

Journal für

Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

**Spinale Navigation mit
intraoperativem O-Arm-basierten
3D-Scan – Erfahrungswerte aus 1000
O-Arm-assistierten spinalen
Stabilisierungsoperationen //**
**Spinal navigation by O-arm imaging
– experience of 1000 O-arm assisted
spinal stabilizations**

Narovec T, Stefanits H, Senker W

Grimmer A, Radl C, Leitner C

Gruber A

Journal für Neurologie

Neurochirurgie und Psychiatrie

2018; 19 (4), 136-142

Homepage:

www.kup.at/

JNeurolNeurochirPsychiatr

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche

Indexed in
EMBASE/Excerpta Medica/BIOBASE/SCOPUS

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031117M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

76. Jahrestagung

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie DGNC

Joint Meeting mit der Französischen
Gesellschaft für Neurochirurgie



2025
1.–4. Juni
HANNOVER

www.dgnc-kongress.de

Im Spannungsfeld zwischen
Forschung und Patientenversorgung

PROGRAMM JETZT ONLINE EINSEHEN!



Deutsche
Gesellschaft für
Epileptologie



64. JAHRESTAGUNG

der Deutschen Gesellschaft für Epileptologie

10.–13. Juni 2026
Würzburg



© CIM Deimer Deque/Kosch/KARL70
Bavaria/THP/Alto/Wiki | Stock Adobe

Spinale Navigation mit intraoperativem O-Arm-basierten 3D-Scan – Erfahrungswerte aus 1000 O-Arm-assistierten spinalen Stabilisierungsoperationen

T. Narovec, H. Stefanits, W. Senker, A. Grimmer, C. Radl, C. Leitner, A. Gruber

Kurzfassung: Die minimal invasive perkutane spinale Stabilisierung ist in den letzten Jahren zu einer häufig verwendeten chirurgischen Technik avanciert. Die Grundlage für diese Operation ist die exakte radiologische Darstellung spinaler Strukturen, da die Möglichkeit zur Orientierung nach anatomischen Merkmalen fehlt. Der Einsatz der O-Arm-basierten spinalen Navigation ermöglicht eine genaue Platzierung der Pedikelschrauben und reduziert somit die Wahrscheinlichkeit einer Schraubenfehl-lage. Außerdem wird die Orientierung in Bereichen mit unzureichender biplanarer bildgebender Darstellung, wie etwa der kranialen Brustwirbelsäule (BWS), deutlich erleichtert. Auch bei langstreckigen höhergradigen Skoliosen

ermöglicht die Planung der Schraubentrajektorie auf Basis des intraoperativen O-Arm-Scans ein exaktes Einbringen der Pedikelschrauben.

Schlüsselwörter: Perkutane Stabilisierung der WS, spinale Navigation, O-Arm, Pedikelschrauben

Abstract: Spinal navigation by O-arm imaging – experience of 1000 O-arm assisted spinal stabilizations. Minimally invasive percutaneous pedicle fixation techniques have progressively been used in recent years. Precise radiological imaging of the spine is essential for safe pedicle screw insertion. The O-arm imag-

ing system ensures accurate screw placement and decreases screw malplacement rates. It is most helpful in the upper thoracic spine, where the patient's arms and many operating tables usually interfere with the appropriate imaging of relevant anatomical structures. Planning of pedicle screw trajectories based on intraoperative O-arm scan facilitates the insertion of screws even in difficult anatomic locations and situations, e.g. in the upper thoracic spine or in high grade scoliosis patients. *J Neurol Neurochir Psychiatr* 2018; 19 (4): 136–42.

Keywords: Percutaneous spinal stabilization, spinal navigation, O-arm, pedicle screws

Einleitung

Die Instabilität der Wirbelsäule wird als Verlust der Fähigkeit der Wirbelsäule, unter physiologischer Belastung ein Zusammenspiel der Wirbelkörper ohne Schädigung des Duralsackes oder der Nervenwurzel zu gewährleisten, definiert [1]. Alternativ wird die Instabilität als Vorgang beschrieben, der unter physiologischen Belastungen zu abnormalen Bewegungen und Deformationen der Wirbelsäule führt [2].

Ätiologisch können die Instabilitäten in angeborene (juvenile Skoliose, Listhesis vera u.a.) und erworbene gegliedert werden. Letztere lassen sich in posttraumatisch, primär degenerativ und entzündlich/tumorös unterteilen.

Jahrelang standen als einzige Behandlungsmöglichkeiten langwierige und häufig belastende, konservative Methoden zur Verfügung, bis schließlich zu Beginn des 20. Jahrhunderts verschiedene Fusionsmethoden entwickelt wurden. Roy Camille perfektionierte schlussendlich die Methode der transpedikulären Verschraubung [3], welche die beste biomechanische Rigidität bietet und so in den letzten Jahren zum Goldstandard avancierte [4].

Bei der transpedikulären Verschraubung wird die Schraube zentral im Pedikel wie in einem Dübel platziert. Eine optimal gesetzte Schraube füllt den gesamten Pedikel aus, ohne die Kortikalis zu perforieren. Für die exakte Platzierung sind ein optimaler Eintrittspunkt in den Pedikel, ein perfekter Trajek-

Tabelle 1: Voraussetzungen für die exakte Platzierung von Pedikelschrauben

1. Exakter Eintrittspunkt
2. Winkel der Schraubentrajektorie in axialer und sagittaler Ebene
3. Schraubenlänge

torienwinkel in sagittaler und axialer Ebene sowie die richtige Schraubenlänge erforderlich (Tabelle 1).

