicher Risikofaktor für die Komplikation muss die (neo)adjuvante Chemotherapie angesehen werden.

Im nachfolgenden Fall konnte die Resektionarthroplastik nach subtotaler Calcanektomie im Rahmen der weiten Resektion eines G2 Chondrosarkoms einen vollständig belastbaren Rückfuss wiederherstellen und der heute 79-jährigen Patientin eine rasche selbstständige Mobilisation ermöglichen. Mehr als ein Jahr nach subtotaler Calcanektomie bleibt diese Patientin ohne Tumor-Rezidiv in ihrem Alltag uneingeschränkt mobil und sehr

zufrieden mit dem Resultat. Zuletzt zeigen die Fallschilderungen der Versorgung mittels Individualprothese, daß dieses Verfahren ebenfalls nicht frei von Komplikationen ist. Der Teilersatz des Fersenbeins unter Erhalt des Subtalargelenks ist eine elegante Therapieoption, hierbei muss jedoch über die Möglichkeit einer Stressfraktur des residuellen Knochens aufgeklärt werden, die in der Regel konservativ ausheilt.

Die vollständige, weite Resektion eines schlecht differenzierten ($\geq G2$), malignen primären Knochentumors mit tumorfreien Absetzungsrandern ist Voraussetzung für ein dauerhaft tumorfreies Überleben des betroffenen Patienten. Unverzichtbare (neo)adjuvante Therapieformen bei Osteo- und Ewingsarkom können den erfolgreichen Einsatz von autologen und allogenen Strutgrafts zur biologischen Rekonstruktion erschweren und die

Tabelle 1 Literaturübersicht zur Calcaneusresektion ohne Defektrekonstruktion.

Jahr	Autor	Fallzahl	Histopathologie, Diagnose	Alter, Geschlecht	Follow-up (M)	Resultat, Bemerkung
1993	Dhillon [23]	3	Riesenzell-Tumor	45, w	21	geringes Hinken
2003	Özerdemoglu [24]	1	Riesenzell-Tumor	20, m 29, w 36, m	14 - 12	geringes Hinken - Rückkehr zur Arbeit
2007	Wagner [25]	1	G2 Chondrosarkom	23, m	36	Talonavikuläre Arthrodese 4 Monate nach Resektion
2009	Geertzen [27]	2	neurogenes Ulkus bei Spina bifida aperta Chondrosarkom	54, w 72, w	84 72	kurze Strecken barfuss kurze Strecken barfuss
2012	Madhuri [28]	1	Primitiver neuro-ektodermaler Tumor	7, m	32	kein Hinken
2018	Tonogai [29]	1	Metastase bei Nierenzell-Karzinom	59, m	12	Schuh mit Fersenkeil kurze Strecken barfuss

Vergleich der Literatur zur Resektionsarthroplastik des Calcaneus: w, weiblich; m, männlich; M, Monate.

**Abb. 24.** Insuffizienzfraktur nach partieller Calcanektomie bei chronischer Osteomyelitis.

Komplikationsraten erhöhen [54]. Gleiches gilt für die Verwendung allo(arthro)plastischer Implantate zur calcanearen Defektrekonstruktion. Die Art der definitiven Versorgung und Rekonstruktion bleibt eine individuelle Entscheidung, bei der zahlreiche Faktoren wie Comorbiditäten, Alter und Aktivitätsanspruch der betroffenen Patienten sowie adjuvante Therapieformen in die Entscheidungsfindung

einfließen sollten. Die Resektions(arthro)plastik stellt in Zusammenschau der Literatur und bei entsprechender Indikation eine geeignete Alternative zu biologischen Transplantaten und alloplastischen Implantaten der calcanearen Defektrekonstruktion dar. Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Verfahren müssen stets individuell beurteilt und mit den betroffenen Patienten diskutiert werden.

Tabelle 2 Literaturübersicht zu Defektrekonstruktionen mit Allograft.

