

J. Geerling
S. Zech
M. Citak
K. Knobloch
M. Frink
T. Hüfner
C. Krettek
M. Richter

Evaluation der Stellung der distalen Fibula nach geschlossener Reposition und Stellschraubenplatzierung mit intraoperativer dreidimensionaler Bildgebung (ISO-C-3D)

Evaluation of distal fibula position after closed reduction and syndesmotic screw placement with intraoperative three-dimensional imaging (ISO-C-3D)

► **Abstract** *Purpose* An incorrect position of the distal fibula results in an incongruence of the ankle. In this study, the potential benefit of an intraoperative three-dimensional imaging with ISO-C-3DTM for evaluation of the distal fibula position after closed reduction and syndesmotic screw placement was intended. *Methods* The ISO-C-3DTM was used between June 1, 2003 and May 3, 2005 in all patients, in whom closed reduction and syndesmotic

screw placement had been performed. The ISO-C-3DTM was used after reduction and implant position was judged to be correct with conventional fluoroscopy. In cases with incorrect reduction and/or implant position, a correction was performed after ISO-C-3DTM use in the same operative procedure. The percentage of such corrections, time spent with the ISO-C-3D and surgeons' rating of the ISO-C-3DTM (Visual Analogue Scale (VAS), 0–10, feasibility, image quality and clinical benefit) were recorded and analyzed. *Result* A total of 18 cases were included (Weber-B fracture, n=3; Weber-C fracture, n=15, among those Maisonneuve injuries, n=7). In seven cases (39%), a correction of reduction and/or implant position after ISO-C-3D use was performed. The operative procedure was on average interrupted for ISO-C-3DTM use for 400 s (scan, image processing, image analysis by the surgeon). The ratings of the eight surgeons involved were as follows: feasibility, 9; image quality, 9.1; clinical benefit, 8.5. *Conclusions* Intraoperative three-dimensional visualization with ISO-C-3DTM can provide important information during the operative treatment of Weber-C fractures which cannot be obtained from plain films or c-arm use alone (ISO-C-3DTM

alone recognized that 40% of cases needed correction). The use of ISO-C-3DTM is not considerably time consuming.

► **Key words** Syndesmotic screw – intraoperative three-dimensional imaging – ISO-C-3D – fibula fracture

► **Zusammenfassung** *Einleitung* Eine inkorrekte Stellung der distalen Fibula führt zur Inkongruenz des oberen Sprunggelenks (OSG). Bei dieser Studie sollte der potentielle Nutzen einer intraoperativen dreidimensionalen Bildgebung mit ISO-C-3D[®] zur Beurteilung der Stellung der distalen Fibula nach geschlossener Reposition und Stellschraubenplatzierung untersucht werden. *Methoden* Der ISO-C-3D[®] wurde im Zeitraum vom 01. 06. 2003 bis 31. 05. 2005 bei allen Patienten, bei denen eine geschlossene Reposition der distalen Fibula und Stellschraubenplatzierung durchgeführt wurde, eingesetzt. Der Einsatz des Gerätes erfolgte, nachdem die Reposition mit dem Bildwandler als korrekt beurteilt wurde. Anhand der dreidimensionalen Bildgebung wurde die Stellung überprüft und ggf. eine intraoperative Korrektur vorgenommen. Die Häufigkeit einer solchen Korrektur, Zeitaufwand und Beurteilung des Operateurs der ISO-C-

Eingegangen: 18. Juni 2006
Akzeptiert: 5. September 2006

Dr. med. Jens Geerling (✉) · S. Zech
M. Citak · K. Knobloch · M. Frink
T. Hüfner · C. Krettek · M. Richter
Unfallchirurgische Klinik
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Str. 1
30625 Hannover, Germany
Tel.: +49-511/532-2050
Fax: +49-511/532-5788
E-Mail: jens.geerling@planet-interkom.de

Anwendung (Visual-Analog-Skala (VAS), 0-10, Machbarkeit, Bildqualität, klinischer Nutzen) wurden registriert und ausgewertet. *Ergebnisse* 18 Patienten wurden eingeschlossen (Weber-B-Fraktur, n=3; Weber-C-Fraktur, n=15, davon Maisonneuve-Verletzung, n=7). Bei sieben Operationen (39%) wurde nach der ISO-C-3D-Anwendung eine Korrektur von Implantatlage und/oder Reposition

durchgeführt. Die Operation wurde im Durchschnitt für 400 s zur Durchführung der einzelnen ISO-C-3D®-Schritte (Scan, Bildberechnung, Auswertung der Daten) unterbrochen. Die Beurteilung der acht Operateure ergab im Durchschnitt für Machbarkeit 9, Bildqualität 9,1 und klinischen Nutzen 8,5. *Schlussfolgerungen* Durch die intraoperative dreidimensionale Bildgebung mit dem

ISO-C-3D konnten in fast 40% Repositionsfehler der distalen Fibula frühzeitig erkannt und im selben Eingriff korrigiert werden. Der Einsatz des ISO-C-3D® erfordert keinen relevanten Zeitbedarf.

