

A. Rübberdt^{1,2} · R. Feil¹ · D. Stengel¹ · N. Spranger¹ · S. Mutze^{1,3} · M. Wich¹
 A. Ekkernkamp¹

¹ Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Unfallkrankenhaus, Berlin

² Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Münster

³ Institut für Radiologie, Unfallkrankenhaus Berlin

Die klinische Wertigkeit des ISO-C^{3D} bei der Osteosynthese des Fersenbeins

Die osteosynthetische Versorgung intraartikulärer Fersenbeinfrakturen stellt hohe Anforderungen an den Operateur [21, 23, 24, 25]. Neben operativer Erfahrung und einem guten dreidimensionalen (3D-)Vorstellungsvermögen sind die genaue Kenntnis der Fersenbeinanatomie und des Frakturverlaufs Voraussetzung, um nach richtiger Indikationsstellung ein optimales Osteosyntheseergebnis zu erzielen.

Intraoperativ liefert die Durchleuchtung mittels Bildverstärker (BV) nur in begrenztem Umfang aussagekräftige Zusatzinformationen [9, 15]. Der Operateur orientiert sich hauptsächlich am Situs. Dem Zugang und der Frakturexposition kommen damit eine große Bedeutung zu [7, 15, 21, 24, 25, 26]. Nach Abhebung des lateralen Fensterfragments erhält der Operateur trotz optimaler Exposition zwar Einsicht auf das untere Sprunggelenk und die frakturierte Facies articularis talaris posterior (FATP), kann diese aber nach Reposition und Zuklappen des Fensterfragments nicht mehr sicher einsehen und beurteilen [15, 21, 24].

Das Abtasten der sphärischen Gelenkfläche auf Stufen mit dem Raspatorium oder einem dünnen Kirschner-Draht ist unzuverlässig. Eine intraoperative Broden- oder Hannover-Schrägaufnahme ermöglicht aufgrund der gekrümmten Gelenkflächen der posterioren Kalkaneus- bzw. der korrespondierenden Talusfacette nur eine tangentielle Abbildung eines kleinen Abschnitts der FATP

(**Abb. 1, 2**). Gerade weiter ventral gelegene Stufen lassen sich konventionell-radiologisch nicht abbilden. Mit dem Siremobil Iso-C^{3D} steht dem Operateur erstmals eine intraoperative, 3D-Bildgebung zur Verfügung [4, 5]. Binnen weniger Minuten erhält der Operateur intraoperativ verlässliche Informationen über die Güte seiner Frakturposition und Lage des Osteosynthesematerials in nahezu CT-Qualität und -Präzision.

Verschiedene In-vitro-Studien haben die Bildqualität und Aussagefähigkeit der Iso-C^{3D}-Schnittbilder bereits untersucht. Die Kadaverstudien von Euler et al. [4, 5] zeigten eine signifikant schlechtere (subjektive) Bildqualität im Vergleich zum CT, zum konventionellen Röntgen und zur Durchleuchtung. Die Güte der mit dem Siremobil Iso-C^{3D} und CT erhobenen Befunde unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Konventionelles Röntgen und Durchleuchtung schnitten in der In-vitro-Untersuchung signifikant schlechter ab. Die In-vitro-Studien von Heiland, Kotsianos [11] und Rock et al. [17] bestätigten die diagnostische Sicherheit der mittels Siremobil Iso-C^{3D} erhobenen Befunde im Vergleich zum CT als postulierter „golden standard“ der bildgebenden Verfahren. Die Ergebnisse dieser In-vitro-Studien sind jedoch keineswegs direkt in die Klinik übertragbar. Standardisierte Versuchsaufbauten und optimale Testbedingungen gibt es im klinischen Alltag nicht.

Drei Faktoren spielen bei der klinischen Anwendung des Siremobil Iso-C^{3D} eine wesentliche Rolle:

- die Patientenlagerung und das verwendete Lagerungsmittel,
- die für die temporäre Fixation verwendeten, gelenkflächennah positionierten Titan-Kirschner-Drähte, die Metallstrahlungsartefakte produzieren,
- die intraoperative Bildbearbeitung bzw. der mit dem System vertraute Operateur.

Das optimale Zusammenspiel dieser 3 Faktoren ist essentiell für eine gute Bildqualität und eine exakte intraoperative Bildbeurteilung, die wiederum Einfluss auf das weitere operative Procedere haben sollte. Unter Berücksichtigung dieser Punkte erscheint nur eine klinische Studie wirklich geeignet, den Stellenwert und Nutzen der Siremobil Iso-C^{3D} gestützten intraoperativen Bildgebung zu beurteilen. Die vorliegende Studie konzentrierte sich auf 4 Kernbereiche:

1. postoperativer Vergleich der konventionellen Durchleuchtung mit der Iso-C^{3D}-Bildgebung.
2. Postoperative Nachbefundung der unter Realbedingungen (intraoperativ) erstellten Iso-C^{3D}-Rekonstruktionen mit den postoperativen CT-Schnittbildern. Dies wurde für 1. und 2. durch 2 unabhängige Untersucher

Zusammenfassung · Abstract

Unfallchirurg 2006 · 109:112–118
DOI 10.1007/s00113-005-1015-z
© Springer Medizin Verlag 2006

