

3D-Planung von Trajektorie und Objekt bei neurochirurgischen Wirbelsäuleneingriffen

- Eine Fallbeschreibung -

Wissenschaftlicher Beitrag
für die 11. CURAC Jahrestagung 2012

Kosterhon M.¹, Gutenberg A.¹, Schwandt E.¹, Conrad J.¹, Kantelhardt S.R.¹, Amr A.N.¹, Gawehn J.², Giese A.¹

¹ Universitätsmedizin Mainz, Neurochirurgische Klinik und Poliklinik, Mainz, Germany

² Universitätsmedizin Mainz, Institut für Neuroradiologie, Mainz, Germany

Kontakt: alf.giese@unimedizin-mainz.de

Abstract:

Wir stellen eine neue Möglichkeit zur dreidimensionalen, präoperativen Planung vor, die nicht nur die Planung von minimalinvasiven Zugangswegen zur Wirbelsäule, sondern darüber hinaus auch eine 3D Modellierung von Instrumenten und die präoperative virtuelle Platzierung von realen Implantaten erlauben soll. Wir testeten diese Vorgehensweise erstmals im Rahmen des Débridement bei einer Patientin mit Spondylodiscitis.

Schlüsselworte: 3D präoperative Zugangsplanung, Implantatmodellierung, intraoperative 3D Navigation

1 Problem

Der Vorteil minimalinvasiver Operationstechniken liegt auf der Hand: durch ein geringeres Trauma werden sowohl intra- als auch postoperative Komplikationen reduziert und die stationären Aufenthaltszeiten verkürzt (1,3).

Im Gegensatz zu kranialen Eingriffen sind bei neurochirurgischen Wirbelsäulenoperationen virtuell geplante und navigationsgeführte minimalinvasive Verfahren noch wenig etabliert oder auf sehr spezifische Einsatzgebiete beschränkt.

Die meisten minimalinvasiven Verfahren beruhen in der transkutanen Applikation von z.B. Pedikelschrauben zur dorsalen Fusion (2). Andere, komplexere Eingriffe, wie z.B. der Wirbelkörperersatz, lassen sich perkutan jedoch nur schwer umsetzen, insbesondere an der Lendenwirbelsäule, da hier aufgrund der muskulären Umbauung und der ventrolateral gelegenen Organsysteme eine offene Darstellung des Operations Situs zu bevorzugen ist (1).

Wir haben ein bislang noch nicht etabliertes Verfahren entwickelt und an einer Patientin erprobt, das es ermöglicht in einfachen Schritten sowie mit bereits verfügbarer Software, eine 3D Planung von Operationstrajektorie, Instrumenten und Implantaten in präoperativ gefertigte 3D-CT-Sequenzen zu integrieren und so für die navigationsgestützte Wirbelsäulenchirurgie intraoperativ verfügbar zu machen. Langfristiges Ziel ist es durch schonende minimalinvasive transkutane Zugänge eine sichere und patientenabgestimmte Implantatapplikation an der Wirbelsäule zu ermöglichen.

Wir testeten dieses Planungsverfahren erstmals im Rahmen des Débridement des Bandscheibenfachs bei einer Patientin mit Spondylodiscitis. Nachdem zuvor durch robotergeführte (Renaissance™, Mazor Robotics Ltd.), perkutane, dorsale Spondylodese eine Stabilisierung erfolgte, konnte anschließend sicher transkutan von lateral zum infizierten Bandscheibenfach 3D navigiert und dieses erfolgreich ausgeräumt werden.

2 Methoden

2.1 Bildgebung

Der Zugangsplanung liegen, nach vorausgegangener diagnostischer Bildgebung, sowohl computer- als auch magnetresonanztomographische 3D-Datensätze zugrunde.

Die 3D-CT-Daten werden ohne Gantryneigung und unter Miterfassung der Hautgrenze über eine maximale Scanlänge von 300 mm und einem FoV (Field of view) von 320 mm mit 120 kV in 0,5 mm Schichtdicke, Rekonstruktionsinkrement 0,3 mm, Vo-

34

xelgröße 0,332 x 0,332 x 0,4 mm, Standard- LWS- Rekonstruktionskern (Fa. Toshiba, 32 Zeilen- Scanner Aquilon), Akquisitionszeit 31s, gewonnen.

