



Intraoperative 3-D-Röntgenkontrolle bei Verletzungen des Fußes und des Sprunggelenks

Die intraoperative 3-D-Bildgebung mit mobilen C-Bögen findet in der klinischen Praxis weltweit Anwendung. Wissenschaftlich haben sich bisher nur wenige Arbeitsgruppen mit den Vorteilen des Verfahrens oder dessen Weiterentwicklung beschäftigt; die Anzahl an Publikationen ist überschaubar. Frakturen des oberen Sprunggelenks (OSG) und Frakturen des Fußes werden häufig als zahlenmäßig kleine Subpopulationen vernachlässigt. Im folgenden Beitrag werden der aktuelle wissenschaftliche Stand sowie die eigenen Ergebnisse unserer Klinik hinsichtlich der 3-D-Bildgebung an OSG und Fuß thematisiert.

Was ist 3-D-Bildgebung?

Mobile C-Bögen ermöglichen den Einsatz bildgebender Verfahren im Operationssaal. Die ersten Modelle kamen Ende der 1950er-Jahre auf den Markt und verbreiteten sich schnell. Die Möglichkeit zur zweidimensionalen Projektionsradiographie war somit im Operationssaal anwendbar. Durch die isozentrische Anordnung und Motorisierung des C-Bogens war es erstmals möglich, mit Röntgenröhre und Detektor orbital und automatisiert um den zu untersuchenden Bereich zu rotieren [1]. Während der Bewegung werden je nach Einstellung 50 bis 100 Bilder gemacht, die mit einem Algorithmus ähnlich der Computertomographie zu einem dreidimensionalen Datensatz zusammengefügt werden. Es entsteht bei den heutigen Geräten somit

eine Abbildung eines Würfels mit einer Kantenlänge von 12 cm. Eine Hochkontrastdarstellung optimiert die Abbildung knöcherner Strukturen [2]. Die Beurteilung des 3-D-Scans ist auf die Einstellung der Standardebenen angewiesen. Insbesondere die Beurteilung der Gelenkflächen erfordert die Einstellung einer jeweils orthogonal verlaufenden Ebene. Innerhalb des dreidimensionalen Datensatzes kann manuell eine freie Einstellung der Ebenen vorgenommen werden. Bei allen Vorteilen, die diese Technik bietet, ist der Zeitaufwand insbesondere beim ungeübten Personal hoch. Bei einer Scandauer der aktuellen Geräte von ca. 1 min beträgt die Bearbeitungs- und Beurteilungsdauer ca. weitere 5 min.

Indikationen

Syndesmosenverletzungen

Das obere Sprunggelenk wird von 3 knöchernen Strukturen gebildet: Tibia, Fibula und Talus. Tibia und Fibula bilden dabei die Sprunggelenkgabel, die durch eine dreiteilige Syndesmose stabilisiert wird. Die Syndesmose kann entweder intraligamentär oder knöchern mit Bildung eines Volkmann-Fragmentes (hintere Syndesmose), eines Tubercule-de-chaput-Fragmentes (vordere Syndesmose tibial) oder eines Wagstaff-Fragmentes (vordere Syndesmose fibular) reißen. Zahlreiche Studien zeigen, dass eine anatomische Reposition der Fibula in der Inzisur bei knöchernen Verletzungen des oberen

Sprunggelenks essenziell für ein zufriedenstellendes funktionelles Outcome ist und Folgeschäden minimiert [3–9]. Zur operativen Stabilisierung der Syndesmose gibt es verschiedene Verfahren: Eine fibulotibiale Stellschraube fixiert die Stellung der Sprunggelenkgabel und gewährleistet somit eine stabile Verknüpfung der Bandstrukturen. Ebenfalls werden Syndesmosenhaken, Endobutton, TightRope® (Arthrex Inc., Florida) oder die direkte Naht der Syndesmose verwendet [10–12].