► **Schlüsselwörter** Stellschraube – Syndesmosenschraube – Intraoperative dreidimensionale Bildgebung – ISO-C-3D – Fibulafraktur

Einleitung

Bei Verletzungen der distalen tibiofibularen Syndesmosen im Rahmen von Weber-B- und -C-Frakturen muss eine möglichst genaue Reposition und ausreichende Stabilisierung der distalen Fibula erzielt werden, um eine Heilung der verletzten Syndesmosenbänder zu ermöglichen [29]. Diesbezüglich wird häufig eine Stellschraube platziert [1, 4, 5, 8, 12, 13, 16]. Die eigentliche Schwierigkeit liegt nicht in der Stellschraubenplatzierung, sondern in Reposition der Fibula [29]. Eine in Fehlstellung fixierte Fibula kann durch die entstehende Inkongruenz im oberen Sprunggelenk zu deutlichen biomechanischen Auswirkungen auf die Gelenkbelastung und -funktion führen [20].

Die Herausforderung der korrekten Reposition der Fibula in die Incisura tibiae liegt zum einen in der meist indirekt durchzuführenden Reposition am distalen Fibulotibial-Gelenk, zum anderen an der nur zweidimensionalen Darstellungsmöglichkeit intraoperativ durch Fluoroskopie oder Röntgenaufnahmen. Rotationsdifferenzen und persistierende Diastasen können hierdurch nur schwer erkannt werden [23]. Bei der Platzierung der Stellschraube sollte diese nach Henkemeyer [14] 2 cm oberhalb des Plafonds parallel zu diesem eingebracht werden. Darüber hinaus ist auf einen Winkel von 30° von dorsal nach ventral zu achten, so dass die Schraube in der Rotationsebene des oberen Sprunggelenkes liegt. Auch hier kann in der zweidimensionalen Bildgebung nicht immer eine exakte Beurteilung erfolgen.

Durch die Entwicklung des ISO-C-3D® (Siemens AG, Erlangen) kann erstmals intraoperativ eine der Computertomographie ähnliche dreidimensionale Darstellung der knöchernen Strukturen erfolgen [11, 21, 23, 24]. Die Beurteilung der Reposition und Implantatlage kann durch die sofortige Darstellung in frei wählbaren Schnittebenen noch während der

Operation erfolgen. Die Überlegenheit dieser neuen Technologie gegenüber der konventionellen Fluoroskopie und Röntgenbildgebung konnte in früheren Studien belegt werden [11, 20].

Bei dieser Studie sollte der potentielle Nutzen einer intraoperativen dreidimensionalen Bildgebung mit ISO-C-3D® zur Beurteilung der Stellung der distalen Fibula nach geschlossener Reposition und Stellschraubenplatzierung untersucht werden.

Material und Methoden

Der ISO-C-3D® wurde im Zeitraum vom 01. 06. 2003 bis 31. 02. 2005 bei allen Patienten, bei denen eine geschlossene Reposition der distalen Fibula und Stellschraubenplatzierung durchgeführt wurde, eingesetzt.

■ Das Gerät

Der ISO-C-3D® (Fa. Siemens AG, Erlangen) ist ein motorisierter C-Arm, der neben der normalen fluoroskopischen Bildgebung eine motorisierte Orbitalrotation um ein Isozentrum von 190° ermöglicht und hierbei einen Datenwürfel von 119 mm Kantenlänge erfasst. Aus diesen Daten können dann multipanare Rekonstruktionen ähnlich der des CT errechnet werden [24].

■ Einschlusskriterien

Einschlusskriterien hierbei waren die geschlossene Reposition und perkutane Platzierung der Syndesmosenstellschraube. Als weiteres Einschlusskriterium diente die Verfügbarkeit des ISO-C-3D®. Als Ausschlusskriterium galt die offene Reposition mit intraoperativem Überblick über die Syndesmosen.

■ Intraoperatives Vorgehen

Zunächst wurde mittels konventioneller fluoroskopischer Kontrolle die Reposition und Implantatplatzierung beurteilt. Nachdem vom Operateur beides als korrekt gewertet wurde, erfolgte die dreidimensionale Bildgebung mit dem ISO-C-3D®. Der Einsatz des ISO-C-3D® diente somit der Verifikation des fluoroskopisch für korrekt befundenen Repositions- und internen Fixationsergebnisses.