Das Setzen der Pedikelschrauben kann technisch auf drei verschiedene Arten erfolgen:

Der Eintrittspunkt wird anhand der anatomischen Landmarken identifiziert und der Winkel der Trajektorie wird gemäß der präoperativen Bildgebung mittels CT oder MRT bestimmt. Die Strukturen, die zur Orientierung benötigt werden, müssen im Rahmen der Operation freigelegt werden. Roy-Camille definiert den Eintrittspunkt als Schnittpunkt der horizontal

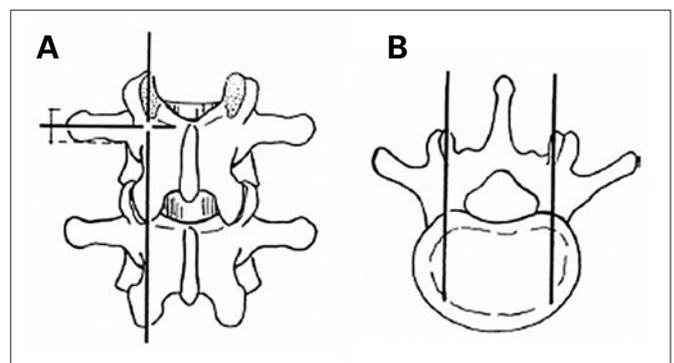


Abbildung 1: Pedikeintrittspunkt nach Roy-Camille im Schnittpunkt der Horizontallinie durch den Processus transversus und der Vertikallinie durch den Processus articularis in coronarer Ansicht von dorsal (A) sowie axialer Projektion (B).

Eingelangt am 11.09.2017, angenommen nach Überarbeitung am 12.10.2018
Aus der Universitätsklinik für Neurochirurgie, Neuromed Campus, Kepler-Universitätsklinikum Linz

Korrespondenzadresse: Univ.-Prof. Dr. Andreas Gruber, Universitätsklinik für Neurochirurgie, Neuromed Campus, Kepler-Universitätsklinikum Linz, A-4020 Linz, Wagner-Jauregg-Weg 15, E-mail: andreas.gruber_1@kepleruniklinikum.at

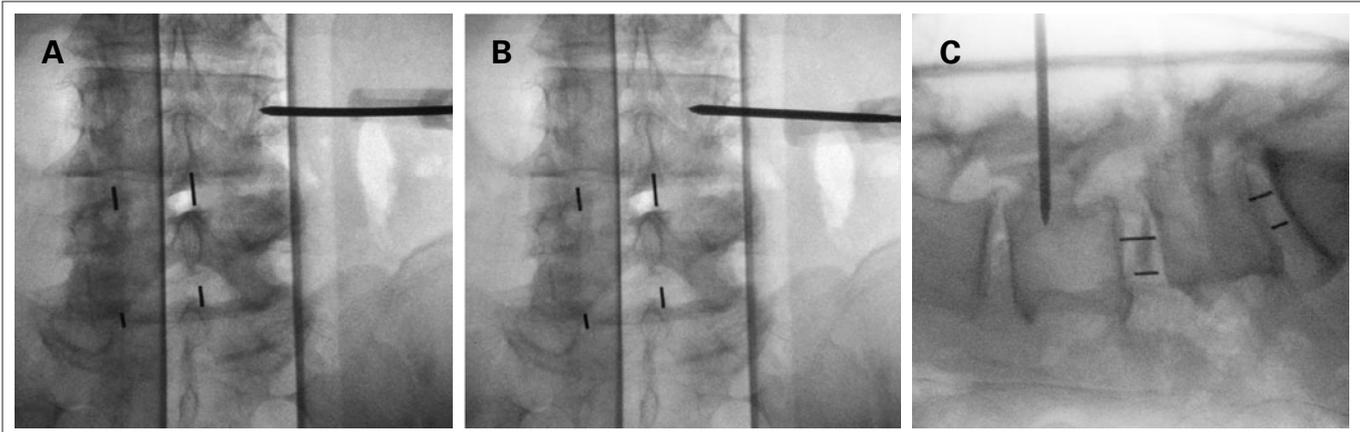


Abbildung 2: Der Pedikeintrittspunkt wird an der lateralen Zirkumferenz des Pedikels gesetzt (A). Die Spitze der Yamshidi-Nadel projiziert am medialen Pedikelrand beim Eintritt in den Wirbelkörper (B, C).

verlaufenden Mittellinie des Processus transversus und der Vertikallinie durch den Processus articularis (Abbildung 1). Der Trajektorienwinkel in der Sagittalebene wird durch eine seitliche Röntgenaufnahme mit dem Bildwandler kontrolliert.

Im Rahmen der minimal invasiven Operationstechniken ist eine Orientierung anhand von anatomischen Merkmalen nicht möglich, zumal die dafür benötigten Strukturen nicht freigelegt werden und somit das Einsetzen der Pedikelschrauben bereits auf der Körperoberfläche beginnt. Bei dieser Technik erfolgt die Orientierung anhand der radiologischen Darstellung mittels Bildwandler. Der Eintrittspunkt wird am lateralen Pedikelrand gesetzt und die Trajektorie wird so orientiert, dass bei Erreichen der dorsalen Wirbelkörperwand der mediale Pedikelrand gekreuzt wird (Abbildung 2). Diese Art der Orientierung ist bei jüngeren Patienten, in kranialen LWS-Segmenten und bei fehlenden Deformitäten einfach. Bei Deformitäten wie

Skoliose, facetarthropathischen Veränderungen, in kaudalen LWS-Segmenten und bei adipösen Patienten ist die radiologische Identifikation der anatomischen Strukturen allerdings oft schwierig, im thorakolumbalen Übergang durch Überlagerung der Schulter nahezu unmöglich.

