

Vorteile der intraoperativen 3D-Bildgebung

Oberes-Sprunggelenk- und Pilon-tibiale-Frakturen

Die intraoperative 3D-Bildgebung mit mobilen C-Bögen befindet sich seit 10 Jahren in der klinischen Anwendung. Mittlerweile ist sie auf allen Kontinenten der Erde im Einsatz. Trotzdem findet sich in der Literatur nur eine überschaubare Anzahl von Publikationen. OSG- (oberes Sprunggelenk) und Pilonfrakturen werden immer nur als zahlenmäßig kleine Subpopulation genannt. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft und der eigenen klinischen Erfahrung.

Zweidimensionale Visualisierung und ihre Grenzen

Der Einsatz mobiler C-Bögen zur intraoperativen Visualisierung von Strukturen, die nicht direkt im Operationssitus sichtbar sind, ist seit vielen Jahrzehnten Standard. Moderne digitale Geräte bieten bereits seit längerem eine zunehmend bessere Bildqualität. Hierdurch lassen sich die meisten der sich intraoperativ ergebenden Fragen nach dem Repositionsergebnis von Frakturen und der Implantatlage bei der Versorgung von Röhrenknochen ausreichend beantworten.

In komplexen anatomischen Regionen, z. B. Wirbelsäule und Becken, aber auch an Gelenken und Gelenkflächen, wie dem oberen Sprunggelenk, kann die Interpretation von zweidimensionalen Durchleuchtungsbildern schwierig sein. Aufgrund der Summation der Bildinformation in einer limitierten Zahl von Betrachtungsebenen sind Fehlinterpretationen möglich. Aus diesem Grund gilt als

Goldstandard der prä- bzw. postoperativen Diagnostik dieser Areale die Computertomographie (CT). Informationen über Reposition und Implantatlage aus postoperativen CT-Untersuchungen können jedoch das intraoperative Prozedere nicht mehr beeinflussen und ggf. nur Anlass zu Revisionsoperationen sein, die im Interesse des Patienten vermieden werden sollten. Für einen intraoperativen Einsatz ist diese Methode jedoch limitiert, nur wenige Zentren verfügen über entsprechende Möglichkeiten. Der mit der Vorkhaltung eines intraoperativen CT verbundene Aufwand für Kosten und Personal ist erheblich, entsprechend gering ist dessen Verbreitung.

Durch die Entwicklung eines mobilen C-Bogens mit der Möglichkeit einer 3D-Bildgebung ergab sich für den Unfallchirurgen eine erheblich Verbesserung der intraoperativen Visualisierung. Ob, wie und in welchem Maß dies Einfluss auf die operative Versorgung von Sprunggelenk- und Pilonfrakturen hat, soll dieser Beitrag klären.

Mobile 3D-Bildwandler

Mit den mobilen 3D-C-Bögen stehen Geräte zur Verfügung, die die intraoperative dreidimensionale Darstellung knöcherner Strukturen erlauben. Einer der ersten seiner Art war der 3D-C-Bogen SIREMOBIL® Iso-C^{3D} (Siemens AG, Medical Solutions, Erlangen).

Die Strahlenquelle und die Kamera des C-Bogens sind, anders als bei konventionellen Geräten, so ausgerichtet, dass der

Mittelpunkt einer Verbindungslinie zwischen diesen beiden Einheiten bei Drehung des C-Bogens immer auf einen Punkt fokussiert bleibt, das Isozentrum. Bei konventionellen Bildwandlern dagegen folgt dieser Punkt einer Linie [26]. Während einer motorgesteuerten kontinuierlichen orbitalen Rotation um 190° wird eine definierte Zahl von Durchleuchtungsbildern in festen Winkelabständen aufgenommen (im Folgenden Scan genannt). Aus diesen (wahlweise 50 oder 100) zweidimensionalen Durchleuchtungsbildern wird in einem angeschlossenen Rechner eine dreidimensionale Rekonstruktion des untersuchten Gebiets errechnet. Auf diese Weise erhält man einen 3D-Datenwürfel aus dem Isozentrum des C-Bogens mit einer Kantenlänge von etwa 12 cm. Die maximale Auflösung im Zentrum des Kubus beträgt etwa 0,47 mm. Innerhalb dieses Datenwürfels können an einer angeschlossenen Workstation beliebige Ebenen betrachtet werden.

