

Intraoperative Bildgebung mit dem ISO C^{3D}

In der Unfall- und orthopädischen Chirurgie nehmen qualitätssichernde Maßnahmen und die Dokumentation der operativen Schritte einen zunehmend wichtigeren Stellenwert ein. Das Bestreben nach immer weniger invasiven Verfahren, nach kleineren Hautschnitten und einer minimalen Weichteiltraumatisierung kann nur weiterentwickelt werden, wenn die direkte visuelle und taktile Kontrolle des Operationssitus durch den Operateur mit Hilfe elektronisch-bildgebender Verfahren ergänzt wird. Die Technologie des ISO C^{3D} bildet hierfür einen wesentlichen Baustein.

Neben der gewünschten Ergebnisverbesserung durch Erweiterung der bisherigen zweidimensionalen Ansichten des intraoperativ genutzten C-Bogens, gewinnt aber auch die Dokumentationssicherheit und -qualität in Zeiten rapide steigender Haftpflichtfälle an Bedeutung [5]. Intraoperative Thermopapierausdrucke von Bildwandleraufnahmen in schlechter Auflösung sind weder in der Nachbehandlung geeignet, um als Vergleichsaufnahme herangezogen zu werden, noch um in einem mehrere Jahre nach dem Eingriff stattfindenden Schlichtungsstellenverfahren für die sachgerechte Durchführung einer Operation als Beweismittel dienen zu können [1, 2]. Die erzeugten Bilddateien müssen in einem dokumentensicheren Zustand gespeichert werden und bezüglich ihrer Auflösung höchsten Ansprüchen genügen.

Entwicklung der intraoperativen Bilddarstellung

Der über den Gelenken zentrierte Faden, der Auskunft über die Achse der Extremität

nach einem Eingriff gibt, oder der Seitenvergleich zur Bestimmung der Beinlänge, waren einfache und probate Versuche der Qualitätsprüfung in der „Chirurgie des Bewegungsapparates“.

Einen wesentlichen Fortschritt stellte dann der Einzug des Röntgens in den Operationssaal (etwa um 1930) dar. Zu Beginn waren hier nur statische Aufnahmen mit einer mobilen Strahlenquelle und zu

entwickelnden Folienaufnahmen möglich, der Zeitaufwand bis zur Bildverfügbarkeit für den Operateur war erheblich und meist erst im Anschluss an die Osteosynthese möglich, dafür aber bereits ein wichtiges Instrument zur objektiven Dokumentation neben dem Operationsbericht.

Die nächste Stufe ist dann im weltweiten Siegeszug des Bildverstärkers und dessen flächendeckenden Einzugs in den

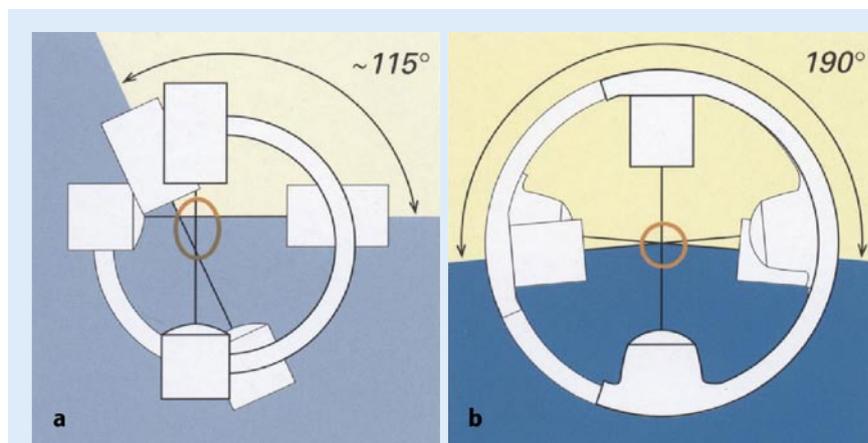


Abb. 1 ▲ a Rotationsachse und -freiheit eines konventionellen C-Bogens. b Parameter des ISO C^{3D}

