3D-Bildwandler – Erfahrungen zu Aufwand und Benefit

Eine intraoperative dreidimensionale Bildgebung bietet unumstritten Vorteile bei der operativen Versorgung von knöchernen Verletzungen u. a. der Extremitätenepiphysen mit Gelenkbeteiligung. So können die Rekonstruktion von Gelenkflächen oder die Lage von Implantaten, z. B. Osteosyntheseschrauben, exakter beurteilt werden als im zweidimensionalen fluoroskopischen Bild. Die intraoperative dreidimensionale Bildgebung war aber bislang lediglich durch die CT-Technologie möglich. Allerdings musste hierdurch eine erhebliche logistische Mehrbelastung in Kauf genommen werden, wie z. B. die Anschaffung eines (mobilen) CT-Geräts oder die Umrüstung des CT-Raums zu einem OP sowie die problematische Sterilabdeckung des Operationsfelds in der Gantry. Mit dem neuen C-Bogen Siremobil Iso-C^{3D} können am Operationstisch – neben der bislang üblichen Durchleuchtung – dreidimensionale Bilder hergestellt werden. Da die Handhabung derjenigen eines herkömmlichen C-Bogens gleichkommt, ist im OP keine wesentliche logistische Umstrukturierung erforderlich.

Siremobil Iso-C^{3D}

Das Gerät basiert auf einem isozentrischen C-Bogen, der durch einen prozessorgesteuerten Motor in einem Winkel von 190° um das Objekt, das sich im Zentrum des Bogens befindet, herumbewegt werden kann (Abb. 1). Während dieser Orbital-

bewegung werden wahlweise 50 oder 100 einzelne Röntgenaufnahmen angefertigt, woraus der angeschlossene Computer ein Bildvolumen mit einer Kantenlänge von etwa 12 cm errechnet. Die Bildakquisition dauert bei 50 Einzelaufnahmen 1 min, bei 100 Aufnahmen doppelt so lange. Die Bildberechnung ist wenige Sekunden nach Beendigung der Bildakquisition beendet. Die Software des Computers ermöglicht die Darstellung und Speicherung von Schnittbildern innerhalb des Bildvolumens in jeder beliebigen Ebene. Eine graphische Bearbeitung, wie z. B. Markierungen oder Längen- und Winkelmessungen in den 3D-Schichten, sind ebenfalls möglich.

Experimentelle Studien zur Bildqualität

Zur Objektivierung der Bildqualität wurde eine Serie von Kadaverstudien durchgeführt. Zur Beurteilung der Diagnosesicherheit wurden Epiphysen- und Fußwurzelfrakturen ($n=14$) verstorbener Unfallopfer vergleichend im Röntgenbild, in CT-Schichten und in der dreidimensionalen Iso-C^{3D}-Bildgebung diagnostiziert (Abb. 2). Hierbei konnte zwischen der CT- und der Iso-C^{3D}-Diagnostik kein signifikanter Unterschied ($p=0,066$) bezüglich Frakturerkennung und Erkennung einer Gelenkbeteiligung, jedoch ein signifikanter Unterschied zur – weniger aussagekräftigen – konventionellen Röntgendiagnostik ($p<0,001$) festgestellt werden [5].

Abb. 1 ◀ Siremobil Iso-C^{3D}

Abb. 2 ◀ Vergleichende Studie zur Diagnose-sicherheit: Beispiel einer Kalkaneusfraktur im konventionellen Röntgenbild (Rx), CT- (CT) und Iso-C^{3D}-Schichtbild (Iso-C^{3D})

Abb. 3 ▲ Studie zur Diagnose der Schraubenposition nach simulierter Talusschraubenosteosynthese: gleich häufig korrekte Diagnosen mit CT und Iso-C^{3D} mit signifikantem Unterschied gegenüber C-Bogen-Durchleuchtung und konventionellem Röntgenbild, sowohl im CT- als auch im Iso-C^{3D}-Bild Fehllage der Schraubenspitze im Gelenk erkennbar

Abb. 4a, b ◀ Kadaverstudie zur Darstellung der Lage von n=80 Pedikelschrauben im dreidimensionalen C-Bogen-Bild: Bildbeispiele je einer Schicht in a.-p. (a) und seitlicher (b) Projektion im mittleren LWS-Bereich [4]

Auch die Diagnose fehlplatzierter Osteosyntheseschrauben konnte im Talus-schraubenosteosynthesemodell mit CT und Iso-C^{3D} gleich häufig und ohne signifikanten Unterschied korrekt gestellt werden (■ Abb. 3), wohingegen bei Durchleuchtung mit dem C-Bogen ($p \leq 0,05$) und anhand des konventionellen Röntgenbilds ($p \leq 0,001$) eine signifikant höhere diagnostische Unsicherheit zu verzeichnen war [1].