Die 3D-MRT-Daten sollen mehreren Anforderungen genügen:

1. Erfassung des für Planung interessierenden Bereichs einschließlich der Hautgrenzen auch bei korpulenten Patienten.
2. T1- und T2- gewichtete Darstellung der Pathologie und ihrer Umgebung in ausreichender Auflösung, nach Möglichkeit auch mit Differenzierbarkeit einzelner Nervenwurzeln.
3. Vermeidung von Bewegungs- und Einfaltungsartefakten.
4. Für den Patienten zumutbare Zeit der Datenakquisition.

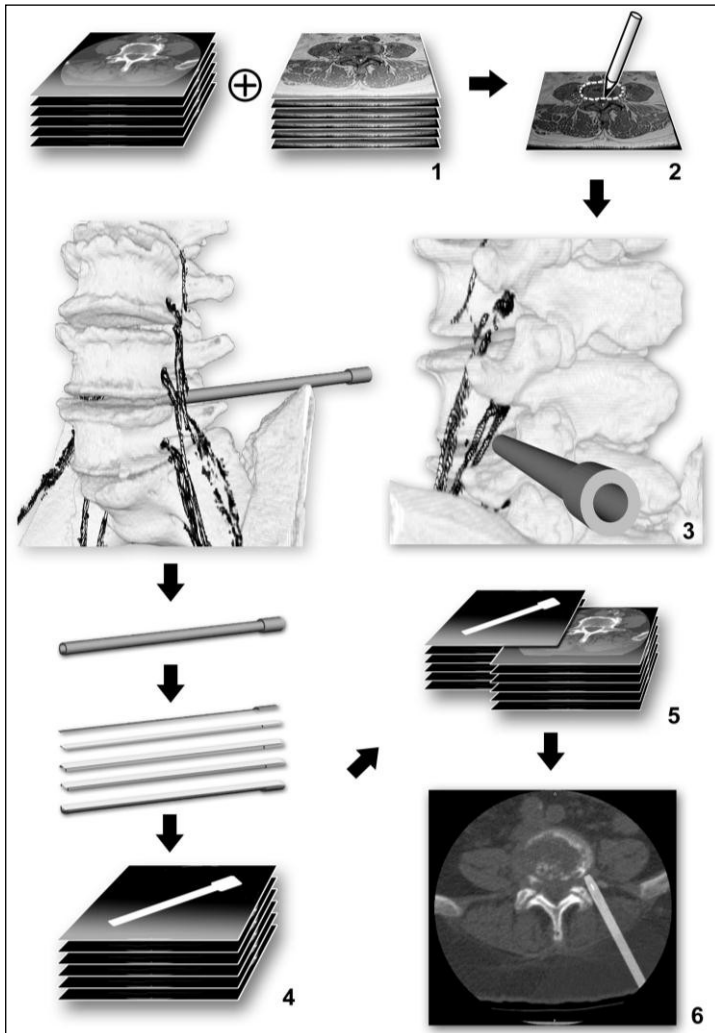
Eine singuläre 3D-Sequenz erfüllt diese Ansprüche nicht. Als geeignet erweist sich eine Kombination aus einer coronaren, T2-gewichteten Sequenz mit großem FoV und einer T1-gewichteten, transversal orientierten Sequenz mit kleinem FoV und hoher Auflösung.

Parameter der 3D-Datensätze an einem 3T Siemens Skyra MR-Tomographen, Wirbelspule + Bauchspule:

- 1.) Variabler Flipwinkel: T2 spc coronar, TR = 1520 ms, TE = 130 ms, FoV: 380 mm, 144 Schichten, Phasenkodierung hf mit 80 % Oversampling und 11% Schichtoversampling, Schichtdicke 1mm, Matrix 482*512, Voxelgröße

0,586 x 0,586 x 1,0 mm, Parallelakquisitionsfaktor 2, Akquisitionen 1,4, Akquisitionszeit 10:38 min und 2.) Gradientenecho: T1 vibe transversal, TR = 7 ms, TE = 2,45 ms, FoV: 160 mm, 224 Schichten, Phasenkodierung ap mit 90 % Oversampling und 57% Schichtoversampling, Schichtdicke 1 mm, Matrix 248*256, Voxelgröße 0,625 x 0,625 x 1,0 mm, Akquisition 1, Akquisitionszeit 10:37 min.

Trotz der relativ langen Akquisitionszeit zeigen sich bei der untersuchten Patientin außer den atmungsabhängigen Verschiebungen im Bereich der Bauchorgane keine Bewegungsartefakte im interessierenden Teil der Lendenwirbelsäule. Die Datensätze werden anschließend über das klinikinterne Netzwerk auf eine Planungsworkstation transferiert und weiter bearbeitet.



