

D. Briem<sup>1</sup> · J. Windolf<sup>1</sup> · W. Lehmann<sup>1</sup> · P. G. C. Begemann<sup>2</sup> · N. M. Meenen<sup>1</sup>  
 J. M. Rueger<sup>1</sup> · W. Linhart<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand und Wiederherstellungschirurgie, Zentrum für Operative Medizin, Universitätsklinikum, Hamburg-Eppendorf

<sup>2</sup> Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Radiologisches Zentrum, Universitätsklinikum, Hamburg-Eppendorf

# Endoskopische Knochentransplantation an der Wirbelsäule

## Ergebnisse der anterioren Fusion und therapeutische Konsequenzen

### Hintergrund und Fragestellung

#### Knochenersatz an der Wirbelsäule

In der Wirbelsäulenchirurgie besteht ein hoher Bedarf an Knochenersatzmaterialien zur Behandlung degenerativer, postinfektiöser und posttraumatischer Substanzdefekte [39]. So gelangen allein in den USA bei spinalen Fusionseingriffen jährlich in 250.000 Fällen Verfahren zum Zwecke des Knochenersatzes zum Einsatz [50]. Autogener Knochen gilt aufgrund seiner biologischen Überlegenheit gegenüber allen anderen bislang verfügbaren Alternativen als „golden standard“ [15, 38, 46]. Unter den Knochenersatzmaterialien haben bislang vorwiegend kalziumphosphathaltige Substanzen wie Hydroxylapatitkeramiken in der Wirbelsäulenchirurgie Verwendung gefunden [45].

Kalziumphosphathaltige Keramiken eignen sich aufgrund ihrer unzureichenden Eigenstabilität allerdings nicht als „Stand-alone-Implantat“. Darüber hinaus sind die Keramiken nur osteokonduktiv, entfalten kein osteoinduktives Potential und sind nicht degradierbar. Der Stellenwert kalziumphosphathaltiger Zemente

liegt vorwiegend in der Kypho-/Vertebroplastie sowie der Schraubenaugmentation bei osteoporotischer Knochenformation [4, 17, 20].

In Knochenmatrix enthaltene Wachstumsfaktoren wie BMP 2 sind derzeit eher als Ergänzung zum autogenen Transplantat oder anderen Knochenersatzmaterialien zu sehen, zumal die bislang verfügbaren Daten nicht durchgehend die Wirksamkeit dieser Wachstumsfaktoren belegen [3, 6, 7, 28, 40]. Aktuell liegt in den USA die FDA-Genehmigung zum klinischen Einsatz von BMP 2 in Kombination mit titanhaltigen Cages vor [50].

Als Knochenersatzmaterial sind in weiterem Sinne auch die Titancages zu bezeichnen, für die im angloamerikanischen Schrifttum hohe Fusionsraten bei Patienten mit vorwiegend orthopädischem Indikationsspektrum beschrieben worden sind [34]. Vergleichbar fundierte Daten liegen für traumatologische Patientenkollektive bislang nicht vor, obgleich kurzfristige Verlaufsbeobachtungen ebenfalls gute Ergebnisse bezüglich Instrumentierung und Einheilung distrahierbarer Cages aufweisen [27, 42]. Allerdings wurde auch über mechanische Komplikationen mit Einbruch

in die angrenzenden Grund-/Deckplatten und revisionspflichtiger Sekundärdislokation des Cages berichtet [21]. Darüber hinaus ist der klinische Langzeitverlauf nach der Implantation eines Cages zum gegenwärtigen Zeitpunkt kaum absehbar.

#### Probleme der autogenen Knochentransplantation

Ungelöst bei der Verwendung autogener Materialien bleibt das Problem, dass die Rekrutierung und Transplantation mit faktischen und potentiellen Nachteilen behaftet ist. Der zur Entnahme erforderliche Zweiteingriff ist mit einer entsprechenden Komorbidität assoziiert, einhergehend mit einer Komplikationsrate von bis zu 50% [49]. Darüber hinaus besteht die Gefahr des Nichtanwachsens der transplantierten Materialien. So wurden in der Wirbelsäulenchirurgie für spinale Fusions-eingriffe Pseudarthrosen von bis zu 70% beschrieben [5, 31].