A. Rübberdt · R. Feil · D. Stengel · N. Spranger · S. Mutze · M. Wich · A. Ekkernkamp

Die klinische Wertigkeit des ISO-C^{3D} bei der Osteosynthese des Fersenbeins

Zusammenfassung

In einer prospektiven Studie mit 82 konsekutiven Patienten bei denen eine operative Versorgung einer intraartikulären Fersenbeinfraktur erfolgte, wurde ein Qualitätsvergleich zwischen konventioneller Durchleuchtung, intraoperativer Iso-C^{3D}- und postoperativer CT-Bildgebung angestellt. Die in drei Sektoren eingeteilte Facies articularis talaris posterior (FATP) wurde von zwei unabhängigen Untersuchern auf verbliebene Gelenkstufen und fracture gaps untersucht. Analysiert wurde, ob der Operateur die ISO-C^{3D}-Schnittbilder richtig befundete und intraoperativ Konsequenzen daraus zog. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede bei der Befundungssicherheit zwischen Iso-C^{3D}- und CT-Bildgebung bezüglich verbliebener Gelenkstufen in den Sektoren I–III, sowie detektierter

fracture gaps in den Sektoren I und III. Mit der konventionellen Durchleuchtung waren die Sektoren I und II überhaupt nicht zu beurteilen. In 6 Fällen (7,3%) wurde die Reposition intraoperativ nach einem Iso-C^{3D}-Scan optimiert. Bei 10 Patienten wurden 12 Schraubenfehlagen (12,2% bzw. 14,6%) korrigiert. Die Ergebnisse zeigen, dass mit der intraoperativen Iso-C^{3D}-Bildgebung eine hohe Befundungssicherheit zu erreichen ist. Der Operateur erhält relevante Zusatzinformationen, die zu einer Änderung der OP-Strategie führen können.

Schlüsselwörter

Intraoperative Bildgebung · Siremobil Iso-C^{3D} · Fersenbein · Gelenkstufen · Schraubenfehlage

The clinical use of the ISO-C^{3D} imaging system in calcaneus fracture surgery

Abstract

We compared in a prospective study including 82 patients treated with ORIF of an intraarticular calcaneus fracture the quality of fluoroscopy, intraoperatively Iso-C^{3D} and postoperative CT-scans. Therefore the posterior facet of the calcaneus (PFOC) was divided into three sectors. Joint steps and fracture gaps were detected by two independent investigators and statistically analysed. Another focus was to evaluate if the findings due to intraoperatively Iso-C^{3D} assessment performed by the surgeon were correct and subsequently influenced the surgical procedure. There were no statistically differences between the Iso-C^{3D}- and CT findings concerning joint steps or fracture gaps in PFOC sectors I–III. With fluoros-

copy an assessment of the PFOC sectors I and II was not possible. In six cases (7.3%), intraoperative reduction was redone after performing an Iso-C^{3D} scan. In ten cases, 12 malpositioned screws were replaced (12.2%/14.6%). These results suggest that intraoperative 3D Iso-C^{3D} imaging provides a high diagnostic reliability. By careful assessment of the images the surgeons receive information which could lead to a change of the operative strategy.

Keywords

Intraoperative imaging · Siremobil Iso-C^{3D} · Calcaneus · Joint steps · Screw malpositioning

- (Unfallchirurgen) vorgenommen, die in keinem Fall Operateure waren. Der bildmorphologische Untersuchungsschwerpunkt der Bereiche 1) und 2) war
- die Güte der Frakturposition („fracture gap“ ≤ 5 mm und Gelenkstufenbildung in der FATP ≤ 2 mm) und
 - die Lage des Osteosynthesematerials (Schraubenfehlage im Gelenk oder im Frakturspalt).
- Vergleich der Befundungsergebnisse der Untersucher mit denen der Operateure.
 - Hatte die intraoperative, vom Operateur vorgenommene, Bildinterpretation am Monitor Konsequenzen für den weiteren Operationsverlauf? Wurden Korrekturen der Reposition oder der Osteosynthese durchgeführt, die in einer Optimierung des Operationsergebnisses mündeten?

Material und Methoden

Einschlusskriterien

Im Rahmen des prospektiven Studiendesigns wurden zunächst alle Patienten mit einer versorgungspflichtigen, intraartikulären Fersenbeinfraktur in das Untersuchungskollektiv aufgenommen und registriert. Die Frakturen wurden nach Sanders klassifiziert [19]. Alle Patienten wurden präoperativ über die zusätzliche Strahlenbelastung durch den geplanten Einsatz des Siremobil Iso-C^{3D} ausführlich aufgeklärt und eine entsprechende Einverständniserklärung eingeholt. In 2 Fällen wurde der Einsatz des Siremobil Iso-C^{3D} von Patientenseite abgelehnt. Diese Patienten wurden nicht in die Studie mit aufgenommen. Bei weiblichen Patienten <40 Jahren wurde eine β -HCG-Bestimmung im Serum ($n=2$) zum Ausschluss einer Schwangerschaft durchgeführt. Zwei Patienten wünschten die Verlegung in ein heimatnahes Krankenhaus und nahmen an der Studie nicht teil.

Diagnostischer Algorithmus

Die präoperative Diagnostik umfasste konventionelle Röntgenaufnahmen in 3

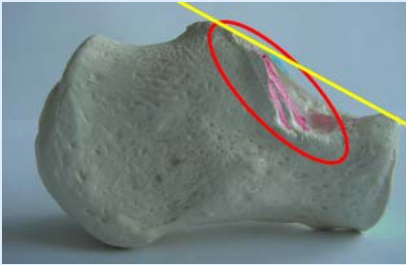


Abb. 1 ▲ Diagnostischer Schatten der Broden-Aufnahme (seitliche Ansicht)



Abb. 2 ◀ Scheinbar stufenlose Rekonstruktion der FATP in der Broden-Aufnahme (reelle Ansicht)

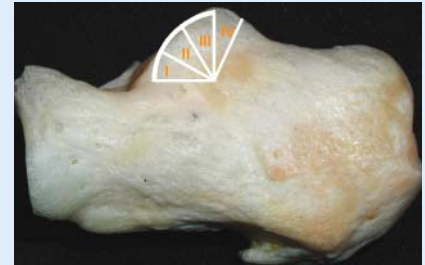


Abb. 3 ▲ Einteilung der FATP in 3 Sektoren (IV Sektor als Hinweis für extraartikulär)

