

Leitthema

Unfallchirurg 2013 · 116:797–805
 DOI 10.1007/s00113-013-2386-1
 Online publiziert: 25. August 2013
 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Redaktion

S. Rammelt, Dresden
 F. Gebhard, Ulm

S.H. Wirth · G. Klammer · N. Espinosa
 Fuß- und Sprunggelenkchirurgie, Uniklinik Balgrist, Zürich

Arthrodese und Endoprothese des oberen Sprunggelenks

Indikationen, Techniken und Fallstricke

Die Arthrose des oberen Sprunggelenks (OSG) und deren adäquate Behandlung gewinnen weltweit immer mehr an Bedeutung. Bei Diagnosestellung einer symptomatischen Arthrose des OSG stellt sich für den behandelnden orthopädischen Chirurgen häufig die Frage, welcher Therapieweg für die Patienten wohl der Beste darstellt. Neben konservativen Maßnahmen und gelenkerhaltenden Methoden, die immer mehr Beachtung finden, besteht bei fortgeschrittener, symptomatischer Arthrose des OSG häufig die klassische Wahl zwischen einer Arthrodese oder Gelenkendoprothese. In diesem praktisch orientierten Artikel werden die Indikationen, Operationstechniken, sowie deren Probleme und Lösungsansätze diskutiert.

Indikationen und primäre Überlegungen

Die Hauptindikationen für die Arthrodese oder Endoprothese stellen die primäre Arthrose, posttraumatische Arthrose und sekundäre obere Gelenkszerstörungen im Rahmen systemischer Erkrankungen dar. **Tab. 1** liefert eine Übersicht aller möglichen Indikationen.

Bei operativer Indikationsstellung ist eine ausführliche Aufklärung des Patienten unabdingbar [1]. Für diese Bedarf es gewisser wichtiger Fakten. Flavin et al. [2] konnten in einer kürzlich veröffentlichten

Arbeit zeigen, dass sich 1 Jahr postoperativ keine signifikanten Unterschiede der Ergebnisse zwischen Arthrodese und Prothese in der Ganganalyse zeigen. Auch zwei ältere vergleichende Studien zur Ganganalyse bei Arthrodese und Prothese zeigten im Ergebnis keine signifikanten Unterschiede [3, 4]. Andere Autoren beschreiben ähnliche Ergebnisse bezüglich des Resultats nach Arthrodese und OSG-Endoprothese [5, 6, 7, 8, 9, 10].

» Die Anzahl der Folgeeingriffe bei Prothesen kann sehr hoch sein

Trotzdem bleibt anzumerken, dass ein funktionelles Resultat bei Arthrodese durchaus schlecht sein kann. Im Gegensatz dazu kann aufgrund von Komplikationen die Anzahl der Folgeeingriffe bei Prothesen sehr hoch sein [1]. Letzteres kann für betroffene Patienten schwerwiegend sein und muss berücksichtigt werden [5, 6, 7, 11, 12].

Wichtige Unterschiede zwischen den beiden Therapiemaßnahmen gilt es zu erwähnen, um die Erwartungen des Patienten an das postoperative Resultat in die richtigen Bahnen zu lenken. Grundsätzlich kann eine sehr gut durchgeführte Arthrodese ein auf Dauer sehr gutes Resultat liefern [9].

Präoperativ müssen Patienten bezüglich Atrophie der Wadenmuskulatur, verminderter Schrittlänge und der daraus resultierenden verminderten Gangge-

schwindigkeit orientiert werden. Die fast in allen Fällen (zumindest radiologisch) sekundär entstehende Arthrose der Anschlussgelenke muss präoperativ zwingend erwähnt werden. Nichtsdestotrotz ist auch bei radiologisch gesicherter Arthrose nach OSG-Arthrodese die Rate an sekundären Arthrosen (z. B. des subtalaren Gelenks) relativ gering und liegt bei ca. 3% [13]. Des Weiteren bestehen Einschränkungen im sportlichen Bereich, insbesondere bei hohem Belastungsanspruch [1, 9, 14, 15, 16].

Bezüglich der Sprunggelenkprothese gelten ähnliche Angaben, jedoch stellt die limitierte Standzeit ein Problem dar. Zusammenfassend berichteten Easley et al. [10] von einer Überlebensrate im Bereich von 70–98% bei einer Nachkontrollzeit von 3–6 Jahren und von 80–95% bei einer Nachkontrollzeit von 8–12 Jahren bei insgesamt 2240 implantierten Prothesen. Die Notwendigkeit einer Prothesenexplantation und Rückzugsarthrodese (d. h. Konversion von Prothese in Arthrodese) ist ebenfalls zu diskutieren [17, 18]. Eine an unserer Klinik vorgenommene Studie zeigte signifikant schlechtere Resultate bei Rückzugsarthrosen als bei jenen von primären OSG-Arthrosen. Klare Angaben zu Revisionseingriffen im Sinne von prothesenerhaltenden Eingriffen sind in der Literatur nur wenige erhältlich und erlauben keine schlüssige Erstellung eines griffigen Algorithmus [19].

In diesem Zusammenhang ist die Patientenauswahl für den Erfolg oder Miss-

Tab. 1 Übersicht Indikationen und Kontraindikationen für Prothese des OSG

Indikationen für Prothese	Schlanker Patienten mit BMI 20–25 kg/m ²
	Keine oder nur geringe Rückfußdeformität
	Geringe körperliche Anforderungen
	Starke Schmerzen durch Arthrose
	Anschluss Arthrose (subtalar, talonavikular)
Relative Kontraindikationen	Hohes Aktivitätslevel
	BMI >25 kg/m ²
	Deformität in Koronarebene >15°
	Nekrose (nekrotische Areale)
	Traumatischer Knochenverlust
	Osteoporose
	Schlechter Bewegungsumfang
	Diabetes ohne manifestierter Angiopathie
	Positive Infektanamnese
Absolute Kontraindikationen	Charcot-Arthropathie
	Fortgeschrittene Angiopathie mit oder ohne Diabetes
	Akute Infektionen oder Hautulzerationen
	Fallfuß
	Klumpfuß

Tab. 2 Übersicht Indikationen und Kontraindikationen für Arthrodese des OSG

Indikationen für Arthrodese	Posttraumatische oder idiopathische OSG-Arthrose
	Posttraumatische Fehlstellung (>10° koronar)
	Chronische Instabilität vergesellschaftet mit Arthrose
	Fehlstellung durch Paralyse
	Postinfektiöse Gelenkerstörung
	Fehlgeschlagene TAR
	Charcot-Arthropathie
	Fortgeschrittene Angiopathie mit oder ohne Diabetes
	Klumpfuß
	Kontraindikationen
Akute Infektion	
Totale avaskuläre Nekrose des Talus	
Schwere periphere arterielle Verschlusskrankheit	

erfolg eines geplanten operativen Prozedere von großer Bedeutung. In **Tab. 1** sind die Indikationen und relative und absolute Kontraindikationen bezüglich der Implantation einer Sprunggelenkprothese zusammengefasst [1, 10, 20, 21]. Einige wichtige Kriterien zur Entscheidungsfindung werden im Anschluss näher erörtert.

Die zugrunde liegende Pathologie ist bei der Indikationsstellung entscheidend für den späteren Erfolg des Eingriffs.