Bislang existieren keine Richtlinien, wie im Falle einer gestörten Einheilung autogener Transplantate vorzugehen ist, obwohl sich hieraus für den Patienten unmittelbare und schwerwiegende Konsequenzen

Unfallchirurg 2004 · 107:1152–1160  
DOI 10.1007/s00113-004-0822-y  
© Springer Medizin Verlag 2004

D. Briem · J. Windolf · W. Lehmann · P. G. C. Begemann · N. M. Meenen · J. M. Rueger  
W. Linhart

### Endoskopische Knochentransplantation an der Wirbelsäule. Ergebnisse der anterioren Fusion und therapeutische Konsequenzen

#### Zusammenfassung

Um eine stabile knöcherne Heilung von Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule zu erreichen, müssen häufig die lasttragenden ventralen Abschnitte rekonstruiert werden. Die Verwendung autogener Knochentransplantate gilt dabei als „golden standard“, obgleich die Transplantate nicht in allen Fällen zur Einheilung gelangen. Bezüglich des weiteren Vorgehens bei gestörter oder ausbleibender Einheilung liegen derzeit keine standardisierten Daten vor. Zielsetzung der vorgelegten Arbeit war, die Einheilung endoskopisch eingebrachter Transplantate zu untersuchen und aus den Ergebnissen therapeutische Konsequenzen abzuleiten.

Im Rahmen einer prospektiven klinischen Studie wurden 20 Patienten mit einer instabilen Verletzung der thorakolum-

balen Wirbelsäule untersucht. Nach primärer dorsaler Stabilisierung erfolgte die Rekonstruktion der ventralen Säule mittels MACS<sup>TL</sup> und autogenem Beckenkammspan in thorakoskopischer Technik. Die knöcherne Einheilung der Transplantate wurde 1 Jahr postoperativ mittels MSCT eruiert.

Eine vollständige Einheilung der eingebrachten Knochentransplantate zeigte sich lediglich in 65% der Fälle. In 25% wiesen die Transplantate eine partielle knöcherne Anbindung an den angrenzenden Wirbel auf, während in 2 Fällen sogar ein Bruch des einliegenden Beckenkammspan festgestellt werden musste. Trotz des Transplantatversagens wurden in diesen Fällen auch im weiteren Verlauf keine Zeichen einer Auslockerung des MACS<sup>TL</sup> oder eines relevanten Korrekturverlusts beobachtet.

Ähnlich wie bei der offenen Technik muss bei der endoskopischen Rekonstruktion der vorderen Säule durch autogene Knochentransplantate damit gerechnet werden, dass die Transplantate nicht in allen Fällen zur Einheilung gelangen. Das weitere Vorgehen bei einer gestörten Spineinheilung muss individuell vom klinischen und radiologischen Befund (Zeichen der Implantatauslockerung mit begleitendem Korrekturverlust) abhängig gemacht werden.

#### Schlüsselwörter

Wirbelsäule · Fraktur · Thorakoskopische Stabilisierung · Autogener Knochenersatz · Spineinheilung

### Bone grafts endoscopically applied to the spine. Results and therapeutic consequences

#### Abstract

The application of autogenous bone grafts represents the golden standard for reconstruction of the load-bearing anterior column in the thoracolumbar spine. However, the osseous integration of the implanted grafts is demanding and delayed union or pseudarthrosis may occur. There are no standardized data available yet indicating the further course in such cases. The aim of this study was to evaluate the incorporation of endoscopically applied grafts and to develop therapeutic strategies for delayed or non-fusions.

Twenty patients suffering from unstable injuries of the thoracolumbar spine were studied in a prospective clinical trial. After primary dorsal stabilization, the

anterior column was thoracoscopically reconstructed with an autogenous iliac crest graft and a fixed-angle implant (MACS). The osseous integration of the bone grafts was detected by MSCT 1 year postoperatively.

