



3-D-Analyse von posttraumatischen Tibiaschaftfehlstellungen und deren Korrektur anhand der gesunden Gegenseite

Viehöfer, Arnd F ; Wirth, Stephan H

Abstract: **OBJECTIVE:** Three-dimensional (3D) analysis and implementation with patient-specific cutting and repositioning blocks enables correction of complex tibial malunions. Correction can be planned using the contralateral side or a statistical model. Patient-specific 3D-printed cutting guide blocks enable a precise osteotomy and reduction guide blocks help to achieve anatomical reduction. Depending on the type and extent of correction, fibula osteotomy may need to be considered to achieve the desired reduction. **CONTRAINDICATIONS:** a) Poor soft tissue (flap surgery, adherent skin in field of operation); b) infection; c) peripheral artery disease (stage III and IV classified according to Fontaine, critical transcutaneous oxygen partial pressure, TcPO₂); d) general contraindication to surgery. **SURGICAL TECHNIQUE:** Before surgery, a 3D model of both lower legs is created based on computed tomography (CT) scans. Analysis of the deformity based on the contralateral side in a 3D computer model (CASPA) and planning of the osteotomy. If the contralateral side also has a deformity, a statistical model can be used. Printing of patient-specific guides made of nylon (PA2200) for the osteotomy and reduction. Surgery is performed in supine position, antibiotic prophylaxis, thigh tourniquet, which is used as needed. Ventrolateral approach to the tibia. Attachment of the patient-specific osteotomy guide, performance of the osteotomy. Reduction using the guide. Fibula osteotomy through a lateral approach is performed if the reduction of the tibia is hindered by the fibula. This can be performed freehand or with patient-specific guides. Wound closure. **POSTOPERATIVE MANAGEMENT:** Compartment monitoring. Passive mobilization of the ankle in the cast as soon as the wound healing has progressed. Partial weightbearing in a lower leg cast for at least 6-12 weeks, depending on the routinely performed radiographic assessment 6 weeks postoperatively. Thromboprophylaxis with low molecular weight heparin until cast removal. **RESULTS:** Patient-specific correction of malunions are generally good. This could be confirmed for distal tibial corrections. For tibial shaft deformities, the final results are still pending. Preliminary results, however, show good feasibility with a pseudarthrosis rate of 10% without postoperative infection.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00064-023-00821-x>

Other titles: Three-dimensional analysis of posttraumatic tibial shaft malunion and correction based on the healthy, contralateral leg

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-254414>

Journal Article

Published Version



The following work is licensed under a Creative Commons: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

Originally published at:

Viehöfer, Arnd F; Wirth, Stephan H (2023). 3-D-Analyse von posttraumatischen Tibiaschaftfehlstellungen und deren Korrektur anhand der gesunden Gegenseite. *Operative Orthopädie und Traumatologie*, 35(5):239-247.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00064-023-00821-x>

Oper Orthop Traumatol 2023 · 35:239–247
<https://doi.org/10.1007/s00064-023-00821-x>

Eingegangen: 19. Oktober 2022
 Überarbeitet: 21. Januar 2023
 Angenommen: 24. Januar 2023
 Online publiziert: 12. September 2023
 © Der/die Autor(en) 2023

Herausgeber

Andreas B. Imhoff, München

Zeichnungen

Dr. Katja Dalkowski, Buckenhof



3-D-Analyse von posttraumatischen Tibiaschaftfehlstellungen und deren Korrektur anhand der gesunden Gegenseite

Arnd F. Viehöfer · Stephan H. Wirth
 Universitätsklinik Balgrist, Zürich, Schweiz

Vorbemerkungen

Komplexe posttraumatische Fehlstellungen der Tibia können eine Kombination einer Fehlrotation, Fehlanguktion, Translation und Verkürzung oder Verlängerung sein.

Für Deformitäten in der Frontalebene und Sagittalebene wird eine Deformität ab 5° bereits als klinisch relevant eingestuft [13, 16]. In der Literatur werden Rotationsfehlstellungen bis 15° toleriert [2, 18]. In unseren Augen kann die Rotationsfehlstellung bereits bei kleineren Werten Beschwerden bereiten, insbesondere dann, wenn bereits vor dem Unfall eine

grenzwertige Deformität vorlag. Eine Rotationsanalyse des gesamten Beins ist dabei hilfreich. Eine Deformitätenkorrektur in der Metaphyse ist aufgrund des besseren Heilungspotenzials hilfreich. Fehlstellungen der Tibia werden in der klassischen Analyse und Korrektur anhand von 2-D-Röntgenbildern analysiert, und das Zentrum der Fehlstellung wird bestimmt. Hierzu werden eine Linie in der proximalen und eine in der distalen Diaphyse eingezeichnet. Der Schnittpunkt definiert das Zentrum der Fehlstellung (CORA = „center of rotation and angulation“; [11]). Die Fehlstellung sollte, um eine Translation zu vermeiden,

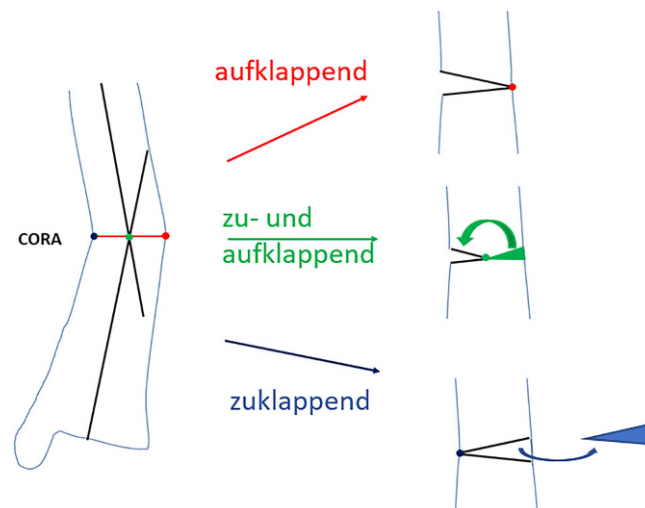


Abb. 1 ▲ Klassische Fehlstellungsanalyse in 2-D. Zentrum der Fehlstellung (CORA = „center of rotation and angulation“) als Schnittpunkt der proximalen und distalen Metaphysenlinie. Exemplarische Korrektur durch eine zuklappende (oben) halb zu- und halb aufklappende Osteotomie (Mitte) oder zuklappende Osteotomie (unten; mod. nach Paley; [13])



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

möglichst in der Ebene dieses Zentrums erfolgen (▣ Abb. 1; [11]).

