

Navigierte Korrekturarthrodese des unteren Sprunggelenks

Martinus Richter¹

Zeichner: Rüdiger Himmelhan, Heidelberg

Zusammenfassung

Operationsziel

Wiederherstellung eines plantigraden, belastbaren Fußes bei Deformitäten am Rückfuß und gleichzeitigen degenerativen Veränderungen am unteren Sprunggelenk (USG).

Indikationen

Arthrose des USG und Fehlstellung des Rückfußes.

Kontraindikationen

Floride Infektionen am Rückfuß oder schwere Durchblutungsstörung.

Operationstechnik

Bauchlage und posterolateraler Zugang zum Subtalargelenk. Platzierung der dynamischen Referenzbasen in Talus und Kalkaneus über Stichinzisionen. Zweidimensionale Bildakquisition zur Navigation. Festlegung der Achsen von Talus und Kalkaneus, die im Verhältnis zueinander navigiert werden. Festlegung des Korrekturausmaßes anhand der präoperativen Planung. Darstellung des Subtalargelenks und Entknorpelung. Navigationsgestützte Stellungskorrektur und Transfixation des Korrekturergebnisses mit zwei 2,5-mm-Kirschner-Drähten. Transplantation von autologer Spongiosa und, wenn nötig, kortikalem Knochen in das Subtalargelenk. Dreidimensionale (3-D) Bildakquisition zur Analyse der Korrekturgenauigkeit und

zur Planung der Bohrungen für die Schraubeninsertion. Navigierter Bohrvorgang und Einbringen der Schrauben. 3-D-Scan zur Kontrolle der Rückfußstellung und Implantatlage. Bei korrekter Position Einlage einer Drainage und schichtweiser Wundverschluss.

Weiterbehandlung

6-wöchige Teilbelastung mit 15 kg in einer Orthese (z.B. Vacuped, OPED GmbH, Valley). Danach Übergang zur Vollbelastung im festen Konfektionsschuh.

Ergebnisse

Vom 01.09.2006 bis 31.08.2008 wurden 26 Korrekturarthrodesen durchgeführt. Die Analyse der Genauigkeit durch Vergleich der im präoperativen Computertomogramm geplanten Korrektur und der im intraoperativen ARCADIS-3D-Scan gemessenen erreichten Korrektur zeigt eine Abweichung von maximal 2° oder 2 mm. Navigationsassoziierte Komplikationen wurden nicht beobachtet. In den bisher nach 2 Jahren nachuntersuchten 25 Fällen trat eine zeitgerechte Durchbauung ein.

Schlüsselwörter

Unteres Sprunggelenk · Subtalare Arthrodese · Navigation · „Computer-assisted surgery (CAS)“ · Rückfußdeformität

Oper Orthop Traumatol 2010;22:402–13

DOI 10.1007/s00064-010-8069-y

¹II. Chirurgische Klinik (Unfallchirurgie, Orthopädie und Fußchirurgie), Klinikum Coburg.

Computer-Assisted Surgery-(CAS-)Guided Correction Arthrodesis of the Subtalar Joint

Abstract

Objective

Restoration of a stable and plantigrade foot in deformities at the hindfoot and concomitant degenerative changes at the subtalar joint.

Indications

Deformities at the hindfoot and concomitant degenerative changes at the subtalar joint.

Contraindications

Active local infection or relevant vascular insufficiency.

Surgical Technique

Prone position and posterolateral approach to the subtalar joint. Placement of dynamic reference bases in talus and calcaneus through stab incisions. Two-dimensional image acquisition for navigation. Definition of the axes of talus and calcaneus, and of the extent of correction. Exposure of the subtalar joint and removal of remaining cartilage. Computer-assisted surgery-(CAS-)guided correction and transfixation of the corrected position with two 2.5-mm Kirschner wires. Transplantation of autologous cancellous and cortical bone, if necessary. Three-dimensional (3-D) image acquisition for analysis of the accuracy of the correction

Vorbemerkungen

Arthrosen und Deformitäten am Rückfuß und am unteren Sprunggelenk (USG) sind häufig [1, 3, 4, 12, 13, 19, 22, 28, 33, 40, 41]. Die degenerativen Veränderungen kombiniert mit den biomechanischen Auswirkungen der Deformitäten führen zu Symptomen wie Schmerz und Gangstörung [2, 7, 16, 19, 20, 30–32, 35, 39, 40]. Die Korrekturarthrodese des Subtalargelenks mit Schraubenfixation stellt das Standardverfahren dar [10, 19, 22, 36, 38]. Dabei ist die Korrektur der Deformitäten schwierig, und verbleibende Deformitäten mit entsprechenden Beschwerden finden sich häufig [10, 19, 22, 36, 38]. Eine adäquate präoperative Planung ist Standard, und das intraoperative Ziel besteht im Erreichen der geplanten Korrektur [10, 19, 22, 36, 38]. Die präoperative Diagnostik mit Röntgenaufnahmen unter Belastung und Computertomographie (CT) erlaubt eine akkurate Planung, die durch den Einsatz von Planungssoftware noch vereinfacht und verbessert werden kann [8]. Während der Operation ist das exakte Erreichen der geplanten Korrektur jedoch schwierig, da sich der Operateur nur mit den konventionellen Bildgebungs-

and planning of the drillings for the screws. CAS-guided drilling and insertion of the screws. 3-D image acquisition for analysis of the accuracy of the correction implant position. Wound closure in layers.

Postoperative Management

15 kg partial weight bearing in an orthosis (e.g. Vacuped™, OPEd Inc., Valley, Germany) for 6 weeks, followed by full weight bearing in a stable standard shoe.

Results

From September 1, 2006 to August 31, 2008, 26 correction arthrodeses were performed. The accuracy was assessed by intraoperative 3-D imaging. All achieved angles/translations were within a maximum deviation of 2°/2 mm when compared to the planned correction. Complications that were associated with CAS were not observed. In all 25 cases that completed 2-year follow-up, timely fusion was registered.