In der kraniellen Neurochirurgie ist die intraoperative Navigation längst etabliert und die meisten intrakraniellen Eingriffe sind ohne Navigation nicht mehr denkbar. Im Vergleich dazu setzte sich die Navigation in der spinalen Neurochirurgie eher schleppend durch. Laut einer Studie aus dem Jahr 2006 waren in Deutschland von 107 neurochirurgischen Abteilungen lediglich 57 (53 %) mit spinaler Navigation ausgestattet, 12 (11 %) teilten sich das Navigationssystem mit anderen Abteilungen, 38 (36 %) hatten kein Navigationssystem zur Verfügung. Von diesen 38 Abteilungen wollten allerdings 52 % die intraoperative spinale Navigation einsetzen.

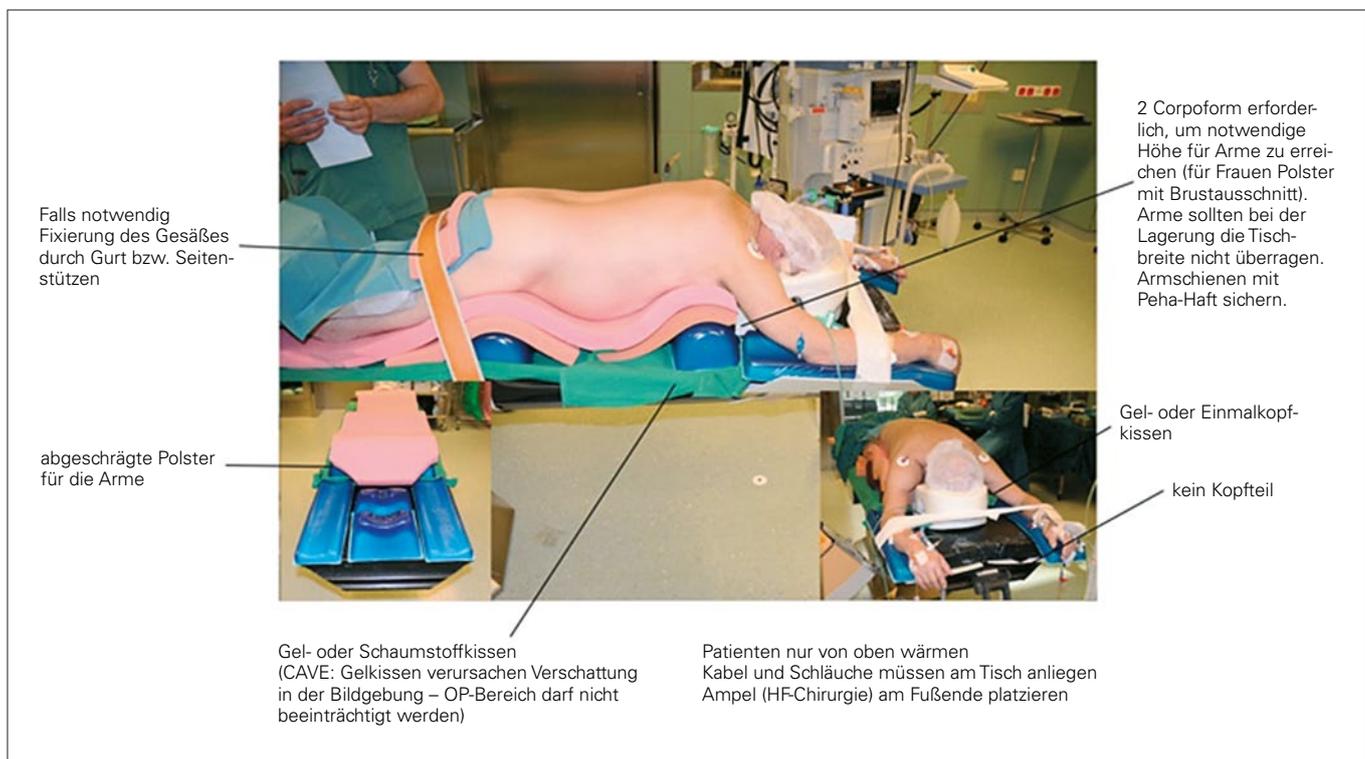


Abbildung 3: Bei der Lagerung des Patienten für den O-Arm müssen Platzbedarf sowie Radioopazität von OP-Tisch und Lagerungshilfen bedacht werden.