Es hat sich, auch zur Dokumentation, bewährt, die aus der CT-Diagnostik bekannten Standardebenen darzustellen. So ist eine kontinuierliche standardisierte Beurteilung möglich, die dreidimensionale Orientierung fällt leichter und der Vergleich mit ggf. vorhandenen präoperativen CT-Serien ist einfach möglich. Bei speziellen Fragestellungen können auch beliebige atypische Ebenen, z. B. eine axiale Darstellung einer Schraube, eingestellt werden, um deren Verlauf genau beurteilen zu können. Die Daten werden als Hochkontrastdarstellung abgebildet, starke Dichteunterschiede, v. a. die Begren-

Hier steht eine Anzeige.



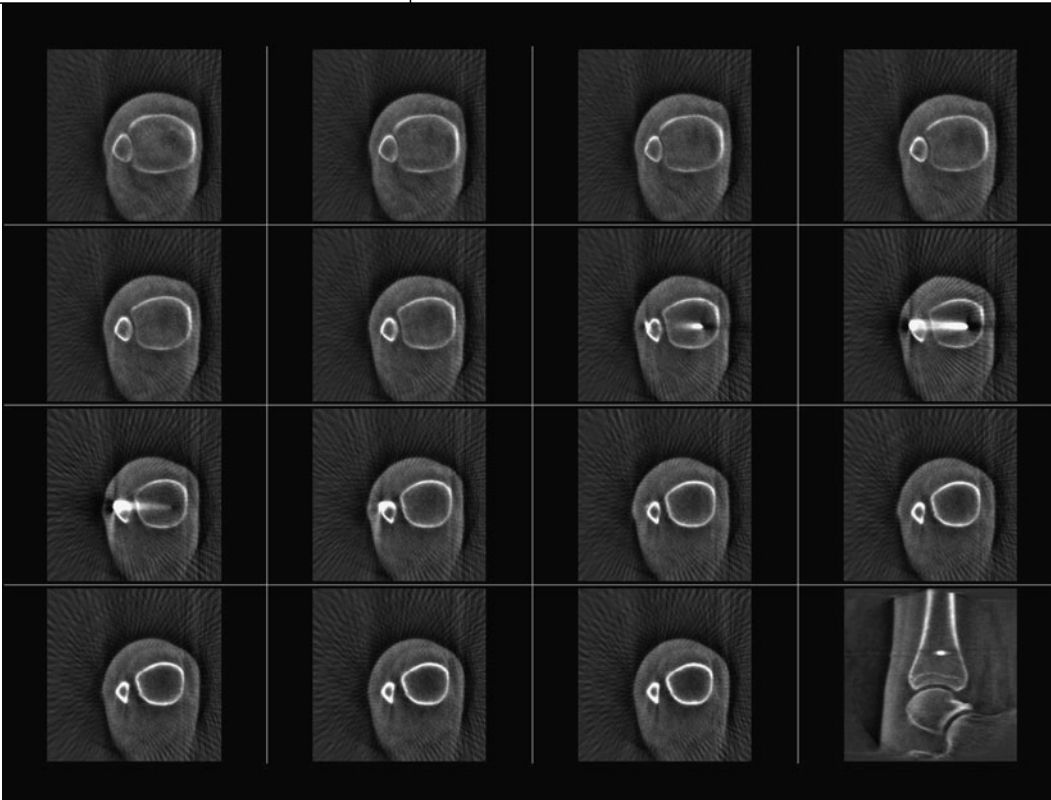


Abb. 1 ◀ CT-ähnliche Qualität des Scans am oberen Sprunggelenk

zung knöcherner Strukturen, werden so optimal dargestellt (■ **Abb. 1**, [31]).

Artefakte durch eingebrachtes Implantatmaterial sind nicht zu vermeiden. Je weniger Metall sich im Scanfeld befindet, desto geringer sind auch Artefaktbildungen. Im Bereich der unteren Extremitäten werden Überlagerungen durch die gegenseitige Extremität vermieden, indem diese aus dem Scanfeld ausgelagert wird, beispielsweise durch Anbeugen des Beins. Durch die Lagerung auf einer metallfreien Karbonbeinplatte oder auch auf der geteilten Variante lassen sich Artefakte durch den Operationstisch weitestgehend ausschalten. Eigenbewegungen des Patienten müssen während des Scans vermieden werden.