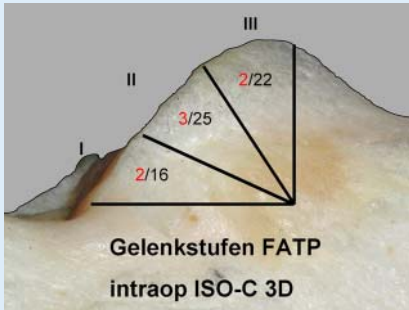


Abb. 4 ▲ Sektorenanalyse der ermittelten FATP-Gelenkstufen (ISO-C^{3D})

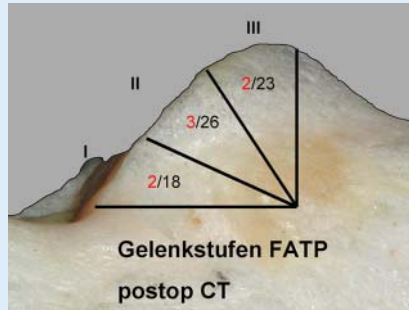


Abb. 5 ▲ Sektorenanalyse der ermittelten FATP-Gelenkstufen (postoperatives CT)

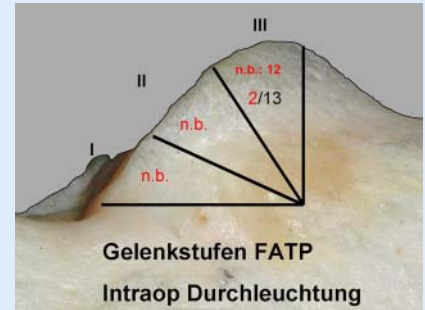


Abb. 6 ▲ Sektorenanalyse der ermittelten FATP-Gelenkstufen (intraoperative Durchleuchtung)

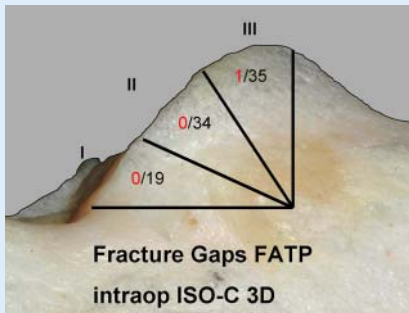


Abb. 7 ▲ Sektorenanalyse der ermittelten FATP-fracture-gaps (ISO-C^{3D})

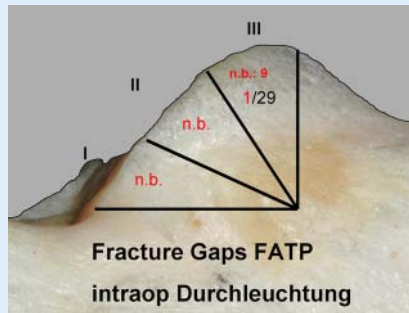


Abb. 8 ▲ Sektorenanalyse der ermittelten FATP-fracture-gaps (intraoperative Durchleuchtung)

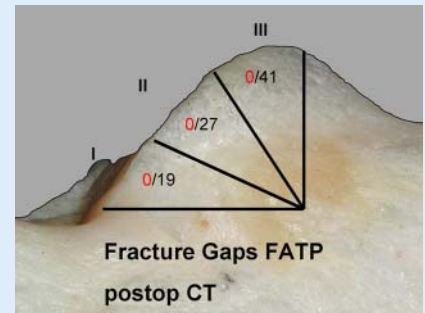


Abb. 9 ▲ Sektorenanalyse der ermittelten FATP-fracture-gaps (postoperative CT)

Ebenen (Fersenbein axial und seitlich, Hannover-Schrägaufnahme) und eine Computertomographie (CT) des verletzten Fersenbeins. Intraoperativ wurde nach der Frakturreposition und temporärer Fixation eine seitliche Fersenbein- und eine Hannoverschräg-Aufnahme angefertigt, zusätzlich erfolgte ein Iso-C^{3D}-Scan im 3D-Modus. Im Falle einer Korrektur der Reposition oder der Osteosynthese wurden beide Untersuchungsgänge wiederholt. Ein postoperativ angefertigtes CT bildete den Abschluss des diagnostischen Algorithmus.

Patientenlagerung und intraoperativer Strahlenschutz

Die Operationen wurden in Seitenlage unter Verwendung eines quaderförmigen Lagerungskissen und Körperstützen durchgeführt. Als neuer Lagerungsstandard hat sich die Seitlagerung auf einer speziellen, artefaktfrei durchleuchtbaren und gut anmodulierbaren Vakuummatratze (Informationen bei den Autoren erhältlich) bewährt. Seit November 2002 wird die Carbonsteckplatte (CFK[®], Fa. Maquet) verwendet, für die eigens

eine Abdeckung entwickelt wurde, so dass ein freies Durchschwenken des C-Bogens ohne Tuchkontakt möglich ist. Zum Schutz vor Streustrahlung erfolgte die Ummantelung des Körperstammes der Patienten mit Bleischürzen. Das gesamte Operationspersonal einschließlich Anästhesist befanden sich während der 2-minütigen Scandauer außerhalb des Operationssaals. Die den Sireomobil Iso-C^{3D} bedienende RTA stand während der Scanphase in einem Abstand von 3,5 m (Kabellänge des Fußschalters) zum Gerät.