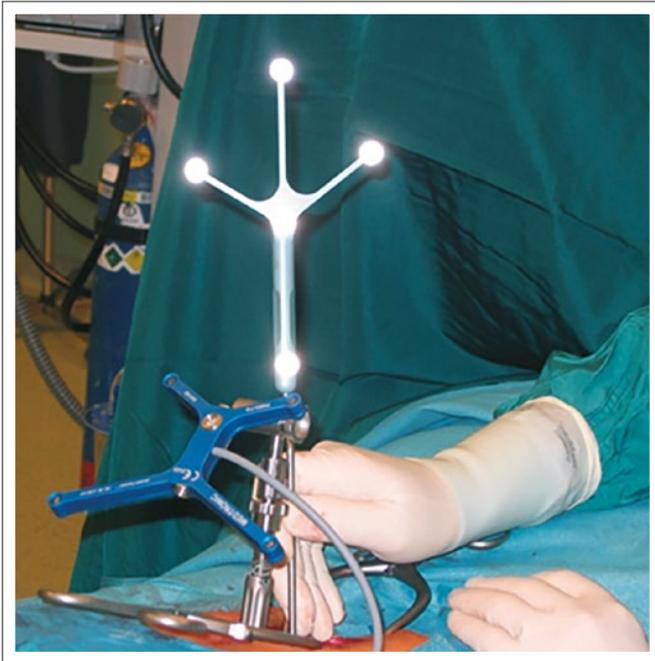


Abbildung 4: Der Referenzrahmen für die Navigation sollte in unmittelbarer Nähe zum Operationsgebiet montiert werden.

Während 52 Abteilungen (49 %) der Meinung waren, dass die Navigation die Sicherheit beim Einsetzen der Pedikelschrauben erhöht, sprachen sich 94 % der Befragten gegen den obligatorischen Einsatz eines Navigationssystems bei der Pedikulation aus [5].

Generell stehen in der spinalen Navigation drei unterschiedliche Navigationstechniken und -prinzipien zur Verfügung:

- 1.) Zweidimensionale virtuelle Fluoroskopie
- 2.) Dreidimensionale CT-basierte Navigation mit unterschiedlichen Referenztechniken
- 3.) CT-basierte Navigation mit rotierenden Bildwählern

Die unterschiedlichen Prinzipien dieser Methoden wurden bereits detailliert beschrieben [6, 7]. Im folgenden Beitrag werden praktische Erfahrungen mit der CT-basierten Navigation mit dem rotierenden Bildwandler (O-Arm) dokumentiert.



Abbildung 5: Der Eintrittspunkt am Pedikel (dunkelroter Punkt) wird in axialer, coronarer und sagittaler Ansicht definiert.

Anfangs wurde zur Bildakquisition der IsoC-3D-Bildwandler eingesetzt. Diese Methode war jedoch sehr umständlich, da bei jedem Durchgang der Patient aufs Neue steril abgedeckt werden musste. Außerdem war die Bildqualität bei adipösen Patienten und im technisch schwierigen zervikothorakalen Bereich mangelhaft. Der neu im Einsatz stehende O-Arm hat diesbezüglich wesentliche Verbesserungen gebracht.

■ Beschreibung der Methode

Der Patient wird in Bauchlage auf einem Kohlefasertisch gelagert (Abbildung 3). Der Referenzrahmen wird rigid durch eine Klemme auf einer anatomischen Struktur nahe den zu pedikulierenden Segmenten, meistens einem Dornfortsatz, befestigt. Der Referenzrahmen bildet somit eine starre Einheit mit den anatomischen Strukturen. Die Distanz zwischen dem Rahmen und dem Operationsbereich soll möglichst klein sein (Abbildung 4). Eine größere Distanz senkt die Navigationspräzision.

Mittels O-Arm wird dann der 3D-Datensatz der zu planenden Segmente aufgenommen und in die Planungs-Workstation eingespielt. Notwendige Instrumente werden am Referenzrahmen registriert und somit im Navigationssystem direkt dargestellt. Ein Matching der Strukturen – wie in früheren Techniken erforderlich – entfällt somit.

Bei der offenen Operation kann anhand von anatomischen Merkmalen der Eintrittspunkt in den Pedikel direkt bestimmt und die Trajektorie mittels Navigation kontrolliert werden. Bei perkutanen Techniken können allerdings die Identifikation und Lokalisation der Strukturen, insbesondere bei ausgeprägten Deformitäten, schwieriger sein. In solchen Fällen hat sich die Planung einzelner Trajektorien bewährt. Diese Technik wurde von der kranialen Navigation übernommen und für die spinale Navigation modifiziert.

In der Planungssoftware (StealthStation™ S7, Medtronic, Minneapolis, USA) werden sowohl der Eintrittspunkt (Entry Point; Abbildung 5) am Pedikelrand thorakolumbal bzw. am Gelenksrand zervikal als auch der Zielpunkt (Target Point; Abbildung 6) im Wirbelkörper definiert. Die Verbindung



Abbildung 6: Durch Festlegen des Zielpunkts in unterschiedlichen Schnitten wird die Trajektorie durch den Pedikel angelegt.