Der Zeitpunkt des Scans wird vom Operateur vorgegeben, er erfolgt typischerweise nach Abschluss der entscheidenden Anteile der Reposition und der Osteosynthese, nachdem der Operateur in der zweidimensionalen Durchleuchtung von einer korrekten Durchführung ausgeht.

Der zusätzliche intraoperative Zeitaufwand umfasst

- die Zeit für die Positionierung des Bildwandlers,

- die Scandauer [2 min beim SIREMOBIL® Iso-C^{3D} bzw. 1 min bei den neueren Generationen z. B. dem Arcadis Orbic 3D® (Siemens AG, Medical Solutions, Erlangen), jeweils bei 100 Bildern],
- die Zeit zur primären Berechnung des 3D-Datensatzes von etwa 15 s sowie
- die Zeit für die Bildevaluation und Dokumentation durch den Chirurgen.

Alle intraoperativ durchgeführten Scans müssen vom verantwortlichen Chirurgen dokumentiert und in geeigneter Weise, z. B. durch Anbindung an eine elektronische Bilddatenspeicherung über ein Netzwerk, gespeichert werden.

Verletzungen im Bereich des oberen Sprunggelenks/ Pilon tibiale

OSG-Frakturen/ Syndesmosenverletzungen

Bei akuten instabilen Verletzungen der tibiofibularen Syndesmose des oberen Sprunggelenks ist eine operative Stabilisierung mit vorheriger anatomischer Reposition der Fibula in die Incisura tibiofi-

bularis zur Vermeidung von vorzeitigem Gelenkverschleiß notwendig [8, 17, 19, 23, 27, 32, 34].

Bezüglich der Technik setzte sich bisher kein einheitliches Vorgehen durch. Neben der geschlossenen und offenen Reposition gibt es mehrere Stabilisierungsmöglichkeiten. Am weitesten verbreitet ist der Einsatz von Stellschrauben, aber auch Syndesmosenhaken, Endobutton, Tight-Rope® und/oder Naht der Syndesmose werden angewandt [6, 7, 33].

Nach Stabilisierung erfolgt in der Regel eine Stellungskontrolle des oberen Sprunggelenks durch intraoperative Durchleuchtung unter Einbeziehung der Standardebenen. Diese sind neben der a.-p. Aufnahme die etwa 15–20° innenrotierte und die streng seitliche Aufnahme des OSG [11, 14, 16, 19, 34]. Neben der tibiofibularen Überlappung („tibiofibular overlap“) wird u. a. auf die Weite des Gelenkspalts zwischen medialer Talusschulter und Innenknöchel („medial clear space“) geachtet.

Der verlässlichste Parameter zur Beurteilung einer Syndesmosenverletzung mit konventionellen Röntgenaufnahmen scheint die Weite der Syndesmose selbst („tibiofibular clear space“) zu sein [15, 22]. Doch auch hier kann kaum eine Aussa-

ge über die Rotation des Außenknöchels nach Reposition getroffen werden [22]. Außerdem gibt es Hinweise, dass die Weite der Syndesmose zusätzlich von der Rotation der gesamten Extremität während der Anfertigung der Röntgenaufnahme abhängt [4]. Insgesamt ist mit dieser Methode somit eine sichere Beurteilung der Situation nicht möglich [3, 5, 9, 11, 16, 21].

Mittels Magnetresonanztomographie (MRT) lassen sich zwar bandhafte Läsionen zuverlässig darstellen [21], eine Beurteilung der Stellung der Malleolengabel ist durch sie aber auch nur unzureichend möglich [20]. Die korrekte Stellung der Malleolengabel ist zurzeit am besten durch ein postoperatives CT festzustellen, wobei Diastasen kleiner 2 mm auch nur durch eine 3D-Volumenberechnung erfasst werden [9, 11, 29].