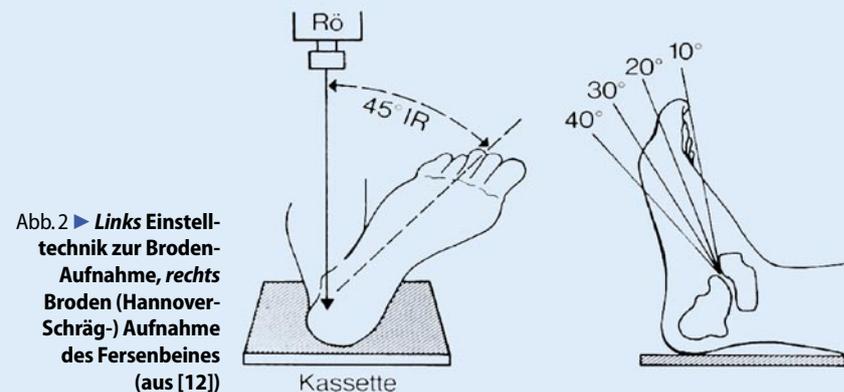


Abb. 2 ► Links Einstellungstechnik zur Broden-Aufnahme, rechts Broden (Hannoverschräg-) Aufnahme des Fersenbeines (aus [12])

Operationssaal zu sehen. Hiermit war es dem chirurgisch tätigen Arzt erstmals möglich, Röntgendarstellungen des OP-Feldes selbst zu erzeugen und sein Tun in „realtime“ zu überprüfen. Die ersten Bildwandler, die vor ca. 40 Jahren in die Operationssäle Einzug hielten, konnten nur für die Dauer der Strahlung ein Bild anzeigen und hatten keine Dokumentationsfunktion, dennoch ermöglichten sie neue Operationsverfahren. Mittlerweile sind digitale Bildverarbeitung und Bildnachbearbeitung, verschiedene Hold- und Speicherfunktionen (Wiedergabe von Durchleuchtungssequenzen) sowie die Netzwerkfähigkeit der Geräte der neuesten Generation – nicht nur im voll digital arbeitenden Unfallkrankenhaus Berlin – als Standard anzusehen.

Die konventionelle Röntgendokumentation am Ende des operativen Eingriffes sollte jedoch unverändert mit einer mobilen Strahlenquelle und Bildkassetten vorgenommen werden, da hier die höchste Bildqualität zu erwarten und damit auch eine sichere Archivierung gewährleistet ist.

► Die postoperative CT kommt für das operative Outcome des Patienten zu spät

Zur Beurteilung des operativen Ergebnisses nach komplexen Gelenkfrakturen wie auch nach Eingriffen an Wirbelsäule und Becken hat sich als Goldstandard die postoperative CT allgemein durchgesetzt. Die Problematik lag bisher darin, dass sie für das operative Outcome des jeweiligen Patienten fast immer zu spät kam. Die Schwelle zur Revisionsoperation, aufgrund eines 2 Tage nach dem Eingriff durchgeführten CTs (und einer sich hier eventuell darstellenden Gelenkstufe) ist unzweifelhaft hoch (Zweiteingriff mit allen damit verbundenen Komplikationen und Aufklärungsproblemen) [9]. Die folgerichtige Forderung, multiplanare Rekonstruktionen als diagnostischen Goldstandard in den chirurgisch-orthopädisch genutzten OP hineinzubringen, war deshalb schon früh aufgestellt worden.

Die mobile CT-Einheit, die von mehreren Herstellern präsentiert wurde, erwies sich jedoch aufgrund des hohen logistischen Aufwandes (Radiologe und MTRA im OP – nach Transport jeweils neues Ein-

Chirurg 2004 · 75:982–987
DOI 10.1007/s00104-004-0953-2
© Springer Medizin Verlag 2004

M. Wich · N. Spranger · A. Ekkernkamp

Intraoperative Bildgebung mit dem ISO C^{3D}

Zusammenfassung

Für die Dokumentation und Visualisierung komplexer anatomischer Strukturen wie Fersenbein, Becken, Wirbelsäule usw. ist der CT-Scan Goldstandard. In den Operationssälen der orthopädischen Chirurgie steht der CT-Scan leider nicht zur Verfügung, obwohl er dort sehr effektiv vor dem Wundverschluss eingesetzt werden könnte, denn sein Einsatz ist mit hohen Kosten, baulichen Veränderungen der Op-Säle, zusätzlichem Personal etc. verbunden.