Jahr	Autor	Fall-zahl	Histopathologie	Alter, Geschlecht	Allograft	Follow-up	Resultat
1953	Ottolenghi [32]	1	Chondromyosarkom	14, m	Calcaneus-Allograft + Beckenkamm-autograft	32 Jahre	keine relevanten Schmerzen
2000	Musculo [31]	2	Chondrosarkom	14, m	Calcaneus-Allograft + Beckenkamm-autograft	9 Jahre	keine relevanten Schmerzen
2007	Wozniak [30]	3	1 Chondrosarkom	15, m	Femurkopf mit Collum femoris	6 Monate	gehen ohne Hilfsmittel möglich
2012	Li [35]	4	1 Synovialsarkom 1 Ewing Sarkom 1 Fibrosarkom	15, m 14, m 32,1 Jahre (Mittel)	Calcaneus-Allograft und gestielter Fibula-Lappen	24,5 Monate (Mittel)	barfuss gehen schmerzfrei möglich
2016	Ayerza & Musculo [33]	6	1 Chondrosarkom 1 aggressives Osteoblastom 1 Riesenzelltumor nicht aufgeschlüsselt	27 Jahre (Mittel)	5 Calcaneus-Allograft	4–20 Jahre	Allograft-Überleben von 5 & 10 Jahre: 83%
2016	Degeorge [34]	1	Chondrosarkom	58	1 partieller Calcaneus-Allograft Calcaneus-Allograft 7 Jahre nach Spacer-Implantation	1 Revision bei tiefer Infektion 12 Monate	barfuss gehen schmerzfrei möglich
2022	Torner [36]	1	Ewing Sarkom	13, m	Calcaneus-Allograft	42 Monate	Rückkehr zu Fussballspiel

Vergleich der Literatur zu den strukturellen Allograftrekonstruktionen des Calcaneus: w, weiblich; m, männlich.

Tabelle 3 Literaturübersicht zu Defektrekonstruktionen mit Calcaneusprothese.

Jahr	Autor	Fall-zahl	Histopathologie, Diagnose	Alter, Geschlecht	Follow-up	Resultat, Bemerkung
2007	Chou [46]	1	Osteosarkom	31, m	12 Jahre	moderate Schmerzen, geringes Hinken barfuss
2015	Imanishi [51]	1	G2 Chondrosarkom	71, m	5 Monate	keine Komplikationen
2018	Papagelopoulos [47]	2	1 Ewing Sarkom	16, m	2,5 Jahre	schmerzfrei
				46, w	2,5 Jahre	leichtes Missempfinden zweizeitige Rekonstruktionen (Zementplombe → Prothese)
2018	Park [48]	1	Desmoplastisches Fibrom	23, m	16 Monate	schmerzfrei
2019	Angelini [52]	1	G1 Chondrosarkom	-	-	Subtalgelenk erhalten Revision und myokutane Lappendeckung bei tiefer Infektion
2020	Savvidou [53]	1	III°B offene Calcaneusfraktur	-	1 Jahr	leichte Fersenschmerzen zweizeitige Rekonstruktion (Zementplombe → Prothese)

Vergleich der Literatur zur alloplastischen Rekonstruktion des Calcaneus: w, weiblich; m, männlich.

Anmerkung

Die Autoren JMFC und AT haben in gleichen Teilen zur Erstellung der Publikation beigetragen und teilen sich die Erstautorschaft.

Ethisches statement

None/Not applicable.

Interessenkonflikt

None/Not applicable.

Sponsoring

None/Not applicable.

Literatur

- [1] Campanacci M. Bone Tumors: General Aspects and Data on 8,542 Cases. *Mayo Clin Proc* 1999;62(4):322–323.
- [2] Toepfer A, Lenze U, Holzapfel BM, Rechl H, Von Eisenhart-Rothe R, Gollwitzer H. Fußtumoren:

Diagnostik und Therapie. *Best Pract Onkol* 2012;7(6):38–53.

