

IGS (Image Guided Surgery) – Phantomversuche und erste klinische Erfahrungen mit einem neuartigen CT-basierten Navigationssystem

Ulrich H.W. Krause¹, Markus Nagel² und Rainer M.M. Seibel¹

¹MRI – Mülheimer Radiologie Institut; Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Medizinische Computerwissenschaften Universität Witten/Herdecke

²Institut für Medizinische Physik, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
Email: krause@mri.de

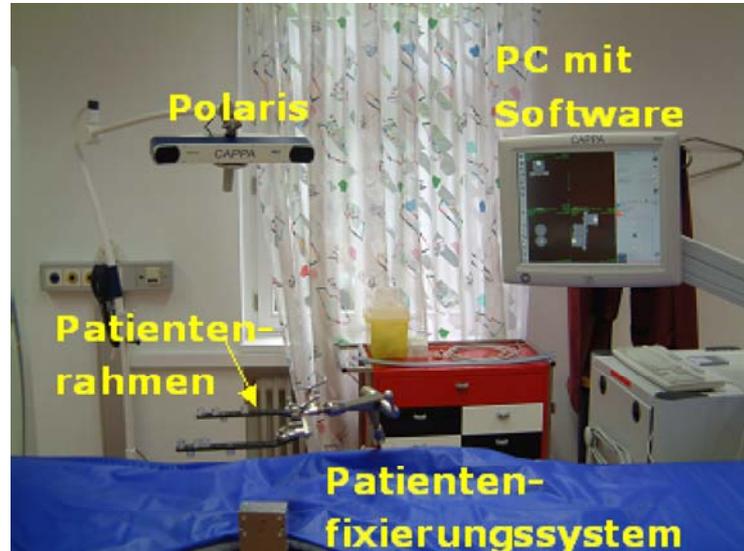
Zusammenfassung. Zusammenfassung Das Ziel der vorliegenden Studie war die Durchführung einer Genauigkeitsmessung mit einer neuen Navigationsstation (CAPP IRAD, CAS Innovations AG, Erlangen, Deutschland). Im Rahmen der Studie wurden zunächst in 2 speziellen Phantomstudien die technische Genauigkeit des Systems und die Genauigkeit der Nadelpositionierung gemessen. In anschließenden klinischen Tests wurde der Einsatz am Patienten unter lokaler Anästhesie und klinischen Bedingungen erprobt und die Genauigkeit erneut unter Beweis gestellt. Die beiden Studien zeigten eine Genauigkeit des Navigationssystems von kleiner 1 mm. Die durchgeführten klinischen Applikationen konnten alle erfolgreich beendet werden. Auftretende Abweichungen bei der Nadelplatzierung konnten alle auf Patientenbewegungen zurückgeführt werden.

1 Einführung

Bildgestützte minimal invasive Interventionen sind heutzutage Stand der Technik [1,2,3] und aus der Interventionellen Radiologie nicht wegzudenken. Gegenüber invasiven Eingriffen bestehen bei minimal invasiven Interventionen zahlreiche Vorteile: Kürzere Interventionszeit, Lokalanästhesie, geringere Komplikationsrate, geringere Kosten etc.. Auf der anderen Seite, existieren auch verschiedene Herausforderungen. So verlangt das Auffinden des Eintrittspunktes auf der Haut und der anschließende Freihandnadelvorschub zu einem in der Tiefe gelegenen Ziel viel Erfahrung des Radiologen. Besonders dann, wenn der Zugangsweg doppelt schräg (anguliert) oder kompliziert im Datensatz verläuft. In der Praxis existieren dazu diverse Hilfsmittel wie Laserzielsysteme, Haltevorrichtungen oder Gitter die auf die Haut aufgebracht werden [4,5,6]. Keine dieser Hilfen erlaubt eine real-time Kontrolle der Nadel im Patienten. An dieser Stelle sind neue computer-unterstützte und bild-gestützte Navigationssysteme [7] gefordert.