Wenn die Deformität nicht streng in der gewählten Röntgenebene liegt wird durch diese Betrachtungsweise in dieser Ebene nur ein Teil der Deformität berücksichtigt. Eine Korrektur der Deformität in der Frontalebene z. B. korrigiert eine Deformität in der sagittalen Ebene nicht, wodurch es zu postoperativen Beschwerden kommen kann [6]. Durch geometrische Überlegungen kann die Ebene der Deformität im 3-D-Raum anhand des a.-p.- und seitlichen Röntgenbildes bestimmt werden [5]. Eine 3-D-Darstellung der Deformität anhand eines CT kann die 3-D-Analyse der Deformität vereinfachen und präzisieren. Zudem kann eine Rotationsfehlstellung besser erfasst werden. In unserer Institution wird in einem speziell dazu entwickelten Computerprogramm (CASPA, Balgrist, University of Zurich, Zürich, Schweiz) ein 3-D-Modell der Tibia erstellt und die Deformität bestimmt.

Die gesunde Gegenseite zeigt eine gute Referenz für die deformierte Tibia [7, 8] und wird standardmäßig gespiegelt als Referenz für die Planung herangezogen. Als Alternative kann ein statistisches Modell der Tibia als Referenz dienen. Dies ist dann sinnvoll, wenn die Gegenseite ebenfalls eine Deformität zeigt. Zur Bestimmung der Deformität und Korrekturebene wird die proximale Tibia über die Zieltibia gelegt (▣ Abb. 2). Die distale Tibia der deformierten Tibia kann nun auf die Zieltibia überführt werden. Mithilfe des Programms wird die Osteotomieebene bestimmt. Die Analyse erfolgt in unserem Hause zusammen mit Ingenieuren und dafür ausgebildeten Wissenschaftlern.

Die Länge der Tibia wird durch das Verfahren miterfasst und kann je nach geplanter Osteotomie durch eine Verschiebung in der Osteotomie mit korrigiert werden. Das Vorgehen erlaubt zudem eine Planung einer Fibulakorrektur. Je nach Ausmaß der Korrektur muss bei der Korrekturebene der Fibula von einer einheitlichen Korrektorebene des Unterschenkels abgewichen werden, da sonst eine zu geringe bis gar keine Kontaktfläche an der Fibula resultiert.

Für die Korrekturosteotomie der Tibia wurden mehrere Verfahren beschrieben. Konventionell erfolgt die Korrektur in der

Grundlagen: Die 3-D-Analyse und Umsetzung mit patientenindividuellen Schnitt- und Repositionsblöcken ermöglicht die Korrektur komplexer Tibiafehlstellungen. Die Korrektur kann anhand der Gegenseite oder eines statistischen Modells geplant werden. Patientenspezifische 3-D-gedruckte Schnittführungsblöcke ermöglichen eine präzise Osteotomie, und Repositionsblöcke helfen, eine anatomische Reposition zu erreichen. Je nach Art und Ausmaß der Korrektur muss eine Fibulaosteotomie erwogen werden, um eine Korrektur in der gewünschten Reposition zu erreichen.

Kontraindikationen: a) Schlechte Weichteilsituation, Vorsicht insbesondere bei adhärenter Haut und Lappenplastiken im Zugangsbereich; b) Infektionen; c) periphere arterielle Verschlusskrankheit (Stadium III und IV, kritischer transkutaner Sauerstoffpartialdruck tcpO_2 im Operationsgebiet); d) allgemeine Kontraindikation einer Operation.

Operationstechnik: Vor der Operation wird ein 3-D-Modell beider Unterschenkel anhand von CT-Daten erstellt. Analyse der Deformität anhand der Gegenseite im 3-D-Computermodell (CASPA) und Planung der Osteotomie. Falls die Gegenseite eine Fehlstellung zeigt, kann ein statistisches Modell benutzt werden. Drucken der patientenspezifischen Schnittblöcke aus Nylon (PA2200) für die Osteotomie und Reposition. Die Operation erfolgt in Rückenlagerung, Antibiotikaprophylaxe präoperativ, Oberschenkelblutsperrung, welche bei Bedarf aktiviert wird. Ventrolateraler Zugang zur Tibia. Anbringen des patientenspezifischen Schnittblocks, Durchführung der Osteotomie. Reposition über den Repositionsblock und Fixieren mittels medialer Platte. Falls die Fibula die Reposition behindert, erfolgt eine Fibulaosteotomie in der Regel über einen separaten lateralen Zugang. Je nach Präferenz des Operateurs kann diese ebenfalls mit patientenspezifischen Schnittblöcken erfolgen. Verschluss der Wunde.

Postoperatives Management: Kompartimentüberwachung. Passive Mobilisation des oberen Sprunggelenks aus dem Gips, sobald die Wundheilung fortgeschritten ist. Teilbelastung im abnehmbaren Unterschenkelgips für mindestens 6 bis 12 Wochen, abhängig von der routinemäßig durchgeführten Röntgenkontrolle 6 Wochen postoperativ. Bis zur Gipsabnahme Thromboseprophylaxe mittels niedermolekularen Heparins.

Ergebnisse: Die patientenspezifische Korrektur der Fehlleistung ermöglicht im Allgemeinen eine gute Korrektur. Für die distalen Korrekturen der Tibia wurden gute Ergebnisse erzielt. Für die Korrektur von Tibiaschaftdeformitäten sind die endgültigen Ergebnisse noch ausstehend. Vorläufige Ergebnisse zeigen eine gute Machbarkeit mit einer Pseudarthrosenrate von 10 % ohne postoperative Infekte.

Schlüsselwörter

Fehlstellung der Tibia · Patientenspezifische Instrumentierung · Korrekturosteotomie · 3-D Fehlstellungskorrektur des Unterschenkels · Single Cut Osteotomie

Frontal- oder Sagittalebene durch eine zu- oder aufklappende Osteotomie (▣ Abb. 1) oder Domeosteotomie. Bestehen eine Angulations- und Rotationsfehlstellung liegt die Korrektorebene schräg zur Tibiaachse [15, 20]. Eine Rotation um eine Osteotomie in dieser Ebene (Single-cut-Osteotomie) korrigiert beide Deformitäten bei hoher Kontaktfläche. Eine Möglichkeit der 3-D-Korrektur mit Single-cut-Osteotomie und gleichzeitig geringer Weichteilverletzung ist die Korrektur mit einem externen Fixateur, z. B. „Tibia spatial frame“ [5, 17]. Hierbei erfolgen eine Bohrlochosteotomie und anschließend sukzessive Korrektur der Deformität über den externen Fixateur.

