

O. Linhardt¹
 L. Perlick¹
 C. Lüring¹
 U. Stern²
 W. Plitz³
 J. Grifka¹

Extrakorporale Einzeldosis und Durchleuchtungszeit bei bildwandler-kontrollierter und fluoroskopisch navigierter Implantation von Pedikelschrauben

Radiation Dose and Fluoroscopy Time of Conventional Versus Fluoroscopic Computer Assisted Pedicle Screw Implantation

Zusammenfassung

Studienziel: Ziel der Untersuchung ist der Vergleich von extrakorporaler Einzeldosis sowie Durchleuchtungszeit bei bildwandlerkontrollierter und fluoroskopisch navigierter Pedikelinstrumentation an Leichenpräparaten. **Methode:** Bei zehn Wirbelsäulenpräparaten wurden jeweils zwei Pedikelschrauben bildwandlerkontrolliert (Gruppe 1) sowie kontralateral zwei Schrauben fluoroskopisch navigiert (Gruppe 2) in die Pedikel eingebracht. Beide Gruppen wurden anhand extrakorporaler Einzeldosis sowie Durchleuchtungszeit miteinander verglichen. **Ergebnisse:** Bei Implantation von zwei Pedikelschrauben pro Präparat zeigt sich in Gruppe 1 ein durchschnittlicher Dosiswert von 0,041 mSv, in Gruppe 2 von 0,029 mSv. Die durchschnittliche Durchleuchtungszeit betrug in Gruppe 1 34 Sekunden und in Gruppe 2 25 Sekunden. Bei den Dosiswerten und Durchleuchtungszeiten waren signifikante Unterschiede (Dosiswerte $p=0,00044$; Durchleuchtungszeit $p=0,00039$) zwischen beiden Gruppen festzustellen. **Schlussfolgerung:** Durch fluoroskopisch navigierte Pedikelschraubenimplantation lässt sich die extrakorporale Einzeldosis sowie die Durchleuchtungszeit im Vergleich zur konventionellen Schraubenimplantation signifikant reduzieren. Somit ist das fluoroskopisch navigierte Einbringen von Schrauben gegenüber der konventionellen Technik im Hinblick auf die Strahlenbelastung für Patienten und OP-Personal zu favorisieren.

Schlüsselwörter

Pedikelschrauben · computergestützte Chirurgie · Bildwandler · extrakorporale Einzeldosis · Durchleuchtungszeit

Abstract

Aim: Goal of the current study was to compare radiation dose and fluoroscopy time of fluoroscopic computer assisted pedicle screw implantation versus the conventional technique. **Method:** For each of 10 specimens two pedicle screws were placed using conventional technique (group 1) and two screws were inserted with fluoroscopic navigation system (group 2) contralaterally. **Results:** For implantation of two pedicle screws the mean radiation dose was 0.041 mSv in group 1 and 0.029 mSv in group 2. Fluoroscopy time was 34 seconds in group 1 and 25 seconds in group 2. The differences of radiation dose and fluoroscopy time for group 1 and 2 were statistically significant (radiation dose $p=0.00044$, fluoroscopy time $p=0.00039$). **Conclusion:** We achieved significantly lower radiation dose and fluoroscopy time with fluoroscopic computer assisted pedicle screw implantation compared with the conventional technique. Concerning exposure to radiation for patients and personnels fluoroscopic navigated screw insertion is to favour.

Key words

Pedicle screws · computer-assisted surgery · fluoroscopy · radiation dose · fluoroscopy time

Institutsangaben

¹ Orthopädische Klinik der Universität Regensburg

² Institut für Röntgendiagnostik am Klinikum der Universität Regensburg

³ Labor für Biomechanik und Experimentelle Orthopädie der Ludwig-Maximilians-Universität München

Korrespondenzadresse

Dr. O. Linhardt · Orthopädische Klinik der Universität Regensburg · Postfach 11 34 · 93074 Bad Abbach ·
 Tel.: +49/94 05/18 48 38 · Fax: +49/94 05/18 29 20 · E-mail: o.linhardt@rheuma-ortho-zentrum.de

Bibliografie

Z Orthop 2005; 143: 175–179 · © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
 DOI 10.1055/s-2005-836489
 ISSN 0044-3220

Einleitung

Die Computernavigation bei operativen Eingriffen der Wirbelsäule hat sich in den letzten Jahren rasch entwickelt. Zu den häufigen Anwendungen gehört die computergestützte Pedikelinstrumentation an der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule. Sowohl die computertomographisch als auch fluoroskopisch gestützte Navigation ermöglicht eine höhere Präzision und Sicherheit beim Einbringen der Pedikelschrauben [1, 2].