Auswertung und Statistik

Zur systematischen Analyse erfolgte die Aufteilung der FATP in 3 Sektoren (ventraler = I, mittlerer = II, dorsaler = III). Zur Ausgewertet wurden die seitliche Fersenbeinaufnahme, die Hannover-Schrägaufnahme sowie die semikoronaren und sagittalen Schnittbilder (ISO-C^{3D} und postoperatives CT). Hiernach fand eine Überprüfung des digitalen Bildmaterials hinsichtlich der Endpunkte „Stufe“, „Fragmentdehiszenz“ und „Schraubenlage“ statt (■ **Abb. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9**). Die detektierten Gelenkstufen und Fragmentdehiszenzen (fracture gaps) wurden elektronisch ausgemessen. Die Befundung des randomisierten und anonymisierten digitalen Bildmaterials erfolgte postoperativ durch zwei unabhängige Untersucher (Unfallchirurgen), die nicht Operateure waren. Hierbei stellten die postoperativen CT-Befundungsergebnisse den Referenzstandard dar.

Die Beobachterübereinstimmung der beiden unabhängigen Untersucher wurde mit gewichteten κ -Werten beschrieben. Die Effektivität der Iso-C^{3D}-Untersuchung im Vergleich zum CT wurde durch Sensitivität (SN), Spezifität (SP) und „likelihood ratios“ (LR) mit 95%-Konfidenzintervall (95%-KI) dargestellt.

Die LR setzt 2 klinisch relevante Fragen ins Verhältnis zueinander: wie wahrscheinlich ist ein positives Testergebnis bei Patienten mit der Zieldiagnose und wie wahrscheinlich ist ein positives Ergebnis bei Patienten ohne diese Zieldiagnose. Die LR gibt somit Auskunft darüber, wie sehr die „pretest probability“ für das Vorliegen des jeweiligen erhobenen Bildbefunds durch den diagnostischen Test erhöht oder erniedrigt wird. Die Qualität eines Tests gilt nach Übereinkunft als exzellent, wenn die LR >10,0 oder <0,1 ist. Positive LR >10 erlauben den sicheren Nachweis einer Gelenkpathologie oder einer Schraubenfehllage.

Für die Befundungssicherheit (diagnostische Sicherheit) wurden die Modalitäten „Stufe“ und „Fragmentdehiszenz“ anhand gruppierter Mediane angeordnet und die entstehenden Ordnungsrelationen mit dem gepaarten t-Test auf Signifikanz überprüft. Eine Signifikanz $p \geq 0,05$ entspricht keinem signifikanten Unterschied der ge-

Tabelle 1

Mittelwerte der in den Sektoren I–III digital ausgemessenen Gelenkstufen und „fracture gaps“ (in mm) mit 95%-KI und Signifikanztestung

	CT		Iso-C ^{3D}		p ^a
	Mittel	95%-KI	Mittel	95%-KI	
Stufen					
Sektor I	0,26	0,10–0,43	0,26	0,10–0,42	0,4539
Sektor II	0,46	0,29–0,63	0,45	0,28–0,62	0,8244
Sektor III	0,37	0,21–0,52	0,39	0,23–0,56	0,4984
Lücken					
Sektor I	0,51	0,26–0,77	0,48	0,25–1,16	0,6676
Sektor II	0,63	0,40–0,86	0,87	0,59–1,16	0,0008
Sektor III	0,93	0,64–1,22	0,97	0,67–1,27	0,7153

^a Gepaarter t-Test.

testeten Modalität, $p < 0,05$ einem signifikanten (*), $p < 0,01$ einem hoch signifikanten (**), $p < 0,001$ einem höchst signifikanten (***) Unterschied.

Die Operateure wurden postoperativ befragt, ob sie aufgrund ihrer intraoperativen Bildbefundung eine Korrektur der Reposition oder der Osteosynthese durchführten.

Ergebnisse

Insgesamt wurden in der Zeit vom 18.01.2002 bis zum 31.12.2003 82 Patienten mit einer intraartikulären Fersenbeinfraktur osteosynthetisch mit einer kombinierten Platten-/Schraubenosteosynthese ($n=81$) oder einer alleinigen (perkutanen) Schraubenosteosynthese ($n=1$) unter Einsatz des Siremobil Iso-C^{3D} operiert. Die Frakturen wurden nach Sanders klassifiziert, die den Frakturverlauf in den 30° semikoronaren CT-Schnitten beurteilen. Die präoperative Diagnostik zeigte folgendes Frakturverteilungsmuster: $n=8$ (9,8%) Sanders IIA; $n=31$ (37,8%) Sanders IIB; $n=28$ (34,1%) Sanders IIIAB; $n=11$ (13,4%) Sanders IIIAC und $n=4$ (4,9%) Sanders IV.

Gelenkstufen

Die Auswertung der randomisierten digitalen Bilder zeigte, dass lediglich $n=70$ (85,4%) der intraoperativ angefertigten Hannover-Schrägaufnahmen im Bereich des Sektors III sicher beurteilt werden konnten. Hierbei wurden 2 Gelenkstufen >2 mm und 13 Gelenkstufen ≤ 2 mm diagnostiziert. Die Sektoren I und II wurden

von beiden Untersuchern als „nicht beurteilbar“ eingestuft (s. ■ **Abb. 6**).

Beide Untersucher fanden in den Iso-C^{3D}-Schnittbildern im Vergleich zu den postoperativen CT-Rekonstruktionen $n=16$ (CT: $n=18$) Gelenkstufen ≤ 2 mm in Sektor I. Relevante Gelenkstufen >2 mm wurden jeweils in 2 Fällen festgestellt. Im Sektor II wurden $n=25$ (CT: $n=26$) Stufen ≤ 2 mm und jeweils 3 relevante Stufen >2 mm detektiert. Im Sektor III wurden bei beiden Untersuchungstechniken je 2 Stufen >2 mm gefunden im Gegensatz zu $n=22$ (CT: $n=23$) Stufen ≤ 2 mm (s. ■ **Abb. 4, 5**). Die beiden unabhängigen Untersucher unterschieden sich in ihren Befundungsergebnissen nicht voneinander.