Der Vorteil dieser Methode ist die Möglichkeit einer minimal-invasiven Technik ohne komplette Osteotomie. Nachteile sind das lange Tragen des externen Fixateurs und teilweise hohe Rate an Pin-track-Infekten [14].

Die im Folgenden dargestellte Methodik basiert auf einer patientenspezifischen Osteotomie mit dazu individuell angefertigten Schablonen (Guides). Wie oben beschrieben, erfolgt die Analyse der Fehlstellung und Osteotomieebene im 3-D-Modell. In dem Programm wird dann eine genau auf den Knochen passende Schablone geplant werden, welche die Osteotomieebene genau vorgibt (▣ Abb. 3a). Ein

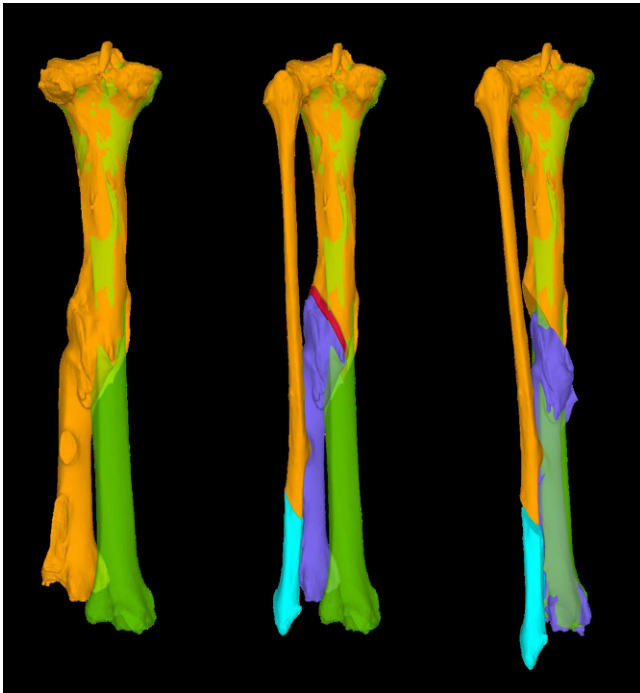


Abb. 2 ▲ 3-D-Analyse der Deformität. *Links:* Die deformierte Tibia (*orange*) wird proximal auf die gespiegelte Gegenseite (*grün*) gelegt. *Mitte:* Die Osteotomieebene wird bestimmt. *Rot:* Verschnitt. *Lila:* zu reponierendes Fragment. Abgebildet ist zusätzlich die mögliche Korrektur der Fibula, um diese der Gegenseite anzugleichen. *Rechts:* geplante Osteotomie und Reposition

weitere auf den Knochen angepasste Schablone kann zur Reposition geplant werden (Abb. 3b). Diese Schablonen werden dann im 3-D-Druck aus Nylon (PA2200) hergestellt. Die Herstellung und auch Planung wurden mittlerweile an eine Firma abgegeben und können auch von externen Chirurgen genutzt werden (Medacta; myosteotomie.com). Mithilfe dieser Schablonen wird die Operation schließlich genau durchgeführt. Die Fixierung erfolgt bei uns über eine Platte, die über den bestehenden Zugang eingebracht wird. Auch eine Fixierung mittels Tibianagel ist möglich, jedoch aufgrund der Fixierung der Guides mit Schanz-Schrauben bei diesem Verfahren technisch schwieriger. Vorteile des Verfahrens sind die vollständige 3-D-Korrektur durch eine Osteotomie. Nachteile zur externen Fixierung sind die größeren Zugänge mit größerer Weichteilkompromittierung und die notwendige vollständige Osteotomie. Kritisch zu sehen bei einer Korrektur der Deformität des Tibiaschaftes ist das Risiko einer Pseudarthrose, welche bei Tibiaschaftfrakturen bereits mit etwa 12% [1] als relativ hoch einzustufen sind. Ein intramedulläres Verfah-

ren wurde prinzipiell für Tibiaschaftfrakturen in vergangenen Studien befürwortet, da es eine schnellere Heilung gegenüber einer Plattenosteosynthese und Fixation über einen externen Fixateur zeigt [10]. Allerdings konnte die klare Überlegenheit der intramedullären Fixation insbesondere bei Revisionseingriffen nicht belegt werden [3]. Vergleichende Studien bei Korrekturosteotomien der Tibia liegen noch nicht vor. Sollte eine Pseudarthrose vorliegen, wurde in unserem Hause bei Verwendung dieser Technik zunächst ein Infekt ausgeschlossen und in einer zweiten Operation die Korrektur vorgenommen.

Liegt eine Deformität der Fibula vor, kann diese ebenfalls in analoger Weise mit Schablonen geplant und durchgeführt werden. Wenn es die Deformität und resultierende Kontaktfläche der Fibula erlauben, erfolgt die Korrektur der Fibula in der gleichen Ebene wie die Tibiakorrektur. Die Beweglichkeit der Fibula zur Tibia kann posttraumatisch durch Vernarbungen und Synostosen deutlich eingeschränkt sein. Sollte die Reposition der Tibia aufgrund einer sperrenden Fibula nicht wie gewünscht möglich sein, ist eine Osteotomie der Fibu-