Ziel der bildgestützten Navigation (IGS: Image Guided Surgery) ist es, präoperativ gewonnene Bilddaten auch intraoperativ zur Verfügung zu stellen. Es gilt die exakte Position des Instrumentariums darzustellen und zu verifizieren um minimal invasive Eingriffe sicher und komplikationslos durchführen zu

Abb. 1. Navigationsstation CAPPa IRAD. Setup mit Polaris Kamera, Touchscreen, Patientenrahmen und Patientenfixierungssystem.



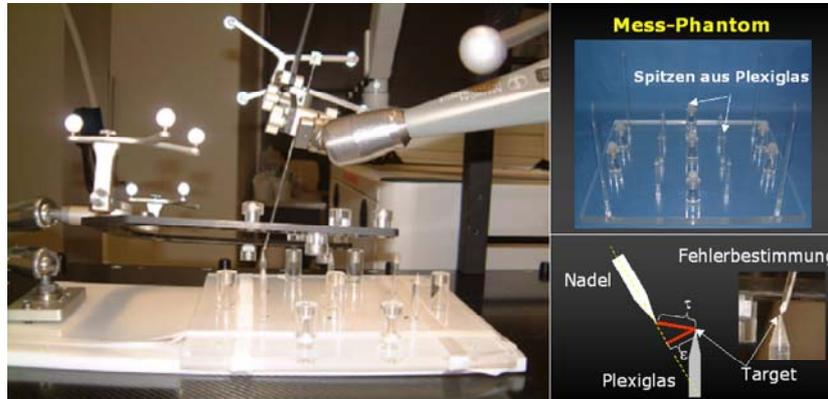
können. Die Kombination minimal invasiver Eingriffe und bilddatengestützter Navigation verspricht eine Verbesserung der dreidimensionalen räumlichen Orientierung während eines Eingriffs. Durch die CT basierte Navigation ist der Zugangsweg exakt planbar, auch bei anguliertem 3-dimensionalen Zugangsweg („approach“). Der Operateur kann durch Kontrollscans jederzeit die Instrumentenlage verifizieren. Ohne Implantation oder Aufbringen von detektierbaren Markern sind zeitlich beschleunigte Eingriffe sicher und risikofrei durchführbar.

2 Methoden

Die Navigationsstation (CAPPa® IRAD, CAS Innovations AG, Erlangen, Deutschland) besteht aus einem handelsüblichen PC mit Touchscreen Monitor, als Eingabeinterface, und der Navigationssoftware IRad, einem optischen, passiven Trackingsystem (Polaris, NDI, Kanada), einem Nadelhalter, Patientenfixierungssystem (BodyFix™, Medical Intelligence, Schwab-München, Deutschland) und einem Patientenrahmen mit optischen Markern und CT-Markern. Der Touchscreen Monitor fungiert dabei auch als „in-room“ Monitor zur Planung, Adjustierung und als Kontrollinstrument.

Für die Phantommessungen wurden zwei unterschiedliche Phantome (Plexiglas / technische Genauigkeit und präpariertes WS-Phantom / Positionierungsgenauigkeit) auf dem CT-Tisch bewegungsunfähig positioniert. Der Patientenrahmen wurde über der zu punktierenden Stelle positioniert und zusammen mit dem Phantom mit einem CT (Sensation 64, Siemens, Erlangen, Deutschland) gescannt. Das Field of View wurde am CT dabei so eingestellt, dass sich alle auf

Abb. 2. Versuchsaufbau für die Phantomstudie: Technische Genauigkeit.