Die radiologische Kontrolle erfolgt primär in 2-D. Die Standardprojektionen sind „Mortise view“ (OSG 15° innenrotiert) und „Lateral view“ (streng seitliche Aufnahme) [5, 9]. Hier haben sich bestimmte Kriterien etabliert, die eine Beurteilung der Sprunggelenkgabel und somit der anatomischen Reposition der Syndesmose ermöglichen sollen. In der a.p.-Projektion sind die gleichmäßige Weite des Gelenkspalts, tibiofibuläre Overlap und der tibiofibuläre „clear space“ gängige Parameter [13, 14]. In der seitlichen Projektion wurden eine Bestimmung des streckseitigen sowie des beugeseitigen Abstands der talaren und fibularen Kante im Vergleich zur gesunden Gegenseite beschrieben. Zudem beeinflusst die Rotation der unteren Extremität die Weite des Syndesmospaltes in der zweidimensionalen Bildgebung [15]. Eine eindeutige Beurteilung der Stellung der Fibula in der Inzisur und v. a. deren Rotation ist jedoch in der zweidimensionalen Projektion nicht möglich [16–21]. Die Magnetresonanztomographie (MRT) stellt zur

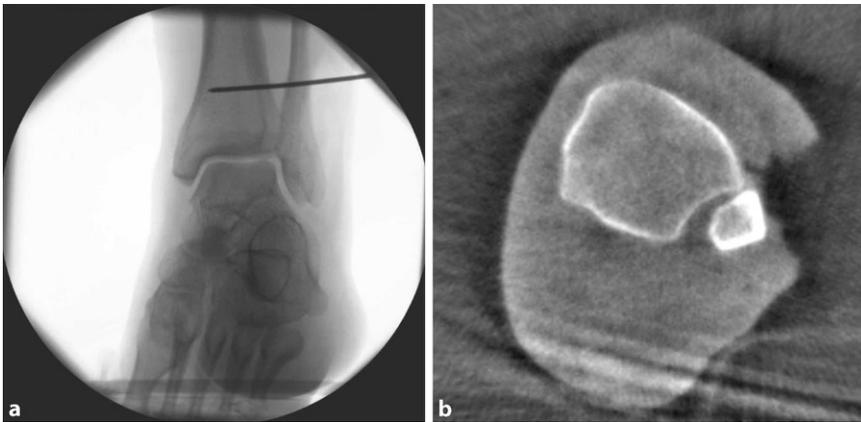


Abb. 1 ▲ Zweidimensionale Durchleuchtung des oberen Sprunggelenks nach Reposition der Syndesmose und anschließender Nachweis einer persistierenden Fehlstellung der distalen Fibula im intraoperativen 3-D-Scan. **a** Mortise view nach Reposition der Fibula und temporärer Transfixation mittels K-Draht. **b** Im axialen Schnitt der 3D-Rekonstruktion zeigt sich eine persistierende Subluxationsstellung der Fibula in der Inzisur