Degenerative, entzündliche und posttraumatische Arthrosen des OSG sind Hauptindikationen für die Implantation einer OSG-Endoprothese. Jedoch werden schlechte Ergebnisse nach Prothesenim-

plantation bei posttraumatischer Arthrose berichtet [22, 23, 24, 25, 26]. Das schlechte Ergebnis hängt gemäß Literatur mit dem meist jungen Lebensalter der Patienten zusammen und impliziert damit ein höheres Aktivitätsniveau. Weitere Gründe sind zum einen in den meisten Fällen vorgenommene Operationen in der Vergangenheit, Fehlstellungen im Rückfuß, Verlust an Knochen und Ankylosen [1, 26, 27, 28]. Die rheumatoide Arthritis und andere entzündliche Systemerkrankungen betreffen meist mehrere Gelenke, so dass davon ausgegangen werden muss, dass der Aktivitätsgrad dieser Patienten krankheitsbedingt eher niedrig ist.

Geht man von den allgemeinen Daten in der Literatur aus, wäre zusammenfassend zu sagen, dass sich Patienten mit

posttraumatischer Arthrose eher für eine arthrodetische Versorgung, mit entzündlichen und rheumatoiden Arthritiden eher für eine prothetische Versorgung qualifizieren. Dem ist natürlich nicht so in der Praxis. Viele Patienten mit posttraumatischer Arthrose des OSG werden trotzdem einer endoprothetischen Versorgung zugeführt, und einige von ihnen weisen trotz allen in der Literatur vorgefundenen Berichten auch akzeptable Resultate auf.

Die Studien zeigen, dass das Ergebnis nach Totalendoprothesenimplantation bei jüngeren Patienten nicht zufrieden stellend ist [6, 11, 12, 17, 18]. Interpretiert wird dies durch die Ansprüche der Patienten an das postoperative Ergebnis, wie sportliche Betätigung, Beruf und Freizeit. In der Literatur wird eine Altersgrenze von 50–60 Jahren angegeben [6, 10, 29]. Jedoch sollte auch bei einem jungen Patienten eine OSG-Prothese in Betracht gezogen werden, falls es sich um eine beidseitige Arthrose, spezifische Grunderkrankungen (z. B. Hämophilie), geringes Aktivitätsniveau oder um eine bereits vorhandene Anschlussgelenkarthrose handelt [1].

Präoperative Fehlstellungen und Instabilität sind wichtige Faktoren, die eine spezifisch gewählte operative Methode beeinflussen. Einige Studien bestätigen eine negative Korrelation zwischen präoperativer Fehlstellung und Prothesenüberlebensrate [33, 40, 41]. Koronare Fehlstellungen über 10–15° gelten in der Literatur als relative Kontraindikation für die Implantation einer OSG-Prothese [17, 30, 31, 32, 33, 34]. Fehlstellungen in der sagittalen Ebene stellen eine relative Kontraindikation dar. Dennoch berichten einige Autoren über erfolgreiche Prothesenimplantationen bei größeren Fehlstellungen ([35, 36, 37, 38, 39], **Abb. 1**) Liegt eine Fehlstellung vor und will man eine Endoprothese implantieren, so gilt es, das Alignment zu korrigieren. Dies kann ein- oder zweizeitig erfolgen.

Als Folge postoperativer Fehlstellungen oder Malrotation der Komponenten können erhöhte randständige Überlastung des Polyäthylens [41], damit erhöhter Abrieb sowie Osteolysen und frühes Implantatversagen resultieren [26, 32, 33].

Der präoperative Bewegungsumfang (ROM) ist ebenfalls ein Kriterium für

die Wahl des operativen Vorgehens. Einige Autoren berichten nur über eine geringe Verbesserung des Bewegungsumfangs in der sagittalen Ebene nach OSG-Endoprothese [6, 10, 26, 29, 42]. Ist die präoperative Beweglichkeit im Silferskjold-Test eingeschränkt, wird eine Achillessehnenverlängerung empfohlen [31]. Krause et al. [1] empfehlen die Abwägung der Vor- und Nachteile einer Endoprothesenimplantation gegenüber der OSG-Arthrodeese bei einem präoperativen Bewegungsumfang von 10°. Jedoch ist der Gelenkersatz bei Patienten mit schon manifester Degeneration der Anschlussgelenke auch bei präoperativ eingeschränktem Bewegungsumfang durchaus indiziert [1].

Die Existenz von mehr oder weniger symptomatischen degenerativen Veränderungen der Anschlussgelenke, wie sie insbesondere bei Rheumatikern beobachtet wird, spricht eher für die Implantation einer Sprunggelenkprothese [43]. So berichtet Rippstein et al. [44] über eine Besserung der subtalaren Beschwerden bei Patienten mit rheumatoider Arthritis. Insbesondere bei Patienten mit arthritischen Veränderungen der Anschlussgelenke ist die Erhaltung der Beweglichkeit von großer Wichtigkeit [45, 46]. Das Risiko, eine symptomatische Anschlussgelenkarthrose nach Arthrodeese des OSG zu erleiden, scheint hoch [15, 47, 48]. Dennoch fand sich in einer kürzlich erschienenen Analyse des Gangbildes nach Sprunggelenkarthrose und -prothese kein signifikanter Unterschied der beiden Gruppen 1 Jahr postoperativ [2]. Somit bleibt fraglich, ob die radiologisch fast immer sichtbare Degeneration der Anschlussgelenke auch zwingend eine schmerzhafte Symptomatik und damit auch Behandlungsbedürftigkeit nach sich zieht.

Weitere Kriterien sind in **Tab. 1** und **Tab. 2** zusammengefasst und müssen bei Indikationsstellung sorgfältig berücksichtigt werden.

Operative Techniken

Historisch gesehen wurde die erste Arthrodeese des OSG bereits im 19. Jahrhundert vollzogen. Zur Therapie der posttraumatischen OSG-Arthrose wurde sie

Unfallchirurg 2013 · 116:797–805 DOI 10.1007/s00113-013-2386-1
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

S.H. Wirth · G. Klammer · N. Espinosa
Arthrodeese und Endoprothese des oberen Sprunggelenks. Indikationen, Techniken und Fallstricke

Zusammenfassung

Die symptomatische Arthrose des oberen Sprunggelenks (OSG) stellt den orthopädischen Chirurgen, nach ausgereizter konservativer bzw. gelenkerhaltender Therapie vor die Wahl der geeigneten operativen Therapie. Nach massiven Problemen der Endoprothetik des OSG in deren Anfangsjahren stellt diese aktuell eine immer häufiger angewandte Alternative zur Arthrodeese des OSG dar.

