Navigation – Erfahrungen zu Kosten und Nutzen in der Extremitätenversorgung

Die Navigation befindet sich in einem Stadium der raschen Entwicklung, die in einzelnen Bereichen bereits weit fortgeschritten ist. Dies betrifft besonders die Wirbelsäulenchirurgie sowie Knie- und Hüftendoprothetik. Die Navigation erfordert die Synchronisation von realer Anatomie und virtuellem Bild – meist über Infrarotkameras, wobei auch magnetische Systeme entwickelt wurden [1, 7].

In der Traumanavigation erfolgte diese Synchronisation primär von Anatomie und virtuellem Bild mittels Computertomographie. Erste Untersuchungen von ISG-Verschraubungen, Wirbelsäuleneoperationen und Beckenumstellungsosteotomien haben gezeigt, dass die reine CT-basierte Navigation für die Unfallchirurgie unbrauchbar ist, da der Datentransfer zu aufwändig ist und bei der Frakturversorgung der ursprüngliche Datensatz aufgrund der Repositionsmanöver nicht mehr mit der aktuellen Fraktur-anatomie übereinstimmt [5, 6]. Mit der Einführung der Synchronisation von C-Bogen-Bildern sind jetzt anwendbare und weiter entwickelbare Systeme etabliert worden. Für die Traumanavigation gibt es inzwischen über 20 Systeme von verschiedenen Anbietern wie z. B. BrainLAB (Novalis), SurgiGATE (Medivision), iON-System

(Medtronic) und das von uns verwendete Navigationssystem der Fa. Stryker [7]. Alle Systeme basieren auf der Integration des C-Bogens, der die Fraktur-anatomie radiologisch erfasst, und unterscheiden sich bisher im Wesentlichen hinsichtlich

- Anwendbarkeit,
- Praktikabilität und
- „software features“.

Ziele der Traumanavigation sind:

- Zielgenaues Operieren unter permanenter „virtueller Röntgensicht“ in mehreren Ebenen
- Verbesserung der Operationssicherheit
- Erweiterung der minimalinvasiven Chirurgie
- Planung unmittelbar vor bzw. während des Eingriffs
- Verbesserung der intraoperativen Dokumentation
- Reduktion spezifischer Führungsinstrumente
- Reduktion der Strahlenbelastung

Insbesondere Operateur und Operationspersonal sind bei den verschiedenen Osteosynthesen immer wieder Röntgenstrah-

len ausgesetzt. Die Durchleuchtungszeit bei der Marknagelosteosynthese beträgt zwischen 3 und 30 min, wobei bis zur Hälfte der Zeit für die Freihandverriegelung der Nägel verwendet wird [8]. Suhm et al. [9] konnten bei ihren ersten Untersuchungen zur Navigation der distalen Verriegelung zeigen, dass die mittlere Röntgenzeit lediglich 16 s betrug und es nur in 2,3% der untersuchten Fälle zu Fehlplatzierungen kam. Die momentanen Möglichkeiten der Traumanavigation ergeben daher folgendes Indikationsspektrum für solche Systeme:

- Eintrittspunktbestimmung bei der Marknagelosteosynthese
- Reposition der beiden Hauptfragmente (z. B. Marknagelung des Femurs)
- Verriegelung bei der Marknagelosteosynthese
- Schraubenplatzierung:
 - a) Gelenknah (Hüft-, Knie-, Sprunggelenk)
 - b) Zugschraubenplatzierung
 - c) Becken (Ileosakralfuge, Azetabulum)
- Fixateur externe (Pinplatzierung)
- Längen-, Winkel- und Durchmesserbestimmung (z. B. Osteotomieplanung)

Abb. 1a,b ◀ Schemazeichnung der Systemplattform (a) und der verschiedenen „smart tools“ (b) wie Tracker (A), Kalibriergerät (B), Pointer (C) und C-Arm-Adapter (D)

Abb. 2 ◀ Schemazeichnung der Verankerungssysteme und speziellen Traumanavigationsinstrumente, die über einen integrierten Verankerungsring stabil mit dem Tooltracker verbunden werden können

Abb. 3 ▲ Schemazeichnung der Patientenpositionierung während eines navigierten operativen Eingriffs im Bereich der Hüfte bzw. des Oberschenkels