Für den Scanvorgang wurde der Operationssitus steril abgedeckt. Hierfür wurden zunächst sterile Tücher verwendet. Es zeigte sich, dass eine sterile Abdeckung mit einer konventionellen C-Arm-Folie möglich ist, so dass diese Abdeckung in unserer Klinik seitdem favorisiert wird. Der Vorteil dieser Abdeckung ist zum einen die schnelle sterile Abdeckung des Operationsgebietes, zum anderen kann diese Abdeckung schnell von einem Springer nach dem Scan entfernt werden (Abb. 1). In jedem Fall wurde ein so genannter „langsamer“ Scan durchgeführt, d.h., es wurden auf der gesamten 190°-Orbitalbewegung 100 fluoroskopische Bilder akquiriert.

An den Scanvorgang schloss sich die Bildberechnung durch das System an. Für die Auswertung der Bilddaten wurden die Ansichtsebenen im Datensatz bearbeitet. Hierbei wurde auf eine rechtwinklige Ausrichtung der Schnitte in Standardebenen, wie sie vom CT bekannt sind, geachtet. Hierdurch ist eine dem Operateur bekannte räumliche Vorstellung des gescannten Volumens gegeben.



Abb. 1 Intraoperative Bildgebung mittels ISO-C-3D™, durch die Verwendung einer sterilen Abdeckung für Bildverstärker wird die Sterilität des OP-Gebietes während des Scanvorgangs gewahrt

Anhand der dreidimensionalen Bildgebung wurde die Bewertung des Operationsergebnis nochmalig überprüft und mit der initialen zweidimensionalen Bildgebung verglichen. Im Falle einer Implantatfehl-lage oder einer nicht korrekten Reposition der Fibula gegenüber der Tibia konnte direkt eine Revision in gleicher Operation durchgeführt werden. Im Anschluss an die Korrektur wurde erneut eine dreidimensionale Bildgebung mit dem ISO-C-3D® durchgeführt und nach den gleichen Kriterien bewertet.

■ Datenaquisition

Der zusätzliche Zeitaufwand für die ISO-C-3D®-Bildgebung wurde protokolliert und ausgewertet. Hierbei wurden die einzelnen Schritte registriert. Für die Vorbereitung des Scans wurde die Zeit von der sterilen Abdeckung, der Platzierung des ISO-C-3D® in das Isozentrum samt Kollisionsüberprüfung gewertet. Die Zeit für den eigentlichen Scanvorgang und die automatische Datenberechnung des Systems bildeten die folgenden Punkte in der Zeitschiene. Der letzte Punkt der Evaluation war der Zeitbedarf für die Datenauswertung. Dieser setzte sich aus der Generierung der Ansichtsebenen und aus der eigentlichen Datenauswertung durch den Operateur zusammen.

Die Konsequenzen der Auswertung, d.h., ob eine operative Korrektur aufgrund einer Implantatfehl-lage oder einer mangelhaften Reposition durchgeführt werden musste, wurde dokumentiert.

Anhand eines Fragebogens sollte der entsprechende Operateur die Anwendung des ISO-C-3D® bewerten. Es wurde die Machbarkeit der Durchführung des ISO-C-3D®-Scans, die Bildpräzision und -qualität und die Bewertung des klinischen Nutzens des ISO-C-3D® für diese spezielle Indikation analysiert. Die Bewertung erfolgte anhand einer visuellen Analogskala von 0–10, wie sie von der Bewertung der Schmerzintensität bekannt ist. Hierbei bedeutet 0 eine schlechte, 10 steht für eine Einschätzung die als perfekt zu gelten hat.

Ergebnisse

■ Fälle

Achtzehn Patienten mit einseitiger Syndesmosenverletzung wurden eingeschlossen. Hierbei handelte es sich um 15 Weber-C-Frakturen (davon 7 Maisonneuve-Verletzungen) und um drei Weber-B-Frakturen mit begleitender Syndesmoseninstabilität. In drei Fällen handelte es sich um Revisionsoperationen.

Hierbei war in der initialen Operation der ISO-C-3D® nicht eingesetzt worden. Postoperativ zeigte sich in einer CT-Untersuchung eine nicht adäquate Stellung der Fibula in der Inzisur. Insgesamt waren acht Operateure, fünf Oberärzte und drei Assistenzärzte mit unterschiedlicher Erfahrung in der Fuß- und Sprunggelenkschirurgie bei den Versorgungen beteiligt. Die Patienten wurden in drei Fällen auf einem konventionellen Tisch, dreizehn Mal auf einem Carbontisch gelagert.

■ Korrekturen nach ISO-C-3D-Anwendung

Bei sieben Operationen (38,9%) wurde nach der dreidimensionalen Bildgebung eine Korrektur vorgenommen. Es handelte es sich in einem Fall (5,5%) um eine reine Implantatfehlage, in drei (16,6%) um Repositionsfehler und in drei Fällen (16,6%) um eine kombinierte Korrektur (Abb. 2 a–g).