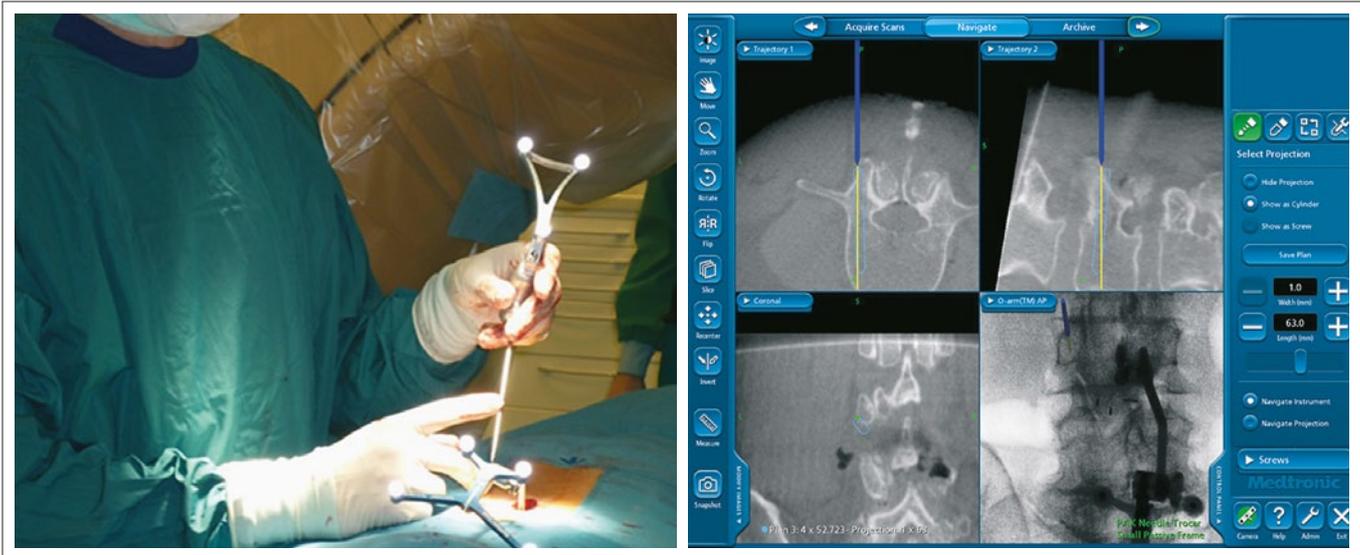


Abbildung 7: Der Hautschnitt wird durch Verlängerung der Trajektorie bis an die Körperoberfläche festgelegt.

dieser Punkte stellt schließlich die Trajektorie im Pedikel dar. Durch Verschieben von Target und Entry Point kann die Trajektorie optimiert werden, sodass sie der Pedikelachse entspricht. Damit ist ein optimaler Halt für die Pedikelschraube gegeben.

Nach Verlängerung der Trajektorie bis an die Körperoberfläche wird schließlich der Hautschnitt angezeichnet (Abbildung 7). Geplante Trajektorien können aufeinander abgestimmt werden, damit die Eintrittspunkte möglichst entlang einer gedachten Linie positioniert sind (Abbildung 8). Somit ist ein einfacheres perkutanes Einführen des Längsstabes in die Köpfe der eingesetzten Pedikelschrauben sichergestellt, was besonders bei der multisegmentalen Stabilisierung von Bedeutung ist.

Schließlich wird die navigierte Yamshidi-Nadel entlang der vorgeplanten Trajektorie eingeschlagen. Die Nadel wird durch einen Führungsdraht ersetzt und ein Kontroll-3D-Scan durchgeführt (Abbildung 9 c, d). Danach kann eine eventuell suboptimal angelegte Trajektorie korrigiert werden. Schon bei der Planung werden auch Schraubendurchmesser und -längen bestimmt (Abbildung 10).

Besonders in kaliberschmalen Pedikeln und in Segmenten, in denen eine Orientierung mit herkömmlichen 2D-Bildwandlern



Abbildung 8: Die Planung der Eintrittspunkte entlang einer virtuellen Linie erleichtert das perkutane Einbringen der Längsstäbe in die Köpfe der Pedikelschrauben.

aufgrund der anatomischen Verhältnisse schwierig ist (zervikothorakaler Übergang bzw. kraniale BWS-Segmente), erlaubt die O-Arm-basierte spinale Navigation die sichere perkutane Insertion der Pedikelschrauben (Abbildung 11). Die Planung einer Trajektorie dauert durchschnittlich eine Minute. Bei einer

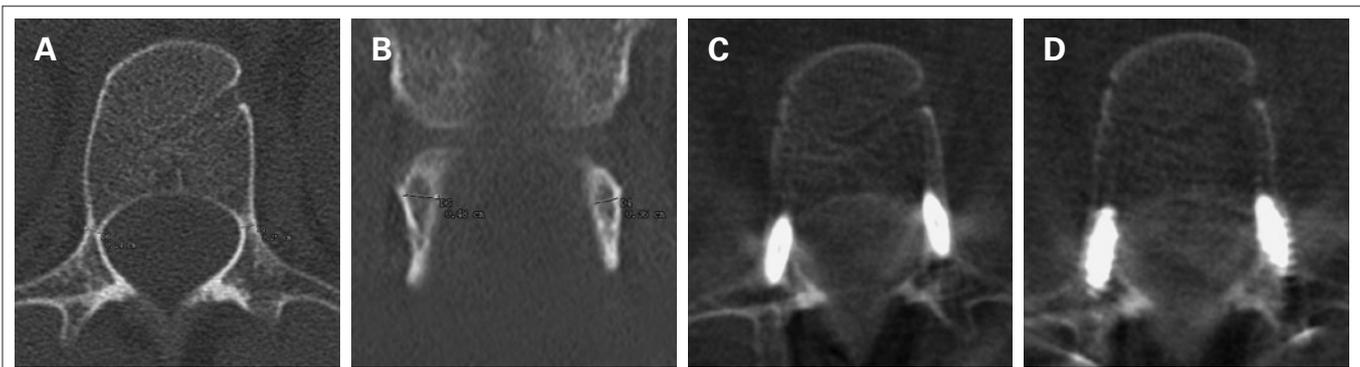


Abbildung 9: Maximal schmale Pedikel (A, B) können mithilfe der O-Arm basierten Navigation optimal mit der Yamshidi-Nadel pedikuliert werden (C). Damit werden auch die Pedikelschrauben in idealer Position gesetzt – optimale Schraubenslage (D) [12, 13].