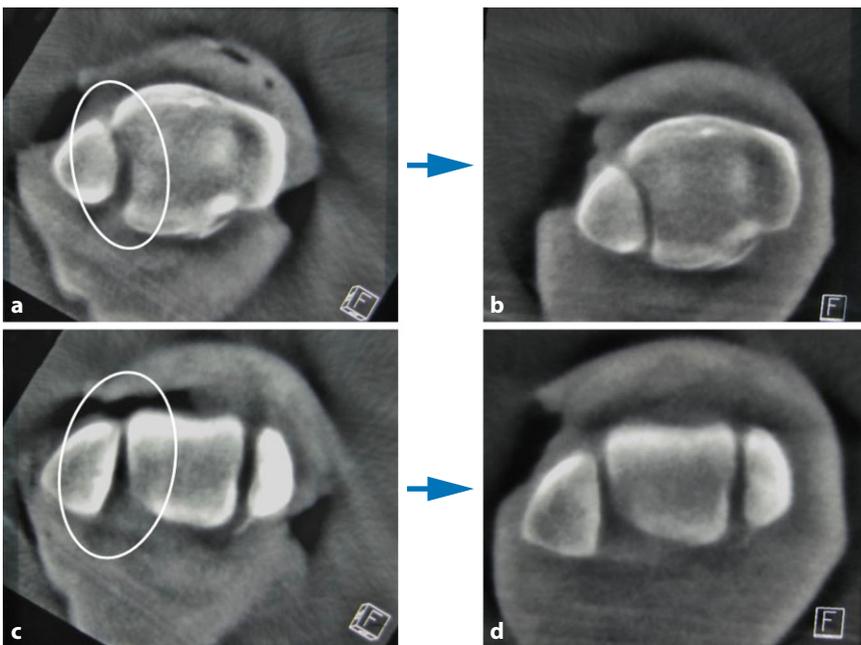


Abb. 2 ▲ Axiale Schnitte im 3-D-Datensatz des oberen Sprunggelenks. **a, b** Kontrolle der Reposition der Syndesmose 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche und **c, d** 5 mm unterhalb der talaren Gelenkfläche. **a, c** Die verbliebende Fehlstellung konnte **b, d** nach intraoperativer Revision korrigiert werden

Darstellung von Bandstrukturen am oberen Sprunggelenk das Mittel der Wahl dar [21]. Die knöcherne Stellung im Bereich der Sprunggelenkgabeln kann hierdurch jedoch nur unzureichend beurteilt werden [22]. Postoperativ sind die interessierenden Strukturen am besten durch eine Computertomographie (CT) darzustellen [18, 19, 23, 24]. Eine dreidimensionale knöcherne Abbildung der distalen Fibula als Maß für die Reposition der Fibula gelingt im Operationsaal

am zuverlässigsten mit dem 3-D-fähigen C-Bogen (▣ **Abb. 1**).

Der Vorteil der intraoperativen dreidimensionalen Kontrollen wurde in einer Studie von Franke et al. veröffentlicht [25]. Hierbei wurden in einer retrospektiven Auswertung sämtliche Patienten mit einer operativen Versorgung von Verletzungen des oberen Sprunggelenks im Zeitraum 2001 bis 2011 eingeschlossen. Die Stabilität der Syndesmose wurde mittels Hakentest unter Durchleuch-

tung überprüft [22]. Im Falle einer Instabilität erfolgte die Transfixation mittels Stellschraube. Nach einem festen Algorithmus wurde nach Reposition jeweils von der 2-D-Kontrolle bei Bedarf auf den 3-D-Scan eskaliert; 251 von 2286 Patienten (11,0 %) zeigten eine Instabilität der Syndesmose. Hiervon musste bei 82 Patienten (32,7 %) eine Korrektur erfolgen. Hauptsächlich Grund für die Korrektur war in 77 Fällen die ungenügende Reposition (30,7 %); hiervon musste wiederum bei 64 Patienten (25,5 %) die Fibula korrigiert werden (▣ **Abb. 2**).

Franke et al. [25] untersuchten außerdem die Bedeutung der korrekten Reposition der distalen Fibula nach Frakturen des oberen Sprunggelenks hinsichtlich des klinischen Langzeit-Outcomes. Hierbei wurden radiologische Kriterien definiert, die eine gute von einer schlechten Reposition unterscheiden:

1. In den axialen Rekonstruktionen ist auf einen harmonischen Abschluss des Vorderrandes der Fibula mit dem Pilon tibiale entlang einer gedachten elliptischen Linie zu achten. Die korrekte Einstellung der distalen Fibula in der Inzisur muss in Bezug auf Topografie und Weite des Syndesmosenspaltes überprüft werden. Die einzustellende Ebene sollte dabei 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche liegen. Etwas weiter distal, auf Höhe der Malleolen, sollten die Gelenkspalte zwischen Talus und jeweiligem Malleolus gleich weit sein. Die korrekte Rotation des Außenknöchels äußert sich in einer kongruenten Stellung der Malleolen in Bezug auf die talare mediale und laterale Gelenkfläche.
2. In den koronaren Rekonstruktionen muss die Weite der Gelenkspalte zwischen Talus und den Malleolen jeweils gleich sein. In dieser Ansicht kann die korrekte Länge der Fibula anhand der knöchernen Landmarken („Weber-Nase“) beurteilt werden.
3. Die sagittalen Rekonstruktionen werden v. a. in Ergänzung zu den beiden vorherigen Rekonstruktionen für die Beurteilung der korrekten Implantatlage und des korrekten Repositionsergebnisses verwendet.