■ Zeitbedarf

Bei der Analyse des Zeitbedarfes zeigte sich eine durchschnittliche Vorbereitungszeit von 190 (155–245) Sekunden. Der Scan an sich dauerte immer 120 s. Dies liegt darin begründet, dass immer ein kompletter Scan mit 190°-Rotation und 100 Bildern durchgeführt wurde. Die Berechnungszeit zwi-



Abb. 2 a Intraoperatives Bildwandlerbild einer Weber-C-Fraktur. In dieser zweidimensionalen Darstellung wurde die Stellung der Fraktur und der Implantate als korrekt bewertet

Tab. 1 Zeitaufwand für die einzelnen Schritte beim intraoperativen Einsatz des ISO-C-3D™

	Zeitaufwand [s]		
	Durchschnitt	Minimum	Maximum
Vorbereitung	190	155	245
Scan	120	120	120
Berechnung	240	190	290
Auswertung	180	140	210
Unterbrechung der OP	400	290	700

schen dem Ende des Scanvorgangs und der Datenanzeige lag bei 240 (190–290) Sekunden. Für die Evaluation, d.h. die Auswahl der markanten Schichten und Analyse der Reposition und Implantatlage, wurden im Mittel 180 (140–210) Sekunden benötigt. Die Operation wurde insgesamt für 400 (290–700) Sekunden unterbrochen (Tab. 1).

■ Einschätzung der Operateure

Die Operateure schätzten die dreidimensionale Bildgebung mit dem ISO-C-3D® als sehr hilfreich ein. Für die Durchführung des Scans wurde eine durchschnittliche Beurteilung von 9 (7,3–10) abgegeben. Die Bildpräzision und -qualität wurde mit 9,1 (6,5–10) als sehr gut eingeschätzt (Abb. 3 a–e). Im Falle der Lagerung auf einem konventionellen Tisch war die Beurteilung im Mittel etwas niedriger als bei der Lagerung auf einem Carbontisch. Der klinische Nutzen der intraoperativen Anwendung des ISO-C-3D® wurde von allen beteiligten Operateuren mit 8,5 (5,5–10) als hoch beurteilt.

Diskussion

Die Therapie der Wahl bei der operativen Versorgung von frischen Syndesmosenrupturen stellt die Syndesmosenstellschraube dar [5, 16, 19].

Tab. 2 Beurteilung der Operateure für die dreidimensionale Bildgebung mit dem ISO-C-3D anhand der Visuellen-Analog-Skala (VAS, 0–10)

	Beurteilung des ISO-C-3D™ [VAS]		
	Durchschnitt	Minimum	Maximum
Durchführung	9	7,3	10
Bildqualität	9,1	6,5	10
Klinischer Nutzen	8,5	5,5	10