- [3] Brotzmann M, Hefti F, Baumhoer D, Krieg AH. Do Malignant Bone Tumors of the Foot Have a Different Biological Behavior than Sarcomas at Other Skeletal Sites? *Sarcoma* 2013;2013:1–8.
- [4] Gelderblom H et al. The Clinical Approach Towards Chondrosarcoma. *Oncologist* Mar. 2008;13(3):320–329.
- [5] Bruns J, Delling G, Henne-Bruns D, Hossfeld DK. Übersichtsarbeit: Die biopsie bei tumoren des muskuloskeletalen systems. *Dtsch Arztebl* 2008;105(27):492–497.
- [6] Rechl H, Kirchhoff C, Wortler K, Lenze U, Topfer A, von Eisenhart-Rothe R. Diagnosis of malignant bone and soft tissue tumors. *Orthopade* 2011;40(10):931–941.
- [7] Schütte J, Hartmann J, Reichardt P. Weichteilsarkome. *DGHO-Leitlinien*; 2011.
- [8] Pohlig F, Kirchhoff C, Gradinger R, von Eisenhart-Rothe R, Rechl H. Prinzipien der Biopsie. *Info Onkol* 2010;13(4):34–37.
- [9] Toepfer A. Tumors of the foot and ankle – A review of the principles of diagnostics and treatment. *Fuß Sprunggelenk* 2017;15(2):82–96.
- [10] Enneking WF. A system of staging musculoskeletal neoplasms. *Clin Orthop Relat Res* 1986;204:9–24.