Die ISO-C^{3D}-Technik ermöglicht es dem Chirurgen erstmals, während einer Operation innerhalb eines akzeptablen Zeitrahmens, zu angemessenen Kosten und mit Hilfe eines ihm vertrauten Instruments (ein modifizierter C-Bogen) multiplanare Rekonstruktionen zu produzieren. Seit Februar 2001 steht uns im Unfallkrankenhaus Berlin ein ISO C^{3D} zur Verfügung, und es wur-

den bereits 442 chirurgische Scans, inklusive Fersenbein, Halswirbelsäule, Hüftgelenkspfanne etc., durchgeführt. Aufgrund der intraoperativen Bildgebung ergab sich in Bezug auf unbefriedigende Fraktur- und Implantatpositionierungen insgesamt eine Revisionsrate von 7,3%.

Die ISO-C^{3D}-Technik ist der erste Schritt in die Zukunft der neuen Möglichkeiten zur Knochenvisualisierung. Im nächsten Schritt wird der Scan-Bereich erweitert und die Bildauflösung erhöht werden, die Hochkontrastbilder werden durch Bilder mit deutlich sichtbaren Weichgewebsstrukturen, ähnlich den modernen CT-Schnitten, ersetzt werden.

Schlüsselwörter

C-Bogen · ISO C^{3D} · CT-Scans · Intraoperative MPR · Orthopädische Chirurgie

Intraoperative imaging with the ISO C^{3D}

Abstract

Computed tomography (CT) scanning is the gold standard for displaying and visualizing complex anatomic structures such as the calcaneus, pelvis, and spine, etc. In orthopedic surgery CT scanning is unfortunately not available in the OR where it would be highly effective if scans could be done prior to wound closure. The reasons are high costs, need for constructional changes in the OR, and additional staff (radiologic technologist), etc.

For the first time the ISO C^{3D} enables the surgeon to generate multiplanar reconstruction (MPR) pictures during surgery within an acceptable time frame at a reasonable price with a familiar instrument (a modified C-arm). Since February 2001 we have been able to use the ISO C^{3D} in our

hospital and meanwhile we have scanned 442 surgical sites including the calcaneus, cervical spine, and acetabulum, etc. The intraoperative scans revealed fracture gaps and steps, unsatisfactory fragment alignment, or incorrectly positioned implants, leading to an overall revision rate of 7.3%

The ISO C^{3D} is a first step towards a new future for bone visualization. The next steps will bring an increase in scan area and resolution, and the high-contrast pictures will be replaced by ones very similar to modern CT slices showing certain soft tissue structures.

Keywords

C-arm · ISO C^{3D} · Intraoperative MPR · CT-scan · Orthopedic surgery



Abb.3 ▲ Postoperatives CT nach Versorgung einer Fersenbeinfraktur

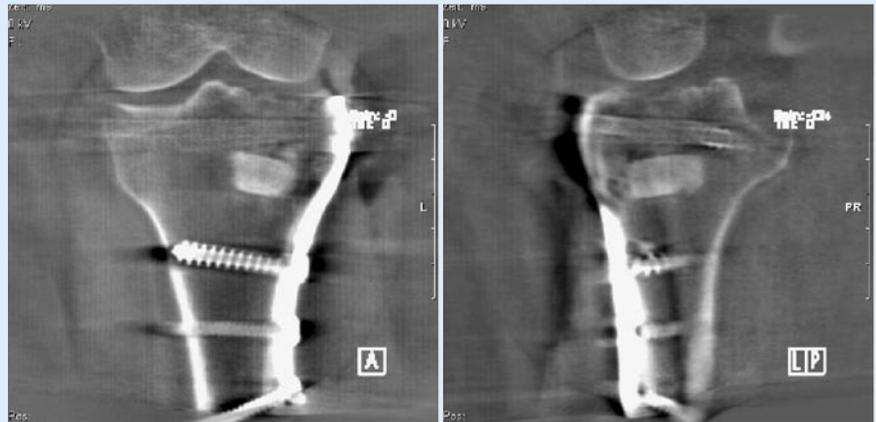


Abb.5 ▲ Scan-Ausschnitt einer reponierten Tibiakopffraktur mit Osteosynthesematerial

