Perkutane dorsale versus offene Instrumentation bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs

Eine vergleichende prospektive Untersuchung

In der 2. Hälfte der 1990er-Jahre ist man bei der Versorgung von Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule, parallel zur Entwicklung thorakoskopischer und minimal-invasiver Techniken zu ventralen Stabilisationsverfahren übergegangen. Auch wenn dies über vergleichende Studien bislang nicht belegt wurde, erscheint es plausibel, dass über thorakoskopisch gestützte [3, 6] oder mikrochirurgische Techniken [18] im Vergleich zu offenen ventralen Fusionsverfahren die perioperative Morbidität entscheidend reduziert ist [2, 3, 6].

Bei der offenen dorsalen Instrumentation mit Fixateur interne hingegen wird eine zugangsbedingte Schädigung der autochthonen Rückenmuskulatur, die nachweisbar zu einer relevanten und irreversiblen funktionellen Beeinträchtigung des M. multifidus führt [12, 23], bislang dagegen überwiegend akzeptiert.

Ziel dieser Studie ist zu überprüfen, ob – im Vergleich zur offenen Technik – über eine minimierte, die anatomischen Verhältnisse respektierende dorsale Instrumentation eine irreversible Schädigung der Wirbelsäulenmuskulatur vermieden werden kann. Des Weiteren sollte überprüft werden, ob über die minimierte Technik eine vergleichbar sichere Pedikelschraubenplatzierung und gute Rekonstruktion der physiologischen Wirbelsäulenkrümmung zu erreichen ist.

Material und Methode

Im Zeitraum von 11/2000 bis 09/2003 wurden 57 Patienten in die prospektive, klinische Studie aufgenommen (■ **Tabelle 1**). Einschlusskriterien waren geschlossene A- und B-Frakturen [16] des 12. BWK bis 5. LWK gemäß AO-Klassifikation. Die präoperative Zuordnung zur offenen bzw. perkutanen Therapiegruppe erfolgte nach folgenden Kriterien.

Offene Platzierung des Fixateur interne

Die offene Platzierung des Fixateur interne erfolgte, falls präoperativ unter Bildwandlerkontrolle ersichtlich wurde, dass über eine optimierte Lagerung im ventralen Durchhang allein keine annähernd zufriedenstellende Rekonstruktion der physiologischen Krümmung der LWS zu erreichen ist. Die Evaluation des präoperativen Verletzungsausmaßes und Ergebnis der operativen Versorgung erfolgte über:

- *Klinisch-neurologische Untersuchung.*
- *Standardröntgenaufnahmen in 2 Ebenen:* Beurteilung und Vermessung der segmentalen Kyphose und Quantifizierung der Veränderung angrenzender Zwischenwirbelräume nach Cobb (zitiert n. [5]).

- *CT-Untersuchung* (3 mm axiale Schichtdicke und zusätzliche frontale sowie sagittale Rekonstruktion) zur
 - Beurteilung der Frakturmorphologie,
 - Beurteilung des Ausmaßes der Spinalkanaleinengung,
 - Einteilung der Wirbelsäulenverletzung gemäß der Klassifikation nach Magerl et al. [16],
 - Beurteilung und Klassifizierung der Pedikelschraubenlage postoperativ ([24]; Abb. 1).
- *Perioperativer Blutverlust, Op.-Zeit und Durchleuchtungszeit:* Der perioperative Blutverlust wird nach erfolgter Hautnaht als die in der Absaugpumpe befindliche Menge Blut in ml sowie die Menge der in den Redon-Drainagen befindlichen Flüssigkeitsmengen bis zum Zug der Drainage definiert (nur dorsale Instrumentation); die Operationszeit als Beginn Hautschnitt bis Ende Hautnaht in min und die Durchleuchtungszeit ab Beginn der Lagerung bis zum Ende der Operation in s erfasst.

Trauma Berufskrankh 2005 · 7 [Suppl 2]: S354–S362
DOI 10.1007/s10039-005-1072-0
© Springer Medizin Verlag 2005

R. Grass · A. Biewener · A. Dickopf · St. Rammelt · J. Heineck · H. Zwipp

Perkutane dorsale versus offene Instrumentation bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. Eine vergleichende prospektive Untersuchung

Zusammenfassung

Studien-Design. Prospektive klinische Studie.

Fragestellung. Kann über eine perkutane dorsale Instrumentation von thorakolumbalen Wirbelfrakturen eine irreversible Schädigung der autochthonen Rückenmuskulatur vermieden werden?