Das Erreichen dieser Repositionskriterien im intraoperativen 3-D-Scan führte in der Untersuchung von Franke et al. bei 63 nachuntersuchten Patienten mit einem Follow-up-Zeitraum von 59 Monaten zu besseren klinischen Langzeitergebnissen in den Scores nach Olerud und Molander sowie nach Kellgren.

Fersenbeinfrakturen

Den größten Anteil an intraoperativen Revisionen nach 3-D-Scan haben Fersenbeinfrakturen (■ **Abb. 3**). Die offene Reposition und interne Fixierung von dislozierten intraartikulären Fersenbeinfrakturen erfordert eine dreidimensionale Bildgebung, um die Gelenkfläche und die Implantatlage beurteilen zu können. Eine Studie aus unserer Klinik von 2014 [26] verfolgte 2 Ziele: Die Revisionsrate nach intraoperativer dreidimensionaler Bildgebung sollte analysiert und das klinische Outcome abhängig von intraartikulären Stufen und Spalten evaluiert werden. Es wurden monozentrisch 377 konsekutive operativ versorgte Kalkaneusfrakturen zwischen August 2001 und Juni 2009 in einem retrospektiven Register identifiziert. Intraoperative Revisionsrate und Grund für die Revision nach intraoperativer dreidimensionaler Bildgebung wurden dokumentiert. Für die klinische Evaluation wurden alle Patienten mit Sanders Typ-II- und -III-Frakturen, die zwischen Oktober 2002 und Januar 2006 behandelt wurden, eingeschlossen. Anhand der intraoperativen Scans wurden die Gelenkflächen hinsichtlich der Frakturstufen und -spalten untersucht. Anhand dieser Daten wurden die Patienten je nach Repositionsergebnis in 2 Gruppen unterteilt (Stufe oder Spalte <2 mm bzw. ≥2 mm). In 40,3 % der Fälle war eine intraoperative Revision durchgeführt worden. In 19,6 % der Patienten war die Frakturposition der Grund für die Revision; 77 Frakturen wurden klinisch nachuntersucht. Das klinische Outcome wurde anhand des „American Orthopaedic Foot & Ankle Society (AOFAS) score“ ausgewertet. Es zeigte sich ein signifikanter Einfluss von postoperativer Gelenkinkongruenz auf das klinische Outcome. Die Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose zeigte

Trauma Berufskrankh 2017 · 19 (Suppl 2):S144–S148 DOI 10.1007/s10039-017-0273-7
© Springer Medizin Verlag GmbH 2017

D. Matte · B. Swartman · P. A. Grützner · J. Franke

Intraoperative 3-D-Röntgenkontrolle bei Verletzungen des Fußes und des Sprunggelenks

Zusammenfassung

Seit über 15 Jahren steht die intraoperative 3-D-Bildgebung bei der Versorgung komplexer Gelenkverletzungen zur Verfügung. Sie ermöglicht die Darstellung anatomischer Strukturen in komplexen Regionen ebenso wie die dreidimensionale Abbildung knöcherner Strukturen in Fuß und Sprunggelenk. Mit diesem Verfahren lassen sich Repositionsergebnis, Implantatlage sowie Stellung der Syndesmose beurteilen. Unter Einbezug sämtlicher anatomischer Regionen werden in unserer Klinik nach der Kontrolle im 3-D-Scan in ca. einem

Fünftel der Fälle intraoperative Revisionen durchgeführt. Den größten Anteil nehmen dabei Fersenbein, Sprunggelenk und Pilon tibiale ein. Diese Verhältnisse decken sich mit anderen Angaben in der Literatur. Die intraoperative 3-D-Bildgebung hat sich somit in vielen Kliniken bei bestimmten Indikationen als Routineverfahren etabliert.