„Fracture gaps“

Beide Untersucher stuften 89% ($n=73$) der intraoperativ angefertigten Hannover-Schrägaufnahmen im Bereich Sektor III als „beurteilbar“ ein. Sie identifizierten jeweils eine Gelenkstufe >2 mm und 13 Stufen ≤ 2 mm identifiziert. Die Sektoren I und II konnten nicht beurteilt werden (s. ■ **Abb. 8**).

Die Analyse der intraoperativen Iso-C^{3D}- vs. postoperativen CT-Schnittbilder ergab ein relevantes „fracture gap“ >5 mm (CT: $n=0$) im Sektor III. In den Sektoren I und II konnten bei beiden Untersuchungstechniken keine weiteren „fracture gaps“ >5 mm diagnostiziert werden. Auffallend war eine im Vergleich zu den Gelenkstufen stärkere Diskrepanz zwischen der Anzahl der detektierten „fracture gaps“ in

Tabelle 2

Sensitivität und Spezifität mit 95%-KI (in %)				
	Sensitivität	95%-KI	Spezifität	95%-KI
Stufen				
Sektor I	87,3	90,6–94,9	98,5	96,8–100,0
Sektor II	94,1	89,0–99,0	98,1	97,0–100,0
Sektor III	91,5	85,2–97,8	97,7	95,5–100,0
Sektor IV	83,0	75,3–91,7	98,8	95,4–100,0
Lücken				
Sektor I	84,8	76,3–92,3	96,9	92,7–100,0
Sektor II	96,6	92,1–100,0	87,9	80,6–94,2
Sektor III	78,8	69,9–87,6	93,0	87,0–98,0
Sektor IV	57,3	46,4–68,1	97,6	93,2–100,0

Tabelle 3

LR der Endpunkte „Gelenkstufen“ und „fracture gaps“				
	LR+	95%-KI	LR–	95%-KI
Stufen				
• Iso-C ^{3D}	53,87	7,78–372,96	–0,09	0,04–0,217
• Rö-Hannover	4,56	3,65–5,69	–0,36	0,29–0,44
Lücken				
• Iso-C ^{3D}	10,67	5,74–19,81	–0,22	0,20–0,282
• Rö-Hannover	7,25	4,57–11,51	–0,32	0,29–0,37

LR+ positive LR, LR– negative LR.

Tabelle 4

LR des Endpunktes „Schraubenfehlagen“ (Materialfehlagen)				
	LR+	95%-KI	LR–	95%-KI
Iso-C ^{3D}	16,80	8,26–34,17	–0,31	0,20–0,50

LR+ positive LR, LR– negative LR.

den Sektoren II und III im Iso-C^{3D} vs. CT (s. [Abb. 7, 9](#)). Die digitale Distanzmessung der „fracture gaps“ (mm) ergab, anders als bei den Gelenkstufenmessungen, deutlichere quantitative Unterschiede ([Tabelle 1](#)). Die Mittelwerte der in den Iso-C^{3D}- und CT-Schnitten detektierten „fracture gaps“ unterschieden sich im Sektor II sogar signifikant voneinander ($p > 0,0008^{***}$).

■ **Tabelle 2** demonstriert die entsprechenden Sensitivitäts- und Spezifitätswerte mit 95%-KI. Die korrespondierenden positiven (LR+) und negativen (LR–) LR finden sich in [Tabelle 3](#) und 4.

Die ermittelten κ -Werte, als Messeinheit für die Untersucherübereinstimmung (interobserver agreement) bezüglich der Befundungssicherheit, sind in [Tabelle 5](#) aufgeführt.

Klinische Relevanz

In 6 Fällen (7,3%) korrigierten die Operateure ihre Reposition. Grund war in 4 Fällen (4,9%) eine Gelenkstufe der FATP im Sektor II und in 2 Fällen (2,4%) eine Fragmentdehiszenz in der FATP > 5 mm ebenfalls in Sektor II. Der Entschluss zur Korrektur basierte in allen Fällen auf dem Befundergebnis der intraoperativen 3D-Bildgebung. Die zu korrigierenden Befunde waren mit der konventionellen Durchleuchtung nicht feststellbar. In 2 Fällen gelang aufgrund der erheblichen Gelenkflächenzerstörung der FATP keine stufenfreie Reposition. Es resultierten Gelenkstufen > 2 mm und in 1 Fall eine Fragmentdehiszenz der FATP im Sektor III > 5 mm.

In 12 Fällen wurde bei 10 Patienten (14,6% bzw. 12,2%) eine sofortige Schrau-

benkorrektur durchgeführt. Eine Schraube lag im Frakturspalt, eine Schraube fasste das frakturierte Sustentakulumfragment nicht. Weitere 10 Schrauben lagen grenzwertig subchondral ($n=6$) oder hatten Gelenkkontakt zur FATP ($n=2$) oder zum Kalkaneokuboidgelenk ($n=2$).

Die Schraubenfehlagen wurden erst in den intraoperativ erstellten 3D-Schnittbildebene identifiziert. In 2 Fällen (2,4%) konnte aufgrund von Metallartefakten bzw. sog. Auslöschphänomenen die Schraubenfehlage lediglich in einer Schnittebene in nur einem Schnittbild sicher diagnostiziert werden. Im Gegensatz zu den beiden Untersuchern wurden von 2 Operateuren intraoperativ insgesamt 2 Schraubenfehlagen trotz 3D-Bildgebung nicht erkannt. Beide Schraubenverläufe wurden als subchondral der FATP liegend eingestuft. Im postoperativen CT zeigte sich aber ein eindeutiger Gelenkkontakt. Beide Operateure arbeiteten zum ersten mal mit dem Siremobil Iso-C^{3D}-System.