Material/Methode. 57 Patienten mit thorakolumbalen Frakturen (Th12–L4), 24/57 offen, 33/57 perkutan instrumentiert. Evaluation von Alter, Geschlecht, Frakturhöhe und -klassifikation, postoperative Pedikelschraubenlage, perioperativer Blutverlust, Op.-Zeit und Durchleuchtungsdauer, Muskelschädigung über Nadel-EMG. Statistischer Vergleich via t-Test.

Ergebnisse. Op.-Zeit, Durchleuchtungsdauer sowie Genauigkeit der Pedikelschraubenlage zwischen beiden Gruppen waren sta-

tistisch nicht unterschiedlich. Unterschiede im perioperativen Blutverlust [43 (10–90) ml perkutan und 870 (570–1200) ml offen] waren statistisch signifikant ($p < 0,005$). Die Nadel-EMG zeigte keinerlei Muskelschädigung und eine normale physiologische Aktivität der Motoneuronen bei maximaler Willkürinnervation in der perkutanen Gruppe, wohingegen in der offenen Gruppe nahezu ausschließlich polyphasische EMG-Signale (Polyphasierate $> 80\%$) objektiviert wurden, zusätzlich ließen sich an der offenen Gruppe stark gelichete Aktivitätsmuster als Zeichen des Ausfalls zahlreicher motorischer Einheiten objektivieren.

Fazit. Die offene Fixateur-interne-Platzierung verursacht eine bleibende und relevante Schädigung des stärksten Extensors der autochthonen Rückenmuskulatur, des

M. multifidus, die ursächlich auf eine mehrsegmentale und kombinierte Schädigung des R. posterior nervi spinalis und von Muskelfasern zurückgeht. Diese iatrogene Schädigung der autochthonen Wirbelsäulenhängsmuskulatur kann über die gezeigte perkutane Instrumentation vermieden werden; und der perioperative Blutverlust ist darüber hinaus minimal.

Schlüsselwörter

Offene Fixateur-interne-Platzierung · Thorakolumbale Fraktur · EMG-Evaluation · Autochthoner Rückenmuskelschaden · Perioperativer Blutverlust

Percutaneous dorsal versus open instrumentation for fractures of the thoracolumbar border. A comparative, prospective study

Abstract

Study design. A prospective clinical study.

Objective. To evaluate whether a percutaneous dorsal instrumentation of thoracolumbar fractures prevents irreversible damage to the spinal muscles.

Methods. A total of 57 patients with thoracolumbar fractures (Th12–L4) were divided into two groups, comparable in terms of gender, fracture level, classification and surgical concept. In the first, 24/57 patients were treated using an open procedure (OP-G); in the second, 33/57 were treated via percutaneous dorsal instrumentation (PER-G). Fracture localisation and classification, accuracy of pedicle screw placement, perioperative blood loss, OR- and image converter time

as well as muscle damage (needle-EMG) were evaluated.

Results. OR- and image converter time as well as the accuracy of pedicle screw placement were not statistically different between groups. The difference in perioperative blood loss [43 (10–90) ml (PER-G) vs [870 (570–1,200 ml (OP-G))] was statistically significant ($P < 0.005$). Needle EMG revealed no muscle damage, and the physiological activity and muscle potentials were normal (PER-G). In the OP-G, polyphasic EMG signals were most common (80%), a sign of the drop-out of numerous motor units.

Conclusions. The open procedure caused permanent and significant damage to the

strongest extensors of the autochthonous back musculature, the m. multifidus, which results from multisegment combined damage to the r. posterior nervi spinalis and muscle fibres. In contrast, percutaneous placement of an internal fixative reduces perioperative access morbidity causing little iatrogenic damage to back muscles and only a minor perioperative blood loss.

Keywords

Percutaneous internal fixator · Thoracolumbar fractures · EMG evaluation · Autochthonous back muscles damage · Perioperative blood loss

Abb. 1 ◀ **Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky et al. [24]**

Abb. 2 ◀ **Silhouette des Wirbelsäulen-Fixationsystems, dargestellt am Plastikmodell. Im Bereich der linken Schraube sind bereits die Gewindeflanken an ihren Sollbruchstellen abgebrochen worden**