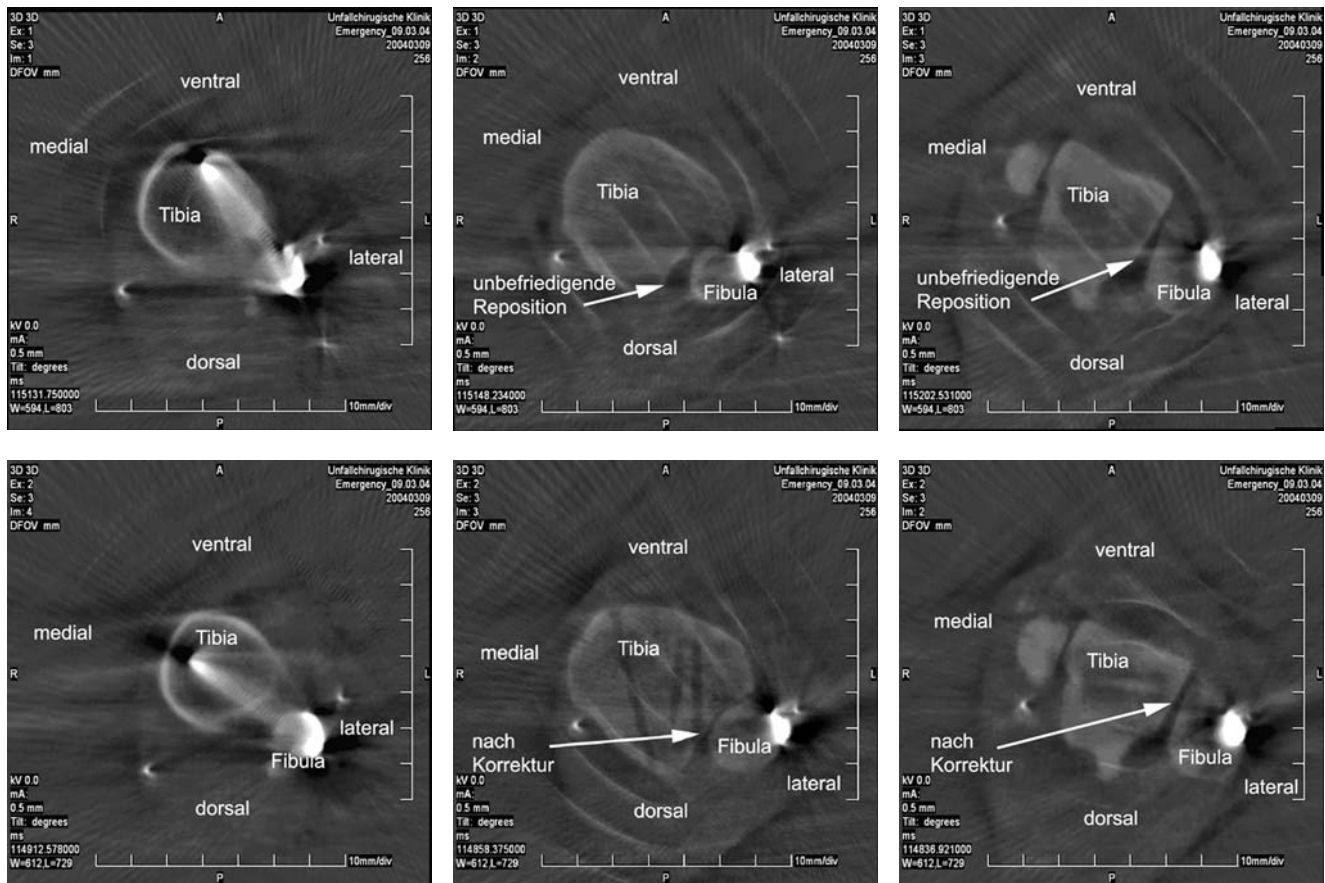


Abb. 2b–g Obere Reihe: In der ISO-C-3D™-Darstellung zeigt sich nach der initialen Versorgung der Syndesmosse eine weit ventral liegende Syndesmosenschraube und eine Innenrotationsfehlstellung der Fibula bei zusätzlicher

Verschiebung nach ventral. Untere Reihe: Nach der direkt erfolgten Korrektur zeigt sich nun eine korrekte Platzierung der Stellschraube und eine gute Stellung der distalen Fibula in der Inzisur

Die Indikation zur Platzierung der Syndesmosenschraube wird allerdings kontrovers diskutiert. So geben Chissell und Jones [7] an, dass die Syndesmosse mit einer Stellschraube versorgt werden soll, wenn die Fibulafaktur höher als 3,5 cm oberhalb der Syndesmosse liegt, Boden gibt sogar eine Höhe von 4,5 cm an [4]. Burns et al. [5] beschreiben, dass eine Syndesmosenschraube nicht eingebracht werden muss, wenn die medialen Bänder intakt sind. Wiederrum andere Autoren raten zur Applikation der Schraube, wenn intraoperativ eine Aufweitung der Syndesmosse durch einen Stresstest gegeben ist [6, 9, 15].

Die Durchführung eines intraoperativen Stresstests empfiehlt sich auch bei Frakturen des Typs Weber B. Ebraheim et al. [9] fand bei sieben Weber-B-Frakturen eine Syndesmoseninstabilität, die operativ mit einer Syndesmosenschraube versorgt wurde. Jenkinson et al. [15] konnten durch den intraoperativen Stresstest bei zehn von 30 Weber-B-Frakturen eine laterale Instabilität nachweisen. Nielson et al. [21] untersuch-

ten 93 Patienten mit Außenknöchelfrakturen durch eine MRT-Untersuchung. Hierbei fanden sie 30 komplette Rupturen der Membrana interossea, wobei sieben oberhalb der eigentlichen Fraktur lagen. Hiervon waren fünf Weber-C- und 2 Weber-B-Frakturen. Intraoperativ wiesen hiervon vier eine Instabilität auf, die durch eine Stellschraube versorgt wurde.