Material und Methode

Das verwendete System der Fa. Stryker wird seit November 2002 in den beiden beteiligten Kliniken im klinischen Einsatz evaluiert. Mit Hilfe einer speziellen Systemplattform werden über eine Infrarotkamera die Position von C-Arm, Patient und Instrument im Raum erfasst und dem dazugehörigen Röntgenbild überlagert. Damit wird eine graphische Darstellung der Instrumente in den verschiedenen Röntgenebenen am Computerbildschirm ermöglicht. Das verwendete System ist kabellos. In die mit LED bestückten Tracker für Patient und Instrumente sowie die Kalibrierstation und den C-Arm-Adapter sind Chips integriert, die permanent gespeicherte Daten über das Tool enthalten, aber auch temporäre Daten bei der aktuellen Navigation speichern. Als Energiequelle für die aktiven Tools dienen Fotobatterien. Eine Batterie wird präoperativ in den C-Arm-Adapter eingelegt, andere stehen während der Operation steril für die verwendeten Tools zur Verfügung (■ Abb. 1). Diese Navigationstools werden ergänzt durch modulare Tools, die z. B. die feste Verankerung des Patiententrackers erlauben oder auch eine Fixation des Tooltrackers an verschiedenen konventionellen Instrumenten. Zusätzlich wurden spezifische Instrumente entwickelt, die einen speziellen Adapterring zur festen Fixation des Tooltrackers aufweisen (■ Abb. 2).

Wichtig im praktischen Einsatz ist die Positionierung der verschiedenen Komponenten im OP, wie Systemplattform, C-Arm und Operationstisch. Der Eingriff muss vorab geplant und die Positionen müssen beachtet werden, damit Patiententracker und Tooltracker während der Navigation nicht verdeckt werden (■ Abb. 3). Danach erfolgen die Vorbereitung und die Positionierung des Patienten mit Fixation des Patiententrackers (z. B. vorderer Beckenkamm) (■ Abb. 4). Die Toolvorbereitung beinhaltet die Fixation des Tooltrackers an dem zu benutzenden Tool wie z. B. der Bohrmaschine, Hülsen oder auch dem Pfriem. Die Kalibrierung kann dann entweder als Achskalibrierung – die eine Richtungsbestimmung und verschiedene Messungen erlaubt – oder als Punktkalibrierung erfolgen. Nach Aktivierung des

Zusammenfassung · Abstract

Trauma Berufskrankh 2004 · 6 [Suppl 2] : S191–S196
DOI 10.1007/s10039-003-0767-3
© Springer-Verlag 2003

J. Frank · M. Militz · V. Bühren · M. Mack · I. Marzi

Navigation – Erfahrungen zu Kosten und Nutzen in der Extremitätenversorgung

Zusammenfassung

Seit November 2002 wird in den Kliniken der Autoren ein Traumanavigationssystem getestet, welches eine kabellose Navigation mit einer Systemplattform ermöglicht, die über eine Infrarotkamera speziell entwickelte Patienten- und Tooltracker, Zeigeinstrumente, Kalibrierstation und den Tracker des Fluoroskops im Raum erkennt und am Computerbildschirm virtuell darstellt. Die Bilder werden den entsprechenden Röntgenbildern überlagert. Das System wurde inzwischen bei verschiedenen operativen Eingriffen eingesetzt und verbessert. Durch den Einsatz des Verfahrens konnte die Durchleuchtungszeit deutlich reduziert werden, die Verlängerung der Operationszeit betrug zwischen 15 und 30 min. Ungenauigkeiten bzw. ein Versagen des Systems wa-

ren meist durch Lockerung des Patiententrackers und die Instabilität bzw. Verbiegung des Bohrers bei der Navigation bedingt. Die Navigation der Frakturreposition am Oberschenkel hat sich als schwierig erwiesen und ist nicht bei allen Frakturtypen möglich. Das Navigationssystem ist für die Frakturversorgung im Bereich der Extremitäten einsetzbar. Es werden insbesondere die Strahlenbelastung reduziert und die Genauigkeit verbessert. Bis zum Routineeinsatz sind jedoch noch Optimierungen notwendig.