Schlüsselwörter

Intraoperative Bildgebung · Gelenkverletzung · Fußchirurgie · Reposition · Revision

Intraoperative 3D imaging control of injuries to the foot and ankle

Abstract

For over 15 years, intraoperative 3-dimensional imaging has been available for operative treatment of complex articular fractures. It allows visualization of anatomical structures in complex regions as well as 3-dimensional imaging of bony structures in the foot and ankle joint. By means of this method, fracture reduction, implant position and position of the syndesmosis can be evaluated. Including all anatomical regions, approximately 20% of the cases in our hospital require intraoperative revision after performing a 3-

dimensional scan. The largest number are made up of the calcaneus, ankle joint and tibial pilon. This is equivalent to other reports in the literature. Intraoperative 3-dimensional imaging has therefore become established as a routine method in many hospitals for certain indications.

Keywords

Intraoperative imaging · Joint injury · Foot surgery · Reduction · Revision

ebenfalls eine signifikante Korrelation mit dem postoperativen Repositionsergebnis. Intraartikuläre Inkongruenz und fehlplatzierte Implantate, die mittels zweidimensionaler Durchleuchtung nicht darzustellen waren, konnten mit intraoperativer 3-D-Bildgebung identifiziert werden (■ **Abb. 4**). Aufgrund der Möglichkeit intraoperativer Revisionen konnten Gelenkflächen rekonstruiert und das klinische Outcome konnte verbessert werden.

Was ist optimierbar?

Ein wesentliches Kriterium für eine gute Beurteilbarkeit der Daten ist die Bildqualität. Diese entscheidet über Sichtbarkeit von Details wie Stufen oder Spalten innerhalb der Gelenkfläche oder kaum dis-

lozierten Frakturlinien. Die Bildqualität wird durch verschiedenste Faktoren bestimmt. So führen vermehrte umgebende Weichteile zu einem Kontrastverlust und somit einer eingeschränkten Beurteilbarkeit der Knochen. Der Bildverstärker reguliert die Dosis für ein ausgeglichenes Bild automatisch. Befinden sich röntgendichte Fremdkörper, wie z. B. Metallimplantate, im Strahlenfeld, wird die Dosis nach oben reguliert und der Knochen überstrahlt. Befindet sich die zu untersuchende Extremität am Bildrand, durchstrahlt der Bildverstärker (BV) im Wesentlichen Luft und reguliert somit die Dosis nach unten. Auch hierdurch kann der Knochen nicht beurteilt werden. Umgebende Faktoren wie Monitorposition, Tages- oder Raumlicht müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

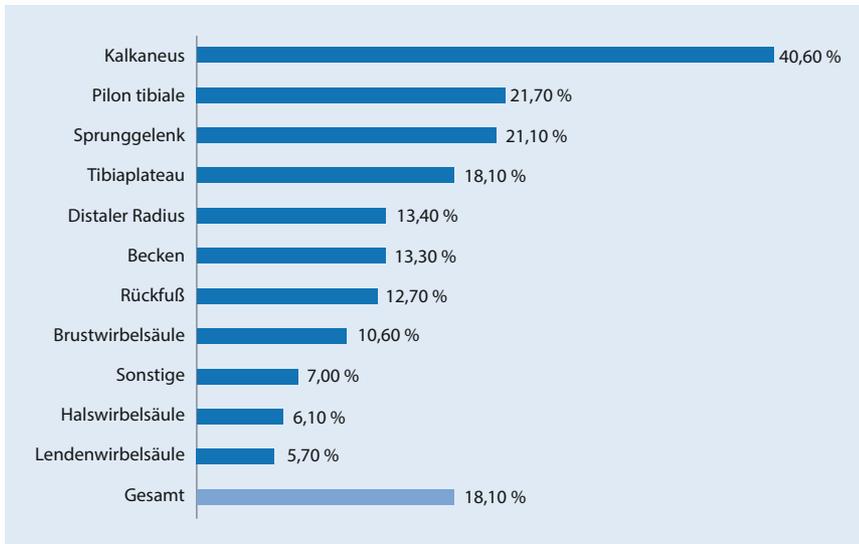


Abb. 3 ▲ Intraoperative Revisionsraten nach 3-D-Scan verschiedener anatomischer Regionen im Zeitraum 2001 bis 2013 bei 3745 Patienten

