

**5. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
15.-16. Oktober 2004 in
Saarbrücken**



**„Möglichkeiten und Grenzen verschiedener
Navigationsverfahren an der Wirbelsäule“**

E. W. Fritsch

Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes,
Homburg, Deutschland

E-Mail: ekkehard.fritsch@uniklinikum-saarland.de

Band: „Tagungsband, Automed 2004“
Editors: W. I. Steudel
ISBN: 3-00-013509-X
Pages: 35-36

Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Navigationsverfahren an der Wirbelsäule

E. W. FRITSCH

*Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes
Kirrberger Straße, 66421 Homburg/Saar*

E-Mail: ekkehard.fritsch@uniklinikum-saarland.de

Seit der Einführung der Wirbelsäulenfixation durch transpedikuläre Schrauben in die klinische Praxis durch Roy-Camille (1970) werden Pedikelschrauben in Verbindung mit Platten oder Stäben (Fixateur interne) mehr und mehr bei verschiedenen Indikationen zur spinalen Fusion verwendet. Durch die Verwendung von Pedikelschrauben respektive Fixateur interne-Instrumentierungen, sind höhere Fusionsraten nachgewiesen [Yuan1994], was vor allem auf die im Vergleich zu anderen Stabilisierungsverfahren verbesserten biomechanischen Eigenschaften zurückzuführen ist [Vahldiek1998]. Das Hauptproblem bei der transpedikulären Schraubenfixation liegt jedoch darin, dass bei einer Fehlplatzierung aufgrund der engen anatomischen Beziehung zum Rückenmark im thorakalen Bereich [Vacarro1995] und zur Nervenwurzel im lumbalen Bereich [Ebraheim1997] die Gefahr einer neurologischen Komplikation besteht, deren Inzidenz in der Literatur mit bis zu 7 % angegeben wird [Esses1993]. Bei publizierten Raten von bis zu 39,9 % insgesamt nicht ideal platzierter Pedikelschrauben und 28,5 % medial fehlplatzierter Pedikelschrauben [Jerosch1992] ist es nachvollziehbar, dass eines der ersten Einsatzgebiete der sogenannten computerassistierten Chirurgie, nämlich der Einsatz der CT-basierten Navigationstechnik (3-D-Navigation), die Verbesserung der Positionierung von Pedikelschrauben zum Ziel hatte [Nolte1993]. Die Verbesserung der Rate ideal platzierter Pedikelschrauben an der lumbalen und der thorakalen Wirbelsäule durch CT-gestützte Navigation ist zwischenzeitlich durch prospektive randomisierte vergleichende Studien belegt [Amiot 2000, Laine2000].

Die CT-gestützte Navigation hat jedoch vor allem im routinemäßigen täglichen Einsatz Limitationen [Gebhard2000]: Die nach wie vor begrenzte Rechnerkapazität begrenzt die zur Verfügung stehenden Bildausschnitte und die maximal verfügbaren CT-Schnitte; die präoperative Planung wird durch Scanprotokolle und Artefakte beeinflusst; das zugrunde liegende CT bildet die präoperative Anatomie ab, so dass nur unversehrte Wirbelkörper navigiert werden können; Fehlnavigationen sind trotz korrektem intraoperativen Matchingergebnis durch mathematische Verkippung der Wirbelkörper möglich und nur durch Durchleuchtung zu erkennen; eine intraoperative Erfassung von repositionsbedingten Änderungen des präoperativen Datensatzes ist nicht möglich; eine große technische und klinische Erfahrung muss vorhanden sein, um gegen eine Fehlinformation des Systems gewappnet zu sein. Weiterhin ist die Strahlenbelastung durch das Planungs-CT höher als bei konventioneller, intraoperativ fluoroskopisch kontrollierter Pedikelschraubeninsertionstechnik [Slomoc-

zykowski1999]. Auch ist die CT-basierte Navigation an der oberen Halswirbelsäule aufgrund der intraoperativ völlig anderen Position und der sehr limitierten Referenzierbarkeit des Bogens von C1 äußerst schwierig und die CT-gestützte Navigation bei einer Spondylolisthesis wegen des lockeren Bogens unmöglich. Aufgrund der Limitierungen der CT-gestützten Navigation und um die erhebliche Strahlenbelastung für den Patienten und auch intraoperativ für den Operateur [Rampersaud2000] bei fluoroskopischer Kontrolle eines jeden Schrittes der Pedikelschraubenpositionierung herabzusetzen, wurde das Verfahren der bildwandlergestützten Navigation [Foley2001] oder auch "Virtual Fluoroscopy" (2-D-Navigation) entwickelt. Die Vorteile dieses Verfahrens sind in der universellen Verfügbarkeit eines Bildwandlers in einem zur Wirbelsäulenchirurgie ausgestatteten Operationssaal, der einfachen automatischen Registrierung des Patienten ohne aufwendiges Matching, der Darstellung der aktuellen und nicht der präoperativen Anatomie und der Möglichkeit eines jederzeitigen Updates zur Erfassung von intraoperativen Änderungen zu sehen.