Key Words

Subtalar joint · Arthrodesis · Navigation · Computer-assisted surgery (CAS) · Hindfoot deformity

techniken, d.h. einem Röntgenbildverstärker, orientieren kann [18, 19, 22, 24, 36, 40]. Auf anderen Gebieten der Orthopädie und Unfallchirurgie zeigte der Einsatz von Navigation („computer-assisted surgery“ [CAS]) eine Verbesserung der Genauigkeit von Korrekturen (z.B. Korrekturosteotomie proximale Tibia) und Implantatplatzierung (z.B. bei Pedikelschrauben) [5, 6, 9, 11, 14, 17, 21, 25, 27, 34, 37]. Da die CT-basierte Navigation im Fußbereich bereits in vitro nicht adäquat funktionierte, wurde ein röntgenbildverstärkerbasiertes und CT-freies System klinisch eingesetzt und zeigte sehr erfolgversprechende erste Ergebnisse [23, 24, 26]. Dabei werden intraoperativ erst nach Platzierung der Navigationsmarker (vgl. dynamische Referenzbasen [DRBs]) die zwei- (2-D) oder dreidimensionalen (3-D) Röntgenbilddaten akquiriert und mit diesen Daten navigiert. Dies erfordert im Gegensatz zur typischen röntgenbilddatenfreien Navigation (z.B. Knie-/Hüftendoprothetik) die Einbindung eines 2-D-/3-D-Röntgenbildverstärkers in das Navigationssystem. Diese Methode ist nun an unserer Einrichtung im Routinegebrauch. Die Kombination der Navigation, die die Genauigkeit der Korrektur

und Implantatplatzierung verbessern soll, mit der Korrekturarthrodese des Subtalargelenks wird hier vorgestellt.

Operationsprinzip und -ziel

Ziel der navigierten Korrekturarthrodese des Subtalargelenks mit Schraubenfixation ist die Wiederherstellung eines plantigraden, belastbaren Fußes bei Deformitäten des Rückfußes und gleichzeitigen degenerativen Veränderungen des Subtalargelenks.

Vorteile

- Durch eine stellungskorrigierende Arthrodese des Subtalargelenks wird die Position des Rückfußes korrigiert, was bei Arthrodese ohne Korrektur nicht der Fall ist.
- Durch die Fixation mit Schrauben wird die Stabilität im Vergleich zur Verwendung von Klammern erhöht.
- Durch die Navigation wird die Genauigkeit der Korrektur und der Implantatfixation im Vergleich zum nichtnavigierten Verfahren verbessert.

Nachteile

- Die Korrekturarthrodese des Subtalargelenks ist ein ausgedehnterer Eingriff als die Arthrodese ohne Stellungskorrektur.
- Die Fixation mittels Schrauben birgt das Risiko der Fehlstellung am Rückfuß und/oder der Penetration

des oberen Sprunggelenks (OSG) bei nicht exakter Platzierung.

- Der Einsatz der Navigation erfordert die Verwendung teurer Navigationsgeräte und eine zu Beginn verlängerte Operationszeit.

Indikationen

- Symptomatische Arthrose des Subtalargelenks.
- Deformität des Rückfußes im Subtalargelenk.

Kontraindikationen

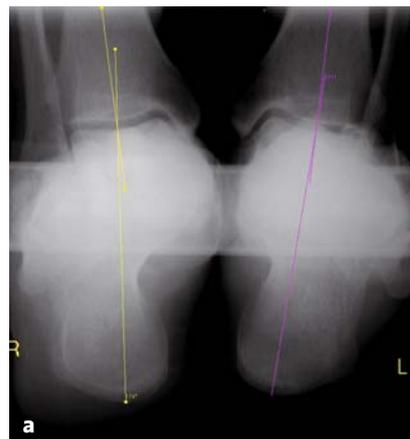
- Lokale floride Infektion.
- Schwere periphere arterielle Verschlusskrankheit.

Patientenaufklärung

- Übliche allgemeine Operationsrisiken.
- Entnahme von kortikalem und/oder spongiösem Knochen am dorsalen Beckenkamm oder an der proximalen Tibia mit entsprechenden lokalen Beschwerden an der Entnahmestelle.
- Risiko der persistierenden oder anderweitigen Fehlstellung.
- Risiko der verzögerten oder fehlenden Durchbauung des Arthrodesebereichs.
- Hinweis auf notwendige mindestens 6-wöchige Teilbelastung.
- Implantatentfernung.

Abbildungen 1a und 1b

Analyse und Planung anhand einer Saltzman-Aufnahme (a) mit hier 3° Varusstellung des Rückfußes (bei normaler Valgusstellung des Rückfußes von 4° der gesunden Gegenseite), d.h., in diesem Fall ergibt sich ein pathologischer Rückfußvarus von 7°. Seitliche Röntgenaufnahme des Fußes und des OSG mit Darstellung der Arthrose subtalar (b).



Operationsvorbereitungen

- Sorgfältige anamnestiche und klinische Evaluation von Beschwerden und Fehlstellung.
- Überprüfung der Hautverhältnisse, der Durchblutung und des neurologischen Status.
- Genaue Analyse der Fehlstellung anhand folgender Röntgenaufnahmen: Beinachsenaufnahme, OSG beidseits in zwei Ebenen mit Belastung, Saltzman-Aufnahme beidseits, Füße beidseits in zwei Ebenen mit Belastung (Abbildungen 1a und 1b).
- CT.
- Bei nicht eindeutig tastbaren Fußpulsen Doppler-Sonographie und ggf. Angiographie (digitale Subtraktionsangiographie).
- Planung der Korrektur.

Instrumentarium und Implantate

- Knochensieb nach Standard.
- Schrauben (z.B. kanülierte 7,3-mm-Schrauben, Fa. Synthes, Umkirch).

- Sieb mit Navigationsinstrumenten.
- Navigationssystem (hier Navivision, Fa. Brainlab, Heimstetten, in Kombination mit ARCADIS-3D, Fa. Siemens, München).
- Gerade und gekröpfte Meißel.
- Arthrodesenspreizer.
- Gegebenenfalls Fräse zum Entknorpeln (z.B. Epen, Fa. Synthes).

Anästhesie und Lagerung

- Allgemeinanästhesie oder Spinal-/Periduralanästhesie.
- Bauchlagerung mit an der Tischkante überstehendem Fuß.
- Oberschenkelblutsperre.
- Abkleben und Vorreinigen des ipsilateralen dorsalen Beckenkamms und kompletten Unterschenkels.