— **EMG-Untersuchung** (Toennis-EMG): Im Rahmen des Follow-up [im Mittel 8,3 (4–18) Monate postoperativ] wurde bei je 10 (per Briefumschlag-Verfahren) zufällig ausgewählten Patienten beider Gruppen, die weder prä- noch postoperativ eine neurologische Störung aufwiesen, eine isometrische Extensionsbelastung durchgeführt (Tabelle 2). Die resultierenden EMG-Signale wurden an 6 verschiedenen (3 pro Seite) Lokalisationen des M. multifidus mittels Nadel abgeleitet. Zur Anwendung kam das EMG-Gerät der Fa. Toennis. Die 1. Ableitung erfolgte dabei oberhalb, die 2. zwischen den beiden, die 3. unterhalb der kaudalen Pedikelschrauben. Neben der Innervationsstärke wurden die Aktionspotenziale einzelner motorischer Einheiten des M. multifidus erfasst sowie die Anzahl pathologischer Muskelpotenziale prozentual quantifiziert und die Aktivitätsdichte der motorischen Einheiten sowie deren Rekrutierung untersucht. Die Nadelelektroden wurden dabei, nach chirurgischer Hautdesinfektion, in den medial gelegenen Muskelbauch des M. multifidus bis zu einer Einbringtiefe von 4 cm platziert. Die Extensionsbelastung erfolgte gemäß einem modifizierten Biering-Sörensen-Test [4]: Die Untersuchungsperson wurde in Bauchlage auf ein Lagerungskissen positioniert, auf Höhe des Beckens abgestützt und die Beine auf Knöchelhöhe mit Gurten fixiert sowie die Arme seitlich an den Rumpf gelagert. In dieser Position wurde die Testperson aufgefordert, den Oberkörper bis zur Horizontalen anzuheben und diese Stellung für 90 s zu halten. Die EMG-Ableitung erfolgt zum Zeitpunkt der maximalen isometrischen Kontraktion.

Operative Technik (perkutane Instrumentation)

Zur Anwendung kam das Wirbelsäulen-Fixateur-System Silhouette der Fa. Centropulse/Zimmer, Schweiz/USA. Es handelt sich dabei um ein System, das auf polyaxialen Toploader-Pedikelschrauben basiert (■ **Abb. 2**). Über den präoperativ durch Bildwandler bestimmten Pedi-

Abb. 3 ◀ Querschnitt durch die Rückenmuskulatur. R.P. Ramus posterior nervi spinalis, M.L. M. longissimus, M.M. M. multifidus. (Mod. nach [20a])

Abb. 4 ◀ Intraoperative Darstellung der Pedikelmärker a.-p. und seitlich über Bildwandler

Abb. 5 ▲ Frakturverteilung (n=57). P-G perkutane Instrumentation, O-G offene Instrumentation

Abb. 6 ▲ Frakturklassifikation (n=57) nach [16]. P-G perkutane Instrumentation, O-G offene Instrumentation

keleintrittstellen wurden nach den üblichen Op.-Vorbereitungen vier 2–3 cm lange Hautinzisionen angelegt. Nach scharfem Durchtrennen des Subkutangewebes und Längsspalten der Fascia thoracolumbalis wurde kulissenförmig und stumpf zwischen M. multifidus, der nach medial,

und M. longissimus, der nach lateral weggehalten wird, auf die Pedikeleintrittsstelle eingegangen (▣ Abb. 3).

Die Präparation der Pedikelkanäle erfolgte gemäß den üblichen operativen Techniken. Nach Setzen von Pedikelmärkern (▣ Abb. 4) und Überprüfung in seitli-

cher und a.-p.-Durchleuchtung erfolgte die Platzierung der Polyaxialschrauben. In der Regel kamen dabei 6,5-mm-Schrauben, gelegentlich bei sehr engen Pedikelkanälen auch 5,5-mm-Schrauben zur Anwendung. Die mit dem Stabbiegeinstrument gebogenen Längsträger werden, von kranial nach

kaudal und subfaszial, zwischen M. multifidus und M. longissimus eingeschoben und unter Sicht zwischen die Gewindeflanken der Schrauben platziert.

Nach beidseitiger distaler Fixierung der Längsträger über Verschlussmuttern erfolgt die Wiederherstellung des Alignments der Wirbelsäule entweder über

die im ventralen Durchhang erzielte forcierte Lordosierung oder durch kurzfristiges zusätzliches Anheben des Oberkörpers (über die Op.-Tisch-Mechanik oder manuell), bei gleichzeitiger proximaler Fixierung der Längsträger über Verschlussmuttern. Nach endgültigem Anziehen der Schrauben mittels Drehmomentschlüssel (13 Nm) werden die Gewindeflanken an ihrer Sollbruchstelle abgetrennt (■ Abb. 2), entfernt und ein schichtweiser Wundverschluss, in der Regel ohne die Platzierung von Redon-Drainagen, durchgeführt.

Zur Anwendung kam bei der offenen Technik das Wirbelsäulen-Fixateur-System USS der Fa. Mathys/Schweiz, das über einen medianen Zugang und konventionelle Op.-Technik platziert wurde.

Statistik. Der Gruppenvergleich der erhobenen Daten erfolgte mittels t-Test.