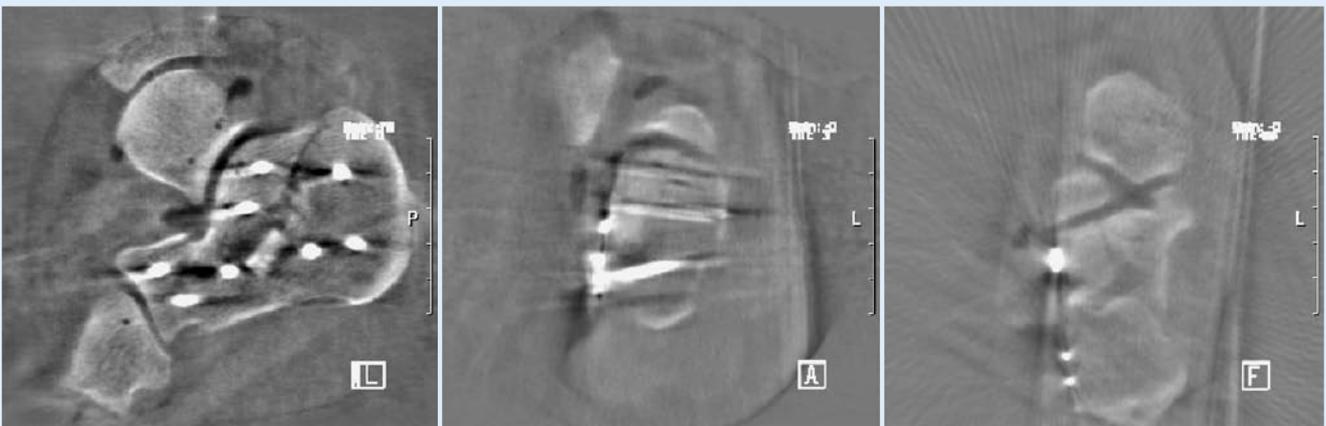


Abb.4 ▲ Intraoperative Darstellung einer Fersenbeinosteosynthese mittels ISO C^{3D}

messen des Gerätes), der fehlenden Kosteneffizienz (das mobile CT kann mit dem wechselnden Einsatz nur unzureichend im Routinebetrieb eingesetzt werden) und eines oft nicht ausreichenden Platzangebots im OP als nur wenig praktikabel.

Neue, sehr aufwendige Systeme wie zum Beispiel das AWIGS (advanced workplace for image guided surgery [Maquet]) oder die Sliding Gantry [Siemens] sind alternative Konzepte, um standardisierte Abläufe für den Einsatz des CT im OP zu ermöglichen. Hierfür sind jedoch immer bauliche Maßnahmen und spezialisiertes zusätzliches Personal erforderlich, die im OP befindlichen CT-Geräte stehen nicht für Routineuntersuchungen im Zentralröntgen (die wesentlich für die Kosteneffizienz verantwortlich sind) zur Verfügung und die damit verbundenen hohen Investitionskosten sind nur wenigen Zentren vorbehalten.

Die Entwicklung eines Bildwändlers, dessen Rechner die Generierung von mul-

tiplanaren Rekonstruktionen erlaubt, stellt, sowohl was die Logistik, als auch die Investitionskosten betrifft, erstmals eine umsetzbare Lösung für das oben geschilderte Problem dar, zu dem ist der Bildwandler, für jeden operativ tätigen Arzt, ein vom täglichen Umgang her bekanntes Gerät.

Arbeitsweise des ISO C^{3D}

Der ISO C^{3D} entspricht der neuesten Bildwandlergeneration mit hervorragender Bildauflösung (1024×1024 Matrix), einer hohen Generatorleistung (110 kV und 2,3 kW), einer voll digitalen Darstellung und Netzwerkfähigkeit (up- und download von worklists). Soweit ist der ISO C^{3D} ein hochwertiger, aber konventioneller Bildwandler.

ISO C^{3D}: Strahlenquelle und Kamera drehen sich mit gleichem Abstand um ein Isozentrum

Der augenfälligste Unterschied des ISO C^{3D} zu anderen C-Bögen ist in der Anordnung der Kamera (Bildverstärkereinheit) zu erkennen, diese ist symmetrisch zur Strahlenquelle auf einem halbkreisförmigen Metallarm montiert. Rotiert man nun den C-Bogen, so ist beim ISO C^{3D} ein Isozentrum definiert, um das sich mit gleichem Abstand Strahlenquelle und Kamera drehen (Abb. 1), bei der gleichen Aktion an einem konventionellen Bildwandler beschreibt der Mittelpunkt zwischen Kamera und Strahlenquelle eine Kurve.