Diskussion

Die anatomische Rekonstruktion der sphärischen FATP des Fersenbeins ist technisch sehr anspruchsvoll. Die stufenfreie Wiederherstellung dieser posterioren Gelenkfacette ist eine der Hauptforderung in der Fersenbeinchirurgie [15, 21, 24, 25, 26]. Das Problem, die Gelenkfläche intraoperativ visuell adäquat beurteilen zu können wird daran ersichtlich, dass verschiedene Zugänge von medial, lateral oder auch bilateral beschrieben werden, die eine optimierte Sicht auf die FATP bieten sollen [1, 6, 7, 8, 10, 14, 15, 19, 21, 24, 25, 26].

Die Vorteile einer erhöhten Zugangsmorbidität zugunsten einer verbesserten Sicht sollen hier nicht näher diskutiert werden [8]. Die intraoperative subtalare Arthroskopie stellt in den Händen des Geübten bei relativ geringer Zugangsmorbidität ein gutes Verfahren dar, die Repositionsgüte der FATP sicher zu beurteilen. Sie wird aber nur in wenigen Zentren routinemäßig angewendet [15]. Die intraoperative CT-gestützte Gelenkflächenrekonstruktion ist schon allein aufgrund des hohen apparativen Aufwands ein Ausnahmeverfahren [13].

Das sensitivste und etablierteste bildgebende Verfahren zur präzisen Visuali-

Tabelle 5

Interobserver Agreement „Befundungssicherheit“ CT/Iso-C	
	κ -Wert
Iso-C ^{3D} axial	0,8485
Iso-C ^{3D} lateral	0,6436
CT axial	0,8230
CT lateral	0,5828

sierung ist die (postoperative) CT. CT-Untersuchungen des Fersenbeins werden in vielen Kliniken nicht standardisiert durchgeführt. In der aktuellen Literatur finden sich nur wenige Studien mit aussagekräftigen Angaben über die Repositionsgüte der FATP anhand von postoperativen CT-Schnitten [2, 3, 19, 12, 15, 16, 18, 20, 22, 24]. Buckley [3] und Rammelt et al. [15] berichten über repräsentative Nachuntersuchungskollektive von 156 bzw. 99 Patienten, bei denen nach operativer Versorgung einer intraartikulären Fersenbeinfraktur postoperativ eine CT-Untersuchung durchgeführt wurde. In 31,4% ($n=49$) bzw. 47,5% ($n=47$) gelang eine anatomische Reposition. In 50,2% ($n=78$) bzw. ($n=84$) verblieben Gelenkstufen <2 mm zurück. Bei 18,6% ($n=29$) bzw. 38,4% ($n=38$) wurden Gelenkstufen >2 mm oder Gelenkflächendefekte diagnostiziert. Exakte Angaben über die Lage der Gelenkstufen in der FATP oder entsprechende Angaben zur Lage und Größe der verbliebenden Frakturspalten (fracture gaps) finden sich in keiner den Autoren bekannten Publikationen.

Die Bedeutung verbliebener Gelenkstufen in der FATP verdeutlicht Rammelt et al. [15] in der 2003 publizierte Studie. Bereits Gelenkstufen von 1–2 mm führten zu einer signifikanten Verschlechterung der klinischen und funktionellen Resultate, ersichtlich an den ermittelten Punktzahlen im ± 200 -Punkte-Score und Maryland-foot-Score. Buckley et al. [3] berichteten darüber hinaus über Schraubenfehlplatzierungen unter anderem im Subtalargelenk bei 11 Patienten. Genauere Angaben über Anzahl oder Lage der fehlplatzierten Schrauben fehlen.

Durch die Einteilung der FATP in 3 Sektoren gelingt es, die klinische Bedeutung der intraoperativen 3D-Bildgebung bei der Frakturversorgung von sphärisch

geformten Gelenkflächen plastisch darzustellen. Dem Operateur dient sie während der Operation als Orientierungshilfe, welche Abschnitte der FATP mit der konventionellen Durchleuchtung nicht mehr sicher beurteilbar sind. Postoperativ kann sie zu Auswertungszwecken als 2D-Schablone verwendet werden.

Die Ergebnisse der vorgestellten prospektiven Studie zeigen, dass die intraoperativ durchgeführten Hannover-Schrägaufnahmen in insgesamt 5 Fällen (6,1%) relevante Gelenkstufen der FATP >2 mm nicht abbilden konnten. Alle übersehenen Gelenkstufen lagen in den Sektoren I und II, im „diagnostischen Schatten“ der Hannover-Schrägaufnahme. Diese Beobachtung lässt den Rückschluss zu, dass zwei Drittel der FATP mittels bildwandlergestützter Durchleuchtung nicht adäquat abzubilden und somit auch nicht zu beurteilen sind.

Trotz innovativer Technik und intraoperativer Schnittbildgebung in nahezu CT-Qualität, kann nur ein mit dem System vertrauter und in der intraoperativen Bildnachbearbeitung geschulter Operateur ein optimales Befundungsergebnis erarbeiten. Eigene Ergebnisse zeigen, dass in der Anfangsphase 2 Operateure Probleme bei der intraoperativen Befundungssicherheit hatten. In 2 Fällen wurde eine Schraubenlage fehlinterpretiert, da die Möglichkeiten der intraoperativen Bildnachbearbeitung nicht ausgeschöpft wurden. Neben mangelnder Anwendererfahrung mit dem Siremobil Iso-C^{3D}, insbesondere mit der Bildnachbearbeitung und Bildoptimierung, spielen hier systemimmanente Faktoren eine wesentliche Rolle. Trotz Verwendung von Titanimplantaten entstehen je nach Strahlenauftrittswinkel z. T. nicht unerhebliche Artefakte. Hier wird zwischen Strahlenartefakten und Auslöschphänomenen unterschieden. Beiden gemeinsam ist, dass sie insbesondere im Grenzbereich eine präzise Abgrenzung von Gelenkfläche und Schraube erschweren können. Durch Variierung der Schichtdicke, Bildnachbearbeitung und Inspektion der Schraubenlage in möglichst vielen Schnittebenen gelingt in der Regel dennoch eine suffiziente Beurteilung.