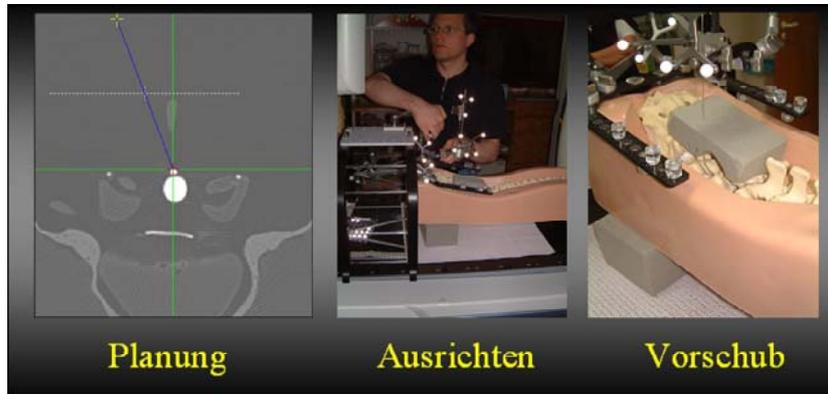


dem Rahmen befindlichen CT-Marker im Aufnahmebereich befanden. Die Navigationsstation ist über das örtliche Medizinetz (TCP/IP) mit der Workstation des CT-Gerätes verbunden. Bilddaten im DICOM Format können auf diese Weise zwischen beide Stationen beliebig ausgetauscht werden. Nach der Bildaufnahme wurden die CT-Bilder an die Navigationsstation geschickt.

Technische Genauigkeit: Zum Bestimmen der technischen Genauigkeit wurde ein spezielles Plexiglasphantom verwendet, siehe Abb. 2 oben rechts. Das Phantom besteht aus einer Grundplatte mit 7 aufgeschraubten Plexiglasstiften mit spitzen Enden. Nach dem Scannen des Phantoms zusammen mit dem Patientenrahmen wurden die Bilder an die Navigationsstation geschickt. Im Planungsmodul der Navigationssoftware wurden die 7 Spitzen der Plexiglasstifte als Ziele geplant. Der Eintrittspunkt dabei wurde beliebig gesetzt, da er für diese Messungen nicht relevant war. Als Nadel wurde eine Standard Punktionsnadel (18G) verwendet und deren Länge im Kalibrierungsschritt der Navigationssoftware bestimmt. Die Nadel wurde anschließend exakt auf die geplanten Punkte manuell ausgerichtet, siehe Abb. 2 links. Die Navigationssoftware berechnet automatisch zum einen den Abstand $|\tau|$ der virtuellen Nadelspitze zum geplanten Ziel und zum anderen das Lot $|\varepsilon|$ der verlängerten virtuellen Nadelachse zum geplanten Ziel, siehe Abb. 2 unten rechts. Beide Fehler wurden in einer Messreihe bestimmt und dokumentiert.

Positionierungsgenauigkeit: Dazu wurde extra präpariertes WS-Phantom verwendet; der intraspinale Duralsack wurde mit einer kontrastmittelgefüllten Kanüle simuliert. CT Marker zur Simulation klinischer Ziele wurden sowohl auf die Facettengelenke als auch auf den simulierten Duralsack (intraspinales, epidurales Ziel) aufgeklebt. Nach dem Scan wurden im Planungsmodul der Navigationssoftware typische Zugangswege zu den CT-Markern geplant, siehe Abb. 3, links. Die Zielpunkte der Trajektorien wurden auf die Oberfläche der entsprechenden CT-Marker gelegt. Als Nadel wurde eine Punktionsnadel (16G, 150mm) verwendet. Die Nadellänge wurde im Kalibrierungsschritt der Navigationssoftware bestimmt. Um möglichst reale Bedingungen zu erzielen wurde am Phan-

Abb. 3. Versuchsaufbau für die Phantomstudie: Nadelpositionierungsgenauigkeit.



tom der Zielbereich (einschließlich CT-Marker) mit einem Schaumstoffkissen abgedeckt. Anschließend wurde die Nadelhalterung entsprechend der Trajektorie ausgerichtet und die Nadel bis ins Ziel vorgeschoben, siehe Abb. 3, Mitte. Mit gestochener Nadel wurde ein Kontroll- CT gefahren um später die Position der Nadel zum Zielpunkt mit einer Auswertesoftware zu bestimmen, siehe Abb. 3, rechts.