Pilon-tibiale-Frakturen

Sie sind oft Folge von Hochrasanztraumen wie Verkehrsunfällen oder Stürzen aus großer Höhe. Hierdurch kommt es häufig zu komplexen Frakturen der distalen tibialen Gelenkfläche. Die Behandlung erfolgt in der Regel operativ, wobei die Wahl des Verfahrens in Abhängigkeit vom begleitenden Weichteilschaden getroffen werden muss. Wenn möglich sollten eine offene Reposition und interne Osteosynthese mit frühfunktioneller Nachbehandlung erfolgen, da hierdurch die besten Ergebnisse in Bezug auf Funktion und Vermeidung einer posttraumatischen Arthrose zu erwarten sind. Alternativ stehen minimalinvasive perkutane Schraubenosteosynthesen mit oder ohne zusätzlicher Anlage eines Fixateur externe zur Verfügung. Zur Vermeidung der Ruhigstellung des Rückfußes bietet sich die Anwendung eines Hybridfixateurs an [1].

Bis auf implantatbedingte Überlagerungen ist die Beurteilung der Gelenkfläche des Pilon tibiale mittels konventioneller Röntgenbilder unabhängig von der Wahl des Verfahrens schwierig. Selbst unter idealen Bedingungen im Rahmen von Studien an anatomischen Präparaten ist eine sichere Aussage über die Integrität der Gelenkfläche und das Repositionsergebnis einer Fraktur auf diese Weise nicht möglich. Dies gilt sowohl für die

Tab. 1 Anzahl der Scans und der Konsequenzen von 2001–2009

Region	Anzahl Scans	Konsequenzen	
		Anzahl	Anteil (%)
OSG	243	75	30,9
Pilon	124	36	29,0

OSG oberes Sprunggelenk

a.-p. [10] als auch die laterale Standardaufnahme [13].

Goldstandard zur Beurteilung der Gelenkfläche stellt die CT dar, weswegen sie bei komplexen Frakturen auch präoperativ zur Operationsplanung herangezogen wird [30]. Intraoperativ steht sie jedoch nicht zur Verfügung.

Die Beurteilung von intraoperativen Durchleuchtungsbildern ist aufgrund der schlechteren Bedingungen der Bildaufnahme und der Geräte und der damit verbundenen Einschränkungen der Bildqualität derjenigen von Standardröntgenbildern prinzipiell unterlegen.

Somit verbleibt zur sicheren Beurteilung des Repositionsergebnisses und der Implantatlage im Zweifelsfall wiederum nur eine postoperative Computertomographie.

Intraoperative 3D-Bildgebung

Vorteile bei OSG- und Pilon-tibiale-Frakturen

Sollte sich beim postoperativen CT zeigen, dass ein verbesserungswürdiger Befund vorliegt, ist eine Korrektur im Rahmen einer zweiten Operation notwendig. Dies ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung des Operationsrisikos und meist mit einer Verlängerung des stationären Aufenthaltes sowie der Arbeitsunfähigkeit.

Erste Publikationen mit kleinen Fallzahlen [2, 18, 24, 25, 35] ergaben, dass durch den intraoperativen Einsatz eines 3D-Bildwandlers bei der Versorgung von OSG-Frakturen Fehlstellungen im Bereich der Syndesmose ebenso wie Fehlpazierungen der Stellschraube erkannt werden können (■ **Abb. 2, 3**). Bei den meist zusätzlich vorliegenden Frakturen ist außerdem, ebenso wie beim Einsatz bei Pilonfrakturen, eine Beurteilung der Frakturposition und der Lage der (restlichen) Implantate möglich. Hierdurch

Trauma Berufskrankh 2011 · 13:160–165
DOI 10.1007/s10039-011-1750-z
© Springer-Verlag 2011

J. Franke · J. von Recum · P.A. Grützner · K. Wendl

Vorteile der intraoperativen 3D-Bildgebung. Oberes-Sprunggelenk- und Pilon-tibiale-Frakturen

Zusammenfassung

Die intraoperative 3D-Bildgebung mit mobilen C-Bögen ist mittlerweile seit 10 Jahren im klinischen Einsatz. Neben komplexen anatomischen Regionen kommt sie häufig bei der Versorgung von OSG- (oberes Sprunggelenk) und Pilon-tibiale-Frakturen zur Anwendung. Hier lässt sich mit diesem Verfahren neben dem Repositionsergebnis der Fraktur und der Stellung der Syndesmose auch die Implantatlage beurteilen. Im eigenen Patientengut zeigte sich im Zeitraum von 2001–2009 ein Prozentsatz an intraoperativen Konsequenzen nach 3D-Scan von etwa 30%, was sich mit den Veröffentlichungen anderer Autoren deckt. Deswegen setzte sich die intraoperative 3D-Bildgebung in unserer Klinik als Routineverfahren bei diesen Indikationen durch.