2.2 3D-Planung

Im Anschluss erfolgt die dreidimensionale Zugangsplanung mit der Visualisierungssoftware Amira® (Visage Imaging GmbH, Berlin). Die Vorgehensweise ist dabei ähnlich der in (5) beschriebenen Technik.

Schritt 1: Import der MRT- und CT-Bildsequenzen im DICOM-Format

Schritt 2: Fusionierung der Datensätze durch integrierte Registrierfunktion (Abb.1, 1)

Die MRT-Daten werden dabei durch Rotation und Translation auf das 3D-CT angepasst und die Passgenauigkeit anschließend durch unterschiedliches Anfärben der beiden Sequenzen kontrolliert.

Schritt 3: Manuelle Segmentierung relevanter Strukturen wie Nervenwurzeln, Bandscheiben oder Harnleiter (Abb.1, 2)

Schritt 4: Planung des exakten Zugangskorridors durch einen aus Polygonen modellierten, exemplarisch hier eines virtuellen Trochars mit Positionierung zum Bandscheibenfach unter Umgehung der Nervenwurzeln.

Hierzu liegt der Trochar in ca. 30° zur Sagittalebene auf dem Querfortsatz desjenigen Wirbelkörpers auf, der das Bandscheibenfach nach unten hin begrenzt. Über dem Trochar zieht der aus dem darüberliegenden Segment austretende Spinalnerv nach caudal. (Abb.1, 3)

Im vorliegenden Fall konnte in dieser Lücke ein

werden, ohne, dass die genannten umgebenden Strukturen durchdrungen wurden.

Schritt 5: Zerlegung des platzierten Trochars in eine Schichtbildsequenz (Abb.1, 4)

Schritt 6: Fusion der Trocharsequenz mit dem 3D-CT und Export als DICOM (Abb.1, 5 & 6)

2.3 Einrichten des intraoperativen Navigationssystems

Für die Navigation und somit Einhaltung des geplanten Zugangskorridors während der Operation wird ein optisch getracktes Navigationssystem der Firma BRAINLAB verwendet.

Die zuvor erzeugte CT-Sequenz mit integriertem Zugangsweg wird in das Brainlabsystem geladen. Anschließend wird mittels einer Klemme am Dornfortsatz und daran befestigten Markern der Patientensitus mit dem Planungs-CT registriert. Dank der zuvor eingeplanten virtuellen Trajektorie kann in Echtzeit kontrolliert werden, ob beim Vordringen in die Tiefe der Zugangskorridor eingehalten wird. Über einen Führungsdraht wird ein stumpfer Dilator auf das Niveau der Bandscheibe vorgeschoben, dann darüber ein Trochar navigationsgeführt auf die Ebene der paraspinale Nervenverläufe eingebracht. Unter endoskopischer Kontrolle wird der Trochar auf das Niveau der Bandscheibe geführt, diese eröffnet und mit navigationsgeführten Instrumenten debridiert.

3 Ergebnisse

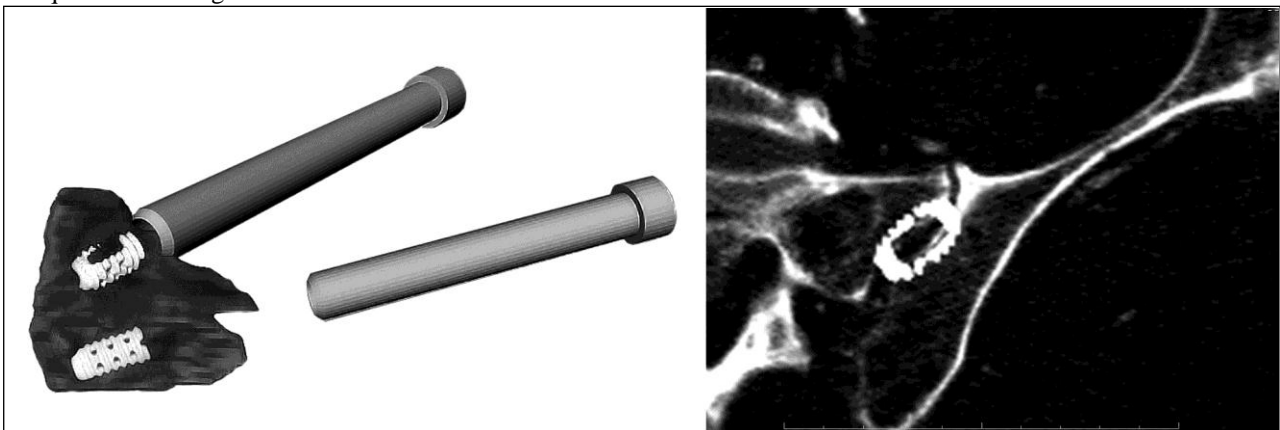
Wir erprobten zunächst die Kompatibilität unseres Verfahrens mit den uns zur Verfügung stehenden Navigationssystemen und stellten fest, dass sich die erzeugten Planungssequenzen sowohl in das robotergestützte (Renaissance™, Mazor Robotics Ltd.) als auch das optisch getrackte Navigationssystem (BRAINLAB) laden lassen und damit intraoperativ einsetzbar sind.