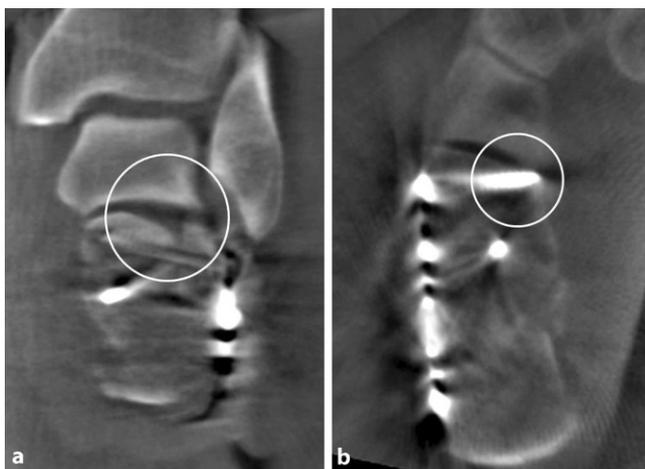


Abb. 4 ◀ **a** Semikoronare und **b** axiale Rekonstruktion einer 3-D-Kontrolle nach Osteosynthese einer Fersenbeinfraktur mit Nachweis **a** einer intraartikulären Stufe und **b** einer intraartikulär liegenden Schraube

Bei der Auswahl des richtigen Bildausschnitts sind einige Gesetzmäßigkeiten zu beachten. Eine Vergrößerung des Bildausschnitts kann am einfachsten erreicht werden, indem der Detektor möglichst nah am Patienten positioniert wird. Im Gegensatz dazu reduziert das Verwenden der Blende leere Bereiche im Bildausschnitt und führt somit zu einer optimierten Dosisregulierung. Bei der Einstellung des zu untersuchenden Objektes sollte beachtet werden, dass die Abbildung in der Bildmitte stets am präzisesten ist. Bei analogen Detektoren verzerrt sich das Bild im Randbereich. Bei gewünschter Vergrößerung auf dem Monitor steht bei vielen Geräten eine digitale Lupenfunktion zur Verfügung.

Aufgrund von großen Dichteunterschieden wie z. B. bei einliegenden Metallimplantaten sind Strahlen- und Auslöschungsartefakte häufig. Die Reduktion der Artefakte kann nur durch Softwareanpassungen erfolgen. Hierdurch können mittlerweile Artefakte in einem gewissen Maß herausgerechnet werden. Überlagerungsartefakte können durch folgende Maßnahmen auf ein Minimum reduziert werden: Bei Versorgung des OSG ist es beispielsweise hilfreich, das nichtbetroffene Bein aus dem Strahlengang zu nehmen und im Knie zu beugen. Eine geteilte Beinplatte ermöglicht ein Absenken des gegenseitigen Beins, was allerdings nur im Falle der 2-D-Bildgebung zu einer Artefaktreduktion führt. Im 3-D-Scan befinden sich in diesem Fall

trotzdem beide Beine im durchstrahlten Volumen. Durch den Einsatz eines strahlendurchlässigen Karbontisches können zusätzlich störende Überlagerungen durch Metallschienen vermieden werden. Eigenbewegungen des Patienten führen zu einer Unschärfe der Bilder. Bei unkooperativen Patienten ist somit eine adäquate Sedierung zu erwägen.