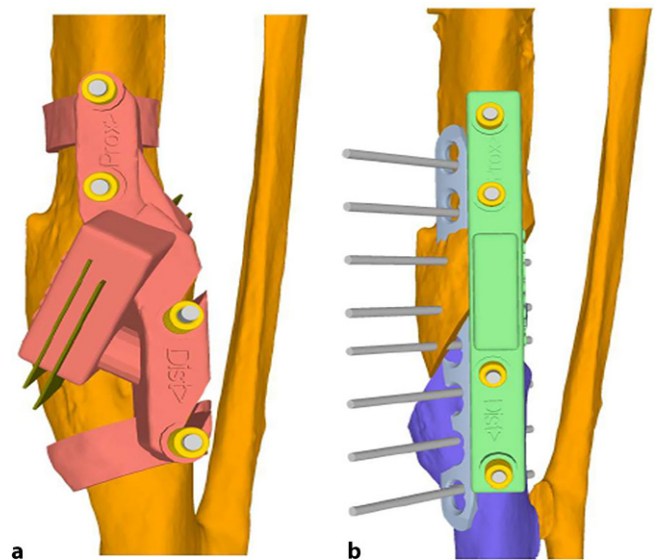


Abb. 3 ▲ a Osteotomieguide. b Repositionsguide

la zu erwägen, auch wenn die Deformität der Fibula selber gering ist. Die Fibulaosteotomie erfolgt dann freihand distal der Tibiaosteotomie und proximal der Syndesmose. Häufig ist dabei ein Lösen der Membrana interossea und Synostosen zwischen den Osteotomien notwendig, um eine gute Reposition zu erreichen [15].

Operationsprinzip und -ziel

- Komplette 3-D-Analyse der Fehlstellung anhand der Gegenseite
- Simulation der Korrekturosteotomien und Definieren der Korrekturstelle mithilfe der computerunterstützten Simulation
- Erstellen patientspezifischer Guides anhand der Computersimulation
- Exakte Durchführung der Korrekturosteotomie und der Reposition mithilfe der Guides

Vorteile

- 3-D-Erfassen und Korrektur der Deformität mit Verbessern des Verständnisses für die Deformität
- Hilfe bei der Osteotomie und Reposition durch patientspezifische Instrumentierung intraoperativ

Operative Techniken

Nachteile

- Längere und kostenintensivere Planung
- Erweiterter Zugang zur Positionierung der Guides
- Vollständige Osteotomie und größerer Zugang im Vergleich zur Korrektur mit Hexapoden

Indikationen

- (Komplexe) Korrekturosteotomien der Fehlstellung

Kontraindikationen

- Schlechte Weichteilsituation, Vorsicht insbesondere bei adhärenter Haut und Lappenplastiken im Zugangsbereich
- Infektionen
- Periphere arterielle Verschlusskrankheit (Stadium III und IV, kritischer transkutaner Sauerstoffpartialdruck $tcpO_2$ im Operationsgebiet)
- Allgemeine Kontraindikation einer Operation
- Relativ: Pseudarthrose

Patientenaufklärung

- Pseudarthrosrisiko
- Über- und Unterkorrektur
- Notwendigkeit einer Fibulaosteotomie
- Durch Weichteilspannung Auswirkungen auf die Fußstellung nicht immer vorhersagbar. Dadurch sind unter Umständen weitere Weichteileingriffe, z. B. Achillessehnenverlängerung, notwendig
- Allgemeine Komplikationen einer Extremitätenoperation und deren Nachbehandlung (Anästhesierisiko, Nerven/Gefäßverletzung, Wundheilungsstörungen, Infektionen ... Thrombosierisiko)

Operationsvorbereitung

- Verinnerlichen und Visualisierung der Planung anhand eines ausgedruckten Modells sowie der Planung auf einem Bildschirm oder Ausdruck (Beispiel [Abb. 2 und 3](#))

- Aufschalten des präoperativen Röntgenbildes
- Intraoperativer Bildwandler

Instrumentarium

- Schnittblöcke und Repositionsguides
- Schanz-Schraube
- Hülsen, um die Guides zu befestigen
- Passend zum Sägeschnittblock geplantes Sägeblatt
- Geplantes Osteosynthesematerial – Plattenosteosynthese (Tibia, 4,5 LCP medial, Fibula Drittelrohrplatte)
- C-Bogen

Anästhesie und Lagerung

- Allgemein oder Regionalanästhesie
- Antibiotikaprophylaxe (Cefuroxim, sofern keine Kontraindikation)
- Rückenlagerung
- Oberschenkelblutsperre, welche bei Bedarf aktiviert wird
- Bei hohem Risiko für ein postoperatives Kompartmentsyndrom verzichten die Autoren auf eine lang andauernde Regionalanästhesie (z. B. langfristiger Ischiadikusblock oder Katheter)

Operationstechnik

([Abb. 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 10](#))

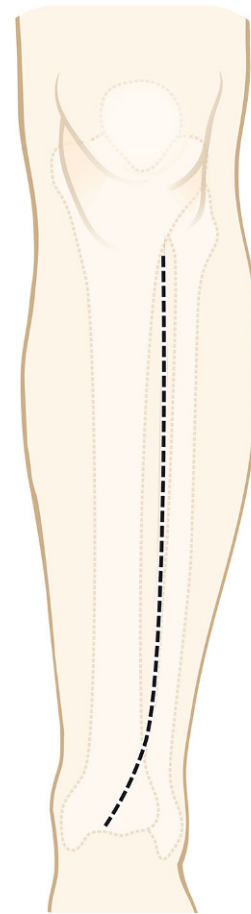


Abb. 4 ▲ Linker Oberschenkel von vorne. Hautinzision lateral der Tibia distal auf das Os naviculare (Guides und Platte eher ventral) oder den medialen Malleolus (Guides und Platte medial) zielend. Stumpfe oder scharfe Präparation der Subkutis. Partielles Ablösen der Tibialis-anterior-Muskulatur und Darstellen des Knochens auf Höhe der Osteotomie und der Guides