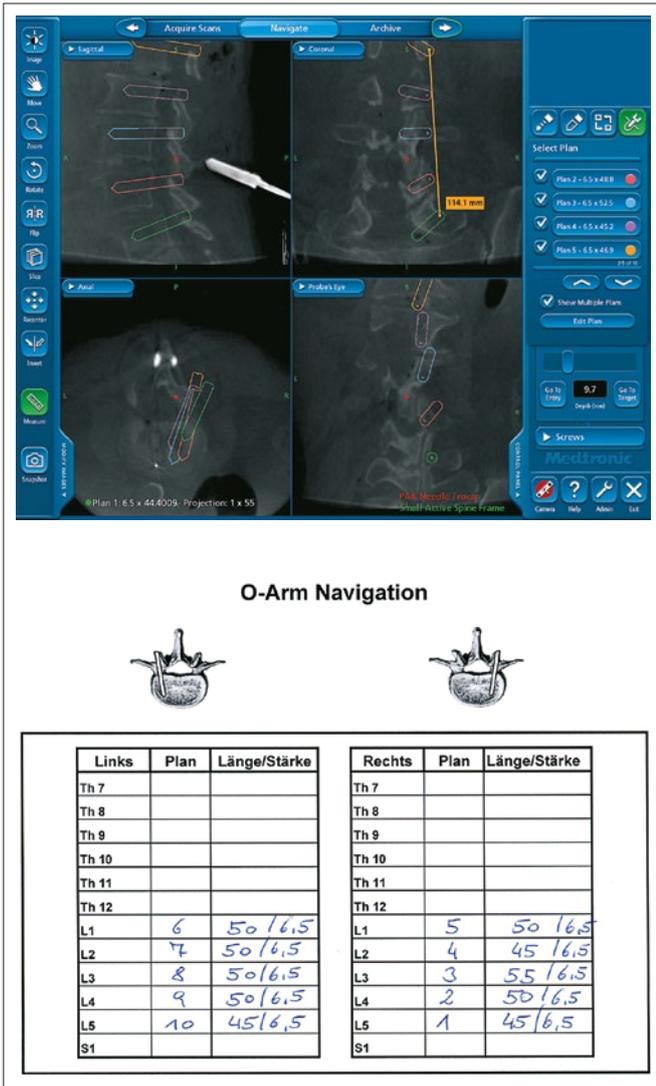


Abbildung 10: Schon während der Planung werden Schraubendiameter und -länge sowie die Stablänge bestimmt und dokumentiert.

monosegmentalen Stabilisierung mit vier Pedikelschrauben dauert die Planung etwa fünf Minuten einschließlich Kalkulation der Schraubendiameter und -längen sowie der Dokumentation des benötigten Materials (Abbildung 10). Durch dieses Verfahren kann die Strahlenbelastung sowohl für das Personal als auch den Patienten deutlich reduziert werden (Tabelle 2).



Abbildung 12: Die Elastizität der Yamshidi-Nadel kann zu einer Abweichung von der geplanten Trajektorie führen. Die rote Linie zeigt die tatsächliche Trajektorie der Yamshidi-Nadel. Durch Druck auf den navigierten Nadelgriff wird die virtuelle Trajektorie verschoben (grüne Linie), die reale Trajektorie bleibt unverändert (rote Linie).

Ein besonderes Augenmerk bei der Anwendung der spinalen Navigation ist auf die Diskrepanz zwischen dem starren virtuellen 3D-Bild und der Elastizität der realen anatomischen Strukturen zu legen. Die virtuelle Darstellung der anatomischen Strukturen, definiert durch den auf den Referenzrahmen bezogenen 3D-Scan, ist ein starres System. Demgegenüber stehen die realen anatomischen Strukturen, welche – verbunden mit dem Referenzrahmen – elastisch sind. Jeglicher Druck über die navigierte und elastische Yamshidi-Nadel führt zu einer Verzerrung der räumlichen Verhältnisse zwischen den anatomischen Strukturen und dem Referenzrahmen. Dadurch könnte die Nadel in einer falschen Position eingesetzt werden. Die Berücksichtigung dieses Mechanismus ist insbesondere beim perkutanen Pedikulieren in der zervikalen und thorakolumbalen Wirbelsäule unverzichtbar. Bei der perkutanen Nadelsinsertion kann auch der Gegendruck durch die Weichteile zum Abweichen der Nadelspitze führen (Abbildung 12). Durch ihre höhere intersegmentale Elastizität ist die Halswirbelsäule vor allem beim primären Zugang von dorsal besonders anfällig für diesen Fehler.