In einer prospektiven Studie an einer größeren Anzahl von im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule mit fluoroskopischer Navigation eingebrachter Pedikelschrauben wurde die Genauigkeit der in vivo Schraubenplatzierung mittels CT-Evaluation der Schraubenlage untersucht [Fritsch2002,1]. Insgesamt wurden von den 160 untersuchten Pedikelschrauben 150 (93,8 %) ideal platziert vorgefunden. Im BWS-Bereich lagen 48 von 54 Schrauben ideal (89 %) und im LWS-Bereich 102 von 106 Schrauben (96,2 %). Superiore oder inferiore Fehlplatzierungen kamen nicht vor, jedoch wurden eine mediale Fehlplatzierung (0,6 %) und 9 laterale Fehlplatzierungen (5,6 %) festgestellt.

Die einzige mediale Fehlplatzierung wurde im thorakalen Bereich bei TH5 festgestellt (1/54 ~ 1,8 %). 5 der insgesamt 9 lateralen Fehlplatzierungen fanden sich an der thorakalen Wirbelsäule (5/54 ~ 9,2%) und 4 (4/106 ~ 3,8 %) an der LWS. Vorübergehende oder dauernde neurologische Ausfälle wurden bei keinem Patienten gefunden.

Wie wohl nachgewiesen werden konnte, dass die 2-D-Navigation an der thorakalen und der lumbalen Wirbelsäule der CT-gestützten Navigation ebenbürtig ist, stellte sich heraus, dass an der Halswirbelsäule auf Grund der Schwierigkeiten, geeignete Ebenen zu finden, an der hochthorakalen Wirbelsäule aufgrund der Überlagerung durch die Schulterblätter, bei Skoliosen durch die teilweise extreme Verkippung und Verdrehung der Wirbelsäule,

bei Osteoporose und bei Adipositas durch die schlechte Bildqualität der 2-D-Navigation Grenzen gesetzt sind.

Die Navigation mit einem CT-artigen Datensatz aus 50 oder 100 fluoroskopischen Bildern, aufgenommen in einer isozentrischen Trajektorie von 100° (ISO-C-3-D-Navigation), versprach, die Vorteile der 3-D-Navigation und der 2-D-Navigation zu vereinen, ohne deren Nachteile aufzuweisen. Nachdem im Phantomversuch die in vitro-Genauigkeit und im Leichenversuch die Anwendbarkeit am Menschen nachgewiesen wurde [Fritsch 2002,2] erfolgte ab August 2002 der klinische Einsatz. In einer prospektiven Studie wurde die Schraubenposition von 312 Pedikel-Schrauben bei 54 Patienten und unterschiedlichster Wirbelsäulenpathologie mit einem postop. ISO-C-3-D-Scan und einem postop. Spiral-CT-Scan mit multiplanarer Rekonstruktion für jede Schraube untersucht. Es handelte sich um 8 Schrauben bei C1-C2, 42 Schrauben bei C7-T6, 52 Schrauben bei T7-T12 und 210 lumbosacrale Schrauben. 7 von 8 C1-C2 Schrauben, 96 % der Schrauben an der oberen BWS, 100 % der Schrauben an der unteren BWS und 97 % der lumbosacralen Schrauben waren ideal platziert. Eine mediale Fehlplatzierung wurde nicht beobachtet, und auch eine schraubenbedingte neurologische Störung trat nicht auf. Aufgrund der hervorragenden Ergebnisse wird dieses Navigationsverfahren seither bei jeder Wirbelsäulenoperation eingesetzt.