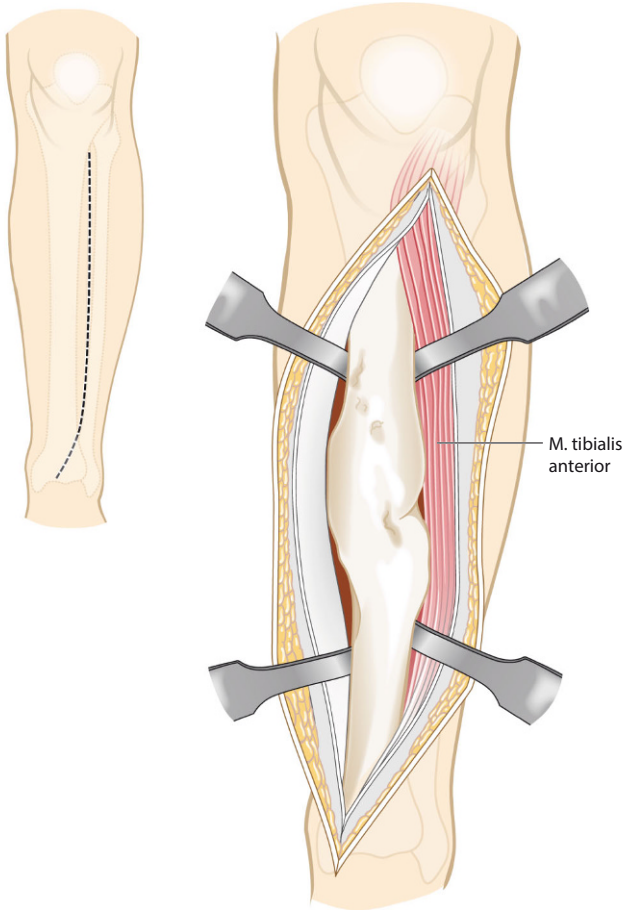


Abb. 5 ◀ Darstellen des Knochens auf Höhe der geplanten Osteotomie und Schutz der Weichteile mittels Eva-Haken knochennah um die Tibia. Diese werden von medial und lateral nach posterior knochennah eingebracht, um eine Verletzung der Weichteile (cave: N. tibialis und der A. tibialis posterior) zu vermeiden

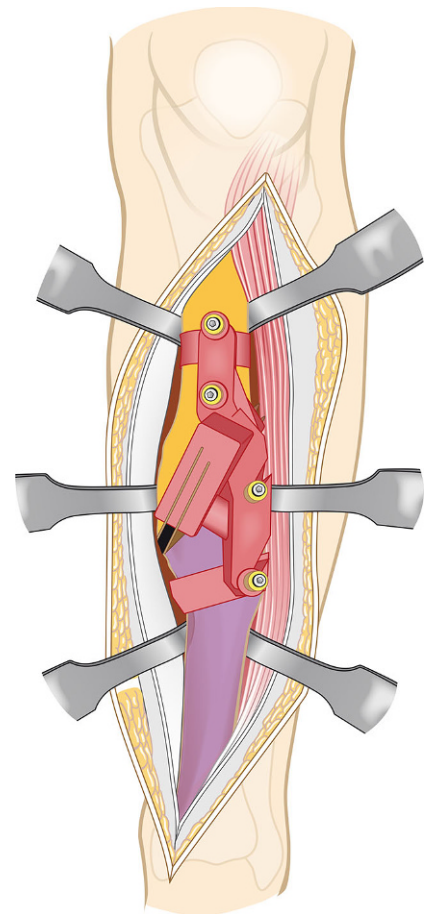


Abb. 6 ▲ Anbringen des patientenspezifischen Schnittguides. Die Guides finden auf dem präparierten Knochen einen festen Sitz und definieren so die Osteotomierichtung und Höhe. Fixieren mittels Schanz-Schrauben. Es empfiehlt sich, ein 3-D-Modell der deformierten Tibia und der korrigierten Tibia mit zu drucken. Die Lage des Guides kann dann intraoperativ am Modell verifiziert werden

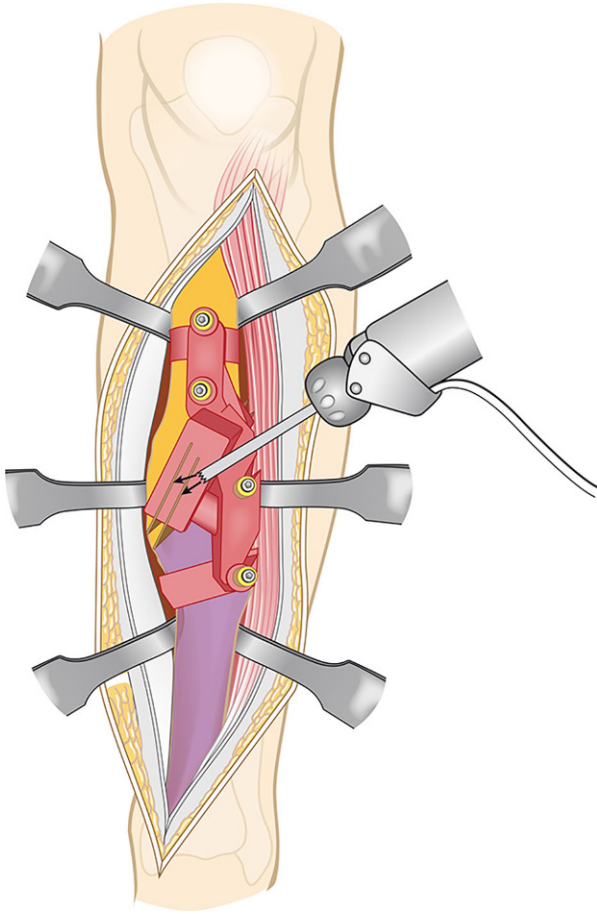


Abb. 7 ◀ Durchführen der Osteotomie. Die Guides beinhalten einen Sägeschlitz. Dabei ist wichtig die Weichteile durch beidseits eingebrachte knochen nahe die Tibia vollständig umgreifende Eva-Haken zu schützen

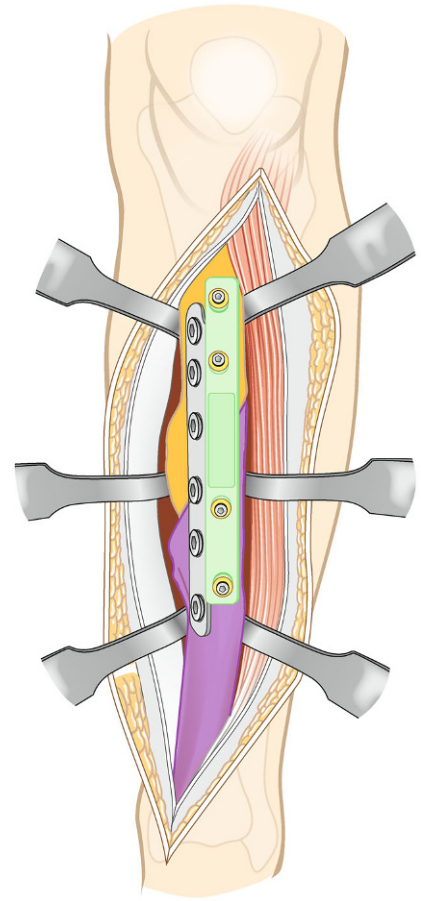


Abb. 8 ▲ Anbringen des patientenspezifischen Repositionsguides. Über die Schanz-Schrauben, welche beim Sägeguide eingebracht werden, wird der Repositionsguide angebracht. Die Reposition kann anhand der Verschiebung an einem 3-D-Modell überprüft werden