Wichtig für den späteren Erfolg der gewählten Methode ist die sorgfältige Patientenauswahl und deren ausführliche Information betreffend operativer Technik, zu erwartendem Ergebnis und Komplikationen. Nach wie vor besteht unter verschiedenen Autoren Einigkeit bezüglich der Wichtigkeit der Indikation hinsichtlich der Endoprothetik des OSG. Dennoch zeigt sich in der Literatur der Trend zu immer niedriger Indikationsschwelle

zugunsten der Endoprothetik des OSG. Sowohl die Arthrodeese als auch die Endoprothetik des OSG bleiben trotz stetig verbessertem Verständnis der Biomechanik des Rückfußes, verbesserter Operationstechnik und verbesserten Implantaten anspruchsvolle Eingriffe. Eine zusammenfassende Beschreibung der aktuellen Techniken zeigt einen Überblick der aktuellen Techniken. Ziel dieses Übersichtsartikels ist es, die aktuelle Literatur aufzuarbeiten und dem orthopädischen Chirurgen eine Entscheidungshilfe bei der Wahl des operativen Verfahrens zur Behandlung der symptomatischen endgradigen Arthrose des OSG zu geben.

Schlüsselwörter

Patientenauswahl · Operative Technik · Endoprothetik · Rückfuß · Sprunggelenkprothese

Arthrodesis and endoprosthesis of the ankle joint. Indications, techniques and pitfalls

Abstract

If adequate conservative measures for the treatment of end-stage ankle osteoarthritis have failed, surgery may be taken into consideration. After exorbitant failure rates in the beginning of total ankle replacement, nowadays this kind of treatment has regained lot of interest and has become a viable alternative to ankle fusion. The correct indication and a precise explanation of the surgical procedure, outcomes and potential complications provide a solid base for future success.

Currently, there is no doubt that total ankle replacement has become an important player in the treatment of symptomatic and debilitating end-stage ankle arthritis. With increasing number of patients who undergo total ankle replacement the experience with this kind of procedure increases too. As a

consequence several surgeons have started to stretch indications favoring total ankle replacement. However, it must be mentioned here, despite progress in terms of improved anatomical and biomechanical understanding of the hindfoot and improved surgical techniques and instruments, total ankle replacement and ankle fusion remain challenging and difficult procedures.

We provide a review article including an overview of the relevant techniques. This article should serve as rough guide for surgeons and help in decision-making regarding total ankle replacement and ankle fusion.

Keywords

Patient selection · Operative technique · Endoprosthesis · Hindfoot · Ankle prosthesis

in den 1930er Jahren vermehrt eingeführt und hat sich bis heute bewährt. Obschon sich die Techniken und damit auch die postoperativen Ergebnisse verändert haben, stellt die Arthrodeese immer noch den Goldstandard in der Behandlung der Arthrose des Sprunggelenks dar. Verglichen mit der noch jungen Endoprothetik des OSG ist die weltweite Erfahrung mit der OSG-Arthrodeese ungleich höher.

Arthroskopische oder Mini-open-Technik der tibiotalaren Arthrodeese

Bei minimalen Fehlstellungen kann eine arthroskopisch assistierte oder Mini-open-Technik angewandt werden [49, 50]. Vorteile dieser minimal-invasiven Technik sind die Minimalisierung der Morbidität wie Wundheilungsstörung, Infek-



Abb. 1 ◀ Implantation einer OSG-Endoprothese bei präoperativer Fehlstellung: Die postoperative Röntgenaufnahme zeigt ein regelrechtes Alignment. Die ventrale Subluxation konnte durch die Prothesenimplantation und des sog. „Spacer-Effekts“ behoben werden



Abb. 2 ◀ Abgebildet sind die a.-p.- und seitlichen Röntgenbilder präoperativ und 6 Wochen nach minimal-invasiv durchgeführter Schraubenarthrodese bei posttraumatischer OSG-Arthrose. Gut zu erkennen ist die Stellungskorrektur. Es zeigt sich 6 Wochen postoperativ konventionell radiologisch guter Durchbau, insbesondere im Bereich des ventralen Gelenkspalts. Es wurden kanülierte Schrauben mit Durchmesser 7,0 mm verwendet

tion, Verletzungen der neurovaskulären Strukturen und Schonung der Knochenperfusion. Lee et al. [51] berichten über schnellere Fusionsraten, da die Knochenkontur und hiermit die Fusionsfläche erhalten bleibt, sowie über verkürzte Hospitalisationsdauer und reduzierte postoperative Schmerzen [51, 52, 53, 54, 55, 56]. Nachteil ist die flache Lernkurve, so dass wir in geeigneten Fällen die Mini-open-Technik anwenden [49, 57]. Die schlechtere Visualisierung der posterioren Gelenkanteile ist als Nachteil dieser Methode zu sehen. Bezüglich der Fusionsraten werden bei der arthroskopischen Technik Ergebnisse zwischen 89 und 100% [50, 51, 52, 56] und bei der Mini-open-Technik 97–100% [49, 57] berichtet (■ **Abb. 2**).

Tibiotolare Schraubenarthrodese

Bei größeren Fehlstellungen des Sprunggelenks, sowohl in der koronaren als auch in der sagittalen Ebene, ist eine gute Ein-

sicht des Gelenks und damit bessere Präparation des OSG für allfällige Korrekturschnitte notwendig. Der ventrale Zugang bietet eine gute Übersicht. Wichtig bei präoperativ bestehenden Fehlstellungen ist die Wiederherstellung der korrekten Achse und Länge des Hebelarms des Rückfußes. Die Technik, welche von Endress et al. [58] beschrieben wurde, hat sich bewährt. Zwipp et al. [59] berichten über eine 99%ige Fusionsrate bei relativ tiefen Komplikationsraten (5% Wundheilungsstörungen und Wundrandnekrose sowie in 3% behandlungsbedürftige Hämatome).

Chirurgische Technik

Der Eingriff wird in Regional- oder Intubationsanästhesie durchgeführt. Für die postoperative Schmerzbehandlung kann ein Poplitealkatheter gelegt werden, welcher erst nach direkter postoperativer Prüfung der intakten Sensomotorik aktiviert wird. Der Patient liegt in Rückenlage. Wird ein zu auffälliger Defekt im

OSG antizipiert, sollte die Beckenkammregion steril mit abgedeckt werden. Für die bessere intraoperative Sicht empfiehlt es sich, eine Blutsperre anzulegen. Anterior über dem OSG wird ein ca. 8 cm langer longitudinaler Hautschnitt medial der Sehne des M. tibialis anterior vorgenommen. Das Gefäß-Nerven-Bündel (A. dorsalis pedis und N. peroneus profundus) wird geschont, indem die Tibialis-anterior-Sehne nach medial weggehalten wird und die Präparation durch das posteriore Sehnenfach der Tibialis-anterior-Sehne bis auf die Gelenkkapsel des OSG erfolgt. Im distalen Abschnitt der Inzision kann der oberflächliche Ast des N. peroneus superficialis kreuzen und sollte deshalb geschont werden. Eine Verletzung dieses Astes kann zu neuropathischen Schmerzen führen.