Schlüsselwörter

Traumanavigationssystem · Frakturreposition · Strahlenbelastung · Marknagelosteosynthese

Navigation – Experience related to the cost-benefit ratio in surgery of the extremities

Abstract

Since November 2002 the authors are testing a trauma navigation system in their departments. It allows cord-free navigation with a system platform that recognizes especially developed patient trackers, tool trackers, pointers, and a calibration station and the tracker of the fluoroscope in space by means of an infrared camera. These virtual objects are shown on the computer monitor. These images are superimposed on the corresponding X-ray pictures. The system has meanwhile been used during various operative procedures, in addition to which further anchoring systems and navigation instruments have been developed. The use of this navigating system has lead to a remarkable reduction of X-ray exposure, while the operating time has been

extended between 15 and 30 min. Inaccuracies or failures of the system were usually caused by loosening of the patient tracker and instability or deformation of the drill during navigation. Navigation has proved to be difficult in the case of a fracture realignment in the thigh and is not applicable to all types of fracture. This navigation system can thus be used for the treatment of fractures in the region of the extremities. In particular, its use reduces the exposure to radiation and improves accuracy. However, some improvements are needed before it can be used routinely.

Keywords

Trauma navigation system · Fracture realignment · Radiation exposure · Intramedullar nailing

Abb. 4 ▲ Schemazeichnung einer Nageleintrittspunktnavigation mit Patiententracker am Beckenkamm und Tooltracker am Pfriem

Abb. 5a–d ▲ Nageleintrittspunktnavigation am distalen Femur (a,b), **gelbe Linie** virtuelle Bohrrichtung, **blaue Linie** virtuelle Position des navigierten Instruments; Führungshilfe zur C-Arm-Positionierung (c,d), **gelber** Führungskreis zur korrekten Positionierung des Bildverstärkers; exemplarisch im Bereich des Schenkelhalses dargestellt

C-Bogens kann die Navigation beginnen. Zur besseren Orientierung bildet das System die verschiedenen Tracker ab. Als Validierung kann in einem ersten Schritt der Patiententracker geröntgt werden und wird bei korrekter Einstellung passgenau von einem Overlay überlagert. Die Traumanavigation beginnt dann im Allgemeinen

mit Röntgenaufnahmen in den notwendigen Ebenen.

Neben der in **Abb. 5a,b** dargestellten Navigation des distalen Eintrittspunkts bei einer einfacheren distalen Schaftfraktur ist insbesondere die Führungshilfe zur C-Arm-Positionierung sehr hilfreich. Der auf dem Computerbildschirm dargestellte

gelbe Kreis zeigt die Position des C-Bogens und reduziert die Strahlenexposition, da der Bildverstärker vorher an die korrekte Position gebracht werden kann (**Abb. 5c,d**). Die Navigation der Frakturpositionierung bei einem distalen Femurnagel und die Navigation der Verriegelungsschrauben sind in **Abb. 6** dargestellt.

Ergebnisse

Das gewählte System mit dem dazu entwickelten „work-flow“ konnte im klinischen Alltag eingesetzt werden. Speziell die Durchleuchtungszeit konnte, wie zu erwarten, deutlich reduziert werden. Als mittlere Röntgenzeit der letzten 6 navigierten Femurmarknagelosteosynthesen fanden sich im Schnitt 3,13 min, die Röntgenzeit der letzten 10 konventionellen Marknagelungen betrug dagegen 7,45 min.

Insgesamt wurden bis zum jetzigen Zeitpunkt

- 18 Marknägel,
- 1 Fixateur externe,
- 4 USG-Verschraubungen,
- 4 ISG-Verschraubungen und
- 4 Schenkelhalsverschraubungen

navigiert. Bei diesen Eingriffen wurde das System zur Pin- und Schraubenplatzierung verwendet. Bei der Marknagelosteosynthese waren Eintrittspunktbestimmung, Reposition und Verriegelung möglich.

Als Fehler wurden ein Systemabsturz, zeitweise schlechte Bildqualität, Fehlplatzierung von Verriegelungsschrauben und die fehlende Erfassung des Repositionslöffels beobachtet. Die Fehlerquellen waren im Wesentlichen die schlechte Lagerung und damit Trackerpositionierung bzw. präoperative Planung, die instabile Fixierung des Patiententrackers (Fehlplatzierung einer Verriegelungsschraube) und die Instabilität des Bohrers (falsche Toolwahl). Zusätzlich war es zeitweise problematisch, die Tools im navigierten/digitalisierten Volumen (Operationsfeld) zu erfassen. Dies gilt insbesondere für den sehr langen Repositionslöffel und die Pin- und Schraubenplatzierung am Becken.