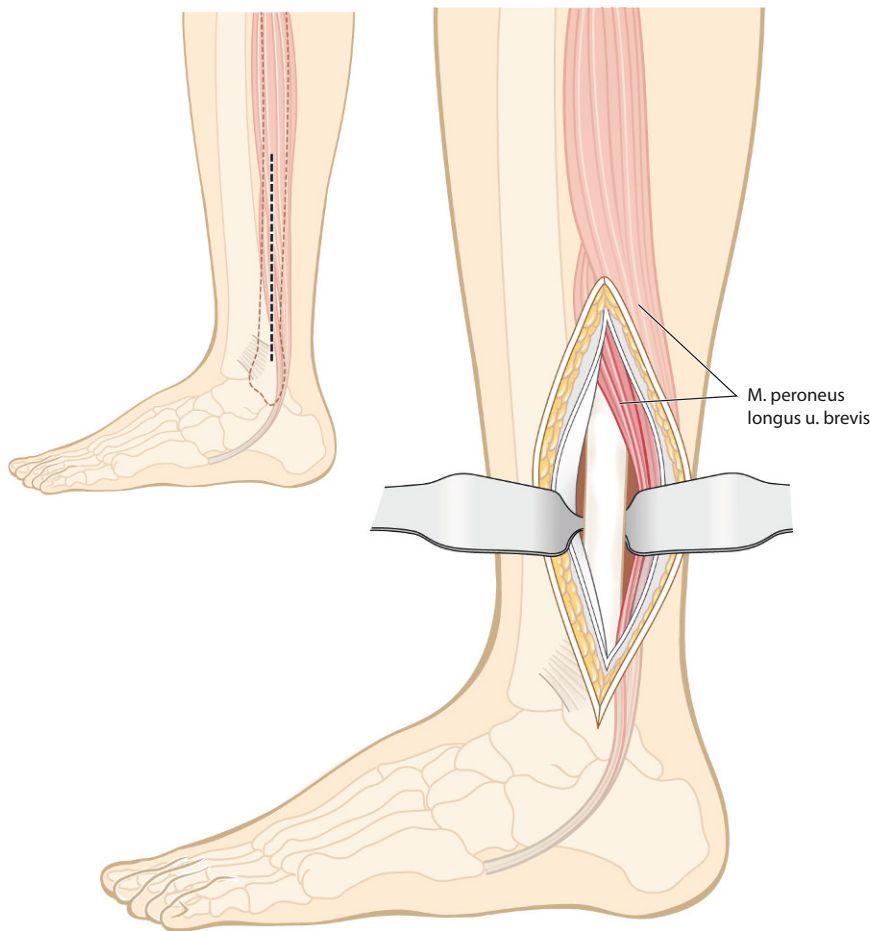


Abb. 9 ▲ Falls die Reposition nicht erreicht werden kann, ist häufig eine Fibulaosteotomie notwendig. Dazu lateraler Zugang und Hautinzision über der Fibula. Die Höhe der Fibulaosteotomie kann bei der 3-D-Analyse mitgeplant werden, falls eine Deformität vorliegt. Sie kann dann ebenfalls mit Schablonen geplant werden. Häufig erfolgt diese bei uns jedoch freihand distal der Tibiaosteotomie und proximal der Syndesmose. Darstellen der Fibula und Durchführen der Osteotomie unter Schutz der Weichteile. Die Osteotomierichtung und Höhe können dabei auch 3-D geplant werden

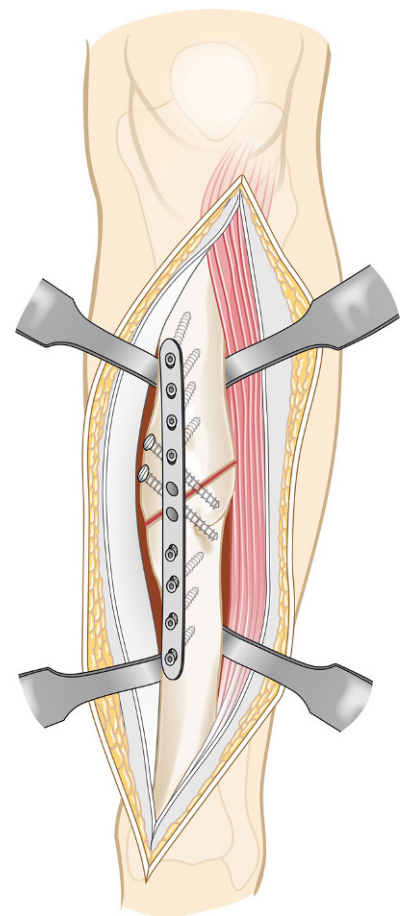


Abb. 10 ▲ Nun Anbringen der Platte an der Tibia und Osteosynthese der Fibula

Postoperative Behandlung

Die Operation erfolgt stationär mit initialer Bettruhe. Diese wird ab dem ersten postoperativen Tag in eine gelockerte Bettruhe aufgehoben. Am 2. postoperativen Tag erhalten die Patienten einen abnehmbaren Unterschenkelgehgips. Eine Belastung mit maximal 15 kg ist erlaubt. Eine Antibiotikaphylaxe erfolgt perioperativ über 24 h mit Cefuroxim, falls keine Kontraindikationen bestehen. Die Entlassung ist ab dem 3. postoperativen Tag bei trockenen Wundverhältnissen, mobilem und schmerzkompenziertem Patienten möglich. Das OSG wird belastungsfrei passiv aus dem Gips mobilisiert, sobald die Wunden trocken sind. Eine Thromboseprophylaxe mit niedermolekularem Heparin wird perioperativ und postoperativ bis zur gipsfreien Vollbe-

lastung verabreicht. Der Gipswechsel erfolgt 2 Wochen postoperativ in unserer Institution. Dabei werden bei abgeschlossener Wundheilung auch die Fäden gezogen. Sechs Wochen postoperativ wird die Patientin oder der Patient in der Sprechstunde kontrolliert. Hier erfolgt auch eine CT-Bildgebung. Je nach Ausmaß der Konsolidierung erfolgt dann das schrittweise Aufbelasten im Unterschenkelgehgips in der Regel über weitere 6 Wochen.

Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Gefäßnervenverletzung. Hier sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass die Haken korrekt knochenah eingebracht werden. Die Guides können die Übersicht erschweren, sodass bei

unsicherer Lage der Haken die Guides nochmals entfernt werden sollten: sofortige Naht oder Rekonstruktion

- Kompartmentsyndrom: Die Autoren empfehlen eine engmaschige Kontrolle postoperativ und Spaltung und eine Dermatafasziotomie bei begründetem Verdacht
- Wundheilungsstörung
- Infektion: Infektsanierung mit Débridement, Osteosynthesematerialentfernung, ggf. zweizeitiger Reosteosynthese und Antibiotikagabe
- Pseudarthrose: Revisionsoperation mit Anfrischen der Pseudarthrose, meistens Anlagern von Spongiosa und erneuter Osteosynthese. Probenentnahme zum Infektausschluss ist in unserer Klinik Standard

- Über- oder Unterkorrektur. Hier ist insbesondere darauf zu achten, dass die Fibula die Reposition nicht behindert. Zudem muss darauf geachtet werden, dass Weichteile das Anbringen des Schnittguides nicht behindern. Ansonsten kann eine falsche Osteotomieebene entstehen. In einem solchen Fall ist eine bessere Darstellung notwendig. Die Reposition gegen Widerstand der Weichteile kann zudem zu einem Korrekturverlust im Guide führen. Das heißt, durch die bedingte Steifigkeit der Guides, der Schanz-Schrauben und der Hülsen ist ein Repositionsverlust möglich. In diesem Fall sollten die die Reposition behindernden Strukturen identifiziert werden. Dies sind meistens noch sperrendes Periost oder Sehenspiegel auf Höhe der Osteotomie. Ist dies nicht der Fall, sind eine Fibulaosteotomie und Lösen der Membrana interossea zu prüfen. Zudem können durch technische Maßnahmen die Stabilität und Steifigkeit des Repositionsguides und dessen Fixierung erhöht werden. Der Guide sollte nicht zu schmal und flach sein, wir verwenden mittlerweile Hülsen aus Stahl und Schanz-Schrauben mit hohem Querschnitt (4,5 mm). Eine unzureichende Korrektur lässt sich zudem am Ende der Operation an den nicht korrekt ausgerichteten Schanz-Schrauben nach Osteosynthese und Abnahme des Repositionsguides erkennen. Dann sollten die Reposition und Osteosynthese erneut erfolgen.
- Fehlplanung der Osteotomie und Guides. Vor einer Operation werden die Guides und das Knochenmodell aus Nylon gedruckt und vom Operateur kontrolliert, um eine Fehlplanung der Osteotomie und der Lage der Guides zu erkennen und zu korrigieren. Durch eine nicht gut geplante Operation kann es zu Abweichungen z. B. im Zugang kommen, welches unter Umständen ein höheres Risiko für Zugangsmorbiditäten (Nervenverletzungen) birgt.

Ergebnisse

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass Osteotomien mit patientenspezifischen Guides eine hohe Genauigkeit

Three-dimensional analysis of posttraumatic tibial shaft malunion and correction based on the healthy, contralateral leg

Objective: Three-dimensional (3D) analysis and implementation with patient-specific cutting and repositioning blocks enables correction of complex tibial malunions. Correction can be planned using the contralateral side or a statistical model. Patient-specific 3D-printed cutting guide blocks enable a precise osteotomy and reduction guide blocks help to achieve anatomical reduction. Depending on the type and extent of correction, fibula osteotomy may need to be considered to achieve the desired reduction.

Contraindications: a) Poor soft tissue (flap surgery, adherent skin in field of operation); b) infection; c) peripheral artery disease (stage III and IV classified according to Fontaine, critical transcutaneous oxygen partial pressure, TcPO₂); d) general contraindication to surgery.

Surgical technique: Before surgery, a 3D model of both lower legs is created based on computed tomography (CT) scans. Analysis of the deformity based on the contralateral side in a 3D computer model (CASPA) and planning of the osteotomy. If the contralateral side also has a deformity, a statistical model can be used. Printing of patient-specific guides made of nylon (PA2200) for the osteotomy and reduction. Surgery is performed in supine position, antibiotic prophylaxis, thigh tourniquet, which is used as needed. Ventrolateral approach to the tibia. Attachment of the patient-specific osteotomy guide, performance of the osteotomy. Reduction using the guide. Fibula osteotomy through a lateral approach is performed if the reduction of the tibia is hindered by the fibula. This can be performed freehand or with patient-specific guides. Wound closure.

Postoperative management: Compartment monitoring. Passive mobilization of the ankle in the cast as soon as the wound healing has progressed. Partial weightbearing in a lower leg cast for at least 6–12 weeks, depending on the routinely performed radiographic assessment 6 weeks postoperatively. Thromboprophylaxis with low molecular weight heparin until cast removal.

Results: Patient-specific correction of malunions are generally good. This could be confirmed for distal tibial corrections. For tibial shaft deformities, the final results are still pending. Preliminary results, however, show good feasibility with a pseudarthrosis rate of 10% without postoperative infection.

Keywords

Tibia malunion · Patient specific instrumentation · Corrective osteotomy · 3D correction of the lower leg · Single cut osteotomy

erzielen [4, 9, 12, 19]. Für die Korrektur der distalen Tibia konnten wir gute Ergebnisse mit einer Korrekturgenauigkeit von 3 mm und 6° nachweisen [19].

Für Schafftrakturen liegen bisher nur Daten der Machbarkeit vor. In unserer Institution wurden von 2013 bis Juli 2022 11 Patienten mit einer Tibiaschaftdeformität mit einer CARD-geplanten Korrekturosteotomie operiert. In allen Fällen erfolgte eine Plattenosteosynthese. Ein Patient ist während des Follow-up verstorben, wobei der Tod nicht im Zusammenhang mit der Operation stand. Die übrigen 10 Patienten zeigten ein Durchschnittsalter von 30,3 Jahren (13 bis 58). Das Follow-up betrug durchschnittlich 27 Monate (12 bis 84 Monate). Die Deformität bestand in 8/10 Fällen posttraumatisch (1 Fall iatro-

gen, 1 Fall angeborene Deformität). Die Fibula wurde in 60% der Fälle ebenfalls osteotomiert. Eine Infektion zeigte sich in keinem Fall. Revisionen erfolgten in einem Fall (10%) aufgrund einer Pseudarthrose. Hier erfolgte ein Tibianagel, wodurch eine Ausheilung der Pseudarthrose erreicht werden konnte.