Complete integration of the transplanted bone grafts was observed in only 65% of the cases. In 25% partial integration was detected and in two cases a fracture of the transplanted iliac crest graft occurred. Despite the incomplete integration of the bone grafts, the further course without surgical intervention revealed no clinical or radiological evidence of a concomitant implant loosening or a relevant secondary loss of correction.

Similar to the open technique, endoscopic reconstruction of the anterior column with autogenous bone grafts may lead to disadvantageous results concerning the integration and healing of the applied bone grafts. Decision making in such cases depends on the individual clinical and radiological findings (i.e., evidence of implant loosening and concomitant loss of correction).

#### Keywords

Spine · Fracture · Thoracoscopic stabilization · Autogenous bone grafting · Osseous integration

Tabelle 1

**Alters-, Geschlechts- und Frakturcharakteristika der im Rahmen der Studie untersuchten Patienten (n=20)**

Patient [Nr.]	Alter [Jahre]	Geschlecht	Wirbel	Fraktur	Einheilung
1	48	M	L1	A3	Nein
2	68	W	L1	A3	Ja
3	40	W	L1	A3	Partiell
4	38	W	L1	A3	Ja
5	37	M	T12	A3	Partiell
6	27	M	L1	A3	Partiell
7	19	M	L1	C3	Ja
8	32	W	L1	A3	Ja
9	23	W	L1	A2	Ja
10	53	W	L1	A3	Ja
11	58	W	T12	A3	Ja
12	52	W	T10	A2	Partiell
13	52	W	L1	A2	Ja
14	56	W	T12	A3	Ja
15	61	W	L1	A3	Partiell
16	47	M	L1	B2	Ja
17	61	M	L2	A3	Ja
18	54	M	L1	A2	Ja
19	28	M	L1	B2	Ja
20	29	W	T7/8	C1	Nein

W weiblich, M männlich.

Tabelle 2

**Kriterien zur Evaluierung der Einheilung autogener Knochenblöcke im anterioren Bereich der thorakolumbalen Wirbelsäule****Klassifikation der Transplantateinheilung**

<b>Vollständig</b>	Keine Strahlentransparenz unmittelbar kranial/kaudal des Transplantats Lückenloses „Bridging“ zwischen Transplantat und angrenzendem Wirbel
<b>Partiell</b>	Strahlentransparentes Areal zwischen Transplantat und angrenzender Grund-/Deckplatte Unvollständiges „Bridging“ zwischen Transplantat und Wirbel
<b>Ausbleibend</b>	Kein knöcherner Kontakt zwischen Transplantat und Wirbel Transplantatbruch/-untergang

zen ergeben können. In der vorliegenden Arbeit sollen daher Diagnostik, Behandlungsoptionen und klinischer Verlauf bei Patienten mit gestörter Transplantateinheilung nach thorakoskopischer anteriorer Instrumentierung traumatischer Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule aufgezeigt werden. Zielsetzung der Arbeit war, die Fusionsrate nach endoskopischer Rekonstruktion der ventralen Säule durch autogene Knochentransplantate zu unter-

suchen und aus den Ergebnissen therapeutische Konsequenzen abzuleiten.

**Studiendesign und Untersuchungsmethoden**

Im Rahmen einer prospektiven Studie wurden 20 Patienten einer konsekutiven Serie mit einer instabilen Verletzung der thorakolumbalen Wirbelsäule in eine klinische Verlaufsbeobachtung eingeschlossen. Un-

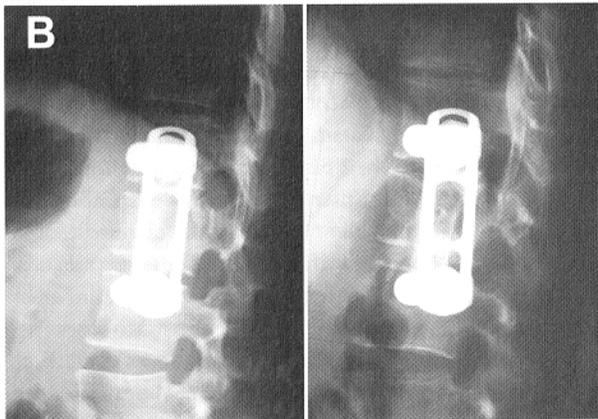
ter den Patienten befanden sich 12 Frauen und 8 Männer in einem Durchschnittsalter von  $44,1 \pm 14,3$  (19–68) Jahren. Bei den versorgten Verletzungen handelte es sich überwiegend um Berstungsfrakturen des thorakolumbalen Übergangs (■ **Tabelle 1**).