Schlüsselwörter

3D-Bildgebung · Intraoperative Kontrolle · Sprunggelenkverletzungen · Syndesmose · Pilonfraktur

Benefits of intraoperative 3D imaging. Upper ankle and tibial pilon fractures

Abstract

Intraoperative three-dimensional (3D) imaging with mobile c-arms has been in clinical practice for 10 years. In addition to other complex anatomic regions, it is often used in the surgical treatment of upper ankle and pilon tibiale fractures. Reduction of the fracture and the syndesmotic region as well as the position of the implant can be assessed. Our own data from 2001 to 2009 show a rate of intraoperative consequences following 3D scanning of approximately 30%. This is in accordance with the results reported by other authors. Therefore, intraoperative 3D imaging is established as a standard procedure in the treatment of these injuries in our trauma center.

Keywords

Imaging, three-dimensional · Intraoperative monitoring · Ankle injuries · Syndesmosis · Pilon fracture

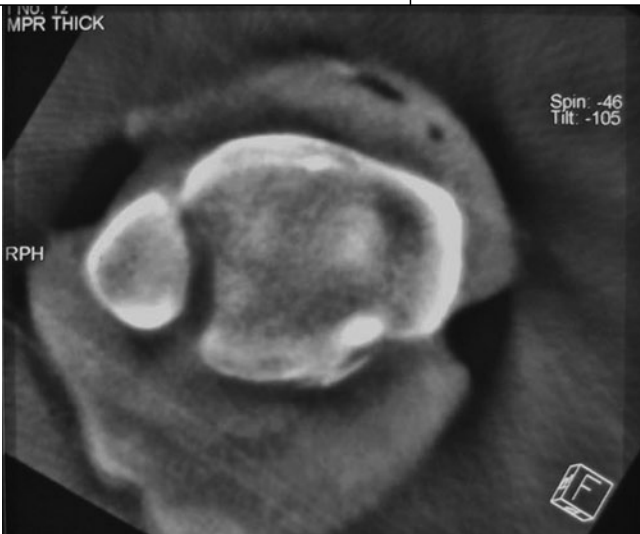


Abb. 2 ▲ Fehlstellung der Fibula in der Incisura tibiofibularis

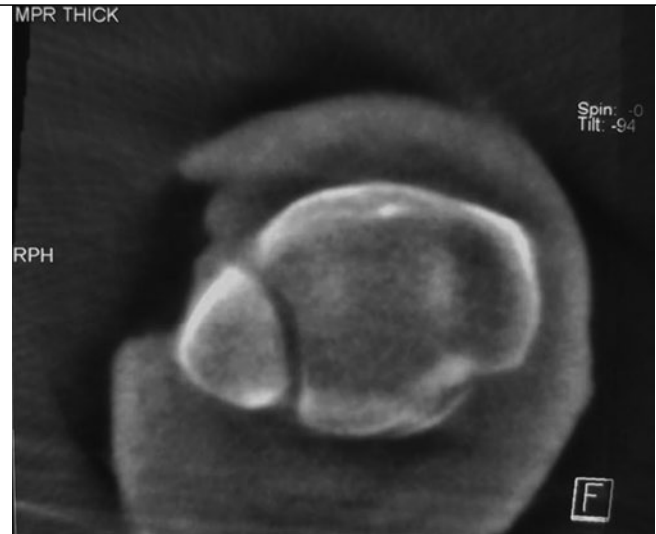


Abb. 3 ▲ Syndesmosenregion nach Reposition

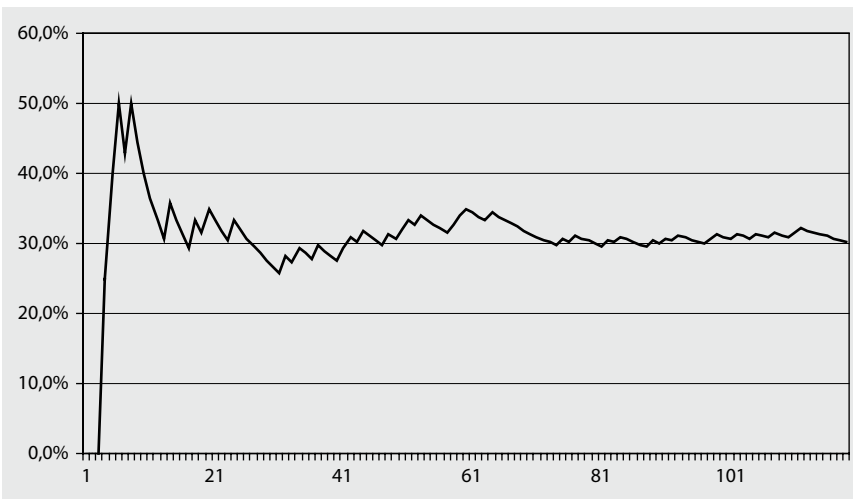


Abb. 4 ▲ Intraoperative Revisionen (%) für Pilonfrakturen im zeitlichen Verlauf (n=124 Patienten)

kann eine Revisionsoperation vermieden werden [2, 18, 24, 25, 35].

Studienlage

In verschiedenen Publikationen konnte gezeigt werden, dass sich in 7,3–43% der Fälle eine Konsequenz der intraoperativen 3D-Bildgebung ergibt [2, 12, 18, 24, 25, 28, 35].

Rübberdt et al. [28] konnten 2006 bei der operativen Versorgung von intraartikulären Fersenbeinfrakturen nachweisen, dass mit der konventionellen Durchleuchtung 2/3 der hinteren Gelenkfläche des unteren Sprunggelenks nicht adäquat abzubilden sind und somit relevante Gelenkstufen in diesem Bereich intraoperativ nicht immer erkannt werden. In 7,3%