Entsprechende Ergebnisse erhielten wir bei der vergleichenden Diagnostik von Pedikelschrauben mittels CT und Iso-C^{3D} (■ Abb. 4).

Bei weiteren Untersuchungen an Kadavern stellten wir fest, dass am Rumpfskelett zwar eine Bildgebung in ausreichender Qualität möglich ist, diese aber sehr stark vom umgebenden Weichteilmantel abhängt. So ist bei adipösen Kadavern die Bildqualität bei der Darstellung von Wirbelsäule und Becken grenzwertig.

Patientenlagerung

Bei der Anwendung des Geräts am Patienten sind metallfreie Tische bzw. Tischeile notwendig, ohne die eine artefaktfreie Bildgebung unmöglich ist. In unserem klinischen Routinebetrieb hat sich Tischzubehör aus röntgendurchlässigem Material bewährt, wie z. B. ein Handtisch aus Karbonfasergewebe sowie die 40 cm breite, so genannte Neuroplatte (Fa. Maquet), die wir für Eingriffe an der HWS und an der unteren Extremität verwenden. An diese Platte kann über die schwalbenschwanzförmige Steckverbindung noch eine röntgendurchlässige Tischverlängerung angeflanscht werden (■ Abb. 5). Hierauf kann der Patient so gelagert werden, dass auch BWS, LWS oder Becken ohne Metallartefakte bildlich dargestellt werden können.

Klinischer Work-flow und klinische Bildbeispiele

Hauptanwendungsbereiche sind periphere Gelenkfrakturen der oberen und unteren Extremität, aber auch Becken- (Sakroiliakgelenkverschraubungen, Aze-tabulumfrakturen) und Wirbelsäuleneingriffe (Osteosynthesen, Fixateur-interne-Montagen, Kypho- bzw. Vertebro-

Trauma Berufskrankh 2004 · 6 [Suppl 2] : S185–S190
DOI 10.1007/s10039-004-0861-1
© Springer-Verlag 2004

E. Euler · S. Heining · S. Wirth · D. Kotsianos · W. Mutschler

3D-Bildwandler – Erfahrungen zu Aufwand und Benefit

Zusammenfassung

Mit dem isozentrischen C-Bogen Siremobil Iso-C^{3D} ist die dreidimensionale Darstellung von Hochkontrastobjekten in situ möglich. In einer Serie experimenteller Studien an anatomischen Leichenpräparaten konnte gezeigt werden, dass die Anwendung an kleinen Extremitätengelenken eine ausreichende diagnostische Sicherheit bietet, die mit der Computertomographie (CT) vergleichbar ist. Die dreidimensionale Darstellung von Teilen des Rumpfskeletts (Wirbelsäule, dorsaler Beckenring, Hüftgelenk) ist ebenfalls möglich. Für die intraoperative Lagekontrolle reponierter knöcherner Fragmente und eingebrachten Osteosynthesematerials ist das 3D-Ver-

fahren der intraoperativen Durchleuchtung deutlich überlegen. Wegen der CT-ähnlichen Bildqualität können Knochen- und Gelenkoberflächen gut dargestellt werden, sodass die Methode bei traumatologisch-orthopädischen Eingriffen bereits einen hohen Stellenwert hat. Einen besonderen Wert erlangt das Verfahren durch die Kombination mit Navigationssystemen.

Schlüsselwörter

C-Bogen-Computertomographie · Computer-assistierte Chirurgie · 3D-C-Bogen-Navigation

3D Image transformers – experience relating to cost and benefit

Abstract

The Iso-C-3D isocentric C-arm allows 3D visualization of high-contrast objects in situ. In a series of experimental studies on anatomical cadaveric preparations, it has been shown to be comparable to computed tomography (CT) in the degree of reliability of diagnosis it offers when used on small joints in the extremities. 3D visualization of parts of the trunk skeleton, e.g. spinal column, dorsal pelvic girdle and hip joint is also possible. This is very useful for intraoperative checks on the positioning of replaced bone fragments and of any hardware inserted for internal fixation, such as pedicle screws, and clearly superior to

intraoperative fluoroscopy with subsequent conventional X-ray inspection and CT. Since the image quality is similar to that of CT, bones and joint surfaces can be visualized so well that the method is already highly valued for intraoperative use in trauma and orthopaedic surgery. Its use in combination with navigation systems is especially valuable.