In der Untersucheranalyse blieb keine der ursprünglich übersehenen Schrau-

benfehlagen in den Iso-C^{3D}-Rekonstruktionen unerkannt. Zu berücksichtigen ist, dass beide Untersucher mit der Bildnachbearbeitung der Iso-C^{3D}-Rekonstruktionen durch eigene intraoperative Anwendung und die 2-mal täglich in der Klinik (mit PACS ausgestattet) durchgeführten digitalen Röntgenvisiten seit mindestens 14 Monaten vertraut waren. Diese Beobachtungen lassen den Rückschluss zu, dass die intraoperativen Iso-C^{3D}-Schnittbilder bei entsprechender visueller Erfahrung genauso sicher beurteilt werden können, wie die postoperativen CT-Rekonstruktionen.

Die statistische Analyse der ermittelten Daten verdeutlicht die Aussagekraft der intraoperativen 3D-Bildgebung mittels Iso-C^{3D} auch in der klinischen Anwendung. Die aus den postoperativen CT-Schnitten erhobenen Befunde bzw. Daten stellen den Referenzstandard dar. Die für den Endpunkt „Stufe“ ermittelte positive LR (LR+) von 53,87 für die Iso-C^{3D}-Bildgebung lässt aus statistischer Sicht die Aussage zu, dass es zu der bildmorphologisch diagnostizierten Gelenkstufe (> 2 mm) mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein klinisches Korrelat gibt. Wird bildmorphologisch keine Gelenkstufe >2 mm identifiziert, kann bei einer negativen LR (LR-) von 0,09 mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass keine vorhanden ist. Die diagnostische Wertigkeit der intraoperativen zweidimensionalen Durchleuchtung ist bei einer LR+ von 4,56 und einer LR- von $-0,36$ deutlich geringer (s. **■ Tabelle 3**).

Beim Iso-C^{3D} wurde für den Endpunkt „Fragmentdehiszenz“ eine LR+ von 10,67 ermittelt: wird 3D-bildmorphologisch eine relevante Fragmentdehiszenz (>5 mm) der FATP diagnostiziert, *existiert hierzu* mit hoher Wahrscheinlichkeit auch ein entsprechender klinischer Befund. Anders verhält es sich, wenn keine Fragmentdehiszenz > 5 mm bildmorphologisch identifiziert werden kann. Die statistische Analyse der Untersucherergebnisse zeigt, dass die intraoperative 3D-Bildgebung mittels Iso-C^{3D} mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht präzise genug ist, um eine Fragmentdehiszenz > 5 mm sicher auszuschließen (LR= $-0,36$; s. **■ Tabelle 3**). Ähnlich verhält es sich mit der

sicheren Beurteilung möglicher Schraubenfehlagen. Beim Iso-C^{3D} wurde für den Endpunkt „Schraubenfehlage“ eine LR+ von 16,80 errechnet: mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit findet sich bei einer bildmorphologisch fehlplatzierten Schraube hierzu auch ein entsprechender klinischer Befund. Die Wahrscheinlichkeit, bei fehlendem 3D-bildmorphologischem Nachweis einer Schraubenfehlage auch klinisch keine fehlplatzierte Schraube zu finden, ist bei einer LR=-0,31 deutlich geringer (s. **■ Tabelle 4**).

Welchen klinischen Stellenwert die intraoperative Iso-C^{3D}-Bildgebung hat bzw. wie effektiv sie ist, wird daran ersichtlich, dass in insgesamt 6 Fällen (7,3%) eine Korrektur der FATP-Gelenkflächenreposition und in 12 Fällen (14,6%) eine Schraubenkorrektur durchgeführt wurde.

In der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Unfallkrankenhauses Berlin ist die intraoperative Iso-C^{3D}-Bildgebung seit Januar 2001 ein fester Bestandteil bei der osteosynthetischen Versorgung von Fersenbeinfrakturen. Nach einer relativ kurzen „learning curve“ bei hoher Anwendungsdichte konnte innerhalb von 6 Monaten nach Einführung des Iso-C^{3D} eine hohe intraoperative Befundungssicherheit erreicht werden, die sich nicht signifikant von der postoperativen CT-Befundung unterschied.

Fazit für die Praxis

Der Siremobil Iso-C^{3D} als neues, intraoperativ einsetzbares, bildgebendes Verfahren erlaubt auch in der klinischen Anwendung die sichere Beurteilung der FATP des Kalkaneus. Die Möglichkeit, anhand von intraoperativ binnen kurzer Zeit zur Verfügung stehender 3D-Rekonstruktionen mit der Option einer sofortigen Korrektur der Reposition bzw. der Osteosynthese, stellt eine erhebliche Verbesserung des operativen Qualitätsstandards dar. Postoperative CT-Untersuchungen können, eine ausreichende Erfahrung mit dem Iso-C^{3D}-System vorausgesetzt, als Qualitätssicherungsmaßnahme entfallen.