Ergebnisse

Im Zeitraum zwischen November 2000 und August 2003 wurden 57 Patienten in die klinische Studie aufgenommen. Bei 24/61 Patienten wurde der Fixateur interne (USS der Fa. Synthes) offen (Gruppe offen), bei 33 Verletzten der Fixateur interne (Silhouette der Fa. Centerpulse/Zimmer) perkutan (Gruppe perkutan) platziert. Hinsichtlich der Zuordnung der Patienten zu den Gruppen offen versus perkutan, Alter und Geschlechtsverteilung sowie Fraktur-Verteilung und -Klassifikation verweisen wir auf ■ Tabelle 2, ■ Abb. 5 und ■ Abb. 6.

Bei 45/57 Patienten wurde neben der Fixateur-interne-Montage zweizeitig eine thorakoskopisch gestützte ([3, 6, 9, 17]; ■ Abb. 7, 8, 9, 10) oder über einen minimierten retroperitonealen Zugang [18] geführte ventrale Fusion durchgeführt. Bei 38/57 Patienten war dabei eine monoseg-

Tabelle 1

Verteilung der 57 Patienten, Alter und Geschlecht

	Perkutan	Offen
Patienten (n)	33	24
• Alter [Jahre]	49,7	35,7
• Maximal	72,5	66,6
• Minimal	19,0	15,5
• Standardabweichung	12,2	14,1
• Frauen (n)	13	8
• Männer (n)	20	16

Tabelle 2

Ausgewählte (Briefumschlag) Patienten der perkutanen und offen Gruppe, bei denen im Rahmen eines Follow-up [im Mittel 8,3 (4–18) Monate postoperativ] eine isometrische Extensionsbelastung durchgeführt und die Aktivität des M. multifidus über EMG erfasst wurde

Patienten-Nr. (perkutan)	Alter	Geschlecht	Fraktur	AO	Op.-Dauer (dorsal) [min]	Durchleuchtungszeit [s]	Op.-Dauer (ventral) [min]	Fusion	Fusionshöhe
2	35,3	w.	Th12	A2	95	110	95	Mono	Th11/Th12
4	60,8	w.	L1	A3	80	126	115	Synex	Th12/L2
7	40,1	w.	L1	A3	75	16	145	Mono	Th12/L1
8	54,6	m.	L3	A3	90	84		0	
10	48,1	m.	L1	A3	70	50	120	Mono	Th12/L1
13	40,8	m.	L1	A3	80	78		0	
21	50,6	w.	L1	A3	70	56		0	
26	61,8	m.	L3	A3	90	93	95	Mono	L2/L3
31	54,3	w.	L1	A3	105	100	180	Bi	Th12/L2
32	53,9	w.	L4	A2	80	78	98	Mono	L3/L4
Patienten-Nr. (offen)	Alter	Geschlecht	Fraktur	AO	Op.-Dauer (dorsal) [min]	Durchleuchtungszeit [s]	Op.-Dauer (ventral) [min]	Fusion	Fusionshöhe
2	16,0	m.	L2	B1	95	67	190	Mono	L1/L2
4	41,7	w.	Th12	A3	60	60	90	Mono	Th11/TH12
5	30,9	m.	L3	A3	150	120	100	Mono	L2/L3
9	41,1	w.	L1	A3	83	76	65	Mono	TH12/L1
11	19,7	w.	L2	A3	85	65	100	Mono	L1/L2
13	46,4	m.	L1	A3	65	95	75	Mono	TH12/L1
15	39,3	m.	L4	A2	65	24	125	Mono	L3/L4
19	35,5	m.	Th12	A2	110	81	125	Bi	Th11/L1
20	44,0	m.	L1	B2	128	98	78	Mono	Th12/L1

mentale, bei den anderen 7 Patienten eine bisegmentale Spondylodese unter Verwendung autologer trikortikaler Beckenkammspäne sowie einmal eine bisegmentale Cage-Implantation (Synex der Fa. Synthes, Schweiz) durchgeführt worden. Eine zusätzliche ventrale Instrumentation erfolgte nie.

Die Operationszeit für die perkutane Instrumentation betrug durchschnittlich 85 min (25–120), für die offene 100 (45–240) min. Wiewohl sich im Trend die Op.-Zeit für das perkutane Verfahren verkürzt zeigte, unterschieden sich die beiden Zeiten statistisch allerdings nicht ($p=0,010$; **■ Tabelle 3**).

Die operative Durchleuchtungszeit mit Bildwandler betrug im Mittel 88 (16–204) s bei der perkutanen Instrumentation und 79 (16–186) s bei der offenen. Statistisch zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p=0,367$; **■ Tabelle 3**).