In der Literatur gibt es wenige Angaben über die Strahlenbelastung im Zusammenhang mit der CT-basierten spinalen Navigation. Nach Schaeren et al. [3] benötigt die bildwandlerkontrollierte, offene Pedikelinstrumentation der thorakalen Wirbelsäule eine 15-mal geringere Strahlendosis als eine für die Computernavigation nötige CT. Hiernach sind aufgrund der geringen Komplikationsrate CT-basierte Navigationen für Routineinstrumentationen der lumbalen Pedikel abzulehnen und Navigationssysteme ohne CT-Modell zu fördern. Literaturangaben zur Strahlenbelastung von fluoroskopisch gestützten Navigationssystemen fehlen.

Ziel unserer Studie ist der Vergleich der extrakorporalen Einzeldosis sowie der Durchleuchtungszeit bei bildwandlerkontrollierter und fluoroskopisch navigierter Pedikelinstrumentation an Leichenpräparaten.

Material und Methode

Präparate

Vom Anatomischen Institut der Universität Regensburg wurden uns zehn formalin-fixierte humane Leichenpräparate der Wirbelsäulenabschnitte BWK 8 bis LWK 5 für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Vor der Testprozedur entfernten wir Muskulatur, Gefäße sowie den Duralschlauch mit Nervenwurzeln. Von den zehn Leichen wurden jeweils zwei benachbarte Wirbelkörper von BWK 8 bis LWK 5 randomisiert für die Schraubeneinstrumentation ausgewählt. Jede Wirbelpaarung wurde gelöst.



Abb. 1 Leichenpräparat mit bilateral eingebrachten Pedikelschrauben in LWK 1 und 2. Die oberen Pedikelschrauben wurden navigiert, die unteren bildwandlerunterstützt eingebracht.

Implantation der Pedikelschrauben

Die unilaterale bildwandlerkontrollierte Implantation der Pedikelschrauben erfolgte durch einen erfahrenen Wirbelsäulenchirurgen an zwei benachbarten Wirbeln jedes Präparats (Gruppe 1). Die kontralateralen Pedikel wurden fluoroskopisch navigiert mit Pedikelschrauben versorgt (Gruppe 2) (Abb. 1).

Bei der operativen Anwendung von dorsalen Wirbelsäuleninstrumentarien werden mindestens zwei Pedikelschrauben implantiert. Aus diesem Grund wurden in jeder Gruppe zwei Schrauben pro Präparat eingebracht. Insgesamt implantierten wir in jeder der beiden Gruppen jeweils 20 Schrauben.

Schraubenlänge und -Durchmesser wurden ohne Risiko einer Kortikalisperforation an die Breite und Höhe der Pedikel angepasst. Wir verwendeten monoaxiale Titan-Pedikelschrauben des Moss Miami-Systems® (DePuy®) mit Durchmessern von 5,5 bis 7,0 mm und Längen von 40 bis 60 mm.

Bildverstärker

Als Bildverstärker verwendeten wir in allen Fällen das gleiche Gerät (Exposcop 7000, Firma Ziehm) mit einem 17 cm Bildverstärker und einem Abstand von 90 cm zwischen Röhre und Bildverstärker. Das Gerät wurde auf „pulse mode“ eingestellt. Stromstärke (in kV) und Röhrenspannung (in mA) des Bildverstärkers wurden registriert. Wir wählten eine Fokus-Oberflächendistanz (Abstand Röhre-Präparat) von 50 cm sowohl für die a.p. als auch für die seitliche Aufnahme. Den Zentralstrahl richteten wir auf den zu instrumentierenden Wirbel.