Operationstechnik

Abbildungen 2 bis 10

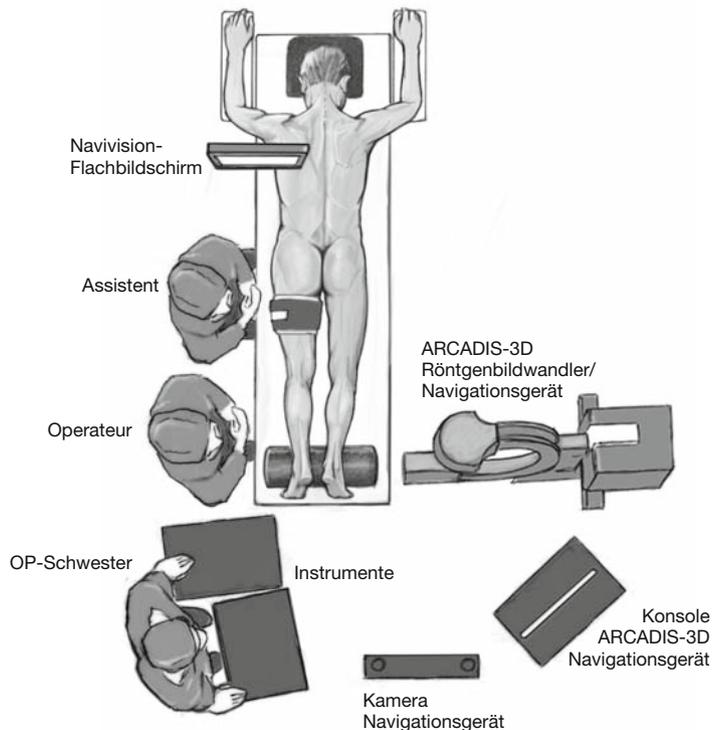
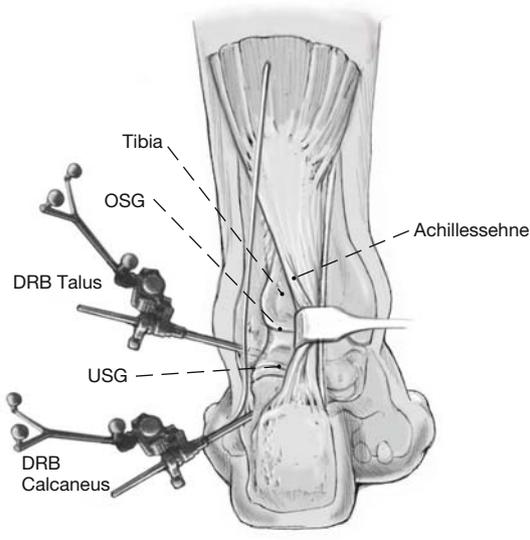
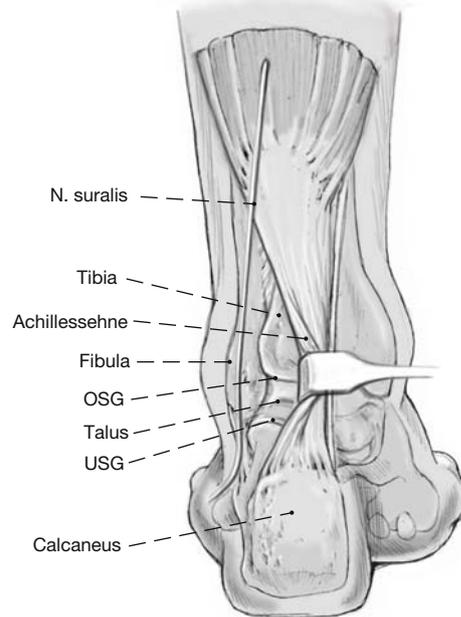


Abbildung 2

Lagerung des Patienten und Positionierung von Navigationsystem und Personal. Der Navigationsmonitor wird im Idealfall direkt am Operationstisch befestigt und steril bezogen. Die Positionierung aller Geräte und des kompletten Personals muss so erfolgen, dass von der Kamera „freie Sicht“ auf die DRBs und den ARCADIS-3D-Strahlendetektor besteht.

Abbildung 3

Dorsolateraler Zugang zum OSG und USG nach Auswickeln mit Esmarch-Binde und Insufflation der Blutleere mit 350 mmHg. Hierbei Schonung des Nervus suralis und der Achillessehne. OSG und Subtalargelenk liegen in unmittelbarer Nähe zueinander.



a



b

Abbildungen 4a und 4b

Platzierung der DRBs in den Talushals und in den Processus anterior calcanei über laterale Stichinzisionen (a). Zur Fixation der DRBs werden 5 mm dicke Schanz-Schrauben verwendet. Nach Platzierung der DRBs erfolgt die 2-D-Bildakquisition zur Navi-

gation. Dafür muss der sog. 2-D-Navigationskäfig an den Detektor des ARCADIS-3D angebracht werden. Es wird je ein Bild im anteroposterioren und im seitlichen Strahlengang (b) akquiriert.

Abbildung 5

Festlegung der Achsen von Talus und Kalkaneus, die im Verhältnis zueinander navigiert werden (links anteroposteriorer Strahlengang; rechts: seitlicher Strahlengang). Festlegung des Korrekturausmaßes anhand der präoperativen Planung. Im vorliegenden Fall sind dies 4° Valgisierung im Subtalargelenk.

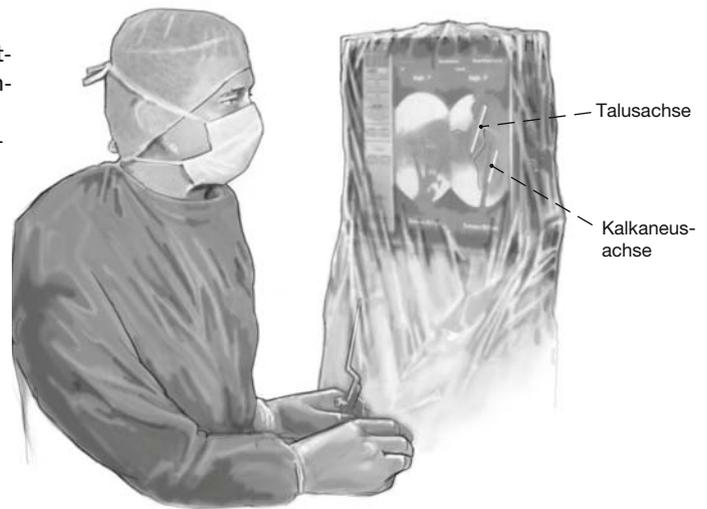


Abbildung 6

Darstellung des Subtalargelenks und Entknorpelung. Hierfür ggf. Einsetzen eines Arthrodesenspreizers. Dabei haben sich 2,0 mm dicke Kirschner-Drähte als Widerlager in den benachbarten Knochen bewährt. So kann das ganze Gelenk exponiert werden, ohne dass der Arthrodesenspreizer im Gelenk selbst liegt und die Entknorpelung u.Ä. behindert.