Ist die Kapsel in longitudinaler Weise eröffnet, folgt eine nach medial und lateral gerichtete, epiperiosteale Präparation und Darstellung des OSG. Bei stark

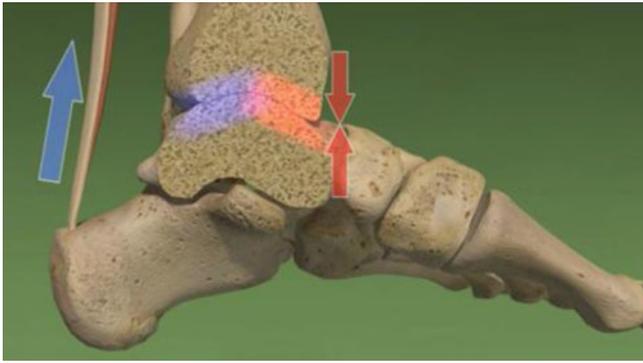


Abb. 3 ◀ Dargestellt ist das Prinzip der Zuggurtung bei OSG-Arthrodese, bei der ventral eine Kompression über Schrauben oder Platten erreicht wird, wobei die Achillessehne den hinteren Anteil des OSG komprimiert

arthrotisch veränderten Sprunggelenken ist es ratsam, zunächst mit einem Meißel die Gelenklinie zu identifizieren und die anterioren, überhängenden Osteophyten zu entfernen. Damit kann einer späteren falschen Positionierung der Arthrodese vorgebeugt werden und die damit erlangte Exposition erlaubt eine sorgfältige Entfernung des Restknorpels. Zur besseren Übersicht, insbesondere der posterioren Gelenkanteile, empfiehlt sich der Einsatz eines intraartikulär platzierten Arthrodese Spreizers oder – noch besser – eines gelenküberbrückenden Spreizers. Große Defekte oder Fehlstellungen sollten entweder mittels Einlage von autologem Knochen (Beckenkammspan, Tibiaspongiosa) oder mittels flachen Korrekturschnitten ausgeglichen werden. Eine Spitzfußfehlstellung von $>10^\circ$ in Plantarflexion muss vorgängig mittels perkutaner oder offener Verlängerung der Achillessehne korrigiert werden. Manchmal erfordern ausgeprägte Spitzfußfehlstellungen auch die komplette Resektion der posterioren Kapsel. Ausnahmen stellen Arthrodese bei Poliopatien dar, die infolge eines Rekurvatums im Knie auf die ausgleichende Equinusposition des Rückfußes angewiesen sind.

Die Fixation der Arthrodese erfolgt mittels 6,5-mm-Zugschrauben. Zunächst werden ventral zwei Schaftschrauben eingebracht, die ca. 3 cm proximal der Gelenklinie in die Tibia geschraubt werden. Beide Schrauben laufen in einem Winkel von $60\text{--}80^\circ$ von anterior-kränial nach posterior-kaudal in den Taluskörper. Wir beginnen dabei immer mit der lateralen Kompressionsschraube, um eine potentielle Varusfehlstellung zu verhindern. Bei diesem Arthrodese-konzept wirken die ventrale Verschraubung und der Zug der

Achillessehne im Sinne einer Zuggurtung und gewährleisten eine ausgeglichene Kompression zwischen den Fusionsoberflächen. Eine 3. Stellschraube wird über eine Stichinzision posteromedial nach ventral im Taluskopf verankert. Hierbei ist auf die neurovaskulären Strukturen (Tarsaltunnel) zu achten. Eine stumpfe Präparation bis an den Schraubeneintrittspunkt an der posteromedialen Tibia hat sich bewährt. Eine 4. Schraube wird ebenfalls über eine Stichinzision vom lateralen Malleolus im Talus verankert.

➤ **Die präzise Kontrolle der Achsenverhältnisse ist essentiell.**

Insbesondere muss eine Varusfehlstellung vermieden werden. Der präzise Verschluss der Gelenkkapsel eignet sich als Mittel zur Eindämmung eines Hämatoms. Standardmäßig wird keine Redon-Drainage eingelegt. Nach elastokompressiver Wickelung wird ein gespaltener Unterschenkelweißgips in Neutralstellung angelegt. Die Kontrolle der Arthrodese erfolgt mittels mobilem Röntgenapparat.

Zwei Tage postoperativ wird auf einen neuen Unterschenkelgips gespaltene gewechselt. Die Fadenentfernung erfolgt 2 Wochen postoperativ. Die Patienten dürfen während 8 Wochen im Unterschenkelgips nur an Stöcken mobilisieren, ohne die betroffene Extremität zu belasten. Nach 8 Wochen erfolgt die klinisch-radiologische Nachkontrolle, inklusive CT-Untersuchung. Sofern die Arthrodese geheilt ist oder starke Durchbauezeichen vorweist, wird entweder auf freie Belastung (mit Führung über die Physiotherapie) oder auf einen Unterschenkelgips unter Vollbelastung gewechselt.

Tibiotalare Arthrodese mittels Plattensystem

Bei extremen Fehlstellungen, schlechter Knochenqualität, fortgeschrittener Osteoporose, talarem Knochenverlust oder im Falle der Rückzugsarthrodese bei gescheiterter Sprunggelenkendoprothese bietet die Schraubenarthrodese häufig eine nur ungenügende Rigidität und Primärstabilität, um einen suffizienten, ossären Durchbau zu garantieren [60, 61, 62]. Aus diesem Grund wurden stabilere Systeme entwickelt [17, 63, 64, 65, 66]. Wir nutzen in diesen Fällen winkelstabile Plattensysteme wie z. B. das Tibiaxis™-System (Integra, Newdeal, Lyon, Frankreich). Die Achillessehne wirkt auch hier als Zuggurtung, um den Fusionsdruck auf die Arthrodesefflächen eben zu verteilen (▣ Abb. 3). Durch Benutzung von winkelstabilen Schrauben von geringem Durchmesser (2,7 mm), welche außerhalb der Arthrodesezone platziert werden, ist die Fusionsfläche zwischen Tibia und Talus größer als bei der klassischen tibiotalaren Schraubenarthrodese (▣ Abb. 4). Plaass et al. [63] berichten über Serie von 29 Patienten, bei denen eine 100%ige Durchbauung erreicht wurde. Im Patientengut fanden sich 16 Fälle mit schlechter Knochenqualität, 4 Patienten mit Pseudarthrose nach primärer Arthrodese und 9 Fälle nach gescheiterter Sprunggelenkendoprothese vor.

Operative Technik

Die präoperative Vorbereitung ist identisch mit jener bei der Schraubenarthrodese beschrieben. Der Zugang erfolgt ebenfalls von anterior ans OSG. Die Hautinzision ist deutlich länger als bei der klassischen tibiotalaren Schraubenarthrodese. Zudem empfiehlt es sich, den Zugang nach distal ebenfalls großzügig zu wählen, um den Taluskopf und das Talonavikulargelenk gut einsehen zu können. Der größere Zugang ist notwendig, um sowohl proximal den Plattenspanner als auch die distalen Anteile der Platten am Taluskopf verankern zu können.

Nach Entfernung des Restknorpels und eventuellem Einbringen von autologem Knochen sowie Verlängerung der Achillessehne wird das OSG temporär mittels eines 2,0-mm-Kirschner-Drahtes



Abb. 4 ◀ Schwere post-traumatische Arthrose in Fehlstellung abgeheilt. Lösung des Problems durch ventrale Anlage von Doppelplatten zur Arthrodesese

in gewünschter Neutralstellung fixiert. Es empfiehlt sich eine kurze Kontrolle über den Bildwandler. Bei korrekter Ausrichtung wird zunächst die laterale Platte am Taluskopf fixiert. Hierbei ist darauf zu achten, dass am Talus medial genügend Platz für die zweite mediale Platte übrig bleibt. Zusätzlich gilt es zu beachten, dass die Platte distal nicht über das Talonavikulargelenk ragt, was später zu mechanischen Friktionen und Schmerzen führen kann.