Keywords

C-arm computed tomography · Computer-assisted surgery · 3D-C-arm-navigation

Abb. 5a, b ◀ Röntgendurchlässiges Tischzubehör aus Kohlenstofffasergewebe (a „Neuroplatte“, b Tischverlängerung; Fa. Maquet, Rastatt) zur Artefaktvermeidung erforderlich

Abb. 6a, b ▲ Tibiakopfbrüche: intraoperative Schichtbilder vor (a) und nach (b) Schraubenosteosynthese

plastien). Der folgende Workflow hat sich hierbei etabliert:

1. Frakturpositionierung und präliminare Fixierung in der bisher üblichen Technik unter zweidimensionaler Bildwandlerkontrolle
2. Kontrolle im dreidimensionalen Iso-C^{3D}-Datensatz (präliminärer Scan)
3. definitive Osteosynthese, ggf. unter Durchleuchtungskontrolle

4. ggf. abschließende 3D-Bildgebung (definitiver Scan) ■ Abbildungen 6 und 7 geben Anwendungsbeispiele aus der klinischen Praxis wieder.

Einfluss der 3D-C-Bogen-Technologie auf die perioperative Diagnostik

Die intraoperative 3D-Bildgebung mit dem Iso-C^{3D} ersetzt einen großen Teil der bislang durchgeführten postopera-

tiven CT-Untersuchungen und z. T. auch die präoperative CT-Bildgebung. Dieser Trend zeigt sich zumindest bei Gelenkfrakturen der Extremitäten und Frakturen des Tarsus (■ Abb. 8).

DICOM-Datensatz und weitere Einsatzbereiche

Die Daten, die während eines Scans erhoben werden, werden im DICOM-Format

Abb. 7 ◀ Talusluxationsfraktur im konventionellen Röntgenbild (Rx) und im präoperativen Computertomogramm (CT); intraoperative Iso-C^{3D}-Bilder (Iso-C^{3D}) zeigen Rekonstruktionsergebnis und Schraubenlage

Abb. 8 ▲ Anteil an dreidimensionaler Bildgebung vor und nach Einführung des Iso-C^{3D} bei Tibiakopf- und Kalkaneusfrakturen

gespeichert und stehen für andere Anwendungen zur Verfügung. Sie können z. B. für Bildbearbeitungsprogramme verwendet oder auch in ein Navigationssystem eingelesen werden. Hierbei kann das Navigationssystem während des Scanvorgangs über eine gleichzeitige LED-basierte Registrierung der C-Bogen-Position und des Objekts (Knochen) die räumliche Zuordnung zwischen realem Objekt und dem virtuellen Bild herstellen. Dadurch werden eine Registrierung z. B. durch „paired-point-matching“ oder Oberflächenmatching unnötig und eine sofortige Navigation im Bilddatensatz ermöglicht.

Diskussion

Die intraoperative dreidimensionale Bildgebung ist mit dem C-Bogen Siremobil Iso-C^{3D} möglich und wird aufgrund des hohen Aussagewerts der Bilder zur Steigerung der Versorgungsqualität unfallchirurgisch-orthopädischer Operationen beitragen. Dies gilt besonders für Opera-

tionen an den Extremitätengelenken und an Fußwurzelknochen. Wölfl et al. [7] haben bei der operativen Versorgung von 52 Kalkaneusfrakturen in 8 Fällen unmittelbare Konsequenzen (Korrektur der Reposition, Platzierung von Osteosyntheseschrauben) gezogen. Auch an Wirbelsäule (Pedikelschrauben) und Becken (Sakrum, Sakroiliakgelenk, Azetabulum) ist die 3D-Bildgebung möglich und sinnvoll. Allerdings sind dazu Operationstische oder Zubehör aus röntgendurchlässigem Material erforderlich.

Die Strahlenbelastung ist für die Extremitätendarstellung vergleichbar mit der einer CT-Untersuchung, für Rumpfabschnitte etwas höher [6]. Zu beachten ist die Streustrahlung [6], die während der Bildakquisition für die 3D-Rekonstruktion – im Gegensatz zur bisherigen C-Bogen-Durchleuchtung – durch Einhalten eines Sicherheitsabstands von 3,50 m vermieden werden kann.