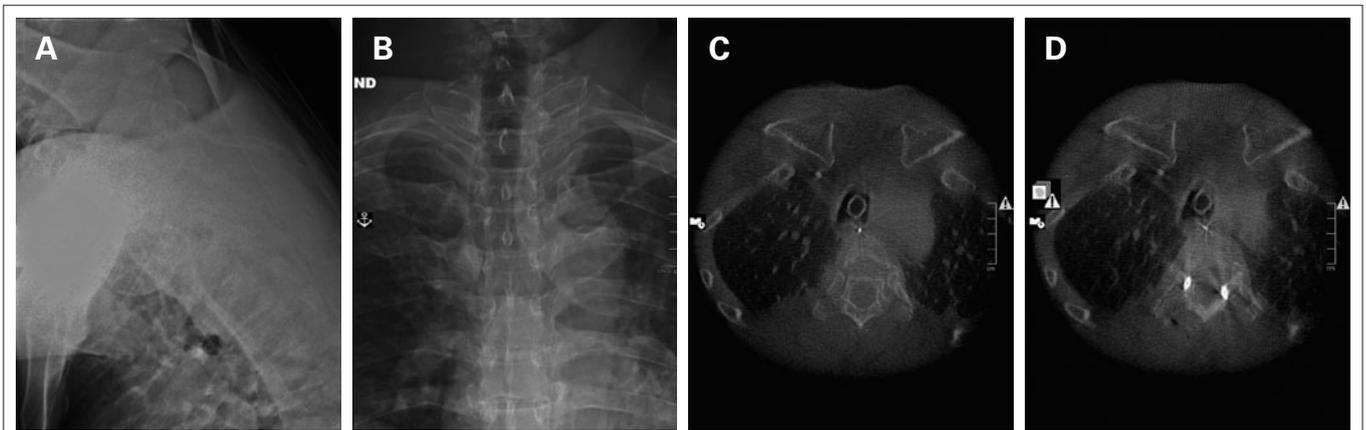


Abbildung 11: Bei schwierigen anatomischen Verhältnissen in der cranialen BWS (A seitliche Ansicht, B a. p.-Ansicht) erreicht der O-Arm eine sehr gute Darstellung der Anatomie (C) und erlaubt somit eine ideale Pedikulierung (D) [12, 13].

Tabelle 2: Strahlenbelastung – Vergleich O-Arm / CT

Standard 3D protocols				Medtronic O-arm settings					Effective Whole Body Dose (mSv)		Equivalent number of Chest (PA) X-rays	
Anatomy	Patient Size	kVp	mAs	CT-1 8 Slice	CT-2 16 Slice	CT-3 64 Slice	Average of 3 CTs	Medtronic O-arm	CT	O-arm		
Abdomen	Small	120	128	2.61	2.62	2.69	2.64	2.25	132	113		
	Medium	120	200	4.07	4.10	4.21	4.13	3.52	206	176		
	Large	120	320	6.52	6.55	6.73	6.60	5.60	330	280		
	Extralarge	120	400	8.15	8.19	8.42	8.25	6.83	413	342		
Chest	Small	120	128	2.95	2.97	3.05	2.99	2.55	150	127		
	Medium	120	160	3.69	3.71	3.81	3.74	3.18	187	159		
	Large	120	200	4.62	4.64	4.77	4.68	3.92	234	196		
	Extralarge	120	320	7.38	7.43	7.63	7.48	6.29	374	315		
Head	Small	120	100	0.62	0.63	0.65	0.63	0.50	32	25		
	Medium	120	100	0.62	0.63	0.65	0.63	0.50	32	25		
	Large	120	128	0.79	0.81	0.83	0.81	0.65	41	32		
	Extralarge	120	160	0.99	1.01	1.04	1.01	0.80	51	40		

HD3D protocols				Medtronic O-arm settings					Effective Whole Body Dose (mSv)		Equivalent number of Chest (PA) X-rays	
Anatomy	Patient Size	kVp	mAs	CT-1 8 Slice	CT-2 16 Slice	CT-3 64 Slice	Average of 3 CTs	Medtronic O-arm	CT	O-arm		
Abdomen	Small	120	187	3.81	3.83	3.93	3.86	2.98	193	149		
	Medium	120	300	6.11	6.14	6.31	6.19	4.94	309	247		
	Large	120	480	9.77	9.83	10.10	9.90	7.70	495	385		
	Extralarge	120	600	12.22	12.29	12.62	12.38	10.88	619	544		
Chest	Small	120	187	4.32	4.34	4.46	4.37	3.42	219	171		
	Medium	120	240	5.54	5.57	5.72	5.61	4.42	281	221		
	Large	120	300	6.92	6.96	7.15	7.01	5.64	351	282		
	Extralarge	120	480	11.08	11.14	11.44	11.22	8.89	561	445		
Head	Small	120	150	0.93	0.95	0.98	0.95	0.76	48	38		
	Medium	120	150	0.93	0.95	0.98	0.95	0.76	48	38		
	Large	120	187	1.15	1.18	1.22	1.18	0.96	59	48		
	Extralarge	120	240	1.48	1.52	1.56	1.52	1.25	76	63		

Enhanced 3D protocols (Head only)				Medtronic O-arm settings					Effective Whole Body Dose (mSv)		Equivalent number of Chest (PA) X-rays	
Anatomy	Patient Size	kVp	mAs	CT-1 8 Slice	CT-2 16 Slice	CT-3 64 Slice	Average of 3 CTs	Medtronic O-arm	CT	O-arm		
Head	Small	100	600	2.78	2.84	2.93	2.85	2.03	143	102		
	Medium	100	750	3.47	3.55	3.67	3.56	2.47	178	124		
	Large	110	600	3.19	3.26	3.36	3.27	2.58	163	129		
	Extralarge	120	480	2.96	3.03	3.13	3.04	2.55	152	128		

Tabelle 3: Absolute Zahlen an O-Arm Eingriffen, die seit 2010 an der Universitätsklinik für Neurochirurgie am KUK Linz durchgeführt wurden.