der Fälle wurde eine erneute Reposition und in 14,6% eine Implantatkorrektur vorgenommen [28]. Im Jahr 2009 berichteten Geerling et al. [12] bei gleicher Indikation sogar von einer Gesamtrate der intraoperativen Konsequenzen von 41%.

Zwipp [35] hatte 2004 in 5 von 18 Fällen (28%) im postoperativen CT eine Fehlpplatzierung von Stellschrauben gefunden und diese dann in einer zweiten Operation zur Vermeidung von Folgeschäden korrigiert.

Atesok et al. [2] beschrieben 2007 in 11% der von ihnen versorgten 72 intraartikulären Frakturen verschiedener Lokalisation eine Nachreposition nach intraoperativer 3D-Kontrolle, wobei die heterogene Gruppe nur 3 Sprunggelenkfrakturen vom Typ Weber C enthielt.

Richter et al. [25] berichteten 2005 über erste Ergebnisse bei der Stellschraubenplatzierung bei instabilen Syndesmosenverletzungen im Rahmen von OSG-Frakturen vom Typ Weber C. In 3 von 7 Fällen (43%) wurden entweder die Stellschraube und/oder die Reposition korrigiert. Dieselben Autoren fanden 2009 in einer sich auf die vorhergehende Studie beziehenden Untersuchung unter Verwendung eines 3D-Bildwandlers der 2. Generation bei erneut 62 Patienten immer noch eine Korrekturrate von 34%, wobei sich die Zahl von 3 von 7 revidierten Weber-C-Frakturen nicht geändert hatte [24].

Kendoff et al. [18] berichteten ebenfalls 2009 von einer intraoperativen Revisionsrate von 19% bei 248 Patienten nach 3D-Scan. Hier wurden 8 anatomische Regionen zusammengefasst. In 32 Fällen war auch das Sprunggelenk aufgeführt, in 7 Fällen (22%) hatte die intraoperative 3D-Bildgebung eine Konsequenz. Eine nähere Differenzierung nach Art der versorgten Verletzung und Art der Korrektur fand nicht statt.

Eigene Ergebnisse

Seit August 2001 bis Juni 2009 wurden in der unserer Klinik insgesamt 2971 Scans bei 2181 Patienten durchgeführt, davon bei 1241 Patienten unter Einsatz des SIREMOBIL® Iso-C^{3D} und ab Februar 2005 bei 940 Patienten mit dem Arcadis Orbic 3D®.