In der dargestellten Operation konnten wir zeigen, dass nicht nur der dorsale Zugang zur Lendenwirbelsäule transkutan problemlos möglich ist, sondern auch ventrolaterale Zugänge geplant und transkutan sicher unter Bewahrung aller nervalen und intestinalen Strukturen durchgeführt werden können. Mit der neuartigen Möglichkeit, Implantate virtuell in Bilddateien zu integrieren, ergibt sich erstmals die Chance, Implantate den individuellen anatomischen Gegebenheiten des Patienten anpassen zu können.

Postoperativ war unsere Patientin beschwerdefrei und zeigte keinerlei sensomotorische Ausfälle. Das postoperative CT der LWS dokumentiert eine regelhafte Lage des Schrauben-Stab-Systems und suffiziente Evakuierung des Bandscheibenfachs.

4 Diskussion

Mit der von uns vorgestellten Methode ist es möglich virtuell geplante Trajektorien in bestehende Bilddaten eines Patienten zu integrieren und diese anschließend für die intraoperative Navigation zum betroffenen Zielgebiet an der Wirbelsäule zu verwenden. Der Vorteil dieser Methode liegt vor allen Dingen in der universellen Einsetzbarkeit mit den unterschiedlichen verfügbaren Navigations- und Robotersystemen, da diese letztlich immer auf präoperativ angefertigte 3D-Sequenzen zurückgreifen.



Weiterhin ist es mit dieser Methode möglich das Platzieren von Implantaten genau zu simulieren und diese anschließend mit dem ursprünglichen CT des Patienten zu kombinieren, wodurch schon vor dem eigentlichen Eingriff eine Bildsequenz mit dem Charakter eines postoperativen CTs entsteht (Abb. 2).

Abb. 2: Beispielhafte Darstellung der virtuellen Planung und Platzierung von Implantaten anhand zweier Cages in einem segmentierten Iliosakralgelenkspalt (links) sowie deren Fusion mit einem 3D-CT (rechts).

Dieses kann nach der Operation sehr einfach mit der tatsächlich postoperativ angefertigten Bildgebung verglichen und die erfolgreiche Positionierung der Implantate kontrolliert werden.

Derzeit noch limitierende Faktoren für den Einsatz solcher 3D-Planungen sind die Genauigkeit der Bildgebung sowie der zeitliche Aufwand, der vor allen Dingen durch die Notwendigkeit des manuellen Segmentierens relevanter Strukturen bedingt ist. Die Entwicklung semiautomatischer Segmentierungshilfen basierend auf statistischen Modellen lassen

5 Referenzen

- [1] Kantelhardt SR, Martinez R, Baerwinkel S, Burger R, Giese A, Rohde V (2010)
Perioperative course and accuracy of screw positioning in conventional, open robotic-guided and percutaneous robotic-guided, pedicle screw placement, *Eur Spine J* (2011) 20:860–868, Springer
- [2] Berlemann U, Langlotz F, Langlotz U, Nolte LP (1997)
Computer-assisted orthopedic surgery. From pedicle screw insertion to further applications, *Orthopäde* (1997) May;26(5):463-9, Springer
- [3] German JW, Foley KT (2005)
Minimal access surgical techniques in the management of the painful lumbar motion segment, *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005 Aug 15;30(16 Suppl):S52-9. Review
- [4] Kainmueller D, Lamecker H, Seim H, Zinser M, Zachow S (2009)
Automatic extraction of mandibular nerve and bone from cone-beam CT data, *Med Image Comput Comput Assist Interv*. 2009;12(Pt 2):76-83.
- [5] Zachow S, Kubiack K, Malinowski J, Lamecker H, Essig H, Gellrich N (2010)
Modellgestützte chirurgische Rekonstruktion komplexer Mittelgesichtsfrakturen, *Biomed Tech* 2010; 55 (Suppl. 1), pp. 107-108, Walter de Gruyter