Es zeigte sich eine sehr hohe Rate an Metallentfernungen (70%), welche in einem Fall mit einer ventralen OSG-Arthroskopie verbunden wurde. Eine radiologische Analyse der postoperativen Deformitätenkorrektur und klinischen Outcomes liegt allerdings nicht vor.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Arnd F. Viehöfer
 Universitätsklinik Balgrist
 Forchstr. 340, 8008 Zürich, Schweiz
 arnd.viehoefer@balgrist.ch

Funding. Open access funding provided by University of Zurich

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A.F. Viehöfer und S.H. Wirth geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Antonova E, Le TK, Burge R et al (2013) Tibia shaft fractures: costly burden of nonunions. *BMC Musculoskelet Disord* 14:42
2. Boucher M, Leone J, Pierrynowski M et al (2002) Three-dimensional assessment of tibial malunion after intramedullary nailing: a preliminary study. *J Orthop Trauma* 16:473–483
3. Ding P, Chen Q, Zhang C et al (2021) Revision with locking compression plate by compression technique for diaphyseal nonunions of the femur and the tibia: a retrospective study of 54 cases. *Biomed Res Int* 2021:9905067
4. Fucentese SF, Meier P, Jud L et al (2020) Accuracy of 3D-planned patient specific instrumentation in high tibial open wedge valgisation osteotomy. *J Exp Orthop* 7:7

5. Goodier WD, Calder PR (2019) External fixation for the correction of adult post-traumatic deformities. *Injury* 50(Suppl 1):S36–S44
6. Graehl PM, Hersh MR, Heckman JD (1987) Supramalleolar osteotomy for the treatment of symptomatic tibial malunion. *J Orthop Trauma* 1:281–292
7. Hodel S, Calek AK, Furnstahl P et al (2021) Accuracy of joint line restoration based on three-dimensional registration of the contralateral tibial tuberosity and the fibular tip. *J Exp Orthop* 8:84
8. Hodel S, Cavalcanti N, Fucentese S et al (2022) The relationship between frontal, axial leg alignment, and ankle joint line orientation—a radiographic analysis of healthy subjects. *Orthop Surg*. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2022.10.002>
9. Jorgens M, Keppler AM, Ahrens P et al (2022) 3D osteotomies-improved accuracy with patient-specific instruments (PSI). *Eur J Trauma Emerg Surg*. <https://doi.org/10.1007/s00068-022-02060-4>
10. McMahon SE, Little ZE, Smith TO et al (2016) The management of segmental tibial shaft fractures: a systematic review. *Injury* 47:568–573
11. Paley D (2002) Principles of deformity correction
12. Pastor T, Nagy L, Furnstahl P et al (2022) Three-dimensional planning and patient-specific instrumentation for the fixation of distal radius fractures. *Medicina*. <https://doi.org/10.3390/medicina58060744>
13. Patel I, Young J, Washington A et al (2022) Malunion of the Tibia: a systematic review. *Medicina*. <https://doi.org/10.3390/medicina58030389>
14. Sahu RL, Ranjan R (2016) Treatment of complex nonunion of the shaft of the tibia using Ilizarov technique and its functional outcome. *Niger Med J* 57:129–133
15. Sangeorzan BP, Judd RP, Sangeorzan BJ (1989) Mathematical analysis of single-cut osteotomy for complex long bone deformity. *J Biomech* 22:1271–1278
16. Sarmiento A, Latta LL (1999) Functional fracture bracing. *J Am Acad Orthop Surg* 7:66–75
17. Seybold D, Gessmann J, Ozokoy L et al (2009) Deformity correction of post-traumatic tibial nonunions using the taylor spatial frame. *Z Orthop Unfall* 147:26–31
18. Theriault B, Turgeon AF, Pelet S (2012) Functional impact of tibial malrotation following intramedullary nailing of tibial shaft fractures. *J Bone Joint Surg Am* 94:2033–2039
19. Weigelt L, Furnstahl P, Hirsiger S et al (2017) Three-dimensional correction of complex ankle deformities with computer-assisted planning and patient-specific surgical guides. *J Foot Ankle Surg* 56:1158–1164
20. Youngman J, Raptis D, Al-Dadah K et al (2015) An accurate method of determining a single-plane osteotomy to correct a combined rotational and angular deformity. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 10:35–39

Das Wichtigste in Kürze: Interessenkonflikt

Interessenkonflikt

Bestandteil aller Beiträge der Springer-Medizin-Fachzeitschriften ist eine Erklärung aller Autor*innen zum Interessenkonflikt, der sich auf die kommenden 12 Monate und die vergangenen fünf Jahre bezieht. Auch wenn kein Interessenkonflikt besteht, ist dies explizit anzugeben.

Wann besteht ein Interessenkonflikt?

Ein Interessenkonflikt besteht immer dann, wenn finanzielle oder persönliche Beziehungen zu Dritten bestehen, deren Interessen vom Beitragsinhalt positiv oder negativ betroffen sein könnten.

>> Weiterführende Informationen finden Sie über den QR-Code.

Was könnte ein Interessenkonflikt sein? (Beispiele)

Finanziell:

- Beschäftigungsverhältnisse
- Forschungsförderung (persönlich oder zur persönlichen Verfügung)
- Honorar/Kostenerstattung bei Kongressaktivitäten
- Publikations- oder Begutachtungshonorare
- Bezahlte Beratungstätigkeit
- Patent/Geschäftsanteile/Aktien (persönlich oder von Partner*in/Kind).

Nichtfinanziell:

- Mitgliedschaft in nicht-wissenschaftlichen Organisationen
- Mitgliedschaft in wissenschaftlichen Gesellschaften/Berufsverbänden
- Zugehörigkeit zu besonderen Therapieschulen

Mehr Informationen auf

www.springermedizin.de/schreiben