Zur besseren Einsicht empfehlen wir die Arthrotomie des talonavikulären Gelenks. Hierbei wird auch die Beweglichkeit des Chopart-Gelenks, welches einen Großteil des residuellen Bewegungsumfangs übernehmen wird, verbessert. Insbesondere bei stark arthrotisch fehlgestellten OSG ist es schwierig, die anatomisch vorgeformte Platte wie gewünscht zu platzieren. Leider ist diese Platte nur in einer Größe verfügbar. Um eine gute Passform zu erreichen ist es in diesen Fällen notwendig, störende Osteophyten und knöchernen Überstände sparsam zu resezieren, bis die Platte sich gut anlegt. Das durch die Abtragung der Osteophyten gewonnene Material ist gut für eine Unterfütterung des Arthrodesespalts geeignet und sollte für diesen Zweck asserviert werden.

Sind die talaren Schrauben eingebracht, folgt die winkelstabile Sicherung durch Aufsetzen von passenden Schraubendeckeln. Proximal wird nun der Plattenspanner angebracht. Dieser sollte nur monokortikal verankert werden, um eine Schwächung der Tibia proximal der Plattenspitze zu vermeiden, was sekundär zu

Ermüdungsfrakturen führen könnte. Die applizierte Spannung führt zur Kompression der Arthrodesezone. Der Spickdraht wird vorgängig entfernt. Es folgt die Sicherung der Platte an den Tibiaschaft. Im gleichen Verfahren wie am Taluskopf werden die Schrauben mit entsprechenden Verschlusskappen versehen, um die winkelstabile Situation zu erreichen. Antero-medial folgt die Anlage der zweiten Platte in einem Winkel von ca. 70° zur lateralen Platte.

In seltenen Fällen findet die anteromediale Platte keinen Platz. In solchen Fällen wird eine sog. Hybridfixation angewandt. Hierzu gibt es zwei Möglichkeiten: Erstens Verankerung medial über eine 6,5-mm-Zugschraube, ähnlich wie bei der Schraubenarthrodesese [58] in a.-p.-Richtung 70–80° zur ventralen Tibiakante und zweitens die Anlage einer zurechtgebogenen 3,5-mm-LCDCP („limited contact dynamic compression plate“) oder Rekonstruktionsplatte. Das Tibiaxys™-System erlaubt die zusätzliche Einbringung von zwei 3,5-mm-Titanschrauben, die in den Taluskörper zielen. Damit kann die Rigidität und Rotationsstabilität des Systems erhöht werden. Die Nachbehandlung erfolgt wie bei der Schraubenarthrodesese (s. oben).

OSG-Prothese

Die Geschichte der Endoprothetik des OSG ist vergleichsweise jung. 1970 wurde durch Lord u. Marotte [67] die erste Endoprothese implantiert. Für einen detaillierten historischen Überblick verweisen wir auf die Literatur. Die ersten Ergebnis-

se waren infolge der hohen Versagerquoten sehr enttäuschend [68], so dass die Endoprothetik des OSG beinahe aufgegeben wurde. Durch das straff geführte Design der ersten Sprunggelenkprothesengeneration, sowie durch die Notwendigkeit der Zementierung, als auch durch die Notwendigkeit großer Knochenresektion bei der Implantation, kam es zu frühzeitigen Lockerungen und großen Osteolyesen, was in der Folge auch Revisionseingriffe massiv erschwerte [68, 69].

» Die 2. und 3. Generation der Sprunggelenkprothesen zeigen erfreuliche Mittel- und Langzeitergebnisse

Das bessere Verständnis der Biomechanik des OSG und die stete Verbesserung der Endoprothesen und Materialien, welche den anatomischen Bedürfnissen mehr gerecht wurden, sowie genaueren Instrumentarien, um eine präzisere Ausrichtung der Prothese bei der Implantation zu erzielen, führte zur 2. und 3. Generation der Sprunggelenkprothesen, welche gemäß Literatur erfreuliche Mittel- und Langzeitergebnisse zeigen.

Die weltweit verwendeten Prothesentypen variieren und teilen sich in Zwei- und Drei-Komponenten-Prothesen auf. Die in Europa verwendeten populären, Prothesenmodelle bestehen aus drei Komponenten mit einer Tibiakomponente (metallisch), Taluskomponente (metallisch) und einem hochvernetzten Polyäthyleninlay. Die Tibia- und Taluskomponenten sind häufig mit Calciumhydro-



Abb. 5 ▲ Revision einer OSG-Endoprothese mit Revisionsinstrumentarium und Revisionsimplantaten: Präoperativ zeigt sich klinisch eine deutliche Valgusfehlstellung mit fibulokalkanearem Impingement. Eine Lockerung der Prothese ist konventionell-radiologisch nicht erkennbar. Bei fehlorientierten Implantaten und klinischen Symptomen ist die Revision indiziert. Intraoperativer Schutz des medialen Malleolus mittels zwei 3,5-mm-Schrauben. Gut erkennbar ist die Korrektur der tibialen Neigung durch Ausrichtung des Zielgeräts. Sechs Wochen postoperativ zeigt sich unter Durchleuchtung ein korrektes Alignment der Komponenten

xylapatit überzogen, teilweise kombiniert mit einem porösen Mantel.

Einige Prothesentypen nutzen für die Verankerung der Tibiakomponenten zapfen- oder finnenförmige Stämme, die eine zentrale Osteotomie an der Tibia notwendig machen. Damit wird der Tibiakortex geschwächt, was aus unserer Sicht keinen Sinn macht. Andere Prothesen (z. B. die HINTEGRA®) stützen direkt am Tibiakortextring ab, was die distale Tibiaregion nicht schwächt. Dennoch gilt zu beachten, dass generell jede Resektion eine Schwächung des Tibiakortex zur Folge hat. Je größer die Resektion der Tibia, desto schwächer der Knochen, in die eine Tibiakomponente implantiert wird und desto größer das Risiko, dass mit frühem Versagen eine Instabilität resultiert.

Im Gegensatz zu den Tibiakomponenten finden sich auf dem Markt ausgesprochen variable Formen der Taluskomponenten vor. Diese reichen von zylindrischen bis kondylenförmigen Komponenten. Auch hier sind bei modernen Prothesentypen die Präparationen so sparsam wie möglich gehalten, um die Möglichkeit einer Sprunggelenkprothesenre-

vision oder Konversion in eine Arthrode- se bei gescheiteter Primärprothese zu ermöglichen (■ Abb. 5).

Operative Technik

Die perioperative Vorbereitung entspricht jener der oben beschriebenen Arthrodesentechniken. Wichtig ist, dass der Unterschenkel bis knapp unterhalb des Knies abgedeckt wird, um den Ausrichtungsstab präzise zu platzieren. Über einen anterioren Zugang, wie bereits ausführlich beschrieben, wird das OSG dargestellt. Der Schnitt und die Exposition können kleiner als bei der Arthrode- se gewählt werden, sollten aber die Platzierung des Ausrichtungsstabes zulassen.

➤ Wichtig ist die gute Visualisierung des medialen tibiotalaren Gelenkspalts.