Bei der Operation von Syndesmoseninstabilitäten durch eine Stellschraube muss eine exakte Position der Fibula in der Inzisur erzielt und diese bis zur Heilung der Bänder gehalten werden, um ein gutes klinisches Ergebnis zu erzielen [18, 28]. Ramsey und Hamilton [22] konnten zeigen, dass 1-mm-Diastase im Bereich der unteren fibulotalaren Syndesmosse durch den daraus resultierenden Talusshift eine Druckerhöhung im Gelenkkontakt von 42% erzielt. Dies kann im Langzeitergebnis zu einer Arthrose des Gelenkes führen [8]. Thordarson et al. [26] fanden, dass sowohl eine Verkürzung der Fibula als auch eine Rotation oder laterale Fehlstellung einen erhöhten Druck im Sprunggelenk hervorruft und so-



Abb. 3 a–e **a** Präoperative fluoroskopische Bildgebung einer Maisonneuve-Fraktur links. Im Seitenvergleich ist die laterale Fehlstellung im Stresstest eindeutig detektierbar. **b** Postoperative fluoroskopische Kontrolle des Operationsergebnisses. Dieses wurde als korrekt bewertet. **c** In der postoperativen Kontrolle mit dem ISO-C-3D™ zeigt sich in der axialen Darstellung eine korrekte

Einpassung der Fibula in die Inzisur ohne Rotationsfehler. **d** Postoperative ISO-C-3D™-Kontrolle in Höhe der Stellschraube; diese ist im Korrekten Winkel fibulotalar eingebracht. **e** Postoperative ISO-C-3D™-Kontrolle in der coronaren Darstellung; in der frontalen Rekonstruktion zeigt sich keine Subluxationsstellung des Talus, wie dies insbesondere von Grass angegeben wird [12]

mit einer Arthrose begünstigen kann. Hierbei gab er als zu tolerierende Fehlstellungen ein Maximum von 2 mm lateraler Fehlstellung als auch fünf Grad Außenrotation an.

Die radiologische Evaluation der Reposition und Retention ist intraoperativ durch die nur zweidimensionale Bildgebung mit dem Fluoroskop jedoch eingeschränkt. Hier können in den Standardebenen nur die Länge der Fibula und die ap-Stellung beurteilt werden. Die eigentliche Stellung der Fibula in der Inzisur und die Rotation der Fibula können hierbei nicht dargestellt werden [12, 27].

Bei der computertomographischen Evaluation der Syndesmose konnten Ebraheim et al. [9] zeigen, dass bei drei von sieben Patienten mit einer Fibulafaktur präoperativ eine anteriore fibuläre Subluxation bestand, die auf den Röntgenbildern nicht zu erkennen

war. In einer Kadaverstudie konnten Ebraheim et al. [10] zeigen, dass Diastasen der Syndesmose von 2 mm durch konventionelles Röntgen nicht erkannt werden konnten, diese Diastasen jedoch im CT detektierbar waren. Grass et al. [12] geben für die CT-basierte Evaluation an, dass diese am besten in den frontalen Schichten durchzuführen sei, da hier die Subluxationsstellung des Talus nach lateral am eindrucksvollsten ist. Sie sehen die Indikation zur CT-Untersuchung postoperativ, wenn es Hinweise auf eine Insuffizienz der Gabel oder eine inkorrekte Stellung der Fibula in der Inzisur gibt.

Durch die ISO-C-3D®-Untersuchung steht nun erstmals eine dreidimensionale Bildgebung direkt intraoperativ zur Verfügung [17, 24]. Euler et al. [11] konnten für den Fußbereich die Wertigkeit des ISO-C-3D® anhand von Schraubenfehlagen am Talus

darstellen. Richter et al. [23] zeigten den potentiellen Nutzen des ISO-C-3D® bei über 60 Operationen am Fuß. Sie stellen mit dem ISO-C-3D® bei fast 40% der Fälle korrekturbedürftige Repositionsfehler und/oder Implantatfehllagen fest.

In der vorgestellten Studie führte die Anwendung der intraoperativen dreidimensionalen Bildgebung mit ISO-C-3D® in fast 40% der Fälle bei der Versorgung von Syndesmosenverletzungen zu Korrekturen der Reposition oder der Implantatlage. Dabei wurde der ISO-C-3D® erst eingesetzt, nachdem der Operateur die mittels Bildwandler dargestellte Reposition und Implantatlage als adäquat betrachtete. Die Fehlstellungen der Fibula in der Inzisur wurden in der fluoroskopischen zweidimensionalen Darstellung nicht erkannt. Hierbei kann auch der Einfluss der Rotation des Sprunggelenkes bei der Aufnahme eine Ursache darstellen [2].

Durch den intraoperativen Einsatz des ISO-C-3D® und der daraus resultierenden direkten Revision während des gleichen Eingriffs konnte den Patienten eine Revisionsoperation erspart werden.

Durch den intraoperativen Einsatz des ISO-C-3D® sollten die Langzeitergebnisse verbessert werden. Dies muss jedoch durch eine klinische Langzeitstudie gezeigt werden. Leeds und Ehrlich [18] konnten zeigen, dass eine initiale adäquate operative Versorgung der Syndesmose ein verbessertes klinisches und radiologisches Outcome hat. Rukavina [25] zeigte, dass eine Verkürzung der Fibula und eine erweiterte Syndesmose zu einer erhöhten Arthroserate führten.