Die isozentrische Rotation erlaubt es, ein im Fokus befindliches Objekt, während eines Umlaufes aus verschiedenen Winkeln abzubilden. Der ISO C^{3D} ist hierzu mit einer automatischen Motorsteuerung für die Autorotation einer Umlaufstrecke von 190° ausgerüstet. Nach Heranfahren des ISO C^{3D} wird die zu untersuchende Region mit Hilfe des Laservisiers in den Fokus (Isozentrum) des Bildwändlers gebracht. Dann wird der Bildwandler

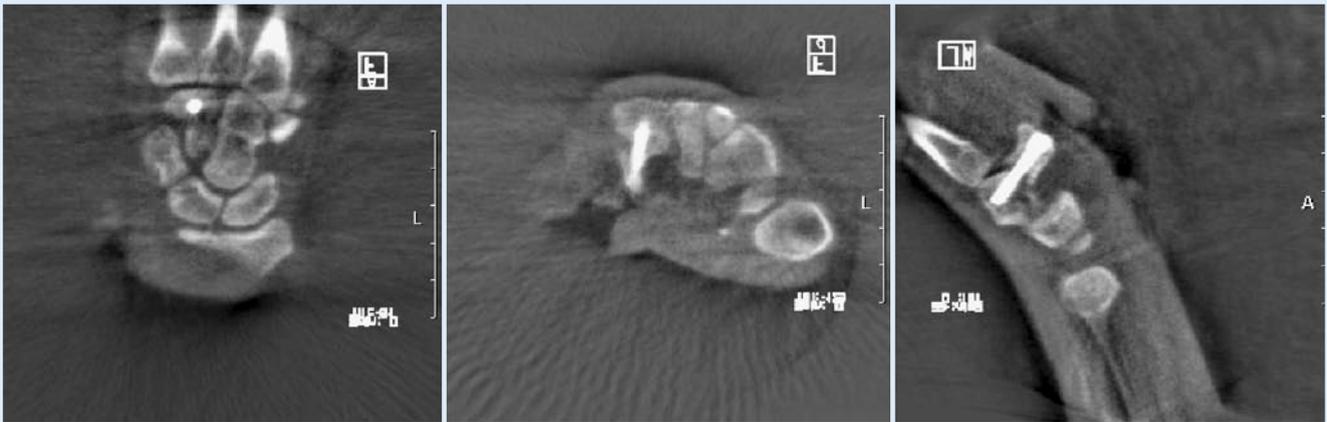


Abb. 6 ▲ ISO C^{3D}-Bilder nach operativ stabilisierter Os-hamatum-Fraktur

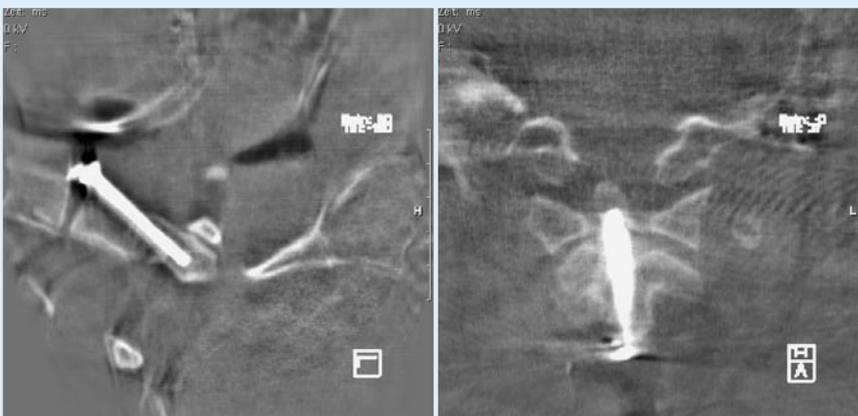


Abb. 7 ◀ Intraoperativer Scan nach Densverschraubung



Abb. 8 ▲ MPR-Darstellung des Azetabulums nach Reposition und Osteosynthese

nach Aufforderung durch die Software in den Ausgangsmodus gefahren und, nachdem die im OP befindlichen Mitarbeiter den Kontrollbereich verlassen haben, die Autorotation (50 oder 100 Einzelschüsse mit einer Dauer von ca. 2 min) ausgelöst.