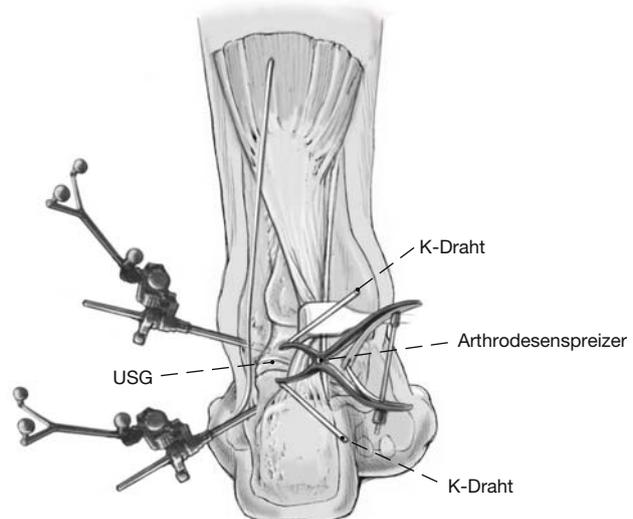
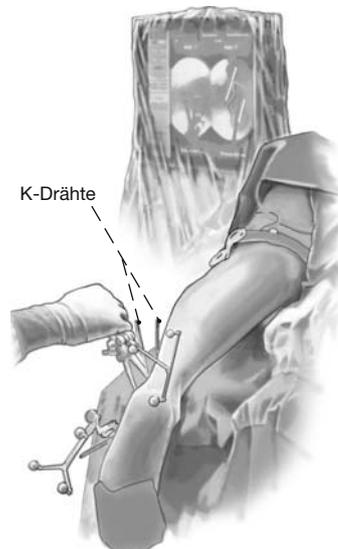
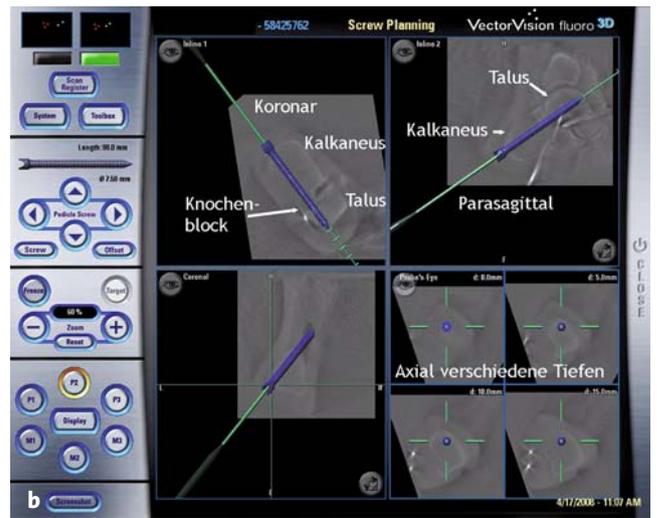
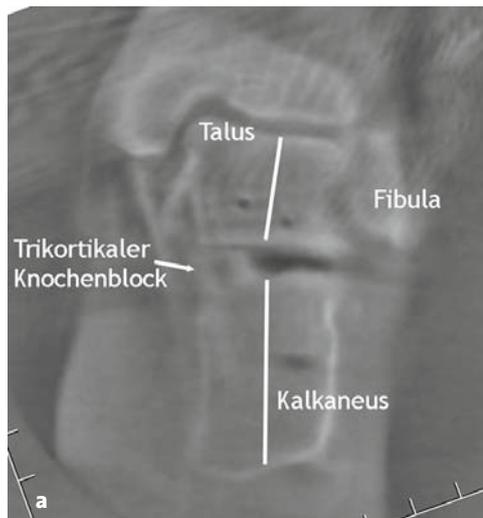


Abbildung 7

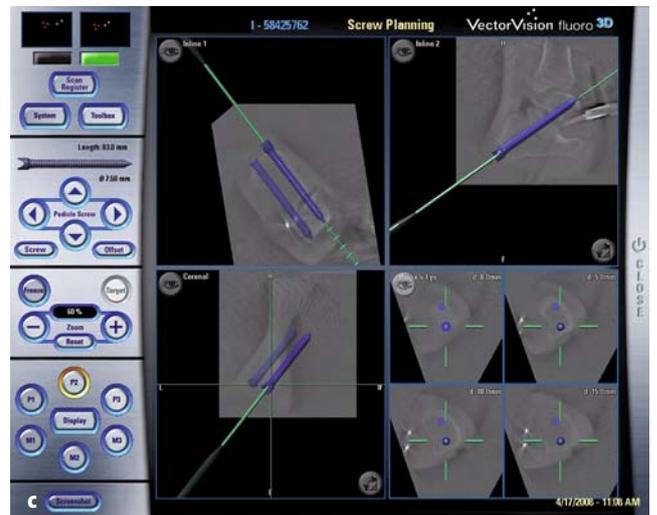
Navigationsgestützte Korrektur und Transfixation des Korrekturergebnisses mit 2,5 mm dicken Kirschner-Drähten. In diesem Fall wurde im Subtalargelenk 4° valgisiert. Danach Auffüllen des Defekts im Gelenk mit trikortikalem Beckenkammspan und Spongiosa im Subtalargelenk. Der Beckenkammspan wird so ausgemessen, dass er genau in den Defekt passt. Während und nach der Knochentransplantation wird mit Hilfe des Navigationsgeräts sichergestellt, dass keine Änderung des Korrekturergebnisses eintritt.