Besonders das Problem der residualen Fehlrotation der Fibula in der Inzisur ist unterschätzt; es stellt jedoch einen nicht unerheblichen Grund für Revisionen dar. Wanders und Oliver [27] zeigten, dass in allen von ihnen beschriebenen Revisionen erst postoperativ eine Fehlpositionierung der Fibula in einem CT erkannt wurde und somit eine Revision erfolgte.

Grass et al. [12] geben an, dass in Zweifelsfällen in einer CT-Untersuchung beide Syndesmosen untersucht werden sollten und durch den direkten Seitenvergleich eine Malpositionierung oder auch unterschiedliche Fibulalängen erkannt werden können. Durch den nur eingeschränkten Scanbereich von

12 cm³ bei der Untersuchung mit dem ISO-C-3D® ist ein direkter Vergleich von beiden oberen Sprunggelenken nicht möglich. Sollte aber nach dem Scan der operierten Seite Zweifel an der Stellung verbleiben, so kann direkt ein zweiter Scan der unverletzten Gegenseite erfolgen und somit ein Seitenvergleich durchgeführt werden.

Durch die direkte intraoperative Revision kann nicht nur dem Patienten eine Revisionsoperation erspart werden, sondern auch der operativen Abteilung selbst. Bischoff et al. [3] konnten in einer fiktiven Berechnung der Operationskosten zeigen, dass Revisionseingriffe durch die hiermit verbundenen Mehrkosten fast 50% des Gesamtlöses ausmachen können, die im DRG-System nicht abgebildet sind und vom behandelnden Krankenhaus getragen werden müssen.

Eine Sorge bei der Anwendung des ISO-C-3D® ist der intraoperative Zeitverlust. Die eigentliche Unterbrechung der Operation mit im Mittel knapp 7 min in dieser Studie sollte hierbei jedoch dem insgesamt Nutzen für den Patienten und möglichen Folgekosten einer Revisionsoperation nicht ins Gewicht fallen. Durch den Verzicht auf eine postoperative CT ließen sich weitere Kosten einsparen, falls eine postoperative CT angefertigt werden würde.

Die guten Ergebnisse spiegeln auch die Beurteilung der Operateure wider. Im Mittel wurde der ISO-C-3D®-Einsatz im klinischen Nutzen mit 8,5 von 10 möglichen Punkten bewertet. Hierbei lag die Einschätzung bei direkten intraoperativen Korrekturen am höchsten.

Die durchgeführte Studie zeigt, dass die intraoperative fluoroskopische Evaluation durch die zweidimensionale Bildgebung bei Versorgung von Syndesmosenverletzungen problematisch ist. So zeigte die dreidimensionale Bildgebung mit dem ISO-C-3D® bei fast 40% der Fälle eine korrekturbedürftige Implantatfehllage oder Repositionsfehler. Durch intraoperative dreidimensionale Bildgebung mit ISO-C-3D® konnte diese frühzeitig erkannt und im selben Eingriff korrigiert werden. In Fällen mit fraglichem Repositionsergebnis nach konventionell-radiologischer Evaluation ist darüber hinaus eine postoperative CT nicht mehr notwendig.

Literatur

1. Bargon G, Henkemeyer H (1977) Ergebnisse röntgenologischer und klinischer Langzeitbeobachtungen nach operativ versorgten Läsionen der tibiofibularen Syndesmose im oberen Sprunggelenk. *Rofo* 126:542–545
2. Beumer A, van Hemert WL, Niesing R, Entius CA, Ginai AZ, Mulder PG, Swierstra BA (2004) Radiographic measurement of the distal tibiofibular syndesmosis has limited use. *Clin Orthop Relat Res* 423:227–234
3. Bischoff M, Hebecker A, Hartwig E, Gebhard F (2004) Wirtschaftlichkeit der intraoperativen 3D-Bildgebung mit einem mobilen chirurgischen C-Bogen. *Unfallchirurg* 107:712–715