Damit ist die Voraussetzung erfüllt, dass in einem komplexen Rechenmodus die verschiedenen Einzelprojektionen zu einer multiplanaren Rekonstruktion zu-

sammengefügt werden, dies dauert etwa 15 s. Die vorliegenden Rekonstruktionen erscheinen dann wie virtuelle Schnittbilder. Die fokussierte Region, die im Rechenprozess zu einer rekonstruierten Darstellung führt, entspricht einem Kubus mit einer Kantenlänge von 12,5 cm.

Die Abbildungen sind Hochkontrastdarstellungen, so dass besonders starke Dichteunterschiede gut zur Darstellung kommen,

wie zum Beispiel die Grenze zwischen Knochen und Weichteilen. Dieses Hochkontrastverhalten ist aber auch die Ursache dafür, dass größere Metallstrukturen innerhalb des Kubus oder in dessen Umgebung zu massiven Artefakten führen. Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung des 3D-Modus ist deshalb die Verwendung von metallfreien Lagerungsmitteln wie z. B. Operationstische aus Kohlenstoff.



Abb.9 ◀ **OP-Installation für navigationsgestütztes Operieren mit dem ISO C^{3D}**

Die Laboruntersuchungen, die von der Arbeitsgruppe um E. Euler vorgelegt wurden, zeigten viel versprechende Ergebnisse und intraoperative Bilddaten, die in der Qualität der Beurteilung für bestimmte Fragestellungen denen von CT-Datensätzen nur unwesentlich nachstanden [4].

Klinische Anwendungen

Die ersten klinischen Anwendungen erfolgten zur Darstellung des Fersenbeines nach operativer Versorgung. Die Vorteile der neuen Technologie lagen auf der Hand: Die 4 Gelenkfacetten des Fersenbeines lassen sich mit konventionellen Röntgenaufnahmen nur unvollständig abbilden. Mit der Broden-Aufnahmetechnik (▣ Abb. 2) kann immer nur ein kleiner Sektor des Gelenkes visualisiert werden. Die postoperativen CT-Untersuchungen können dann auch für den Operateur unerwartete Stufen- oder Spaltbildungen (▣ Abb. 3) in der Gelenkfläche oder fehlplatzierte Schrauben offenbaren, die in der zweidimensionalen Röntgenuntersuchung nicht zu erkennen sind.

Es war deshalb nur folgerichtig den ISO C^{3D} für diese Indikationen intraoperativ einzusetzen (▣ Abb. 4), um vor Abschluss der Operation unter Zuhilfenahme der multiplanaren Rekonstruktionen diese unerwünschten Operationsergebnisse noch korrigieren zu können. Mehrere klinische Untersuchungen haben die Effektivität dieses Verfahrens bei der Operation am Fersenbein gezeigt [10, 3]. Die Revisionsrate während eines Eingriffes aufgrund von intraoperativ mittels ISO-C^{3D}-Scans erhobenen unzureichenden Operationsbefunden betrug bei der von uns untersuchten

Klientel 7,3% (82 Fersenbeinoperationen, davon aufgrund des ISO-C-Bildes 6 Revisionen).

Ausgehend vom Fersenbein wurde dann rasch das Indikationsspektrum auf Talus und andere Fußwurzelknochenfrakturen oder -luxationen, distale Tibia- und Fibulafrakturen erweitert (u. a. zur Beurteilung der postoperativen Stellung der Sprunggelenkgabel) sowie auf alle Gelenkfrakturen von Tibiakopf (▣ Abb. 5) und Femurkondylen. Es folgten Darstellungen von Handwurzelknochen (▣ Abb. 6), des Hand- (hier insbesondere C-Frakturen der distalen Radiusgelenkfläche) und Ellenbogengelenkes.

Das Schultergelenk ist für den Einsatz des ISO C^{3D} aufgrund seiner anatomisch stark exzentrischen Position noch ungeklärt, so dass es hier nur bei besonderen Einzelfällen genutzt werden konnte.

In einer weiteren Evaluierungsphase wurde nach den Extremitäten dann das knöcherne Skelett des Körperstammes in das Indikationsspektrum aufgenommen. Nach Reposition und Osteosynthese führt das Scannen der Halswirbelsäule (▣ Abb. 7) wegen einer geringen Weichteildichte zu hervorragenden intraoperativen Bildern im Unfallkrankenhaus Berlin.