In 1841 Fällen (84,4%) diente der Scan der Kontrolle durchgeführter Osteosyn-

thesen, in 14,3% der Fälle wurde der 3D-Datensatz zu Navigationszwecken genutzt. Nur in 1,3% wurde intraoperativ ein diagnostischer Scan durchgeführt. Dies geschah meist bei polytraumatisierten Patienten, bei denen bei dringlicher Operationsindikation aufgrund abdomineller oder thorakaler Verletzung präoperativ eine Schnittbilddiagnostik anderer Körperregionen, z. B. der Fußwurzel, nicht möglich war. Insgesamt stellte somit die Kontrolle von durchgeführten Osteosynthesen die Hauptanwendung dar.

Die im Folgenden dargestellten Daten beziehen sich auf die Grundgesamtheit von 1841 Fällen mit intraoperativen Kontrollscans. Hierunter sind Verletzungen des oberen Sprunggelenkes mit 243 Fällen (13,2%) und Pilonfrakturen mit 124 Fällen (6,7%) vertreten.

Bei den OSG-Verletzungen ergab sich aus dem intraoperativen Scan in fast einem Drittel aller Fälle (30,9%) eine Konsequenz. Ein ähnliches Bild bietet sich bei Betrachtung der Pilonfrakturen (29%; **Tab. 1**).

Stellt man die Anzahl der intraoperativen Konsequenzen in % über den Verlauf der 8 Jahre dar, erweist sich diese als konstant (Beispiel Pilonfrakturen, **Abb. 4**). Dies ist ein Hinweis dafür, dass die intraoperative 3D-Bildgebung auch mit zunehmender Erfahrung unverändert nützlich zu sein scheint.

Fazit für die Praxis

Eine Beurteilung der Frakturposition an Pilon und OSG und der korrekten Einstellung der Syndesmose durch konventionelle Röntgenbilder oder mittels intraoperativer Durchleuchtung ist nicht sicher möglich. Eine korrekte Reposition scheint jedoch für die Vermeidung von Folgeschäden wichtig zu sein. Der Routineeinsatz bei Gelenkfrakturen an Pilon und Sprunggelenk bietet gegenüber postoperativen Kontroll-CT-Untersuchungen den Vorteil, dass Zweiteingriffe vermieden und die operative Ergebnisqualität verbessert werden können. Die intraoperative 3D-Darstellung etablierte sich an unserer Klinik als Routineverfahren.

Korrespondenzadresse

Dr. J. Franke



Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, BG-Unfallklinik Ludwigshafen, Unfallchirurgische Klinik an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Ludwig-Guttman-Straße 13, 67071 Ludwigshafen
jochen.franke@bgu-ludwigshafen.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehungen hin: Der Autor gibt an, dass ein Kooperationsvertrag mit der Firma Siemens zur Erforschung, Evaluierung und Einführung von neuen Technologien, Produkten und Applikationen im Bereich der medizinischen Bildgebung und bildgeführten Chirurgie besteht.