Korrespondierender Autor

Dr. A. Rübberdt

Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie,
Unfallkrankenhaus,
Warener Straße 7, 12683 Berlin
E-Mail: dr.ruebberdt@gmx.de

Interessenkonflikt: Es besteht kein Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

Literatur

1. Bezes H, Massart P, Delveaux D, Fourquet JP, Tazi F (1993) The operative treatment of intraarticular calcaneal fractures. Indications, technique and results in 257 cases. *Clin Orthop* 290: 55–59
2. Bradley SA, Davies AM (1990) Computed tomographic assessment of old calcaneal fractures. *Br J Radiol* 63: 926–933
3. Buckley R, Tough S, McCormack R, Pate G, Leighton R, Petrie D, Galpin R (2002) Operative compared with nonoperative Treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures. *J Bone Joint Surg Am* 84: 1733–1744
4. Euler E, Wirth S, Linsenmaier U, Mutschler W, Pfeiffer KJ, Hebecker A (2001) Vergleichende Untersuchung zur Qualität C-Bogen-basierter 3D-Bildgebung am Talus. *Unfallchirurg* 104: 839–846
5. Euler E, Heining S, Fischer T, Pfeiffer KF, Mutschler W (2002) Erste klinische Erfahrungen mit dem Siremobil Iso-C 3D. *Elektromedia* 70: 64–67
6. Funk EM, Wiedemann M, Bickel R, Rüter A (1995) Dislozierte intraartikuläre Kalkaneusfrakturen. Langzeitnachsuntersuchung nach offener Reposition und Osteosynthese. *Unfallchirurg* 98: 501–506
7. Geel CW, Flemister AS (2001) Standardized treatment of intra-articular calcaneal fractures using an oblique lateral incision an no bone graft. *J Trauma* 50: 1083–1089
8. Harvey EJ, Grujic L, Early JS, Benirschke SK, Sangeorzan BJ (2001) Morbidity associated with ORIF of intra-articular calcaneus fractures using a lateral approach. *Foot Ankle Int* 22: 868–873
9. Heuchemer T, Bargon G, Bauer G, Mutschler W (1992) Computertomographie nach intraartikulärer Kalkaneusfraktur. Vergleich: radiomorphologisches Ergebnis – klinisches Resultat. *Unfallchirurg* 95: 31–36
10. Hutchinson F 3rd, Hübner MK (1994) Treatment of os calcis fractures by open reduction and internal fixation. *Foot Ankle Int* 15: 225–232
11. Kotsianos D, Rock C, Euler E, Wirth S, Brandl R, Linsenmaier U, Pfeiffer KJ, Reiser M (2002) Frakturdiagnostik am Kniegelenk mit einem neuen mobilen CT-System (ISO-C 3D): Vergleich mit konventionellem Röntgen und Spiral-CT. *Rofo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 174: 82–87
12. Leung KS, Yuen KM, Chan WS (1993) Operative treatment of displaced intra-articular fractures of the calcaneum. Medium-term results. *J Bone Joint Surg Br* 75: 196–201
13. Mayr E, Häuser H, Rüter A, Bohndorf K (1999) Minimal-invasive, intraoperativ CT-gesteuerte Korrektur einer Kalkaneusosteosynthese. *Unfallchirurg* 102: 359–364
14. Omoto H, Nakamura K (2001) Method for manual reduction of displaced intra-articular fracture of the calcaneus: technique, indications and limitations. *Foot Ankle Int* 22: 874–879
15. Rammelt S, Barthel S, Biewener A, Gavlik JM, Zwipp H (2003) Calcaneusfrakturen – offene Reposition und interne Stabilisierung. *Zentralbl Chir* 128: 517–528
16. Randl JA, Kreder HJ, Stephen D, Williams J, Jaglal S, Hu R (2000) Should calcaneal fractures be treated surgically? A metaanalysis. *Clin Orthop* 377: 217–227
17. Rock C, Kotsianos D, Linsenmaier U et al. (2002) Untersuchungen zur Bildqualität, Hochkontrastauflösung und Dosis am Stamm- und Gliedmaßen skelett mit einem neuen dezidierten CT-System (ISO-C 3D). *Rofo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 174: 170–176
18. Paley D, Hall H (1993) Intra-articular fractures of the calcaneus – a critical analysis of results and prognostic factors. *J Bone Joint Surg Am* 75: 342–354
19. Sanders R (2000) Displaced intra-articular fractures of the calcaneus. *J Bone Joint Am* 82: 225–250
20. Song KS, Kang CH, Min BW, Sohn GJ (1997) Preoperative and postoperative evaluation of intra-articular fractures of the calcaneus based on computed tomography scanning. *J Orthop Trauma* 11: 435–440
21. Thermann H, Krettek C, Hüfner T, Schrott HE, Albrecht K, Tscherne H (1998) Management of calcaneal fractures in adults. Conservative vs. operative treatment. *Clin Orthop* 353: 107–124
22. Thordarson DB, Krieger LE (1996) Operative vs. nonoperative treatment of intra-articular fractures of the calcaneus: A prospective randomized trial. *Foot Ankle Int* 17: 2–9
23. Wölfl CG, Schmidt A, Grützner P, Wentzensen A (2003) Einfluss der intraoperativen 3D-Bildgebung mittels ISO-C 3D bei Kalkaneusosteosynthesen – Ergebnisse einer Serie von 50 Frakturen. *Abstractband 67. Jahrestagung der DOOC Berlin*
24. Zwipp H, Tscherne H, Wülker N, Grote R (1989) Der intraartikuläre Fersenbeinbruch. Klassifikation, Bewertung und Operationstaktik. *Unfallchirurg* 92: 117–129
25. Zwipp H, Tscherne H, Thermann H, Weber T (1993) Osteosynthese of displaced intraarticular fractures of the calcaneus. Results in 123 cases. *Clin Orthop* 290: 76–86
26. Zwipp H (1994) *Chirurgie des Fußes*. Springer, Wien New York