Messung von extrakorporaler Einzeldosis und Durchleuchtungszeit

Zur Messung der extrakorporalen Einzeldosis verwendeten wir einen Taschendosimeter (ED 150 der Firma Graetz). Das Dosimeter wurde bei Durchleuchtung neben dem Wirbelsäulenpräparat platziert und die Dosis für jede eingebrachte Pedikelschraube ermittelt.

Die Durchleuchtungszeit zum Einbringen der Pedikelschrauben wurde am Bildwandler angezeigt.

Bildwandlerkontrollierte Implantation der Pedikelschrauben (Gruppe 1)

Unter Bildwandlerkontrolle im a.p. und seitlichen Strahlengang erfolgte das Öffnen der Pedikel mit der Ahle, hiernach wurden die Schraubenkanäle mit dem Bohrer eröffnet, palpatorisch auf Intaktheit der Pedikelmwände geprüft und nach Gewindeschneiden die Pedikelschrauben eingebracht.

Fluoroskopisch navigierte Implantation von Pedikelschrauben (Gruppe 2)

In unserer Studie verwendeten wir das Vector Vision System® der Firma Brainlab® (Abb. 2). Operationstechnisch wurde wie folgt vorgegangen: Zuerst erfolgte die Befestigung einer Kalibrationsscheibe am Bildwandler. Nach Darstellung der Processi spinosi, der Wirbelbögen und der Intervertebralgelenke in dem zu instrumentierenden Bereich wurde die Referenzklemme zur automatischen Registrierung der Präparatposition an einem stabilen Processus spinosus angebracht. Danach akquirierten wir die fluoroskopischen Bilder zum navigierten Einbringen der Pedikel-

schrauben. Es erfolgte die Referenzierung für jeweils zwei Wirbel, um anschließend mit einer navigierten Ahle und einem Bohrer die Pedikel zu eröffnen und mit der navigierten Pedikelsonde auszutasten. Die Schraubenlänge und der Schraubendurchmesser wurde durch virtuelle Simulation der Schraubengröße bestimmt. Nach Gewindeschneiden konnten die Pedikelschrauben navigiert eingebracht werden (Abb. 3). Die fluoroskopische Kontrolle der Schrauben erfolgte im a. p. und seitlichen Strahlengang nach Besetzen aller geplanten Pedikel.

Statistik

Die Signifikanzprüfung zwischen bildwandlerkontrollierter und navigierter Schraubenimplantation erfolgte nach dem Student t-Test für paarige Stichproben. Ein signifikanter Unterschied ist bei $p < 0,05$ gegeben.



Abb. 2 Navigationssystem, Bildwandler mit Kalibrationsplatte, Wirbelsäulenpräparat mit befestigter Referenzklemme am Processus spinosus.

Ergebnisse

Um eine optimale Bildgebung zu erreichen, wurde eine Stromstärke von 42 kV und eine Röhrenspannung von 0,8 mA gewählt. Aus der Stromstärke lässt sich eine Röntgenenergie von 31,5 kV errechnen.

In Gruppe 1 zeigte sich ein durchschnittlicher Dosiswert von 0,041 mSv, in Gruppe 2 von 0,029 mSv. Die durchschnittlichen Durchleuchtungszeit betrug in Gruppe 1 34 Sekunden und in Gruppe 2 25 Sekunden.

Dosiswerte sowie Durchleuchtungszeiten waren in Gruppe 2 gegenüber Gruppe 1 signifikant niedriger (Tab. 1).

In dem durchgeführten Übersichtsröntgen nach Schraubenimplantation war bei keinem der Fälle aus beiden Gruppen eine grobe Schraubenfehlage zu erkennen.

Diskussion

In den 90er-Jahren wurde die Computernavigation in der Wirbelsäulenchirurgie eingeführt, um die Präzision und Sicherheit beim Einbringen der Pedikelschrauben zu erhöhen [4]. In der Literatur schwanken die Raten der Pedikelschraubenfehlagen im thorakolumbalen Bereich bei konventioneller Technik zwischen 3–40% [5, 6].