Der perioperative Blutverlust ermittelte sich für die perkutane Gruppe mit durchschnittlich 40 (10–90) ml, für die offene Gruppe mit 870 (570–1200) ml (**■ Tabelle 3**). Bei diesem Vergleich zeigte sich statistisch ein hochsignifikanter Unterschied ($p<0,005$) zwischen beiden Gruppen (**■ Tabelle 3**).

Ein Umsteigen von der perkutanen auf die offene Technik war in keinem Fall erforderlich.

In der postoperativ durchgeführten Computertomographie lagen 94% der Pedikelschrauben in der perkutanen Gruppe und 88% in der offenen Gruppe korrekt (1A). 5% (perkutan) bzw. 8% (offen) der Schrauben perforierten die laterale Wand des Pedikels (1B), bei der perkutanen Gruppe lag eine Schraube sowohl außerhalb des Pedikels als auch außerhalb des Wirbelkörpers (3A). Eine Perforation der medialen Pedikelwand (2B) wurde nur einmal – bei der offenen Gruppe – gesehen (**■ Tabelle 4**, **■ Abb. 1**).

Ein korrektes Wirbelsäulenalignement konnte bei 27 der 33 Patienten der perkutanen Gruppe erreicht werden, bei den 6 übrigen Patienten fand sich eine persistierende Kyphosierung von im Mittel 4 (3–7). Bei allen 24 Patienten der offenen Gruppe wurde postoperativ ein korrektes Alignment gesehen.

Komplikationen

Bei 2 der 33 Patienten der perkutanen Gruppe waren relevante Komplikationen zu verzeichnen.

Einmal wurde am 6. postoperativen Tag ein infiziertes Hämatom (Keim: Staph. aureus) im Bereich einer Schraubeneintrittsstelle gesehen, das nach einmaliger Revision und kurzfristiger Antibiotikagabe zur Ausheilung kam. Eine der insgesamt 132 platzierten Pedikelschrauben der perkutanen Gruppe musste infolge biomechanischer Erwägungen revidiert (3A) und neu platziert werden. Der Eingriff wurde im Rahmen der zweizeitig erfolgenden ventralen Fusion durchgeführt.

EMG

Im Rahmen der EMG-Untersuchung konnten bei keinem der 10 Patienten der perkutanen Gruppe eine Spontanaktivität und insgesamt nur wenige (<20%) pathologische polyphasische Muskelpotenziale abgeleitet werden. Die globale Beurteilung zeigte physiologische Aktivitätsmuster bei der maximalen Willkürinnervation als Hinweis auf eine weitestgehend intakte Muskulatur (M. multifidus).

Bei keinem der 10 Patienten der offenen Gruppe zeigte sich Spontanaktivität. Im Gegensatz zur perkutanen Gruppe wurden allerdings nahezu ausschließlich polyphasische EMG-Signale (Polyphasierate >80%) objektiviert. Bei der Willkürinnervation entsprach dies dem Auftreten von pathologischen Muskelpotenzialen in nahezu allen Ableitpunkten. Die gesichteten polyphasischen Potenziale waren niedrigamplitudig, stark aufgesplittet und entsprachen typischen Reinnervationspotenzialen. Zusätzlich ließen sich stark gelichtete Aktivitätsmuster als Zeichen des Ausfalls zahlreicher motorischer Einheiten objektivieren.

Diskussion

Die in die Arbeit integrierten Patientenpopulationen, offen versus perkutan, waren hinsichtlich Alter, Geschlecht, Frakturhöhe und -klassifikation sowie des operativen Konzepts (dorsoventrale Fusion) vergleichbar, wiewohl die Verletzungsschwere (Dislokationsgrad) in der offenen Grup-

Tabelle 3

Op.-Zeit [min], Durchleuchtungszeit [s], perioperativer Blutverlust [ml]		
	Perkutan	Offen
Op.-Zeit [min]	85	100
• Maximal	120	240
• Minimal	25	45
• Standardabweichung	18	39
Durchleuchtungszeit [s]	88	79
• Maximal	204	186
• Minimal	16	16
• Standardabweichung	39	41
Perioperativer Blutverlust [ml]	40	870
• Maximal	90	1200
• Minimal	10	570
• Standardabweichung	15	177

Tabelle 4

Pedikelschraubenlage [24]		
	Perkutan	Offen
1A	94	88
1B	5	8
2A	0	2
2B	0	2
3A	2	0
3B	0	0

pe als höher eingestuft werden musste. Diese Einschränkung ist allerdings für die Beantwortung der Kernfragestellung der Studie (Abklärung der Schädigung der Wirbelsäulenmuskulatur) nicht von Belang, da alle EMG-Testungen an Patienten durchgeführt wurden, die weder prä- noch postoperativ eine neurologische Störung zeigten.