Zunächst wird der Tibiaschnitt vorbereitet. Hierfür wird ein an der Tibiavorderkante und an der Tuberositas tibiae ausgerichtetes Stab montiert. Dabei sollte der ventrale Abstand des Stabes parallel entlang der Tibia laufen. Der Tibiaschnittblock wird dabei mediolater-

al auf Höhe distal der Tibia zentral platziert. Eine zu mediale Positionierung des Schnittblocks erhöht das Risiko, den medialen Malleolus während der Operation zu schwächen und damit einer Fraktur.

Kann bereits bei präoperativer Planung davon ausgegangen werden, dass der mediale Malleolus zu schwach ist (z. B. bei einem Prothesenwechsel, bei Osteoporose/-penie oder bei dysplastischen medialen Malleoli), dann empfiehlt es sich als ersten Schritt eine prophylaktische Verschraubung (3,5-mm-Titanschrauben) vorzunehmen. Bevor die definitive Fixation des Schnittblocks erfolgt, wird die Schnitthöhe am Bildverstärker überprüft. Stimmen sowohl die mediolaterale Zentrierung als auch die a.-p.-Neigung der Schnittebene, wird der Schnittblock mit mindestens 2 langen Stiften an der Tibia arretiert. Nun kann die Tibiaresektion vorgenommen werden. Der Schnitt darf im Dombereich des Tibiaplafonds nicht mehr als 3 mm abtragen, damit die Tibia in ihrer Festigkeit nicht nachteilig beeinflusst wird. Dabei muss posteromedial die neurovaskuläre Einheit immer berücksichtigt und geschont werden. Ein zu

tiefes Vorstoßen der Säge im posteromedialen Tibiaabschnitt kann mit katastrophalen Resultaten zu schweren Verletzungen des Nerven-Gefäß-Bündels führen.

Medial wird ein extraartikuläre Knochenspreizer angebracht. Dadurch kann die Tibiaresektion besser komplettiert werden. Wir benutzen für diesen Schritt einen Rongeur. Die posteriore Kapsel wird entfernt. Die Visualisierung der Sehne des M. flexor hallucis longus hilft das neurovaskuläre Bündel indirekt zu identifizieren, da dieses medial der Sehne liegt.

» Bei der posteromedialen Präparation und Resektion der Kapsel ist große Vorsicht geboten

Bei der posteromedialen Präparation und Resektion der Kapsel ist deshalb große Vorsicht geboten. Jetzt folgt die Anlage des talaren Schnittblocks, welcher am Tibiaschnittblock befestigt wird. Der talare Schnittblock muss dem Talus aufsitzen, und der Fuß muss in Neutralstellung gehalten werden. Möchte man eine ligamentäres Balancing vornehmen, empfiehlt es sich, den tibialen Schnittblock zu lösen (die Stifte zu entfernen) und mit einem großen Raspatorium den tibiotalaren Schnittblockkomplex nach plantar zu drücken. Während dieses Manövers darf der Fuß nicht aus der Neutralstellung gebracht werden. Dann erfolgt die Fixation des talaren Schnittblocks. Ist der talare Schnitt erfolgt, kann der Ausrichtestab und die beiden tibialen und talaren Schnittblöcke entfernt werden. Die Tibiagröße wird mit dem Messgerät gemessen und danach die Talusschnittlehre aufgesetzt. Deren Größe ist entweder gleich oder eine Nummer kleiner als die gemessene Tibiagröße.

Die Orientierung der Talusschnittlehre richtet sich nach der Rotation der Talus. Häufig in Richtung zweiter Os-metatarsale-Achse. Die Talusschnittlehre wird mit zwei kurzen Stiften im Talushals fixiert. Aufgrund ihrer erfahrungsgemäß auftretenden Instabilität wird die Lehre in ihrem posterioren Abschnitt mit einem großen, gebogenen Raspatorium auf den posterioren Anteil des Taluskörpers hinab gedrückt. Es folgen der posteriore talare, schräge Schnitt, dann mit der Fräse

die Vorbereitung der ventralen Furche. Medial werden am Talus 5 mm und lateral 8 mm abgetragen. Dabei dürfen die Schnitte nicht zu weit nach plantar gelangen, um die Bandapparate nicht zu schädigen. Jetzt können die Probekomponenten aufgesetzt werden. Die Ausrichtung, der Bewegungsumfang und die Achsenverhältnisse werden geprüft. Zusätzliche Maßnahmen wie Kalkaneusosteotomie, Achillessehnenverlängerungen, laterale Bandplastik etc. sollten im Idealfall schon präoperativ geplant und bekannt sein, können aber auch durch die intraoperative Situation vom Operateur als notwendig erachtet und behoben werden. Meist werden die additiven Eingriffe erst nach Prothesenimplantation durchgeführt.

Es folgt die ausgiebige Spülung vor Verschluss der Gelenkkapsel. Wir legen immer eine Redon-Drainage ein. Danach erfolgt die elastokompressive Wicklung. Bei reiner OSG-Endoprothesenimplantation ohne Zusatzeingriffe im Sinne von Bandrekonstruktionen oder Osteotomien lassen wir die Patienten ab dem 1. postoperativen Tag unter Vollbelastung mobilisieren. Ab der 3. postoperativen Woche folgt die passive Mobilisation des OSG in einer Kinetec-Schiene. Im Fall von zusätzlichen Eingriffen werden die Patienten unter Entlastung der operierten unteren Extremität während 8 Wochen mobilisiert.

Fazit für die Praxis

- Die korrekte Indikationsstellung zur tibiotalaren Arthrodesese oder OSG-Endoprothese in der Behandlung der symptomatischen Arthrose des OSG ist für den späteren Erfolg des Eingriffs entscheidend.
- Beide Eingriffe sind technisch anspruchsvoll, wobei die operative Technik und die Implantate in der nahen Vergangenheit eine deutliche Weiterentwicklung erfahren haben.
- Durch ein vertieftes Verständnis der Biomechanik des Rückfußes und deutlich verbesserter Prothesenmodelle wächst auch zunehmend die Erfolgsrate der Sprunggelenkendoprothetik. Einige Autoren berichten über ermutigende Ergebnisse auch bei Fällen mit Fehlstellungen, welche über

die für endoprothetische Versorgung bisher als indiziert geltenden Grenzen hinausgehen.

- Dennoch bleibt festzustellen, dass die Ergebnisse der Rückzugsarthrodesen nach gescheiteter Sprunggelenkprothese ernüchternd sind. Dies ist bei der Indikationsstellung zu berücksichtigen.
- Es bleibt abzuwarten, in welche Richtung sich die Revisionsendoprothetik entwickeln wird. Aktuelle Berichte sind ermutigend, jedoch ist die Datenlage noch zu dünn, als dass sich dies im Moment als echte Alternative zur Rückzugsarthrodesese etablieren könnte. Insbesondere die langjährige Erfahrung und die gut dokumentierte Datenlage der Arthrodesese des OSG und das Wissen, dass Rückzugsarthrodesen verglichen mit primären Arthrodesen des OSG mit einem deutlich schlechteren postoperativen behaftet sind, verdeutlichen den Stellenwert der präoperativen Indikationsstellung.