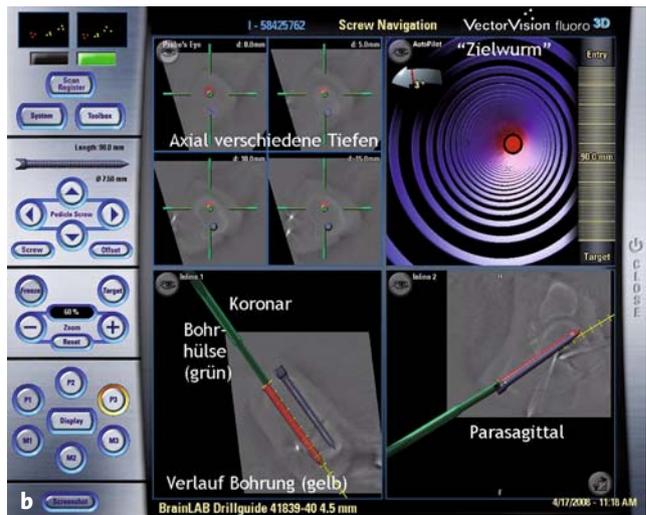
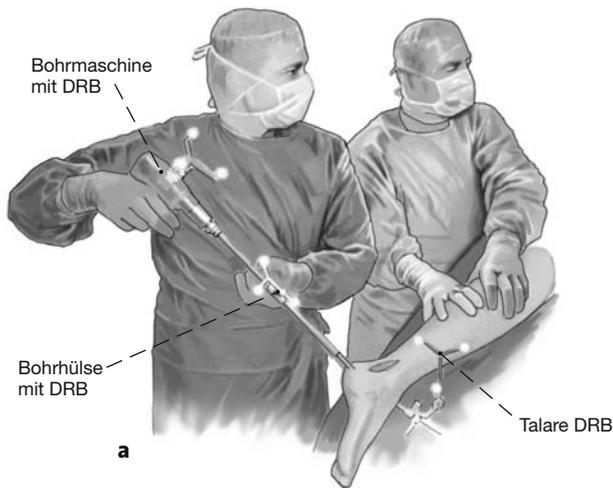




Abbildungen 8a bis 8c

3-D-Bildakquisition zur Analyse der Korrekturgenauigkeit (a) und zur Planung des Bohrkanals für die Nagelinsertion (b, c). Vor dem 3-D-Scan muss der 2-D-Navigationskäfig vom ARCA-DIS-3D entfernt werden. Außerdem kann zuvor die kalkaneare DRB entfernt werden, da diese nicht mehr benötigt wird. Die Analyse der Korrekturgenauigkeit zeigt hier eine Neutralstellung des OSG in der parasagittalen Reformation und die gewünschte 4° Valgisierung in der parakoronaren Reformation (a). Planung der Bohrung der beiden Schrauben (b: erste Bohrung; c: zweite Bohrung).





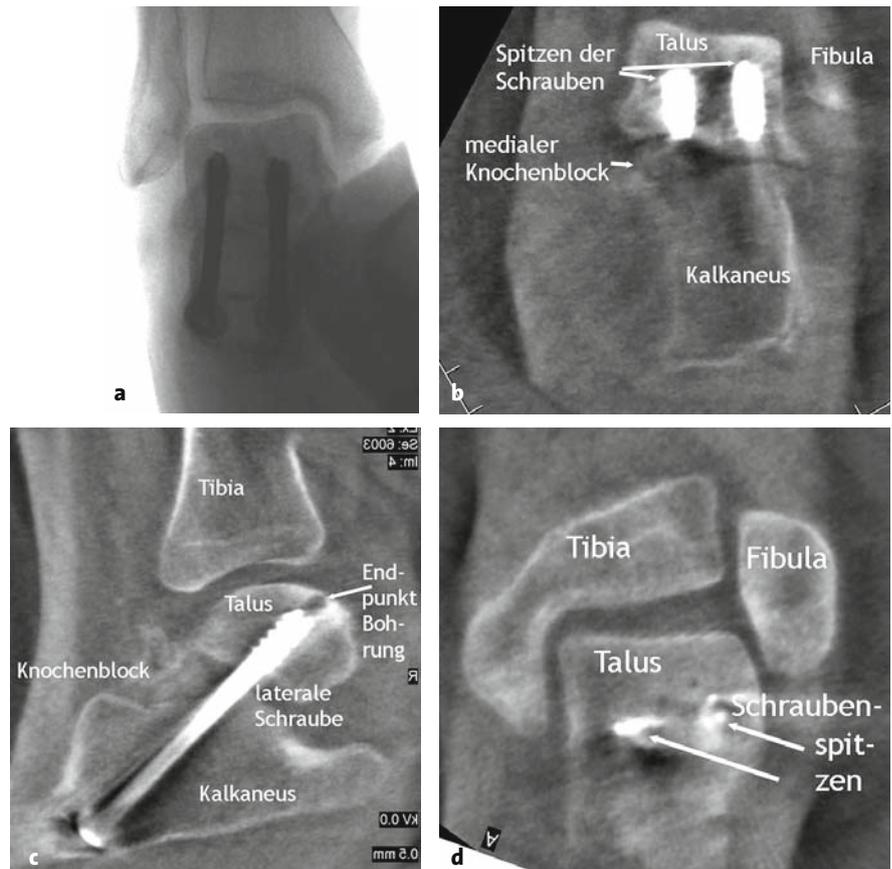
Abbildungen 9a bis 9c

Navigierter Bohrvorgang (a: klinischer Aspekt; b: Ansicht Navigationsbildschirm bei Beginn der ersten Bohrung; c: Navigationsbildschirm bei Ende der zweiten Bohrung). Der „Zielwurm“ erlaubt eine einfache Zielführung. Dabei muss virtuell durch den blauen „Wurm“ der rote Zielpunkt getroffen werden. Nach den Bohrungen Einbringen der Schrauben. Wir favorisieren eine parallele Schraubenlage (nebeneinander – medial – lateral) mit einem Schraubeneintrittspunkt an der dorsalen und nicht der plantaren Fläche des Tuber calcanei sowie einem Schraubenverlauf möglichst senkrecht zum Subtalargelenk mit Lage der Gewinde im ventralen Bereich des Taluskörpers.



Abbildungen 10a bis 10d

2-D- und 3-D-Bilder nach Nagelinsertion (a: 2-D-Bild anteroposteriorer Strahlengang; b: parakoronare Reformation; c: axiale Reformation; d: parasagittale Reformation). Bei korrekter Position Einlage einer Drainage und schichtweiser Wundverschluss.