Die Operationszeiten der beiden Gruppen unterschieden sich nicht signifikant: die perkutane Instrumentation war, bei nahezu identischen Durchleuchtungszeiten, allerdings tendenziell kürzer. Dies kann mit dem verminderten operativen Aufwand erklärt werden.

Ein statistisch hochsignifikanter Unterschied fand sich für die perioperativen Blutverluste (40 ml in der perkutanen Gruppe

Abb. 7 ◀ **Klinisches Beispiel: 23-jährige Frau nach VKU mit A3.2-Fraktur des 1. LWK ohne neurologische Symptome**

Abb. 8 ◀ **Gleiche Patientin wie in ▣ Abb. 7. Postoperative Pedikelschraubenlage nach Fixateur interne von Th12 nach L2**

Abb. 9 ▶ **Gleiche Patientin wie in ▣ Abb. 7. Ergebnis nach thorakoskopisch gestützter ventraler Fusion Th12/L1. Perfekte Wiederherstellung des Alignments**

Abb. 10 ◀ **Gleiche Patientin wie in ▣ Abb. 7. Kosmetisches Ergebnis im 8. Monat postoperativ**

versus 870 ml in der offenen Gruppe). Bei der perkutanen Gruppe konnte durch das anatomischen Verhältnisse respektierende stumpfe Auseinanderdrängen von M. multifidus und M. longissimus der perioperative Blutverlust minimiert werden, wohingegen es bei der offenen Technik im Rahmen des scharfen Ablösens des M. multifidus von den Processus spinosi,

Laminae und teilweise von den Processus mamillares immer zu relevanten perioperativen Blutverlusten kam.

Im Rahmen der perkutanen Instrumentation waren, im Vergleich zum offenen Verfahren, die instrumentellen Möglichkeiten, das physiologische Alignment der Wirbelsäule wiederherzustellen, begrenzt. Bei 27 Patienten konnte dennoch die physiologi-

sche Krümmung der LWS allein über eine optimierte Lagerung (▣ Abb. 7, 8, 9, 10, ventraler Durchhang und zusätzliches Anheben des Oberkörpers intraoperativ) wiederhergestellt werden. Bei 6 der 33 Patienten gelang dies zum Zeitpunkt der definitiven Fixation nicht. Dies sollte nicht als Einschränkung der Methodik, sondern eher

als Ansporn, adäquate Instrumente zu entwickeln, verstanden werden.

Die Fehlplatzierung von Pedikelschrauben ist bei der Versorgung von thorakolumbalen Wirbelfrakturen nicht vollständig auszuschließen [1, 7, 10, 13, 19, 20, 24]. Eine Fehlplattenrate von 6% in der perkutanen Gruppe im Vergleich zu 12% nach offener Instrumentierung kann allerdings als akzeptables Resultat gewertet werden, zumal da in der perkutanen Gruppe nie eine Perforation der medialen Pedikelwand gesehen wurde und nur einmal eine Schraubenfehlage wegen der daraus resultierenden mechanischen Instabilität des Gesamtstruktes korrigiert werden musste.

Hauptziel dieser Arbeit war es zu überprüfen, ob über eine perkutane, minimaltraumatisierende, die anatomischen Verhältnisse respektierende dorsale Instrumentation im Vergleich zum herkömmlichen offenen Verfahren eine Reduktion der Zugangsmorbidität erreicht werden kann. Zur Objektivierung der Schädigung der autochthonen Rückenmuskulatur war eine vergleichende EMG-Untersuchung des M. multifidus bei 10 Patienten jeder Gruppe durchgeführt worden.

Der M. multifidus ist vor dem M. longissimus und dem M. iliocostalis stärkster Rückenstrecker und gleichzeitig Hauptextensor [9, 13, 21] der lumbalen Rückenmuskulatur. Er besteht aus einer sich wiederholenden Serie von Faserbündeln, die von den Laminae und Processus spinosi der Lendenwirbel entspringen. Die kürzesten Fasern (laminäre Fasern) entspringen vom kaudalen Ende der Laminae und inserieren an den Processus mamillares der 2 Ebenen weiter kaudal liegenden Wirbel. Die Hauptmasse des M. multifidus besteht aus größeren Faserbündeln, die strahlenförmig von den Processus spinosi entspringen, fächerförmig aufeinander geschichtet verlaufen und an den Processus mamillares (4 Segmente tiefer) sowie der Crista iliaca und dem Sakrum inserieren [14]. Alle Faserbündel, die von einem Processus spinosus eines beliebigen Wirbels entspringen, werden segmental vom dazugehörigen Ast des R. posterior nervi spinalis innerviert [21].