FAZIT

Mit der 2-D-Navigation lässt sich gegenüber konventionellen Methoden bei geeigneten Voraussetzungen eine deutliche Verbesserung der Platzierung von Pedikelschrauben an der Brust- und Lendenwirbelsäule erreichen bei erheblicher Reduzierung der Strahlenbelastung. Bei schwierigeren Verhältnissen, wie Osteoporose oder Adipositas, an der Halswirbelsäule, am thorakolumbalen Übergang, an der oberen Brustwirbelsäule sowie bei Skoliosen oder anderweitig schwieriger Anatomie, ist mit der ISO-C-3-D-Navigation eine zuverlässige Pedikelschraubenplatzierung möglich. Die Vorteile der CT-Navigation (3-Dimensionalität) bei gleichzeitiger Eliminierung der Nachteile (Registrierungsprobleme, Zeitaufwand) zeichnen dieses Verfahren aus. Bei einem Zeitaufwand von nur 7 Minuten ist die ISO-C-3-D-Navigation hervorragend für den routinemäßigen Einsatz geeignet.

LITERATUR

[Amiot2000]

L-P. Amiot, K. Lang, M. Putzier, H. Zippel, H. Labelle "Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar and sacral spine", *Spine* 25, p 606-614, 2000

[Ebraheim1997]

N. A. Ebraheim, R. Xu, M. Ahmad, R A. Yeasting, "Projection of the thoracic pedicle and its morphometric analysis", *Spine* 22, p 233-238, 1997

[Esses1993]

S. I. Esses, B. L. Sachs, V. Dreyzin, "Complications associated with the technique of pedicle screw fixation", *Spine* 18, p 2231-2239, 1993

[Foley2001]

K. T. Foley, Y. R. Rampersaud, D. A. Simon, "Virtual Fluoroscopy: computerassisted fluoroscopic navigation", *Spine* 26(4), p 341-351, 2001

[Fritsch2002,1]

E. Fritsch, J. Duchow, R. Seil, I. Grunwald, W. Reith, "Genauigkeit der fluoroskopischen Navigation von Pedikelschrauben - CT-basierte Evaluation der Schraubenlage", *Orthopäde* 31, p 385-391 2002

[Fritsch2002, 2]

E. Fritsch, J. Duchow, "Placement of C1-C2 Screws and Pedicle Screws at the Cervical - and Upper-Thoracic Spine with Virtual Computed Fluoroscop - A Feasibility Study", *Int. Soc. Comp. Assist. Surg., Santa Fe* 2002

[Gebhard2000]

F. Gebhard, L. Kinzl, M. Arand, "Grenzen der CT-basierten Computernavigation an der Wirbelsäule", *Unfallchirurg* 103, p 696-701, 2000

[Jerosch1992]

J. Jerosch, J. Malms, W. H Castro, R. Wagner, L. Wiesner, "Lagekontrolle von Pedikelschrauben nach instrumentierter dorsaler Fusion der Lendenwirbelsäule", *Z Orthop* 130, p 479-483, 1992

[Laine2000]

T. Laine, T. Lund, M. Ylikoski, J. Lohikoski, D. Schlenzka, "Accuracy of pedicle screw insertion with and without computer assistance. A randomised controlled clinical study in 100 consecutive patients", *Eur Spine J* 9, p 235-240, 2000

[Nolte1993]

L-P. Nolte, R. Steffen, J. Kramer, M. Jergas, "Fixateur interne; Eine vergleichende biomechanische Studie mit verschiedenen Systemen", *Aktuelle Traumatol* 23(1), p 20-26, 1993

[Rampersaud2000]

Y. R. Rampersaud, K. T. Foley, A. C. Shen, S. Williams, M. Solomito, "Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion", *Spine* 25, p 2537-2645, 2000

[Slomoczykowski1999]

M. Slomoczykowski, M. Roberto, P. Schneeberger, C. Ozdoba, P. Vock, "Radiation dose for pedicle screw insertion. Fluoroscopic method vs computer-assisted surgery", *Spine* 24, p 975-982, 1999

[Vacarro1995]

A. R. Vaccaro, S. J. Rizzolo, T. J. Allardyce, "Placement of pedicle screws in the thoracic spine: Part 2. An anatomical and radiographic assessment", *J Bone Joint Surg [Am]* 8, p 1200-1206, 1995

[Vahldiek1998]

M. J. Vahldiek, M. M. Panjabi, "Stability potential of spinal instrumentations in tumor vertebral body replacement surgery", *Spine* 23, p 543-550, 1998

[Yuan1994]

H. A. Yuan, S. R. Garfin, C. A. Dickman, S. M. Mardjetko, "A historical cohort study of pedicle screw fixation in thoracic, lumbar, and sacral spinal fusions", *Spine* 19 (Suppl), p 2279-2296, 1994