Postoperative Behandlung

- Postoperative Anlage der Orthese (z.B. Vacuped, OPED GmbH, Valley).
- Hochlagerung.
- Ab dem 1. postoperativen Tag Mobilisation in der Orthese mit 15 kg Teilbelastung möglich.
- Postoperative Röntgenkontrolle am 1. oder 2. Tag.
- Entfernung der Drainage am 2. postoperativen Tag.
- Entfernung des Hautnahtmaterials am 12. postoperativen Tag.
- 6-wöchige Teilbelastung mit 15 kg an Unterarmgehstützen in der Orthese. Die Orthese kann in der Regel nachts entfernt werden.
- Nach 6 Wochen in Abhängigkeit vom radiologischen Verlauf Weglassen der Orthese und Übergang zur Vollbelastung im festen Konfektionsschuh.

Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Verbleibende Deformität oder anderweitige Deformität, so dass kein plantigrader Fuß erreicht wurde: Eine Revisionsoperation kann in diesem Fall nach

entsprechender Analyse von klinischen, radiologischen und pedographischen Befunden nötig werden.

- Verletzung des Nervus suralis im Zugangsbereich oder an der Stichinzision über dem Kalkaneus.
- Prominente Schraubenköpfe am Eintrittspunkt mit daraus resultierenden Schmerzen in diesen Bereichen: Bei prominenten Schraubenköpfen kann in Abhängigkeit von den Beschwerden bei eingetretener Durchbauung eine Implantatentfernung durchgeführt werden. Diese sollte in der Regel frühestens nach 6 Monaten erfolgen.
- Fehlfunktion des Navigationssystems.

Ergebnisse

Vom 01.09.2006 bis 31.08.2008 wurden in unserer Klinik 26 Korrekturarthrodesen des Subtalgelenks wie beschrieben durchgeführt. 16 Patienten waren männlich, und das mittlere Alter zum Zeitpunkt des Eingriffs betrug 47 Jahre (20–78 Jahre). Tabelle 1 zeigt das Ausmaß der Deformitäten. Der mittlere präoperative American

Tabelle 1

Stellung vor Korrektur, geplante Korrektur, erreichte Stellung und Abweichung von geplanter Korrektur.

Fall	Stellung vor Korrektur	Geplante Korrektur	Erreichte Stellung	Abweichung
1	Varus 4°	Valgisierung 4°	Varus 0°	0°
2	Talokalkaneärer Winkel -5° Böhler-Winkel -12° Varus 8°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 35° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 32° Valgisierung 8°	Talokalkaneärer Winkel 30° Böhler-Winkel ^a 21° Varus -1°	0° 1° 1°
3	Talokalkaneärer Winkel 12° Böhler-Winkel 2° Valgus 10°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 28° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 28° Varisierung 10°	Talokalkaneärer Winkel 40° Böhler-Winkel ^a 30° Valgus 0°	0° 0° 0°
4	Talokalkaneärer Winkel 20° Böhler-Winkel 12° Varus 22°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 20° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 18° Valgisierung 22°	Talokalkaneärer Winkel 40° Böhler-Winkel ^a 28° Varus 2°	0° 2° 2°
5	Talokalkaneärer Winkel 10° Böhler-Winkel 3° Valgus 12°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 30° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 27° Varisierung 12°	Talokalkaneärer Winkel 39° Böhler-Winkel ^a 30° Valgus 0°	1° 0° 0°
6	Talokalkaneärer Winkel 2° Böhler-Winkel 10° Varus 15°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 32° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 20° Valgisierung 15°	Talokalkaneärer Winkel 30° Böhler-Winkel ^a 30° Varus 0°	0° 0° 0°
7	Talokalkaneärer Winkel 5° Böhler-Winkel 0° Varus 10°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 30° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 30° Valgisierung 10°	Talokalkaneärer Winkel 34° Böhler-Winkel ^a 30° Varus 0°	1° 0° 0°
8	Talokalkaneärer Winkel -25° Böhler-Winkel ^a -32° Varus 8°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 50° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 52° Valgisierung 8°	Talokalkaneärer Winkel 25° Böhler-Winkel ^a 21° Varus -1°	0° 1° 1°
9	Talokalkaneärer Winkel 2° Böhler-Winkel ^a -5° Valgus 10°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 32° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 30° Varisierung 10°	Talokalkaneärer Winkel 32° Böhler-Winkel ^a 28° Valgus 0°	2° 2° 0°
10	Talokalkaneärer Winkel 22° Böhler-Winkel 11° Varus 20°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 18° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 19° Valgisierung 20°	Talokalkaneärer Winkel 40° Böhler-Winkel ^a 28° Varus 1°	0° 2° 1°
11	Talokalkaneärer Winkel 12° Böhler-Winkel 3° Valgus 12°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 28° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 27° Varisierung 12°	Talokalkaneärer Winkel 39° Böhler-Winkel ^a 30° Valgus 0°	1° 0° 0°
12	Talokalkaneärer Winkel 15° Böhler-Winkel -10° Varus 15°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 20° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 30° Valgisierung 15°	Talokalkaneärer Winkel 35° Böhler-Winkel ^a 20° Varus 0°	0° 0° 0°
13	Talokalkaneärer Winkel 5° Böhler-Winkel 0° Varus 10°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 30° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 30° Valgisierung 10°	Talokalkaneärer Winkel 34° Böhler-Winkel ^a 30° Varus 0°	1° 0° 0°
14	Talokalkaneärer Winkel -15° Böhler-Winkel -12° Varus 8°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 45° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 32° Valgisierung 8°	Talokalkaneärer Winkel 30° Böhler-Winkel ^a 18° Varus -1°	0° 2° 1°
15	Talokalkaneärer Winkel 12° Böhler-Winkel 2°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 28° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 28°	Talokalkaneärer Winkel 40° Böhler-Winkel ^a 30°	0° 0°
16	Talokalkaneärer Winkel 20° Böhler-Winkel 12° Varus 2°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 20° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 18° Valgisierung 2°	Talokalkaneärer Winkel 40° Böhler-Winkel ^a 31° Varus -1°	0° 1° 1°
17	Talokalkaneärer Winkel 10° Böhler-Winkel 3°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 30° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 27°	Talokalkaneärer Winkel 39° Böhler-Winkel ^a 30°	1° 0°
18	Talokalkaneärer Winkel 15° Böhler-Winkel -2° Varus 15°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 20° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 32° Valgisierung 15°	Talokalkaneärer Winkel 35° Böhler-Winkel ^a 30° Varus 0°	0° 0° 0°
19	Talokalkaneärer Winkel 5° Böhler-Winkel 0° Varus 10°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 30° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 30° Valgisierung 10°	Talokalkaneärer Winkel 34° Böhler-Winkel ^a 30° Varus 0°	1° 0° 0°
20	Talokalkaneärer Winkel -3° Böhler-Winkel -12°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 33° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 37°	Talokalkaneärer Winkel 30° Böhler-Winkel ^a 24°	0° 1°
21	Talokalkaneärer Winkel 12° Böhler-Winkel 2° Valgus 10°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 28° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 28° Varisierung 10°	Talokalkaneärer Winkel 40° Böhler-Winkel ^a 30° Valgus 0°	0° 0° 0°
22	Talokalkaneärer Winkel 18° Böhler-Winkel 12° Varus 22°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 22° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 18° Valgisierung 22°	Talokalkaneärer Winkel 40° Böhler-Winkel ^a 31° Varus 21°	0° 1° 1°
23	Talokalkaneärer Winkel 10° Böhler-Winkel -13° Valgus 12°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 30° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 37° Varisierung 12°	Talokalkaneärer Winkel 39° Böhler-Winkel ^a 18° Valgus 0°	1° 2° 0°
24	Talokalkaneärer Winkel -12° Böhler-Winkel 15°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 13° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 15°	Talokalkaneärer Winkel 27° Böhler-Winkel ^a 31°	0° 1°
25	Valgus 8°	Varisierung 8°	Valgus -2°	2°
26	Talokalkaneärer Winkel 12° Böhler-Winkel 4° Varus 10°	Erhöhung talokalkaneärer Winkel 28° Erhöhung Böhler-Winkel ^a 26° Valgisierung 10°	Talokalkaneärer Winkel 38° Böhler-Winkel ^a 28° Varus 2°	2° 2° 2°