- [11] Toepfer A et al. Distal femoral replacement with the MML system: a single center experience with an average follow-up of 86 months. *BMC Musculoskelet Disord* 2017;18(1):206.
- [12] Toepfer A, Straßer V, Ladurner A, Calek A-K, Potocnik P, von Eisenhart-Rothe R. Different outcomes after proximal femoral replacement in oncologic and failed revision arthroplasty patients - a retrospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22(1):813.
- [13] Engel H et al. "Chondrogenic Bone Tumors: The Importance of Imaging Characteristics", *RoFo Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Bildgeb. Verfahren* 2021;193(3):262–274.
- [14] Uhl M, Herget G, Kurz P. Chondrogene Knochentumoren. *Radiologe* 2016;56(6):476–488.
- [15] Roessner A, Smolle M, Schoeder V, Haybaeck J. Knorpeltumoren: Morphologie, Genetik und Basisaspekte der Targettherapie. *Pathologe* 2020;41(2):143–152.
- [16] Choi B-B et al. MR differentiation of low-grade chondrosarcoma from enchondroma. *Clin Imaging* 2013;37(3):542–547.
- [17] Sharif B, Lindsay D, Saifuddin A. The role of imaging in differentiating low-grade and high-grade central chondral tumours. *Eur J Radiol* 2021;137:109579.
- [18] Crim J, Schmidt R, Layfield L, Hanrahan C, Manaster BJ. Can imaging criteria distinguish enchondroma from grade 1 chondrosarcoma? *Eur J Radiol* 2015;84(11):2222–2230.
- [19] "www.implantcast.de." [Online]. Available: <https://www.implantcast.de/fuer-aerzte/produkte/individualendoprothetik/c-fitr-3d/>.
- [20] Khai Luen K, Wan Sulaiman WA. Functional Outcomes After Heel Pad Reconstruction: A Review of 7 Cases. *J Foot Ankle Surg* 2017;56(5):1114–1120.
- [21] Graubergner JN, Gibreel WO, Moran SL, Carlsen BT, Bakri K. Long-term clinical and patient-reported outcomes in free flap reconstruction of the weight-bearing heel pad and non-weight-bearing Achilles tendon regions. *Microsurgery* 2020;40(8):835–845.
- [22] El-Shazly M, Yassin O, Kamal A, Makboul M, Gherardini G. Soft Tissue Defects of the Heel: A Surgical Reconstruction Algorithm Based on a Retrospective Cohort Study. *J Foot Ankle Surg* 2008;47(2):145–152.
- [23] Dhillon MS, Singh B, Gill SS, Walker R, Nagi ON. Management of Giant Cell Tumor of the Tarsal Bones: A Report of Nine Cases and a Review of the Literature. *Foot Ankle* 1993;14(5):265–272.
- [24] Ozerdemoglu RA, Yorgancigil H. Total calcaneotomy in a patient with a giant cell tumor. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2003;37(1):79–83.
- [25] Wagner A, Venbrocks R-A, Fuhrmann RA. Chondrosarcoma of the Calcaneus: Amputation or Resection with Limb Preservation: A Case Report. *Foot Ankle Int* 2007;28(10):1090–1094.
- [26] Waibel FWA, Klammer A, Götschi T, Uçkay I, Böni T, Berli MC. Outcome After Surgical Treatment of Calcaneal Osteomyelitis. *Foot Ankle Int* 2019;40(5):562–567.
- [27] Geertzen JHB, Jutte P, Rompen C, Salvans M. Calcanectomy, an alternative amputation? Two case reports. *Prosthet Orthot Int* 2009;33(1):78–81.
- [28] Madhuri V, Balakumar B, Walter NM, Prakash H, Dutt V, Chowdhurie L. Function after Total Calcanectomy for Malignant Tumor in a Child: Is Complex Reconstruction Necessary? *J Foot Ankle Surg* 2012;51(1):71–75.
- [29] Tonogai I, Nishisho T, Miyagi R, Sairyo K. Total calcanectomy for metastasis of renal cell carcinoma in the calcaneus: A case report. *Foot Ankle Surg* 2018;24(1):e7–e12.
- [30] Wozniak W, Raciborska A, Walenta T, Szafranski A, Szymborska A, Bajor M. Leczenie chirurgiczne nowotworów złośliwych z lokalizacją w kości piętowej - Nowa metoda leczenia. *Doniesienie wstępne. Ortop Traumatol Rehabil* 2007;9(3):273–276.
- [31] Muscolo DL, Ayerza MA, Aponte-Tinao LA. Long-term results of allograft replacement after total calcanectomy: A report of two cases. *J Bone Jt Surg* 2000;82(1):109–112.
- [32] Ottolenghi CE, Petracchi LJ. Chondromyxosarcoma of the calcaneus; report of a case of total replacement of involved bone with a homogenous refrigerated calcaneus. *J Bone Joint Surg Am* 1953;35-A(1):211–214.
- [33] Ayerza MA, Piuze NS, Aponte-Tinao LA, Farfalli GL, Muscolo DL. Structural allograft reconstruction of the foot and ankle after tumor resections. *Musculoskelet Surg* 2016;100(2):149–156.
- [34] Degeorge B, Dagneaux L, Forget D, Gaillard F, Canovas F. Delayed Reconstruction by Total Calcaneal Allograft following Calcanectomy: Is It an Option? *Case Rep Orthop* 2016;2016:1–5.
- [35] Li J, Wang Z, Guo Z, Yang M, Chen G, Pei G. Composite biological reconstruction following total calcanectomy of primary calcaneal tumors. *J Surg Oncol* 2012;105(7):673–678.
- [36] Torner F et al. Total calcaneal allograft reconstruction of an Ewing's sarcoma in a child: Outcome and review of the literature. *Cancer Rep* 2022;5(9):Sep.
- [37] Innocenti M et al. Calcaneal reconstruction after total calcanectomy with iliac crest free flap. *Microsurgery* Nov. 2019;39(8):704–709.
- [38] Scoccianti G, Campanacci DA, Innocenti M, Beltrami G, Capanna R. Total Calcanectomy and Reconstruction with Vascularized Iliac Bone Graft for Osteoblastoma: A Report of Two Cases. *Foot Ankle Int* 2009;30(7):716–720.
- [39] Brenner P, Zwipp H, Rammelt S. Vascularized double barrel ribs combined with free serratus anterior muscle transfer for homologous restoration of the hindfoot after calcanectomy. *J Trauma - Inj Infect Crit Care* 2000;49(2):331–335.