Die Brustwirbelsäule stellt eine besondere Herausforderung dar, da sich während der Autorotation beim narkotisierten Patienten der Brustkorb hebt und senkt und sich damit die Strukturen innerhalb des Isozentrums während des Scans verändern, die gewonnenen Daten ergeben dann ein nicht verwertbares oder sehr unscharfes Bild. Als Lösung hat sich eine Präoxygenierung und eine 2-minütige Atempause für die Dauer des Scans

erwiesen. Den wesentlichen Einsatz an der Brust- wie auch der Lendenwirbelsäule findet das Gerät bei der intraoperativen Kontrolle des Sitzes von Pedikelschrauben. Dabei hängt die Qualität der Lendenwirbelsäulendarstellung sehr stark vom Ausmaß der sie umgebenden Weichteile ab, so dass eine Adipositas per magna hier oft limitierend wirkt.

Das nächste Indikationsfeld, das sich dem Verfahren erschlossen hat, war die Überprüfung von Repositionen und Osteosynthesen am Becken, von der Azetabulumfraktur (▣ Abb. 8) bis zur ISG-Fugensprengung [11].

Das bislang letzte zugelassene Einsatzfeld liegt im Bereich des Gesichtsschädels. Hier sind besondere Vorkehrungen in Bezug auf den Strahlenschutz für den Patienten zu treffen und die jeweilige Indikationsstellung für den Einsatz des Gerätes besonders streng zu stellen (Gefahr der strahlenbedingten Glaskörpertrübung). Unter der Federführung von M. Herzog und G. Schüller erfolgen hierzu Untersuchungen zur Strahlendosis. Aber auch hier gibt es Gelenkfrakturen deren intraoperative Ergebnisqualität nur suffizient mit dem ISO C^{3D} dargestellt werden kann, wie zum Beispiel die Frakturversorgung des Kieferköpfchens.

Die folgerichtige Weiterentwicklung des Geräteinsatzes bestand in der Bereitstellung einer Schnittstelle (Navi-Link) zur Übertragung von Bilddaten zu einem Navigationsgerät (▣ Abb. 9) [6, 8]. Diese wurde dabei so definiert, dass sie als offene Plattform fungiert und Zugriffsmöglichkeit für alle gängigen Navigationssysteme bietet. Die Steuerung wird dadurch wesentlich vereinfacht, dass nach einem „navigierten“ Scan keine weitere zeitaufwendige Referenzierung mehr notwendig ist und sofort mit der eigentlichen navigationsgestützten Operationsführung begonnen werden kann.

Im Unfallkrankenhaus Berlin wird das Gerät seit Februar 2001 eingesetzt. Mittlerweile wurden 442 Scans durchgeführt, wobei die Verteilung der Körperregionen in ▣ Tabelle 1 wiedergegeben wird.

— Die Verlässlichkeit der Bilddaten des ISO C^{3D} ist bei sorgfältiger Berücksichtigung der Einflussfaktoren so hoch einzuschätzen, dass im Extremitäten-

Tabelle 1

Klinisches Einsatzspektrum des SIREMOBIL ISO C^{3D} im Unfallkrankenhaus Berlin

Körperregion	Scans
Handwurzel, Mittelhand	3
BWS	3
LWS	4
Ellbogen	5
HWS	7
Handgelenk	18
Azetabulum, ISG	19
Fußwurzel, Talus	25
Pilon, OSG	36
Kniegelenk, Tibiakopf	41
Kalkaneus	281

bereich auf postoperative CTs verzichtet werden kann.

Wir haben dies konsequent umgesetzt und damit eine Reduktion der Kosten pro Fall erreichen können.

Ausblick

Der ISO C^{3D} ermöglicht den Start in eine neue dreidimensionale Bilddarstellung im Operationssaal, die von den Chirurgen immer gefordert wurde, die aber bisher nur mit größtem Aufwand und erheblichem Kosteneinsatz, somit in kaum praktikabler Weise zu bewerkstelligen war.