	HWS	HWS/ BWS	BWS	BWS/ LWS	LWS	Gesamt
Trauma	27	41	1	49	39	157
Tumor	3	2	13	4	6	28
Infekt	2		4	5	3	14
Degeneration	27	3	16	50	709	805
Mechanische Komplikation nach Ersteinriff	1				2	3
Gesamt	60	46	34	108	759	1007

■ Eigene Erfahrungen

Seit Februar 2010 wurden an der Universitätsklinik für Neurochirurgie am Kepler-Universitätsklinikum Linz mehr als 1000 O-Arm-assistierte Eingriffe durchgeführt, davon 60 zervikal, 46 im zerviko-thorakalen Übergang, 34 thorakal, 108 im thorakolumbalen Übergang und 759 lumbal (Tabelle 3). Enthalten in der Gesamtzahl sind auch 96 Skoliose-aufrichtungen.

■ Diskussion

Die perkutane spinale Stabilisierung mit Fixateur interne ist eine sichere und schnelle Operationsmethode mit geringem Blutverlust und akzeptablem Komplikationsprofil [8]. Die intraoperative Orientierung erfolgt lediglich auf Basis der radiologischen Anatomie. Somit müssen diverse anatomische Strukturen gar nicht erst freigelegt werden. Die O-Arm-basierte 3D-Navigation ermöglicht sowohl eine exaktere Orientierung an den Strukturen der Wirbelsäule, als auch eine präzisere Platzierung der Pedikelschrauben, als die zweidimensionalen C-Bogen basierten Darstellungsmethoden [9, 10]. Die beschriebene Planung der Trajektorie erleichtert die Orientierung in allen drei Dimensionen und beschleunigt somit die Operation.

Die intraoperative Strahlenbelastung wird zwar für den Patienten etwas erhöht, kann aber für das Personal, welches fast täglich Röntgenstrahlen ausgesetzt ist, reduziert werden [11]. Die Strahlenbelastung des Patienten durch den O-Arm liegt trotzdem unter den Werten der Computertomographie (Tabelle 2). Die Operationszeit mit O-Arm-Einsatz ist im Ver-

gleich mit zweidimensionaler virtueller Fluoroskopie deutlich reduziert.

Die Lernkurve ist bei einem mit anderen Formen der spinalen Navigation vertrauten Wirbelsäulenchirurgen relativ steil. Der einzige Nachteil der Methode sind die hohen Anschaffungskosten von O-Arm und Navigationssystem.

OA Dr. Tomas Narovec



1979 Medizinstudium an der Karls-Universität Prag. 1984 Ausbildung in Orthopädie am Universitätsklinikum Prag. 1994 Ausbildung in Neurochirurgie am LKH Klagenfurt. Seit 1994 Facharzt für Neurochirurgie Kepler-Universitätsklinikum / Neuromed Campus Linz. Seit 2000 Spezialgebiet Wirbelsäulenchirurgie.

Mitglied der Österreichischen Wirbelsäulengesellschaft.

■ Interessenkonflikt

Keiner

Literatur:

- White AA. Clinical biomechanics of the spine. Lippincott, Williams & Wilkins; 1978.
- Farfan HF, Gracovetsky S. The nature of instability. Spine (Phila Pa 1976) 1984; 9: 714–9.
- Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. Clin Orthop Relat Res 1986; 203: 7–17.
- Gurr KR, McAfee PC, Shih CM. Biomechanical analysis of posterior instrumentation systems after decompressive laminectomy. An unstable calf-spine model. J Bone Joint Surg Am 1988; 70: 680–91.
- Schröder J, Wassmann H. Spinal navigation: an accepted standard of care? Zentralbl Neurochir 2006; 67: 123–8.
- Börm W, Schröder J. Spinale Navigation. In: Börm W, Meyer F (eds). Spinale Neurochirurgie: Operatives Management von Wirbelsäulenerkrankungen. Schattauer, Stuttgart, 2017; 361–6.
- Schröder J, Börm W. Spinale Navigation. In: Börm W, Meyer F, Bullmann V (eds). Wirbelsäule interdisziplinär: Operative und konservative Therapie. Schattauer, Stuttgart, 2017; 581–6.
- Weiß T, Gonschorek O, Bühren V. Der perkutane Fixateur interne an der Wirbelsäule: Komplikationsrate eines neuen Verfahrens – Complication results of a new technique. OUP 2015; 179–85.
- Kim TT, Drazin D, Shweikeh F, Pashman R, Johnson JP. Clinical and radiographic outcomes of minimally invasive percutaneous pedicle screw placement with intraoperative CT (O-arm) image guidance navigation. Neurosurg Focus 2014; 36: E1.
- Mason A, Paulsen R, Babuska JM, Rajpal S, Burneikiene S, Nelson EL, et al. The accuracy of pedicle screw placement using intraoperative image guidance systems. J Neurosurg Spine 2014; 20: 196–203.
- Tabaraee E, Gibson AG, Karahalios DG, Potts EA, Mobasser JP, Burch S. Intraoperative cone beam-computed tomography with navigation (O-ARM) versus conventional fluoroscopy (C-ARM): a cadaveric study comparing accuracy, efficiency, and safety for spinal instrumentation. Spine (Phila Pa 1976) 2013; 38: 1953–8.
- Zdichavsky M, Blauth M, Knop C, Graessner M, Herrmann H, Krettek C, et al. Accuracy of pedicle screw placement in thoracic spine fractures part i: inter- and intraobserver reliability of the scoring system. Eur J Trauma 2004; 30: 234–40.
- Heintel TM, Berglehner A, Meffert R. Accuracy of percutaneous pedicle screws for thoracic and lumbar spine fractures: a prospective trial. Eur Spine J 2013; 22: 495–502.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

[Bilddatenbank](#)

[Artikeldatenbank](#)

[Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

[Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)