In den Patientenversuche wurde analog der zu therapierende Bereich gescannt. Mittels eines Topograms wurde des Field of View so eingestellt, dass sich neben der Zielregion auch mindestens drei CT-Marker im Aufnahmebereich befanden. Der Bereich wurde anschließend gescannt, die Daten an die Navigationssoftware geschickt. Im nächsten Schritt wurde eine transversale Schicht ausgewählt, Eintrittspunkt und Zielpunkt (Target) gewählt und eine Verbindung mittels einer Linie eingezeichnet.

3 Ergebnis

Technische Genauigkeit: Es ergab sich ein Mittelwert von 0.698 mm mit einer Standardabweichung von ± 0.21 mm für den Abstand $|\tau|$ der virtuellen Nadelspitze zum geplanten Ziel und ein Mittelwert von 0.473 mm mit einer Standardabweichung von ± 0.20 mm für das Lot $|\varepsilon|$. Der Abstand der Halterung zur Nadelspitze war konstant 90 mm für alle Messungen.

Positionierungsgenauigkeit: Hier ergab sich ein Mittelwert von 0,80 mm mit einer Standardabweichung von $\pm 0,35$ mm für den Abstand $|\tau|$ der gemessenen Nadelspitze in den Kontrollscans zum geplanten Ziel und ein Mittelwert von 0,69 mm mit einer Standardabweichung von $\pm 0,36$ mm für das Lot $|\varepsilon|$. Der Abstand der Halterung zur Nadelspitze war im Mittel 105 mm und wurde vom System angegeben. Ebenso vom System angegeben war der verbleibende technische Fehler, der hier das „vom Plan abweichende“ Ausrichten bestimmt. Technischer Fehler mit einem Mittelwert von 0,23 mm ± 0.15 mm.

Patientenversuche: Es konnten mehrere minimal invasive Eingriffe (PRT - periradikuläre Therapie) an der Wirbelsäule komplikationslos durchgeführt werden. Darüber hinaus wurden mehrere diagnostische Punktionen einwandfrei bei erleichtertem und sicherem Zugang durchgeführt.

4 Diskussion

Die durchgeführten Phantomversuche und der erste klinische Einsatz zeigen, dass das CAPP IRAD Navigationssystem technisch einwandfrei funktioniert und reproduzierbar gute Ergebnisse im Submillimeterbereich liefert. Die Handhabung der Software ist gut, das Handling mit der Hardware wird sukzessive im Rahmen der Erprobung weiter verbessert.

Anders als bisher ist eine schnelle und nicht belastende Navigation CT-basiert möglich. Diffizile Eingriffe sind sicher und risikominimiert möglich. Das Ein- bzw. Aufbringen von detektierbaren Markern am Patienten ist nicht erforderlich.

Literaturverzeichnis

1. Haller JW, Ryken TC, Vannier MW. Image-Guided Therapy: Infrastructure for Practical Applications. *Acad Radiol* 2001;8:888–897.
2. Cleary K, et al. Technology Improvements for Image-Guided and Minimally Invasive Spine Procedures. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* 2002;6(4):249–261.
3. Vosburgh KG, Jolesz FA. The concept of Image-guided therapy. *Acad Radiol* 2003;10:176–179.
4. Frederick PR, et al. A light-guidance system to be used for CT-guided biopsy. *Radiology* 1985;154:535–536.
5. Miaux Y, et al. Laser guidance system for CT-guided procedures. *Radiology* 1995;194:282–284.
6. Palestant AM. Comprehensive approach to CT-guided procedures with a handheld guidance device. *Radiology* 1990;174:270–272.
7. M Nagel, G Schmidt, R Petzold, WA Kalender. A Navigation System for Minimally Invasive CT-Guided Interventions. In: *Proc MICCAI*; 2005. p. 33–40.