Die zu erwartenden Neuentwicklungen auf diesem Gebiet, insbesondere durch das Hinzutreten weiterer Wettbewerbsprodukte, bestehen in der Bereitstellung größerer Bildkuben und noch höherer Auflösungen der MPR-Bilder. Zur Zeit finden erste Untersuchungen mit Flachbilddetektoren im C-Bogen-Bereich statt, die das Aussehen des Bildwandlers noch einmal revolutionieren, und die es dann auch erlauben werden, Niedrigkontrastdarstellungen zu generieren und damit erstmals (wie im CT) auch Abbildungen von Weichteilstrukturen zu ermöglichen.

Es ist in der Zukunft denkbar, den C-Bogen auf der Intensivstation einzusetzen und dem neurochirurgischen Hochrisikopatienten, der eine Kontroll-CT erhalten soll, vor Ort mit dem Niedrigkontrastge-

rät zu scannen und somit CT-ähnliche Schnittbilder von Schädel und Gehirn zu erhalten, ohne ihn durch einen Transport zum CT im Zentralröntgen zusätzlich zu gefährden.

(Unfall-)Chirurgie, Orthopädie, Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie und Neurochirurgie sind auf dem Feld dieser Entwicklung Vorreiter, weitere operative Fächer werden folgen. Ergebnisorientierte und gegenüber Innovationen positiv eingestellte Chirurgen werden an der Seite ideenreicher Entwickler früher als erwartet den dann nicht mehr virtuellen und kaum wieder zu erkennenden OP der Zukunft realisieren.

Korrespondierender Autor

Dr. M. Wich

Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Unfallkrankenhaus Berlin, Warenerstraße 7, 12683 Berlin
E-Mail: michael.wich@ukb.de

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.

Literatur

1. Ekkernkamp A, Müschenich M (2000) Qualitätsmanagement. Wie geht es weiter? Trauma Berufskrankh 2:349–352
2. Ekkernkamp A (2002) Risk-Management im Krankenhaus – was kann, was muss der Arzt zur Vermeidung von Kunstfehlern tun? Krankenh Recht 2:33–37
3. Euler E, Wirth S, Linsenmaier U, Mutschler W, Pfeifer KJ, Hebecker A (2001) Comparative study of the quality of C-arm based 3D imaging of the talus. Unfallchirurg 104 (9):839–846
4. Euler E, Heining S, Fischer T, Pfeifer KJ, Mutschler W (2002) Erste Klinische Erfahrungen mit dem Siremobil Iso.C 3D. Elektromedia 70:64–67
5. Geiger C, Ostermann PAW, Ekkernkamp A (2001) Computerassistierte, roboterunterstützte Hüftendoprothetik – Standardverfahren oder Spezialindikation? Zeitschrift für ärztliche Fortbildung und Qualitätssicherung 3:165–171
6. Grützner PA, Hebecker A, Waelti H, Vock B, Nolte LP, Wentzensen A (2003) Klinische Studie zur registrierungsfreien 3D-Navigation mit dem mobilen C-Bogen Siremobil ISO C3D. Elektromedia 1:58–67
7. Heiland M, Schulze D, Adam G, Schmelzle R (2003) 3D-imaging of the facial skeleton with an isocentric mobile C-arm system (Siremobil ISO C3D). Dentomaxillofac Radiol 32 (1):21–5
8. Kotsianos D, Rock C, Euler E et al. (2002) Frakturdiagnostik am Kniegelenk mit einem neuen CT-System (ISO C 3 D): Vergleich mit konventionellen Röntgen und Spiral CT. Rofo Fortschr Roentgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 174:82–87
9. Rademacher G, Stengel D, Siegmann S, Petersein J, Mutze S (2002) Optimazation of contrast agent volume for helical CT in the diagnostic assessment of patients with severe and multiple injuries. J Comput Assist Tomogr 26:113–118
10. Rübberdt A, Spranger N, Stengel D, Feil R, Wich M, Ekkernkamp A (2003) Die Klinische Wertigkeit des ISO C3D bei der Osteosynthese des Fersenbeins [in process citation]
11. Wich M, Tober V, Vahrmeyer S, Ekkernkamp A (2003) Operative interne Stabilisierung von Beckenringfrakturen in Abhängigkeit von der Klassifikation. Trauma Berufskrankh 5:71–78
12. Zimmer-Brossy M, Bosujaković-Büscher S (Hrsg) (1998) Lehrbuch der röntgendiagnostischen Einstelltechnik. Springer, Berlin Heidelberg New York