^a Böhler-Winkel bei Arthrodese nach [25]

Orthopaedic Foot and Ankle Society Hindfoot Score (AOFAS Hindfoot) betrug 58 Punkte (32–82 Punkte bei maximal erreichbaren 100 Punkten), und die mittlere Visual Analogue Scale Foot and Ankle (VAS FA) lag bei 52 Punkten (26–86 Punkte bei maximal möglichen 100 Punkten) [15, 29]. Der Zeitaufwand für den navigierten Korrekturvorgang, d.h. Platzieren der DRBs, Bildakquisition, Planung und navigationsgestützte Korrektur bis zur Transfixation zur Sicherung des Korrekturergebnisses, betrug im Schnitt 7 min (5–17 min). Der Zeitaufwand für die navigierten Bohrungen, d.h. Bildakquisition, Planung, Referenzierung von Bohrmaschine, Bohrer und Bohrhülse sowie navigierte Bohrungen, belief sich im Schnitt auf 9 min (7–23 min). Navigationsassoziierte Probleme oder Komplikationen traten in dieser Serie nicht auf. Die Analyse der Genauigkeit durch Vergleich der im präoperativen CT geplanten Korrektur und der im intraoperativen ARCADIS-3D-Scan gemessenen erreichten Korrektur zeigt eine Abweichung von maximal 2° oder 2 mm (Tabelle 1). In einem Fall trat eine Wundheilungsstörung auf, die jedoch ohne weitere chirurgische Intervention abheilte. Bisher haben 25 Fälle die 2-Jahres-Nachuntersuchung abgeschlossen. In allen Fällen war eine Durchbauung eingetreten, und die mittleren Scores waren im Vergleich zu den präoperativen Werten deutlich verbessert (AOFAS Hindfoot 76 [61–94] Punkte bei maximal erreichbaren 94 Punkten bei versteiftem USG; VAS FA 84 [68–99] Punkte bei maximal erreichbaren 100 Punkten). Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung wurde die Genauigkeit des Korrekturausmaßes computertomographisch analysiert. Dabei konnten keine relevanten Abweichungen im Vergleich zur intraoperativen 3-D-Analyse mittels ARCADIS-3D festgestellt werden (Abweichung maximal 2 mm oder 2°). Eine vergleichbare Genauigkeitsanalyse ist derzeit nicht publiziert. Die im aktuellen Schrifttum berichteten klinischen Nachuntersuchungsergebnisse weichen von unseren Resultaten nicht relevant ab [10, 19, 22, 36, 38].