4. Boden SD, Labropoulos PA, McCowin P, Lestini WF, Hurwitz SR (1989) Mechanical considerations for the syndesmosis screw. A cadaver study. *J Bone Joint Surg Am* 71:1548–1555
5. Burns WC, Prakash K, Adelaar R, Beaudoin A, Krause W (1993) Tibiotalar joint dynamics: indications for the syndesmosis screw – a cadaver study. *Foot Ankle* 14:153–158
6. Candal-Couto JJ, Burrow D, Bromage S, Briggs PJ (2004) Instability of the tibio-fibular syndesmosis: have we been pulling in the wrong direction? *Injury* 35:814–818
7. Chissell HR, Jones J (1995) The influence of a diastasis screw on the outcome of Weber type-C ankle fractures. *J Bone Joint Surg Br* 77:435–438
8. Day GA, Swanson CE, Hulcombe BG (2001) Operative treatment of ankle fractures: a minimum ten-year follow-up. *Foot Ankle Int* 22:102–106
9. Ebraheim NA, Elgafy H, Padanilam T (2003) Syndesmosis disruption in low fibular fractures associated with deltoid ligament injury. *Clin Orthop Relat Res* 409:260–267
10. Ebraheim NA, Lu J, Yang H, Mekhail AO, Yeasting RA (1997) Radiographic and CT evaluation of tibiofibular syndesmosis diastasis: a cadaver study. *Foot Ankle Int* 18:693–698
11. Euler E, Wirth S, Linsenmaier U, Mutschler W, Pfeifer KJ, Hebecker A (2001) Vergleichende Untersuchung zur Qualität der C-Bogen-basierten 3D-Bildgebung am Talus. *Unfallchirurg* 104:839–846
12. Grass R, Herzmann K, Biewener A, Zwipp H (2000) Verletzungen der unteren tibiofibularen Syndesmosis. *Unfallchirurg* 103:520–532
13. Henkemeyer H (1978) Verletzungen der Syndesmosis. *Hefte Unfallheilkd* 131:89–94
14. Henkemeyer H, Puschel R, Burri C (1975) Experimentelle Untersuchungen zur Biomechanik der Syndesmosis. *Langenbecks Arch Chir (Suppl)*: 369–371
15. Jenkinson RJ, Sanders DW, Macleod MD, Domonkos A, Lydestadt J (2005) Intraoperative diagnosis of syndesmosis injuries in external rotation ankle fractures. *J Orthop Trauma* 19: 604–609
16. Kaye RA (1989) Stabilization of ankle syndesmosis injuries with a syndesmosis screw. *Foot Ankle* 9:290–293
17. Kotsianos D, Rock C, Euler E, Wirth S, Linsenmaier U, Brandl R, Mutschler W, Pfeifer KJ (2001) 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D). Erste Bildbeispiele zur Frakturdiagnostik an peripheren Gelenken im Vergleich mit Spiral-CT und konventioneller Radiographie. *Unfallchirurg* 104:834–838
18. Leeds HC, Ehrlich MG (1984) Instability of the distal tibiofibular syndesmosis after bimalleolar and trimalleolar ankle fractures. *J Bone Joint Surg Am* 66:490–503
19. Miller RS, Weinhold PS, Dahners LE (1999) Comparison of tricortical screw fixation versus a modified suture construct for fixation of ankle syndesmosis injury: a biomechanical study. *J Orthop Trauma* 13:39–42
20. Ney R, Jend JJ, Schontag H (1987) Tibiofibuläre Beweglichkeit und Arthrose bei Patienten mit postoperativen Ossifikationen im Syndesmosenbereich des oberen Sprunggelenkes. *Unfallchirurgie* 13:274–277
21. Nielson JH, Gardner MJ, Peterson MG, Sallis JG, Potter HG, Helfet DL, Lorich DG (2005) Radiographic measurements do not predict syndesmosis injury in ankle fractures: an MRI study. *Clin Orthop Relat Res* 436:216–221
22. Ramsey PL, Hamilton W (1976) Changes in tibiotalar area of contact caused by lateral talar shift. *J Bone Joint Surg Am* 58:356–357
23. Richter M, Geerling J, Zech S, Goesling T, Krettek C (2005) Intraoperative three-dimensional imaging with a motorized mobile C-arm (SIREMOBIL ISO-C-3D) in foot and ankle trauma care: a preliminary report. *J Orthop Trauma* 19:259–266
24. Rock C, Linsenmaier U, Brandl R, Kotsianos D, Wirth S, Kaltschmidt R, Euler E, Mutschler W, Pfeifer KJ (2001) Vorstellung eines neuen mobilen C-Bogen-/CT-Kombinationsgerät (ISO-C-3D) Erste Ergebnisse der 3D-Schnittbildgebung. *Unfallchirurg* 104: 827–833
25. Rukavina A (1998) The role of fibular length and the width of the ankle mortise in post-traumatic osteoarthritis after malleolar fracture. *Int Orthop* 22:357–360
26. Thordarson DB, Motamed S, Hedman T, Ebrahimpour E, Bakshian S (1997) The effect of fibular malreduction on contact pressures in an ankle fracture malunion model. *J Bone Joint Surg Am* 79:1809–1815
27. Wanders L, Oliver CW (1998) Fibular malreduction in AO/Weber type C ankle fractures. *Injury* 29:144–146
28. Yablon IG, Leach RE (1989) Reconstruction of malunited fractures of the lateral malleolus. *J Bone Joint Surg Am* 71:521–527
29. Zwipp H (1994) *Chirurgie des Fußes*. Springer, Wien