Im Falle des offenen Zugehens werden die Sehnenansätze des M. multifidus auf 3–4 Ebenen von den Processus spinosi und Laminae komplett und von den Processus

mamillares teilweise scharf gelöst. Gleichzeitig kommt es, im Rahmen der operativen Präparation nach lateral, zwangsläufig zu einer relevanten Kontusionierung und Zerstörung von Muskelmasse, was durch Objektivierung eines gelichteten Aktivitätsmusters bei den Patienten der offenen Gruppe belegt werden konnte. Von größerer Relevanz allerdings ist wahrscheinlich die im Rahmen des offenen Zugehens erfolgende iatrogene Schädigung der Rr. posteriores nervi spinalis im Bereich der präparatorischen Darstellung von 3–4 Bewegungssegmenten (■ **Abb. 2**).

Wird eines dieser segmentalen R.-posterior-Motoneurone geschädigt, resultiert eine Denervation der von diesem Nerv abhängigen Muskelfasern und ein kompletter Funktionsverlust der kompletten motorischen Einheit (in der postoperativen Frühphase! [21]). Eine Funktion dieser geschädigten motorischen Einheiten tritt erst wieder ein, wenn Nervenausläufer intakter Motoneurone zu diesen denervierten Fasern (Wachstumsgeschwindigkeit 1 mm pro Tag) sprossen und sie reinnervieren (Kollateralisation). Wegen ihres typischen Potenzialmusters werden diese neu entstandenen motorischen Einheiten als polyphasische Potenziale bezeichnet [21, 22].

Das Ausmaß der segmentalen Schädigung der Rr. posteriores nervi spinalis kann somit indirekt über die Anzahl der beobachteten polyphasischen Potenziale quantifiziert werden: Die vergleichende Betrachtung der Polyphasieraten (offen >80% versus perkutan <20%) belegt die ausgedehnte Schädigung des M. multifidus im Rahmen der offenen Instrumentation.

Der substanzgeminderte und im Umbau begriffene M. multifidus, dessen Sehnenansätze darüber hinaus auf 3–4 Segmenten komplett abgelöst wurde, zeigte als Folge dieser kombinierten Schädigung eine Lichtung seines Interferenzmusters, eine eingeschränkte Möglichkeiten der Rekrutierung von motorischen Einheiten, was die von Kramer et al. [12] gezeigte erhebliche Minderung der Kraft bei maximaler Willkürinnervation erklären kann. Diese Veränderungen sind nach Kramer et al. dabei so weitreichend, dass in der Gruppe der offen Operierten sogar das Aktivitätsmuster der Mm. erector spinae wechselte: Die nach offener Fixateur-

interne-Platzierung beobachtete verminderte Kraftentfaltung des M. multifidus, normalerweise der stärkste Rückenstrecker [14], wird durch die Mm. longissimus et iliocostalis kompensiert [12], wobei der M. iliocostalis dabei höhere Aktionspotenziale als der M. multifidus [12] zeigte, was, wie von Johnson et al. [11] gezeigt werden konnte, als unphysiologisch anzusehen ist.

In der Gruppe der perkutan Operierten waren bei allen Patienten weniger als 20% polyphasische Potenziale detektiert worden, und die globale EMG-Beurteilung zeigte physiologische Aktivitätsmuster bei der maximalen Willkürinnervation, was auf eine weitestgehend intakte Muskulatur rückschließen lässt. Der sehr geringe perioperative Blutverlust belegt zusätzlich indirekt, dass über die geschilderte anatomiegerechte Präparation eine iatrogene Schädigung der Muskulatur vermieden werden kann.

Fazit

Die offene Fixateur-interne-Platzierung verursacht eine bleibende und relevante Schädigung des stärksten Extensors der autochthonen Rückenmuskulatur, des M. multifidus, die ursächlich auf eine mehrsegmentale sowie kombinierte Schädigung der Rr. posteriores nervi spinalis und Muskelfasern zurückgeht. Diese iatrogene Schädigung der autochthonen Wirbelsäulenlängsmuskulatur kann über die gezeigte perkutane Instrumentation vermieden sowie der perioperative Blutverlust darüber hinaus minimiert werden.

Durch Bildwandlerkontrolle in beiden Ebenen konnte bei der perkutanen Instrumentation die Rate der Schraubenfehlagen in einem akzeptablen Bereich gehalten werden.

Bei der perkutanen Technik erwies sich die Wiederherstellung der physiologischen Wirbelsäulenkrümmung, die letztlich bei einigen Patienten (6/33) als inkomplett eingestuft werden musste, als in dieser Patientenserie noch problematisch. Dies sollte allerdings nicht als Einschränkung der Methodik, sondern eher als Ansporn, adäquate Instrumente zu entwickeln, verstanden werden.