Interessenkonflikt: Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Adelaar RS. The treatment of complex fractures of the talus. *Orthop Clin North Am* 1989;20:691–707.
- Adelaar RS, Kyles MK. Surgical correction of resistant talipes equinovarus: observations and analysis – preliminary report. *Foot Ankle* 1981; 2:126–37.
- Amon K. Luxationsfraktur der kuneonavikulären Gelenklinie. Klinik, Pathomechanismus und Therapiekonzept einer sehr seltenen Fussverletzung. *Unfallchirurg* 1990;93:431–4.
- Brutscher R. Frakturen und Luxationen des Mittel- und Vorfusses. *Orthopäde* 1991;20:67–75.
- Chauhan SK, Clark GW, Lloyd S, et al. Computer-assisted total knee replacement. A controlled cadaver study using a multi-parameter quantitative CT assessment of alignment (the Perth CT Protocol). *J Bone Joint Surg Br* 2004;86:818–23.
- Chauhan SK, Scott RG, Braidahl W, Beaver RJ. Computer-assisted knee arthroplasty versus a conventional jig-based technique. A randomised, prospective trial. *J Bone Joint Surg Br* 2004;86:372–7.
- Coetzee JC, Hansen ST. Surgical management of severe deformity resulting from posterior tibial tendon dysfunction. *Foot Ankle Int* 2001;22:944–9.
- Dahlen C, Zwipp H. [Computer-assisted surgical planning. 3-D software for the PC.] *Unfallchirurg* 2001;104:466–79.
- DiGioia AM III, Blendea S, Jaramaz B. Computer-assisted orthopaedic surgery: minimally invasive hip and knee reconstruction. *Orthop Clin North Am* 2004;35:183–9.
- Easley ME, Trnka HJ, Schon LC, Myerson MS. Isolated subtalar arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82:613–24.
- Haaker RG, Stockheim M, Kamp M, et al. Computer-assisted navigation increases precision of component placement in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2005;433:152–9.
- Hansen STJ. Functional reconstruction of the foot and ankle. Philadelphia–Baltimore–New York; Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- Hildebrand KA, Buckley RE, Mohtadi NG, Faris P. Functional outcome measures after displaced intra-articular calcaneal fractures. *J Bone Joint Surg Br* 1996;78:119–23.
- Jolles BM, Genoud P, Hoffmeyer P. Computer-assisted cup placement techniques in total hip arthroplasty improve accuracy of placement. *Clin Orthop Relat Res* 2004;426:174–9.
- Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, et al. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int* 1994;15:349–53.
- Koczewski P, Shadi M, Napiontek M. Foot lengthening using the Ilizarov device: the transverse tarsal joint resection versus osteotomy. *J Pediatr Orthop B* 2002;11:68–72.
- Langdown AJ, Auld J, Bruce WJ. Computer-assisted knee arthroplasty versus a conventional jig-based technique. *J Bone Joint Surg Br* 2005; 87:588–9.
- Madezo P, de Cussac JB, Gouin F, et al. [Combined tibio-talar and subtalar arthrodesis by retrograde nail in hindfoot rheumatoid arthritis.] *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1998;84:646–52.
- Marti RK, de Heus JA, Roolker W, et al. Subtalar arthrodesis with correction of deformity after fractures of the os calcis. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81:611–6.
- Mosier-LaClair S, Pomeroy G, Manoli A. Operative treatment of the difficult stage 2 adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Clin* 2001; 6:95–119.
- Nogler M. Navigated minimal invasive total hip arthroplasty. *Surg Technol Int* 2004;12:259–62.
- Rammelt S, Grass R, Zawadzki T, et al. Foot function after subtalar distraction bone-block arthrodesis. A prospective study. *J Bone Joint Surg Br* 2004;86:659–68.
- Richter M. Experimental comparison between computer assisted surgery (CAS) based and C-arm based correction of hind- and midfoot deformities. *Osteo Trauma Care* 2003;11:29–34.
- Richter M. Computer based systems in foot and ankle surgery at the beginning of the 21st century. *Fuß Sprunggelenk* 2006;4:59–71.
- Richter M, Amiot LP, Neller S, et al. Computer-assisted surgery in posterior instrumentation of the cervical spine: an in-vitro feasibility study. *Eur Spine J* 2000;9:Suppl 1:565–70.
- Richter M, Geerling J, Frink M, et al. Computer-assisted surgery (CAS) based correction of posttraumatic ankle and hindfoot deformities – preliminary results. *Foot Ankle Surg* 2006;12:113–9.
- Richter M, Mattes T, Cakir B. Computer-assisted posterior instrumentation of the cervical and cervico-thoracic spine. *Eur Spine J* 2004;13:50–9.

28. Richter M, Wippermann B, Krettek C, et al. Fractures and fracture dislocations of the midfoot – occurrence, causes and long-term results. *Foot Ankle Int* 2001;22:392–8.
29. Richter M, Zech S, Geerling J, et al. A new foot and ankle outcome score: questionnaire based, subjective, Visual-Analogue-Scale, validated and computerized. *Foot Ankle Surg* 2006;12:191–9.
30. Sammarco GJ, Conti SF. Surgical treatment of neuroarthropathic foot deformity. *Foot Ankle Int* 1998;19:102–9.
31. Stephens HM, Sanders R. Calcaneal malunions: results of a prognostic computed tomography classification system. *Foot Ankle Int* 1996;17:395–401.
32. Stephens HM, Walling AK, Solmen JD, Tankson CJ. Subtalar repositioning arthrodesis for adult acquired flatfoot. *Clin Orthop Relat Res* 1999;365:69–73.
33. Suren EG, Zwipp H. Luxationsfrakturen im Chopart- und Lisfranc-Gelenk. *Unfallchirurg* 1989;92:130–9.
34. Swank ML. Computer-assisted surgery in total knee arthroplasty: recent advances. *Surg Technol Int* 2004;12:209–13.
35. Toolan BC, Sangeorzan BJ, Hansen ST Jr. Complex reconstruction for the treatment of dorsolateral peritalar subluxation of the foot. Early results after distraction arthrodesis of the calcaneocuboid joint in conjunction with stabilization of, and transfer of the flexor digitorum longus tendon to, the midfoot to treat acquired pes planovalgus in adults. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81:1545–60.
36. Trnka HJ, Easley ME, Lam PW, et al. Subtalar distraction bone block arthrodesis. *J Bone Joint Surg Br* 2001;83:849–54.
37. Victor J, Hoste D. Image-based computer-assisted total knee arthroplasty leads to lower variability in coronal alignment. *Clin Orthop Relat Res* 2004;428:131–9.
38. Weber BG. Subtalare Arthrodesis nach Kalkaneusfrakturen. *Z Unfallmed Berufskr* 1971;64:66.
39. Wei SY, Sullivan RJ, Davidson RS. Talo-navicular arthrodesis for residual midfoot deformities of a previously corrected clubfoot. *Foot Ankle Int* 2000;21:482–5.
40. Zwipp H. *Chirurgie des Fusses*. Wien–New York: Springer, 1994.
41. Zwipp H, Dahlen C, Randt T, Gavlik JM. *Komplextrauma des Fusses*. *Orthopäde* 1997;26:1046–56.

Korrespondenzanschrift

Prof. Dr. Martinus Richter
II. Chirurgische Klinik
(Unfallchirurgie, Orthopädie und Fußchirurgie)
Klinikum Coburg
Ketschendorfer Straße 33
96450 Coburg
Telefon (+49/9561) 22-6246, Fax -6209
E-Mail: martinus.richter@klinikum-coburg.de

OOT im Internet – Suche nach Autoren und Stichworten

Die Zeitschrift „Operative Orthopädie und Traumatologie“ ist seit mehreren Jahren auch im Internet mit einer eigenen Homepage präsent. Auf dieser Seite können Sie nach bereits erschienenen Beiträgen suchen, allgemeine Informationen finden, Schriftleitung und Redaktion kontaktieren und vieles mehr. Sie finden uns unter **www.oot.at**. Für die Suche nach Autoren und Stichworten geben Sie einfach einen Begriff in das Suchfenster ein. Sie können Ihre Suche im Anschluss bei Bedarf noch auf einen einzelnen Jahrgang begrenzen.