Die navigationsgestützte Pedikelschraubenimplantation zeigt gegenüber den konventionellen Insertionstechniken erhebliche Verbesserungen der Fehlplatzierungsraten. Der Vergleich der „Rate ideal“ platzierter Pedikelschrauben an der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule unter fluoroskopischer Navigation mit Ergebnissen für die CT-gestützte Navigation zeigt fast identisch hervorragende Ergebnisse [7].



Abb. 3 Screenshot des Navigationssystems mit 3 akquirierten Wirbeln a. p. und seitlich, Darstellung der rechts transpedikulär eingebrachten Schraube in LWK 3.

Tab. 1 Durchschnittliche extrakorporale Einzeldosis und Durchleuchtungszeit mit Streubreite und Standardabweichung bei Implantation von zwei Pedikelschrauben.

Extrakorporale Einzeldosis bei zwei Schrauben – Gruppe 1 versus Gruppe 2: $p = 0,00044$

Durchleuchtungszeit bei zwei Schrauben – Gruppe 1 versus Gruppe 2: $p = 0,00039$

	Gruppe 1 bildwandler- kontrolliert	Gruppe 2 fluoroskopisch navigiert
Ø extrakorporale Einzeldosis (mSv) bei zwei Schrauben	0,041 (0,024–0,060) SD 0,012	0,029 (0,016–0,038) SD 0,008
Ø Durchleuchtungszeit (Sek.) bei zwei Schrauben	34 (19–50) SD 11,3	25 (12–32) SD 6,8

Für das navigierte CT-Modell konnte Schaeren et al. [3] eine 15-fach höhere effektive Strahlendosis (7,27 mSv) gegenüber der gemessenen Bildwandlerdosis bei konventionellen Insertionstechniken von Pedikelschrauben (0,48 mSv) feststellen. Deshalb sind CT-basierte Navigationen für die Routineinstrumentation der lumbalen Pedikel abzulehnen und Navigationssysteme ohne CT-Modell zu fördern [3].

In unserer Studie zeigten sich beim Einbringen von zwei Pedikelschrauben in konventioneller Technik 1,4fach höhere Werte der extrakorporalen Einzeldosis und der Durchleuchtungszeit (durchschnittliche Dosis: 0,041 mSv, Durchleuchtungszeit: 34 Sekunden) gegenüber navigiertem Vorgehen (durchschnittliche Dosis: 0,029 mSv, Durchleuchtungszeit: 25 Sekunden). Dies lässt sich durch die einmalige Akquirierung von fluoroskopischen Bildern für bis zu drei Wirbel erklären. Das Einbringen der Pedikelschrauben kann hiernach ohne weitere Durchleuchtung durchgeführt werden. Hingegen wird bei konventioneller Technik die Instrumentation jedes einzelnen Wirbels bildwandlerkontrolliert vorgenommen.

In der Literatur sind verschiedene Angaben zur Durchleuchtungszeit beim Einbringen von Pedikelschrauben in konventioneller Technik zu finden. Schaeren et al. [3] beschrieb beim Einbringen von durchschnittlich 5,5 Pedikelschrauben in-vivo eine Durchleuchtungszeit von 12 Sekunden. Slomczykowski et al. [8] berichtete beim Einbringen von durchschnittlich 6 Pedikelschrauben über eine Durchleuchtungszeit von 6,3 Minuten. Perisinakis et al. [9] erzielte bei durchschnittlich 4,8 Pedikelschrauben eine Durchleuchtungszeit von 3,3 Minuten. Literaturangabe zur extrakorporalen Einzeldosis fehlen.

Die unterschiedlichen Durchleuchtungszeiten können durch verschiedene Instrumentationstechniken sowie die unterschiedliche Anzahl eingebrachter Schrauben bei den jeweiligen Studien erklärt werden.

Unsere Ergebnisse sind deutlich niedriger als die in der Literatur beschriebenen In-vivo-Durchleuchtungszeiten. Die lässt sich möglicher Weise auf die In-vitro-Versuchssituation mit Leichenpräparaten zurückführen, wodurch bei optimalen Versuchsbedingungen weniger Durchleuchtungszeit benötigt wird.