Korrespondenzadresse

Dr. S.H. Wirth

Fuß- und Sprunggelenkchirurgie,
Uniklinik Balgrist
Forchstraße 340, CH-8008 Zürich
Schweiz
stephan.wirth@balgrist.ch

Einhaltung der ethischen Richtlinien

Interessenkonflikt. S.H.Wirth, G. Klammer und N. Espinosa geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren. Alle Patienten, die über Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts zu identifizieren sind, haben hierzu ihre schriftliche Einwilligung gegeben. Im Falle von nicht mündigen Patienten liegt die Einwilligung eines Erziehungsberechtigten oder des gesetzlich bestellten Betreuers vor.

Literatur

1. Krause FG, Schmid T (2012) Ankle arthrodesis versus total ankle replacement: how do I decide? Foot Ankle Clin 17(4):529–543. doi:10.1016/j.facl.2012.08.002
2. Flavin R, Coleman SC, Tenenbaum S, Brodsky JW (2013) Comparison of gait after total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis. Foot Ankle Int. doi:10.1177/1071100713490675

3. Hahn ME, Wright ES, Segal AD et al (2012) Comparative gait analysis of ankle arthrodesis and arthroplasty: initial findings of a prospective study. *Foot Ankle Int* 33(04):282–289. doi:10.3113/FAI.2012.0282
4. Piriou P, Culpán P, Mullins M et al (2008) Ankle replacement versus arthrodesis: a comparative gait analysis study. *Foot Ankle Int* 29(1):3–9. doi:10.3113/FAI.2008.0003
5. SooHoo NF (2007) Comparison of reoperation rates following ankle arthrodesis and total ankle arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 89(10):2143. doi:10.2106/JBJS.F.01611
6. Haddad SL, Coetzee JC, Estok R et al (2007) Intermediate and long-term outcomes of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis. A systematic review of the literature. *J Bone Joint Surg Am* 89(9):1899–1905. doi:10.2106/JBJS.F.01149
7. Krause FG, Windolf M, Bora B et al (2011) Impact of complications in total ankle replacement and ankle arthrodesis analyzed with a validated outcome measurement. *J Bone Joint Surg Am* 93(9):830–839. doi:10.2106/JBJS.J.00103
8. Saltzman CL, Mann RA, Ahrens JE et al (2009) Prospective controlled trial of STAR total ankle replacement versus ankle fusion: initial results. *Foot Ankle Int* 30(07):579–596. doi:10.3113/FAI.2009.0579
9. Schuh R, Hofstaetter J, Krismer M et al (2012) Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis. Comparison of sports, recreational activities and functional outcome. *Int Orthop* 36(6):1207–1214. doi:10.1007/s00264-011-1455-8
10. Easley ME, Adams SB, Hembree WC, DeOrio JK (2011) Results of total ankle arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 93(15):1455–1468. doi:10.2106/JBJS.J.00126
11. Fevang B-TS, Lie SA, Havelin LI et al (2007) 257 ankle arthroplasties performed in Norway between 1994 and 2005. *Acta Orthop* 78(5):575–583. doi:10.1080/17453670710014257
12. Henricson A, Nilsson J-Å, Carlsson A (2011) 10-year survival of total ankle arthroplasties: a report on 780 cases from the Swedish Ankle Register. *Acta Orthop* 82(6):655–659. doi:10.3109/17453674.2011.636678
13. Hendrickx RPM, Stufkens SAS, Bruijn EE de et al (2011) Medium- to long-term outcome of ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int* 32(10):940–947. doi:10.3113/FAI.2011.0940
14. Vertullo CJ, Nunley JA (2002) Participation in sports after arthrodesis of the foot or ankle. *Foot Ankle Int* 23(7):625–628
15. Coester LM, Saltzman CL, Leupold J, Pontarelli W (2001) Long-term results following ankle arthrodesis for post-traumatic arthritis. *J Bone Joint Surg Am* 83(2):219–228
16. Thomas R, Daniels TR, Parker K (2006) Gait analysis and functional outcomes following ankle arthrodesis for isolated ankle arthritis. *J Bone Joint Surg Am* 88(3):526–535. doi:10.2106/JBJS.E.00521
17. Espinosa N, Wirth SH (2010) Ankle fusion after failed total ankle replacement. *Techniques in Foot & Ankle Surgery* 9:199–204
18. Spirt AA, Assal M, Hansen ST (2004) Complications and failure after total ankle arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 86(6):1172–1178
19. Hintermann B, Barg A, Knupp M (2011) Revision arthroplasty of the ankle joint. *Orthopade* 40(11):1000–1007. doi:10.1007/s00132-011-1829-z
20. Saltzman CL (1999) Total ankle arthroplasty: state of the art. *Instr Course Lect* 48:263–268
21. Hintermann B, Valderrabano V (2001) Total ankle joint replacement. *Z Arztl Fortbild Qualitatssich* 95(3):187–194
22. Pyevich MT, Saltzman CL, Callaghan JJ, Alvine FG (1998) Total ankle arthroplasty: a unique design. Two to twelve-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 80(10):1410–1420
23. Naal FD, Impellizzeri FM, Loibl M et al (2009) Habitual physical activity and sports participation after total ankle arthroplasty. *Am J Sports Med* 37(1):95–102. doi:10.1177/0363546508323253
24. Bai L-B, Lee K-B, Song EK et al (2010) Total ankle arthroplasty outcome comparison for post-traumatic and primary osteoarthritis. *Foot Ankle Int* 31(12):1048–1056. doi:10.3113/FAI.2010.1048
25. Anderson T, Montgomery F, Carlsson A (2003) Un cemented STAR total ankle prostheses – three to eight-year follow-up of fifty-one consecutive ankles. *J Bone Joint Surg Am* 85(7):1321–1329
26. Wood PLR, Deakin S (2003) Total ankle replacement. The results in 200 ankles. *J Bone Joint Surg Br* 85(3):334–341
27. Hintermann B (1999) Short- and mid-term results with the STAR total ankle prosthesis. *Orthopade* 28(9):792–803
28. Hintermann B, Valderrabano V, Dereymaeker G, Dick W (2004) The HINTEGRA ankle: rationale and short-term results of 122 consecutive ankles. *Clin Orthop Relat Res* 424:57–68
29. Gougoulas N, Khanna A, Maffulli N (2010) How successful are current ankle replacements?: a systematic review of the literature. *Clin Orthop Relat Res* 468(1):199–208. doi:10.1007/s11999-009-0987-3
30. Doets HC, Zürcher AW (2010) Salvage arthrodesis for failed total ankle arthroplasty Clinical outcome and influence of method of fixation on union rate in 18 ankles followed for 3–12 years. *Acta Orthop* 81(1):142–147. doi:10.3109/17453671003628764
31. Conti SF, Wong YS (2002) Complications of total ankle replacement. *Foot Ankle Clin* 7(4):791–807