Alle Verletzungen wurden primär von dorsal reponiert und mittels Fixateur interne (USS, Synthes®) stabilisiert. Anschließend erfolgte über einen thorakoskopischen Zugang die Rekonstruktion der ventralen Säule mittels autogenem Transplantat und winkelstabiler Platte (MACS<sup>TL</sup>, Aesculap®). Repositionsmanöver wurden von anterior nicht vorgenommen, da die initiale Fehlstellung bereits im Rahmen der dorsalen Prozedur korrigiert wurde.

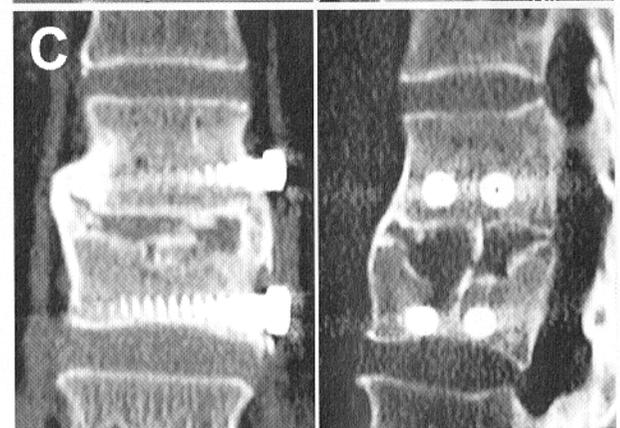
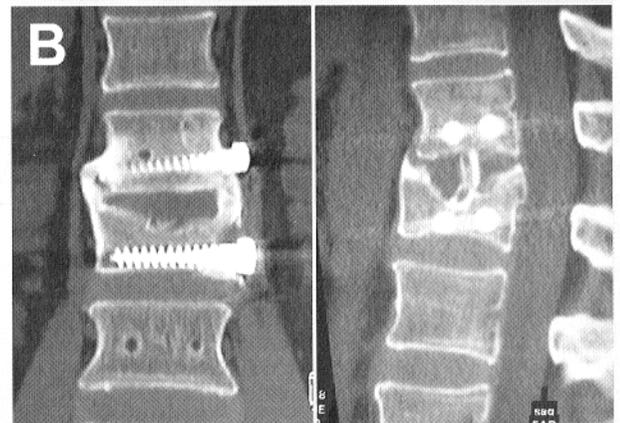
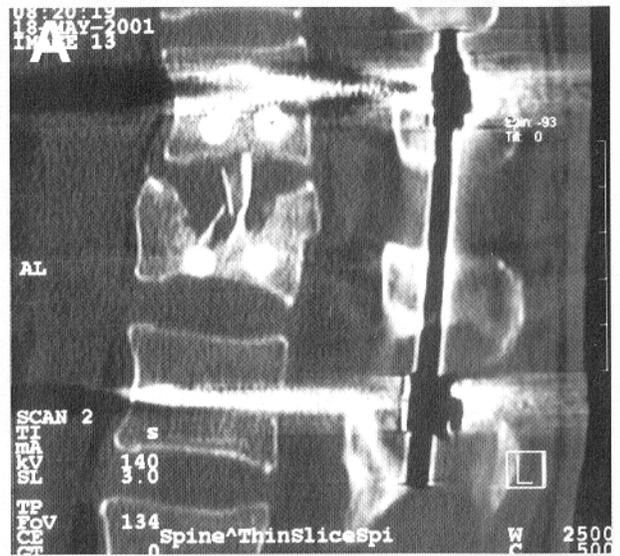
Einer bisegmentalen anterioren Stabilisierung wurden neben den Kneifzangenbrüchen (A2.3) die vollständigen Berstungsfrakturen (A3.3) sowie die Typ-B- und -C-Verletzungen zugeführt [30]. Die operative Prozedur bei der Rekonstruktion der ventralen Säule folgte der Vorgehensweise, die von Beisse [2] und Potulski [22] etabliert und hinreichend beschrieben worden ist.