Zusätzlich wurden in unserer Studie deutlich weniger Schrauben pro Wirbelsäulenpräparat in konventioneller Technik implantiert, wobei sich die Durchleuchtungszeit vermindert.

Beim navigierten Vorgehen hat die Anzahl der eingebrachten Pedikelschrauben keinen Einfluss auf die Strahlenbelastung. Maximal können fluoroskopische Bilder von drei Wirbelkörpern zum navigierten Einbringen von höchstens 6 Pedikelschrauben akquiriert werden. Somit ist es möglich, bis zu 6 Pedikelschrauben mit gleich bleibender Strahlendosis fluoroskopisch navigiert zu implantieren.

Die durchschnittlichen Dosiswerte unserer Untersuchung liegen deutlich unterhalb der jährlichen Strahlenbelastung eines Bundesbürgers (jährliche Strahlenbelastung: 4 mSv). Auch sind unsere Werte wesentlich niedriger als die Einzeldosis einer Röntgenuntersuchung des Schädels (0,1 mSv) [10]. Somit kann die Strahlenbelastung bei Implantation von Pedikelschrauben in konventioneller und navigiert fluoroskopischer Technik als gering angesehen werden.

Zusammenfassend zeigen sich bei der Implantation von mehr als einer Pedikelschraube an Leichenpräparaten signifikant niedrigere Einzeldosiswerte sowie geringere Durchleuchtungszeiten bei fluoroskopisch navigierter im Gegensatz zur bildwandlerkontrollierten Technik.

Nach unseren Ergebnissen ist die fluoroskopisch navigierte Pedikelinstrumentation gegenüber dem konventionellen Vorgehen im Hinblick auf die Strahlenbelastung für Patienten und OP-Personal zu favorisieren.

Literatur

- Schlenzka D, Laine T, Lund T. Computer-assisted spine surgery: principles, technique, results and perspectives. *Orthopäde* 2000; 29: 658 – 669
- Laine T, Lund T, Ylikoski M, Lohikoski J, Schlenzka D. Accuracy of pedicle screw insertion with and without computer assistance. A randomised controlled clinical study in 100 consecutive patients. *Euro Spine* 2000; 9: 235 – 240
- Schaeren S, Roth J, Dick W. Effektive In-vivo-Strahlendosis bei bildwandlerkontrollierter Pedikelinstrumentation vs. CT-basierter Navigation. *Orthopäde* 2002; 31: 392 – 396
- Nolte LP, Zamorano LJ, Jiang Z, Wang Q, Langlotz F, Berlemann U. Image-guided insertion of pedicular screws. A laboratory set-up. *Spine* 1995; 20: 497 – 500
- Boachie-Adjei O, Girardi FP, Bansal M, Rawlins BA. Safety and efficacy of pedicle screw placement for adult spinal deformity with a pedicle-probing conventional anatomic technique. *J Spinal Disord* 2000; 13: 496 – 500
- Castro WH, Halm H, Jerosch J, Malurs J, Steinbeck J, Blasius S. Accuracy of pedicle screw placement in lumbar vertebrae. *Spine* 1996; 21: 1320 – 1324
- Fritsch E, Duchow J, Seil R, Grunwald I, Reith W. Genauigkeit der fluoroskopischen Navigation von Pedikelschrauben. *Orthopäde* 2002; 31: 385 – 391
- Slomczykowski M, Mini R, Schneeberger P. Radiation dose for pedicle screw insertion: fluoroscopic method versus computer-assisted surgery. *Spine* 1999; 24: 975 – 983
- Perisinakis K, Theocharopoulos N, Damlakis J, Katonis P, Papadokostakis G, Hadjipavlou A, Gourtsoyiannis N. Estimation of Patient Dose and Associated Radiogenic Risks From Fluoroscopically Guided Pedicle Screw Insertion. *Spine* 2004; 29: 1555 – 1560
- Bernhardt JH, Veit R, Bauer B. Erhebungen zur effektiven Dosis und zur Kollektivdosis bei der Röntgendiagnostik in den alten Bundesländern. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 30. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1995; 179