Eine weitere optimierbare Größe ist die Operationszeit, die u. a. durch das Einstellen der Standardebenen des 3-D-Datensatzes verlängert wird. Software soll auch hierbei den Operateur unterstützen, indem sie anhand anatomischer Landmarken den Knochen referenziert und basierend auf einprogrammierten Modellen die Standardebenen ermittelt.

Was kann 3-D bieten?

Die intraoperative dreidimensionale Darstellung von Gelenken bietet dem Operateur eine zusätzliche Sicherheit. Gelenkstufen, -spalten sowie intraoperative Implantatlagen können mit höherer Sensitivität erkannt werden. Revisionen zur Korrektur können, wie oben beschrieben, bereits intraoperativ erfolgen und weisen eine relevante Häufigkeit auf. Es resultieren eine höhere Versorgungsqualität und langfristig bessere klinische Ergebnisse mit höherer Patientenzufriedenheit.

Fazit für die Praxis

- Zur Beurteilung von Gelenkstufen und -spalten, der korrekten Einstellung der Fibula in der Inzsur sowie einer intraartikulären Implantatlage reichen konventionelle Radiographie oder zweidimensionale Durchleuchtung nicht aus.
- Die intraoperative 3-D-Bildgebung ermöglicht diesbezüglich eine bessere Beurteilung der knöchernen Strukturen in OSG und Fuß und bietet dem Operateur somit eine höhere Sicherheit.
- Im Gegensatz zum postoperativen Kontroll-CT können nach intraoperativer 3-D-Kontrolle evtl. Revisionen unmittelbar durchgeführt und somit Folgeeingriffe vermieden werden. Auf diese Weise kann eine höhere Ver-

sorgungsqualität mit besserem klinischem Outcome und höherer Patientenzufriedenheit erreicht werden.

- Die intraoperative 3-D-Bildgebung stellt mittlerweile bei bestimmten Indikationen in vielen Kliniken ein Routineverfahren dar.

Korrespondenzadresse

Dr. D. Matte

Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, BG Klinik Ludwigshafen
Ludwig Guttmann Str. 13, 67071 Ludwigshafen, Deutschland
daniel.matte@bgu-ludwigshafen.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. D. Matte, B. Swartman, P.A. Grützner und J. Franke geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