Abb. 6a–e ▲ Navigation der Frakturreposition und proximalen Verriegelung eines distalen Femurnagels, a,b Patiententracker am proximalen Fragment: a intraoperatives Setup zur navigierten Reposition mit b radiologischer Kontrolle der Spitze des Repositionslöffels nach Reposition, gelbes Kreuz virtuelle Spitze des Repositionslöffels; ist deckungsgleich mit dem Durchleuchtungsbild, c–e Navigation der proximalen Verriegelung des eingebrachten Nagels, c intraoperatives Setup, d,e Durchleuchtungsbilder, d navigierte Verriegelung, e abschließende Kontrolle der Schraubenposition

Diskussion

Unsere bisherigen Erfahrungen mit dem eingesetzten System und den gewonnenen Daten zeigen, dass die Navigation in der Frakturversorgung im Bereich der Extremitäten und des Beckens hilfreich ist. Die propagierten Möglichkeiten wie Eintrittspunktbestimmung für Marknagelosteosynthesen, Längen- und Durchmesserbestimmungen, Winkelmessungen, Reposition, Verriegelung, Schraubenplanung, bessere Präzision bei gelenknahen Frakturen (z. B. Hüfte, Becken) können genutzt werden. Die permanente Sicht in verschiedenen Ebenen am PC-Bildschirm verbessert die räumliche Orientierung ohne aufwändige Röntgenmanöver und die primäre Pin- bzw. Schraubenplatzierung. Unsere Erfahrungen bestätigen die publizierten Erfahrungen [6, 8].

Die Reduktion der Strahlenbelastung ist von besonderer Bedeutung. Relevante Schäden – insbesondere für das regelmäßig exponierte Personal – lassen sich statistisch nicht erfassen, da dies erst ober-

halb einer Dosis von 0,2–0,5 Gy möglich ist. Selbst die medizinische Strahlenexposition als mittlere Jahresdosis pro Kopf der Bevölkerung ist nicht exakt bekannt. Ein grobe Abschätzung ergibt 1,5 mGy pro Kopf, was einem erhöhten Risiko von schätzungsweise 500 Leukämien und 2000 anderen Tumoren jährlich durch diagnostische Strahlen entspricht [2, 3, 4]. Die Mortalitätsrate pro Jahr einer Röntgenuntersuchung der Lunge beträgt 1:100.000 und ist deutlich geringer als die Wahrscheinlichkeit, vom Blitz getroffen zu werden (Mortalitätsraten: Blitzschlag 1:1.000.000; Verkehrsunfall 1:7100; Drachenfliegen 1:500; landwirtschaftlicher Beruf 1:1350; Bauwesen 1:1230). Bei anderen Untersuchungen mit einer deutlich höheren Dosis wie einer konventionellen Angiographie steigt das Risiko auf 1:700 und liegt damit im Bereich zwischen gefährlichen Berufen und Drachenfliegen [2]. Solche Daten sollten den operativ tätigen Chirurgen, der täglich mit Röntgenstrahlung „arbeitet“, nachdenklich machen und die Notwendigkeit der Entwick-

lung von Systemen zur Reduktion der beruflichen Strahlenbelastung verdeutlichen.

Das Navigationssystem erlaubt auch während des operativen Eingriffs das Beiseiteschieben des Fluoroscops, welches störend sein kann. Zudem wird das Infektionsrisiko für den Patienten gesenkt, da auf eine häufige Positionierung des Fluoroscops und erneute sterile Abdeckungen verzichtet werden kann.

Bis zu einer breiten Anwendung der Navigationssysteme müssen noch einige Probleme beseitigt werden. Hierzu gehören insbesondere die Systemerweiterung, die die Navigation von 2 Frakturfragmenten erlaubt, die Achse, Länge und Rotation kontrolliert, die dritte Ebenen integriert und mit einer weiteren Vereinfachung des Arbeitsablaufs ein universelles Traumanavigationssetting ermöglicht. Die Optimierung und Realisierung dieser wesentlichen Verbesserungen, ggf. mit Integration einer präoperativen Planung, wird dann auch deutlich weniger potenzielle Anwender vor der kurzfristigen Investitionssumme abschrecken.