Korrespondierender Autor

Dr. R. Grass

Klinik für Unfall-
und Wiederherstellungschirurgie,
Universitätsklinikum C.G. Carus der TU Dresden,
Fetscherstraße 74, 01307 Dresden,
E-Mail: rene.grass@uniklinikum-dresden.de

Interessenkonflikt: Es besteht kein Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

Literatur

- Amiot LP, Lang K, Putzier M, Zippel H, Labelle H (2000) Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar and sacral spine. *Spine* 25: 606–614
- Baulot E, Trouilloud P, Ragois P, Giroux EA, Grammont PM (1997) Anterior spinal fusion by thoracoscopy. A non-traumatic technique. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 83: 203–209
- Beisse R, Potulski M, Temme C, Bühren V (1998) Endoscopically controlled division of the diaphragm. A minimally invasive approach to ventral management of thoracolumbar fractures of the spine. *Unfallchirurg* 101: 619–627
- Biering-Sørensen F (1984) Physical measurements as risk indicators for low back trouble over one year period. *Spine* 9: 106–119
- Blauth M (1998) Grundlagen der Wirbelsäulenchirurgie. In: Tscherne H, Blauth M: *Unfallchirurgie Wirbelsäule*. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 1–23
- Bühren V (1998) Thoracoscopic management of fractures of the thoracic and lumbar spine. *Langenbecks Arch Chir* 115: 108–112
- Castro WH, Halm H, Jerosch J, Malms J, Steinbeck J, Blasius S (1996) Accuracy of pedicle screw placement in lumbar vertebrae. *Spine* 21: 1320–1324
- Freixinet J, Hussein M, Mhaidli H, Rodriguez Suarez P, Robaina F, Rodriguez de Castro F (1998) Transthoracic approach to the spinal column. *Arch Bronconeumol* 34: 492–495
- Hertlein H, Hartl WH, Dienemann H, Schurmann M, Lob G (1995) Thoracoscopic repair of thoracic spine trauma. *Eur Spine* 4: 302–307
- Jerosch J, Malms J, Castro WH, Wagner R, Wiesner L (1992) Lagekontrolle von Pedikelschrauben nach instrumentierter dorsaler Fusion der Lendenwirbelsäule. *Z Orthop* 130: 479–483
- Jonsson B (1970) The functions of individual muscles in the lumbar part of the spine muscle. *Electromyography* 1: 5–21
- Kramer M, Katzmaier P, Eisele R, Ebert V, Kinzl L, Hartwig E (2001) Surface electromyography-verified muscular damage associated with the open dorsal approach to the lumbar spine. *Eur Spine* 10: 414–420
- Laine T, Mäkitalo K, Schlenzka D, Tallroth K, Possa M, Alho A (1997) Accuracy of pedicle screw insertion; a prospective CT study in thirty low back patients. *Eur Spine* 6: 402–405
- Macintosh JE, Bogduk N (1986) The biomechanics of the lumbar multifidus. *Clin Biomech* 1: 205–213
- Macintosh JE, Valencia F, Bogduk N, Munro RR (1986) The morphology of the lumbar multifidus muscles. *Clin Biomech* 1: 196–204
- Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S (1994) A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine* 3: 184–201
- Martins JW, de Figueiredo Neto N (1999) Endoscopic surgery for thoracic spine. Critical review. *Arq Neuropsiquiatr* 57: 520–527
- Mayer HM (1997) A new microsurgical technique for minimally invasive anterior lumbar interbody fusion. *Spine* 22: 691–699
- Merlotz P, Tonetti J, Cinquin P, Lavalée S, Troccaz J, Pittel L (1998) Computer-assisted surgery: automated screw placement in the vertebral pedicle. *Chirurgie* 123: 482–490
- Merlotz P, Tonetti J, Pittel L, Coulomb M, Lavalée S, Santot P (1998) Pedicle screw placement using image guided techniques. *Clin Orthop* 354: 39–48
- 20a. Pernkopf E (1980) *Atlas der Anatomie*, Urban & Schwarzenberg
- Röder R (1994) Elektromyographische Befunde bei Kompensations- und Regenerationsprozessen nach peripherer Nervenschädigung. *Krankengymnastik* 10: 1346–1357
- Schulte-Mattler WJ, Georgiadis D, Tietze K, Zierz S (2000) Relation between maximum discharge rates on EMG and motor unit number estimates. *Muscle Nerve* 23: 231–238
- Weber BR, Grob D, Dvorák J, Müntener M (1997) Posterior approach to the lumbar spine and its effect on the multifidus. *Spine* 15: 1765–1772
- Zdichavsky M, Blauth M, Knop C, Graesser M, Herrmann H, Krettek C, Bastian L (2004) Accuracy of pedicle screw placement in thoracic spine fractures. *Eur J Trauma* 4: 234–240