Literatur

1. Anglen JO (1999) Early outcome of hybrid external fixation for fracture of the distal tibia. *J Orthop Trauma* 13(2):92–97
2. Atesok K, Finkelstein J, Khoury A et al (2007) The use of intraoperative three-dimensional imaging (ISO-C-3D) in fixation of intraarticular fractures. *Injury* 38:1163–1169
3. Beumer A, Hemert WL van, Niesing Ret al (2004) Radiographic measurement of the distal tibiofibular syndesmosis has limited use. *Clin Orthop Relat Res* 423:227–234
4. Beumer A, Swierstra BA (2003) The influence of ankle positioning on the radiography of the distal tibial tubercles. *Surg Radiol Anat* 25:446–450
5. Brage ME, Bennett CR, Whitehurst JB et al (1997) Observer reliability in ankle radiographic measurements. *Foot Ankle Int* 18:324–329
6. Cottom JM, Hyer CF, Philbin TM, Berlet GC (2008) Treatment of syndesmotic disruptions with the Arthrex Tightrope: a report of 25 cases. *Foot Ankle Int* 29:773–780
7. 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* 48:620–630
8. Curtis MJ, Michelson JD, Urquhart MW et al (1992) Tibiotalar contact and fibular malunion in ankle fractures. A cadaver study. *Acta Orthop Scand* 63:326–329
9. Ebraheim NA, Lu J, Yang H et al (1997) Radiographic and CT evaluation of tibiofibular syndesmotic diastasis: a cadaver study. *Foot Ankle Int* 18:693–698
10. Ebraheim N, Sabry FF, Mehalik JN (2000) Intraoperative imaging of the tibial plafond fracture: a potential pitfall. *Foot Ankle Int* 21:67–72
11. Ebraheim NA, Elgafy H, Padanilam T (2003) Syndesmotic disruption in low fibular fractures associated with deltoid ligament injury. *Clin Orthop Relat Res* 409:260–267
12. Geerling J, Kendoff D, Citak M et al (2009) Intraoperative 3D imaging in calcaneal fracture care – clinical implications and decision making. *J Trauma* 66:768–773
13. Graves ML, Kosko J, Barei DP et al (2011) Lateral ankle radiographs: do we really understand what we are seeing? *J Orthop Trauma* 25:106–109
14. Hamid N, Loeffler BJ, Braddy W et al (2009) Outcome after fixation of ankle fractures with an injury to the syndesmosis: the effect of the syndesmosis screw. *J Bone Joint Surg Br* 91:1069–1073
15. Harper MC, Keller TS (1989) A radiographic evaluation of the tibiofibular syndesmosis. *Foot Ankle Int* 10:156–160
16. Jenkinson RJ, Sanders DW, Macleod MD et al (2005) Intraoperative diagnosis of syndesmosis injuries in external rotation ankle fractures. *J Orthop Trauma* 19:604–609
17. Kaye RA (1989) Stabilization of ankle syndesmosis injuries with a syndesmosis screw. *Foot Ankle Int* 9:290–293
18. Kendoff D, Citak M, Gardner MJ et al (2009) Intraoperative 3D imaging: value and consequences in 248 cases. *J Trauma* 66:232–238
19. 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
20. Muratli HH, Biçimoğlu A, Celebi L et al (2005) Magnetic resonance arthrographic evaluation of syndesmotic diastasis in ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 125:222–227
21. Oae K, Takao M, Naito K et al (2003) Injury of the tibiofibular syndesmosis: value of MR imaging for diagnosis. *Radiology* 227:155–161
22. Pneumatics SG, Noble PC, Chatziioannou SN, Trevino SG (2002) The effects of rotation on radiographic evaluation of the tibiofibular syndesmosis. *Foot Ankle Int* 23:107–111
23. Ramsey PL, Hamilton W (1976) Changes in tibiotalar area of contact caused by lateral talar shift. *J Bone Joint Surg Am* 58:356–357
24. Richter M, Zech S (2003) Intraoperative 3-dimensional imaging in foot and ankle trauma-experience with a second-generation device (ARCADIS-3D). *J Orthop Trauma* 23:213–220
25. Richter M, Geerling J, Zech S et al (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
26. Rock C, Linsenmaier U, Brandl R et al (2001) Vorstellung eines neuen mobilen C-Bogen-/CT-Kombinationsgerät (ISO-C-3D) – Erste Ergebnisse der 3D-Schnittbildgebung. *Unfallchirurg* 104:827–833
27. Robert RS (1983) Surgical treatment of displaced ankle fractures. *Clin Orthop Relat Res* 172:164–169
28. Rübberdt A, Feil R, Stengel D et al (2006) Die klinische Wertigkeit des ISO-C3D bei der Osteosynthese des Fersenbeins. *Unfallchirurg* 109:112–118
29. 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* 35:935–941
30. Torretta P, Gorup J (1996) Axial computed tomography of pilon fractures. *Clin Orthop Relat Res* 323:273–276
31. Wich M, Spranger N, Ekkernkamp A (2004) Intraoperative Bildgebung mit dem ISO C3D. *Chirurg* 75:982–987
32. Wikerøy AKB, Hoiness PR, Andreassen GS et al (2010) No difference in functional and radiographic results 8.4 years after quadrilateral compared with tricortical syndesmosis fixation in ankle fractures. *J Orthop Trauma* 24:17–23
33. Xenos JS, Hopkinson WJ, Mulligan ME et al (1995) The tibiofibular syndesmosis. Evaluation of the ligamentous structures, methods of fixation, and radiographic assessment. *J Bone Joint Surg Am* 77:847–856
34. Yablou IG, Leach RE (1989) Reconstruction of malunited fractures of the lateral malleolus. *J Bone Joint Surg Am* 71:521–527
35. Zwipp H (2004) Techniken Syndesmoseninsuffizienz. *Videosymposium MHH Unfallchirurgie, Hannover*, S 25–26