Korrespondierender Autor

Priv.-Doz.Dr. J. Frank

Klinik für Unfall-, Hand-
und Wiederherstellungschirurgie,
Johann-Wolfgang-Goethe-Universität,
60590 Frankfurt am Main,
E-Mail: j.frank@trauma.uni-frankfurt.de

Literatur

1. Dotzel V, Wetzel D, Wilhelm D, Schneider A, Wessels G, Feussner H (2003) Roboter- und Navigationssysteme: Praktikabilität für den Operateur – Nutzen für den Patienten? Zentralbl Chir 128: 227–231
2. Jung H (1991) Die Risiken der Röntgendiagnostik. Röntgenstrahlen 66: 1–8
3. Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern (1996) Grundkurs im Strahlenschutz für Ärzte nach der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung. Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern, Berlin
4. Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern (1996) Spezialkurs (Röntgendiagnostik) für Ärzte nach der Röntgenverordnung. Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern, Berlin
5. Langlotz F, Stucki M, Bachler R, Scheer C, Ganz R, Berlemann U, Nolte L-P (1997) The first twelve cases of computer assisted periacetabular osteotomy. Comput Aided Surg 2: 317–326
6. Langlotz F, Bachler R, Berlemann U, Nolte L-P, Ganz R (1998) Computer assistance for pelvic osteotomies. Clin Orthop 354: 92–102
7. Pott P, Schwarz M (2002) Robotik, Navigation, Telechirurgie: Stand der Technik und Markübersicht. Z Orthop Ihre Grenzgeb 140: 218–231
8. Sanders R, Koval KJ, Di Pasquale T, Schmelling G, Stenzler S, Ross E (1993) Exposure of the orthopaedic surgeon to radiation. J Bone Joint Surg Am 75: 326–330
9. Suhm N, Jacob AL, Nolte L-P, Regazzoni P, Messmer P (2000) Surgical navigation based on fluoroscopy – clinical application for computer-assisted distal locking of intramedullary implants. Comput Aided Surg 5: 391–400

Call for papers

Die Zeitschrift Trauma und Berufskrankheit steht für eine ganzheitliche Information zu Fragen aus dem Bereich der Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, der Berufserkrankungen sowie für die Bearbeitung aller Aspekte der gesetzlichen Unfallversicherung.

In diesem Rahmen werden Themen der Unfallverhütung, der Diagnostik, der operativen und konservativen Therapie, der Folgeschäden und Folgeeingriffe, der Rehabilitation sowie gesetzliche Grundlagen, Kriterien der Entschädigung und Aspekte der Umschulung u. a. behandelt.

Um diese Themenvielfalt aktuell und praxisnah in der Zeitschrift abzubilden, möchten wir Sie ermuntern, interessante Arbeiten bei uns einzureichen.

Im Vordergrund stehen dabei Beiträge, die sich mit folgenden Themen befassen:

- Berufskrankheiten
- BG-Heilverfahren
- Arbeitsmedizin
- Begutachtung
- Rehabilitation
- Qualitätssicherung
- Der besondere Fall
- Forschung
- Spezielle Techniken, Innovationen
- Arzneimitteltherapie
- Tipps & Tricks

Bitte schicken Sie Ihre Manuskripte in 2-facher Ausfertigung inkl. Diskette (bzw. Datei per E-Mail) an Herrn Prof. Dr. D. Wolter (koordinierender Schriftleiter) oder Herrn Priv.-Doz. Dr. C. Jürgens, Ärztlicher Direktor des Berufsgenossenschaftlichen Unfallkrankenhauses, Bergedorfer Straße 10, 21033 Hamburg, Tel.: 040/7306-2701, Fax: 040/7306-2703, E-Mail: ch.juergens.bukh@t-online.de

Ihre Arbeit wird anschließend von wenigstens zwei Gutachtern geprüft.

Die Schriftleitung behält sich das Recht vor, Manuskripte abzulehnen.

Unsere Hinweise für Autoren finden Sie im Internet unter

TraumaundBerufskrankheit.springer.de