32. Wood PLR, Prem H, Sutton C (2008) Total ankle replacement: medium-term results in 200 Scandinavian total ankle replacements. *J Bone Joint Surg Br* 90(5):605–609. doi:10.1302/0301-620X.90B5.19677
33. Wood PLR, Sutton C, Mishra V, Suneja R (2009) A randomised, controlled trial of two mobile-bearing total ankle replacements. *J Bone Joint Surg Br* 91(1):69–74. doi:10.1302/0301-620X.91B1.21346
34. Haskell A, Mann RA (2004) Ankle arthroplasty with preoperative coronal plane deformity: short-term results. *Clin Orthop Relat Res* 424:98–103
35. Knupp M, Bolliger L, Barg A, Hintermann B (2011) Total ankle replacement for varus deformity. *Orthopade* 40(11):964–970. doi:10.1007/s00132-011-1824-4
36. Bonnin M, Judet T, Colombier JA et al (2004) Midterm results of the salto total ankle prosthesis. *Clin Orthop Relat Res* 424:6–18
37. Kofoed H (2004) Scandinavian Total Ankle Replacement (STAR). *Clin Orthop Relat Res* 424:73–79
38. Kim BS, Choi WJ, Kim YS, Lee JW (2009) Total ankle replacement in moderate to severe varus deformity of the ankle. *J Bone Joint Surg Br* 91(9):1183–1190. doi:10.1302/0301-620X.91B9.22411
39. Mann JA, Mann RA, Horton E (2011) STAR™ ankle: long-term results. *Foot Ankle Int* 32(05):473–484. doi:10.3113/FAI.2011.0473
40. Doets HC, Brand R, Nelissen RGHH (2006) Total ankle arthroplasty in inflammatory joint disease with use of two mobile-bearing designs. *J Bone Joint Surg Am* 88(6):1272–1284. doi:10.2106/JBJS.E.00414
41. Espinosa N, Walti M, Favre P, Snedeker JG (2010) Misalignment of total ankle components can induce high joint contact pressures. *J Bone Joint Surg Am* 92(5):1179–1187. doi:10.2106/JBJS.I.00287
42. Bonnin MP, Laurent J-R, Casillas M (2009) Ankle function and sports activity after total ankle arthroplasty. *Foot Ankle Int* 30(10):933–944. doi:10.3113/FAI.2009.0933
43. Reeves CL, Peadar AJ, Shane AM (2010) The complications encountered with the rheumatoid surgical foot and ankle. *Clin Podiatr Med Surg* 27(2):313–325. doi:10.1016/j.cpm.2009.12.002
44. Rippstein PF, Naal FD (2011) Total ankle replacement in rheumatoid arthritis. *Orthopade* 40(11):984–990. doi:10.1007/s00132-011-1827-1
45. Wood PLR, Crawford LA, Suneja R, Kenyon A (2007) Total ankle replacement for rheumatoid ankle arthritis. *Foot Ankle Clin* 12(3):497–508, vii. doi:10.1016/j.fcl.2007.05.002
46. Su EP, Kahn B, Figgie MP (2004) Total ankle replacement in patients with rheumatoid arthritis. *Clin Orthop Relat Res* 424:32–38. doi:10.1097/01.blo.0000132181.46593.82
47. Fuchs S, Sandmann C, Skwara A, Chylarecki C (2003) Quality of life 20 years after arthrodesis of the ankle. A study of adjacent joints. *J Bone Joint Surg Br* 85(7):994–998
48. Buchner M, Sabo D (2003) Ankle fusion attributable to posttraumatic arthrosis: a long-term followup of 48 patients. *Clin Orthop Relat Res* 406:155–164. doi:10.1097/01.blo.0000038046.63743.c3
49. Paremian GD, Miller SD, Myerson MS (1996) Ankle arthrodesis: results after the miniarthrotomy technique. *Foot Ankle Int* 17(5):247–252
50. Glick JM, Morgan CD, Myerson MS et al (1996) Ankle arthrodesis using an arthroscopic method: long-term follow-up of 34 cases. *Arthroscopy* 12(4):428–434
51. Lee MS (2011) Arthroscopic ankle arthrodesis. *Clin Podiatr Med Surg* 28(3):511–521. doi:10.1016/j.cpm.2011.04.008
52. Winslow IG, Robinson DE, Allen PE (2005) Arthroscopic ankle arthrodesis. *J Bone Joint Surg Br* 87(3):343–347
53. Gougoulas NE, Agathangelidis FG, Parsons SW (2007) Arthroscopic ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int* 28(6):695–706. doi:10.3113/FAI.2007.0695
54. Stone JW (2006) Arthroscopic ankle arthrodesis. *Foot Ankle Clin* 11(2):361–368. doi:10.1016/j.fcl.2006.03.007
55. Cameron SE, Ullrich P (2000) Arthroscopic arthrodesis of the ankle joint. *Arthroscopy* 16(1):21–26
56. Lee MS, Millward DM (2009) Arthroscopic ankle arthrodesis. *Clin Podiatr Med Surg* 26(2):273–282. doi:10.1016/j.cpm.2009.03.002
57. Miller SD, Paremian GP, Myerson MS (1996) The miniarthrotomy technique of ankle arthrodesis: a cadaver study of operative vascular compromise and early clinical results. *Orthopedics* 19(5):425–430
58. Endres T, Grass R, Rammelt S, Zwipp H (2005) Ankle arthrodesis with four cancellous lag screws. *Oper Orthop Traumatol* 17(4–5):345–360. doi:10.1007/s00064-005-1147-x
59. Zwipp H, Rammelt S, Endres T, Heineck J (2010) High union rates and function scores at midterm followup with ankle arthrodesis using a four screw technique. *Clin Orthop Relat Res* 468(4):958–968. doi:10.1007/s11999-009-1074-5
60. Collman DR, Kaas MH, Schubert JM (2006) Arthroscopic ankle arthrodesis: factors influencing union in 39 consecutive patients. *Foot Ankle Int* 27(12):1079–1085
61. Cheng Y-M, Chen S-K, Chen J-C et al (2003) Revision of ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int* 24(4):321–325
62. Culpán P, Le Strat V, Piriou P, Judet T (2007) Arthrodesis after failed total ankle replacement. *J Bone Joint Surg Br* 89(9):1178–1183. doi:10.1302/0301-620X.89B9.19108
63. Plaass C, Knupp M, Barg A, Hintermann B (2009) Anterior double plating for rigid fixation of isolated tibiotalar arthrodesis. *Foot Ankle Int* 30(07):631–639. doi:10.3113/FAI.2009.0631
64. Tarkin IS, Mormino MA, Clare MP et al (2007) Anterior plate supplementation increases ankle arthrodesis construct rigidity. *Foot Ankle Int* 28(2):219–223. doi:10.3113/FAI.2007.0219
65. Mohamedean A, Said HG, El-Sharkawi M et al (2010) Technique and short-term results of ankle arthrodesis using anterior plating. *Int Orthop* 34(6):833–837. doi:10.1007/s00264-009-0872-4
66. Zwipp H, Grass R (2005) Ankle arthrodesis after failed joint replacement. *Oper Orthop Traumatol* 17(4–5):518–533. doi:10.1007/s00064-005-1143-9
67. Lord G, Marotte JH (1973) Total ankle prosthesis. Technique and 1st results. Apropos of 12 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 59(2):139–151
68. Bolton-Maggs BG, Sudlow RA, Freeman MA (1985) Total ankle arthroplasty. A long-term review of the London Hospital experience. *J Bone Joint Surg Br* 67(5):785–790
69. Hintermann B (2005) Total ankle arthroplasty. Springer, Berlin Heidelberg New York