Durch Export der Bilddaten in ein Navigationssystem ist die dreidimensionale Navigation unabhängig von zuvor er-

stellten CT-Datensätzen und auch in intraoperativ aktuell erzeugten Schichtbildern möglich [2]. Als ein großer Vorteil ist zu nennen, dass bei der dreidimensionalen Navigation mit einem intraoperativ hergestellten Iso-C^{3D}-Datensatz die intraoperative Strahlendosis im Vergleich mit der CT-basierten Navigation deutlich geringer ist [3].

Im Zusammenhang mit der Navigation sehen wir ein besonderes Potenzial des Systems für die Weiterentwicklung minimalinvasiver Verfahren.

Korrespondierender Autor

Prof. Dr. E. Euler

Chirurgische Klinik und Poliklinik,
Klinikum Innenstadt, Universität München,
Nussbaumstraße 20, 80336 München,
E-Mail: Ekkehard.Euler@med.uni-muenchen.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. Euler E, Wirth S, Linsenmaier U et al. (2001) Vergleichende Untersuchung zur Qualität C-Bogen-basierter 3-D-Bildgebung am Talus. Unfallchirurg 104: 839–846
2. Euler E, Heining S, Riquarts C et al. (2003) C-arm based three-dimensional navigation: a preliminary feasibility study. Comput Aided Surg 8: 35–41
3. Gebhard F, Kraus M, Schneider E et al. (2003) Intraoperative Strahlendosis bei Computer assistierten Verfahren. 120. Kongress der DGCH, Abstract-CD, Deutsche Gesellschaft für Chirurgie, 29. April–2. Mai 2003, ICM München
4. Heining SM, Euler E, Wirth S et al. (2001) Neue 3D-Bildgebung mit einem rechnerunterstützten C-Bogen erhöht die diagnostische Sicherheit bei der Pedikelverschraubung. Hefte Unfallchirurg 283: 110–111
5. Kotsianos D, Rock C, Euler E et al. (2001) 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D): Erste Bildbeispiele zur Frakturdiagnostik an peripheren Gelenken im Vergleich mit Spiral-CT und konventioneller Radiologie. Unfallchirurg 104: 834–838
6. 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). Fortschr Röntgenstr 174: 170–176
7. Wölfl Ch, Schmidt A, Grützner P et al. (2003) Einfluß der intraoperativen 3D-Bildgebung mittels ISO-C^{3D} bei Kalkaneusosteosynthesen – Ergebnisse einer Serie von 50 Frakturen. 120. Kongress der DGCH, Abstract-CD, Deutsche Gesellschaft für Chirurgie, 29. April–2. Mai 2003, ICM München

„Trauma und Berufskrankheit“ bietet aktuelle Beiträge zu Fragen der Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, der Berufserkrankungen sowie zu Themen der Unfallverhütung, der operativen und konservativen Therapie.

Möchten Sie ein bereits erschienenes Heft nachbestellen? Die folgenden Ausgaben können Sie direkt bei unserem Kundenservice zum Preis von je EUR 35,- beziehen:

Heft 4/2003

Leitthema:

- Berufskrankheiten

Standards in der Unfallchirurgie:

- Kopf/Schädel-Hirn-Verletzungen

Begutachtung:

- Technische Gutachten im Sozialgerichtsprozess unter Berücksichtigung der Berufskrankheiten

Qualitätssicherung:

- EDV-gestützte Auswertung von Begutachtungsdaten

Heft 1/2004

Leitthema:

- Hyperbare Sauerstofftherapie

Standards in der Unfallchirurgie:

- Abdomen, Thorax, große Gefäße

Heft 2/2004

Leitthema:

- Handverletzungen

Standards in der Unfallchirurgie:

- Instabile Schulter

Begutachtung:

- Das handchirurgische Gutachten

Berufskrankheit:

- Naturlatexallergie

Arbeitsmedizin:

- Tabakrauch am Arbeitsplatz

Begutachtung:

- Arbeitskreis „Querschnittlähmungen“

So erreichen Sie unseren Kundenservice:

Springer-Verlag

Kundenservice Zeitschriften

Haberstr. 7, 69126 Heidelberg

Tel.: +49 6221 345-4303

Fax: +49 6221 345-4229

E-Mail: subscriptions@springer.de

TraumaundBerufskrankheit.springer.de