- [40] Chang KN, DeArmond SJ, Buncke HJ. Sensory reinnervation in microsurgical reconstruction of the heel. *Plast Reconstr Surg* 1986;78(5):664.
- [41] Anderson RB, Foster MD, Gould JS, Hanel DP. Free Tissue Transfer and Calcanectomy as Treatment of Chronic Osteomyelitis of the Os Calcis: A Case Report. *Foot Ankle Int* 1990;11(3):168–171.
- [42] Goldberg Paula JAA, Tsu-Min T. Microvascular Reconstruction of the Foot. *Plast Reconstr Surg* 1993;92(5):904–911.
- [43] Cai J, Cao X, Liang J, Baoguo S. Heel reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 1997;99(2):448–453.
- [44] Peek A, Giessler GA. Functional Total and Subtotal Heel Reconstruction With Free Composite Osteofasciocutaneous Groin Flaps of the Deep Circumflex Iliac Vessels. *Ann Plast Surg* 2006;56(6):628–634.
- [45] Rosli MA et al. Calcaneal Reconstruction With Free Deep Circumflex Iliac Artery Osseocutaneous Flap Following Aggressive Benign Bone Tumor Resection. *Foot Ankle Int* 2021;42(12):1570–1578.
- [46] Chou LB, Malawer MM. Osteosarcoma of the Calcaneus Treated with Prosthetic Replacement with Twelve Years of Followup: A Case Report. *Foot Ankle Int* 2007;28(7):841–844.
- [47] Papagelopoulos PJ, Megaloikonomos PD, Korkolopoulou P, Vottis CT, Kontogeorgakos VA, Savvidou OD. Total calcaneus resection and reconstruction using a 3-dimensional printed implant. *Orthopedics* 2019;42(2):E282–E287.
- [48] Park JW, Kang HG, Lim KM, Kim JH, Kim HS. Three-Dimensionally Printed Personalized Implant Design and Reconstructive Surgery for a Bone Tumor of the Calcaneus A Case Report. *JBJS Case Connect* 2018;8(2):E25.
- [49] Kang HG, Park JW, Park DW. Three Dimensional Printing Technique and Its Application to Bone Tumor Surgery. *J Korean Orthop Assoc* 2018;53(6):466.
- [50] Liu X, Yue Y, Wang C, Huang J, Huang X, Hao Y. Topology Optimization Method for Calcaneal Prosthesis. *J Shanghai Jiaotong Univ* 2022;27(2):240–249.
- [51] Imanishi J, Choong PFM. Three-dimensional printed calcaneal prosthesis following total calcanectomy. *Int J Surg Case Rep* 2015;10:83–87.
- [52] Angelini A, Kotrych D, Trovarelli G, Szafranski A, Bohatyrewicz A, Ruggieri P. Analysis of principles inspiring design of three-dimensional-printed custom-made prostheses in two referral centres. *Int Orthop* May 2020;44(5):829–837.
- [53] Savvidou O et al. Three-dimensional printed calcaneus implant for open calcaneal fracture with extensive bone loss: A case report and literature review. *J Long Term Eff Med Implants* 2020;30(4):267–273.
- [54] Lenze U, Kasal S, Hefti F, Krieg AH. Non-vascularised fibula grafts for reconstruction of segmental and hemicortical bone defects following meta- /diaphyseal tumour resection at the extremities. *BMC Musculoskelet Disord* Dec. 2017;18(1):289.