- Rock CLU, Brandl R (2001) Vorstellung eines neuen mobilen C-Bogen-/CT-Kombinationsgerät (ISO-C-3D) – Erste Ergebnisse der 3D Schnittbildgebung. *Unfallchirurg* 104:827–833
- Wich MSN, Ekkernkamp A (2004) Intraoperative Bildgebung mit dem Iso C3D. *Chirurg* 75:982–987
- Curtis MJ, Michelson JD, Urquhart MW, Byank RP, Jinnah RH (1992) Tibiotalar contact and fibular malunion in ankle fractures. A cadaver study. *Acta Orthop Scand* 63(3):326–329
- Kaye RA (1989) Stabilization of ankle syndesmosis injuries with a syndesmosis screw. *Foot Ankle* 9(6):290–293
- Leeds HC, Ehrlich MG (1984) Instability of the distal tibiofibular syndesmosis after bimalleolar and trimalleolar ankle fractures. *J Bone Joint Surg Am* 66(4):490–503
- Ramsey PL, Hamilton W (1976) Changes in tibiotalar area of contact caused by lateral talar shift. *J Bone Joint Surg Am* 58(3):356–357
- Roberts RS (1983) Surgical treatment of displaced ankle fractures. *Clin Orthop Relat Res* (172):164–170. PMID:6821987
- Wikeroy AK, Hoiness PR, Andreassen GS, Hellund JC, Madsen JE (2010) No difference in functional and radiographic results 8.4 years after quadricortical compared with tricortical syndesmosis fixation in ankle fractures. *J Orthop Trauma* 24(1):17–23. doi:10.1097/BOT.0b013e3181bedca1
- Yablon IG, Leach RE (1989) Reconstruction of malunited fractures of the lateral malleolus. *J Bone Joint Surg Am* 71(4):521–527
- Cottom JM, Hyer CF, Philbin TM, Berlet GC (2008) Arthrex Tightrope: a report of 25 cases. *Foot Ankle Int* 29(8):773–780. doi:10.3113/fai.2008.0773
- Cottom JM, Hyer CF, Philbin TM, Berlet GC (2009) Transosseous fixation of the distal tibiofibular syndesmosis: comparison of an interosseous suture and endobutton to traditional screw fixation in 50 cases. *J Foot Ankle Surg* 48(6):620–630. doi:10.1053/j.jfas.2009.07.013
- Xenos JS, Hopkinson WJ, Mulligan ME, Olson EJ, Popovic NA (1995) The tibiofibular syndesmosis. Evaluation of the ligamentous structures, methods of fixation, and radiographic assessment. *J Bone Joint Surg Am* 77(6):847–856
- Harper MC, Keller TS (1989) A radiographic evaluation of the tibiofibular syndesmosis. *Foot Ankle* 10(3):156–160
- Pneumatics SG, Noble PC, Chatziioannou SN, Trevino SG (2002) The effects of rotation on radiographic evaluation of the tibiofibular syndesmosis. *Foot Ankle Int* 23(2):107–111
- Beumer A, Swierstra BA (2003) The influence of ankle positioning on the radiography of the distal tibial tubercles. *Surg Radiol Anat* 25(5–6):446–450. doi:10.1007/s00276-003-0147-5
- Beumer A, van Hemert WL, Niesing R, Entius CA, Ginai AZ, Mulder PG et al (2004) Radiographic measurement of the distal tibiofibular syndesmosis has limited use. *Clin Orthop Relat Res* (423):227–234. PMID:15232454
- Brage ME, Bennett CR, Whitehurst JB, Getty PJ, Toledano A (1997) Observer reliability in ankle radiographic measurements. *Foot Ankle Int* 18(6):324–329
- Ebraheim NA, Lu J, Yang H, Mekhail AO, Yeasting RA (1997) Radiographic and CT evaluation of tibiofibular syndesmotom diastasis: a cadaver study. *Foot Ankle Int* 18(11):693–698
- Ebraheim NA, Elgafy H, Padanilam T (2003) Syndesmotom disruption in low fibular fractures associated with deltoid ligament injury. *Clin Orthop Relat Res* 409:260–267. doi:10.1097/01.blo.0000052935.71325.30
- 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(9):604–609
- Oae K, Takao M, Naito K, Uchio Y, Kono T, Ishida J et al (2003) Injury of the tibiofibular syndesmosis: value of MR imaging for diagnosis. *Radiology* 227(1):155–161. doi:10.1148/radiol.2271011865
- Muratli HH, Bicimoglu A, Celebi L, Boyacigil S, Damgaci L, Tabak AY (2005) Magnetic resonance arthrographic evaluation of syndesmotom diastasis in ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 125(4):222–227. doi:10.1007/s00402-004-0721-2
- Taser F, Shafiq Q, Ebraheim NA (2006) Three-dimensional volume rendering of tibiofibular joint space and quantitative analysis of change in volume due to tibiofibular syndesmosis diastases. *Skeletal Radiol* 35(12):935–941. doi:10.1007/s00256-006-0101-9
- Hamid N, Loeffler BJ, Braddy W, Kellam JF, Cohen BE, Bosse MJ (2009) Outcome after fixation of ankle fractures with an injury to the syndesmosis: the effect of the syndesmosis screw. *J Bone Joint Surg Br* 91(8):1069–1073. doi:10.1302/0301-620x.91b8.22430
- Franke J, von Recum J, Wendl K, Grützner PA (2013) Intraoperative dreidimensionale Bildgebung – nützlich oder notwendig? *Unfallchirurg* 116:185–190
- Franke J, Wendl K, Suda AJ, Giese T, Grützner PA, von Recum J (2014) Intraoperative three-dimensional imaging in the treatment of calcaneal fractures. *J Bone Joint Surg Am*. doi:10.2106/jbjs.l.01220