Die verwendeten autogenen Transplantate wurden mit der oszillierenden Säge vom Beckenkamm entnommen und nach vollständiger Entknorpelung der angrenzenden Grund-/Deckplatten in Press-fit-Technik in das Spanbett implantiert. Der resultierende Entnahmedefekt am Beckenkamm wurde mittels Plattenosteosynthese überbrückt. Postoperativ wurde nach  $11,2 \pm 2,0$  (8–15) Monaten eine CT der instrumentierten Region angefertigt, um vor der Entfernung des dorsalen Implantats das Ausmaß der knöchernen Fusion zu ermitteln. Die Beurteilung der Späneinheilung erfolgte im Konsensverfahren der Autoren.

Die CT-Untersuchungen wurden jeweils als MSCT (Schichtdicke 1 mm) gefahren und multiplanar (koronar, sagittal) rekonstruiert (Rekonstruktionsinkrement 0,5 mm). Da für die Beurteilung der Fusion und insbesondere der Späneinheilung in der Literatur keine klaren Richtlinien vorlagen, wurden von uns in Analogie zu McAfee Kriterien definiert, die eine transparente und nachvollziehbare Evaluation der Späneinheilung ermöglichen sollen [31].



**Abb. 1** ▲ 40-jährige Patientin (Nr. 3) mit partieller Einheilung eines trikortikalen Beckenkammspans nach bisegmentaler anteriorer Stabilisierung. Im weiteren Verlauf konventionell-radiologisch kein Anhalt für Implantatauslockerung oder relevanten Korrekturverlust. a Sagittal rekonstruierte MSCT 12 Monate nach Primäroperation mit Nachweis eines strahlentransparenten Areals unmittelbar kranial des Spans bei guter knöcherner Anbindung kaudal. b Konventionelle Röntgenaufnahme in seitlicher Projektion 18 Monate (*links*) bzw. 24 Monate (*rechts*) nach Primäroperation



**Abb. 2** ► 48-jähriger Patient (Nr. 1) mit Bruch und Osteonekrose des eingebrachten trikortikalen Transplantats nach monosegmentaler anteriorer Instrumentierung. Dennoch Ausbildung einer stabilen knöchernen Fusion durch osteophytäre Randanbauten ohne Implantatauslockerung oder relevanten Korrekturverlust. a Sagittal rekonstruierte MSCT 11 Monate post Trauma. b Koronar und sagittal rekonstruierte MSCT 24 Monate nach dem Unfall. c Nachweis einer unverändert stabilen Situation mittels koronar und sagittal rekonstruierter CT 42 Monate nach dem Primäreingriff

Von einer vollständigen Einheilung ist demnach bei einem lückenlosen knöchernen Kontakt zwischen Transplantat und angrenzender Grund-/Deckplatte auszugehen. Der Nachweis strahlentransparenter Areale zwischen Transplantat und angrenzendem Wirbel sollte als partielle Einheilung gewertet werden. Sofern das gesamte Transplantat keinerlei knöcherner

nen Kontakt mit dem angrenzenden spongiösen Lager des Wirbelkörpers aufweist, muss dies als ausbleibende Einheilung aufgefasst werden (■ **Tabelle 2**).

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Softwareprogramm „SigmaStat<sup>®</sup>“. Sofern nicht anders gekennzeichnet, wurden die Daten als Mittelwert mit Standardabweichung und Spannweite (Ran-

ge) angegeben. Für Häufigkeiten wurden exakte 95%-Konfidenzintervalle (-KI) ermittelt. Daten zum radiologischen Korrekturverlust, zur postoperativen Lebensqualität, zu perioperativen Komplikationen und zur entnahmebedingten Komorbidität der beschriebenen Methode sind nicht Gegenstand dieser Arbeit und wurden bereits an anderer Stelle veröffentlicht [10, 11].

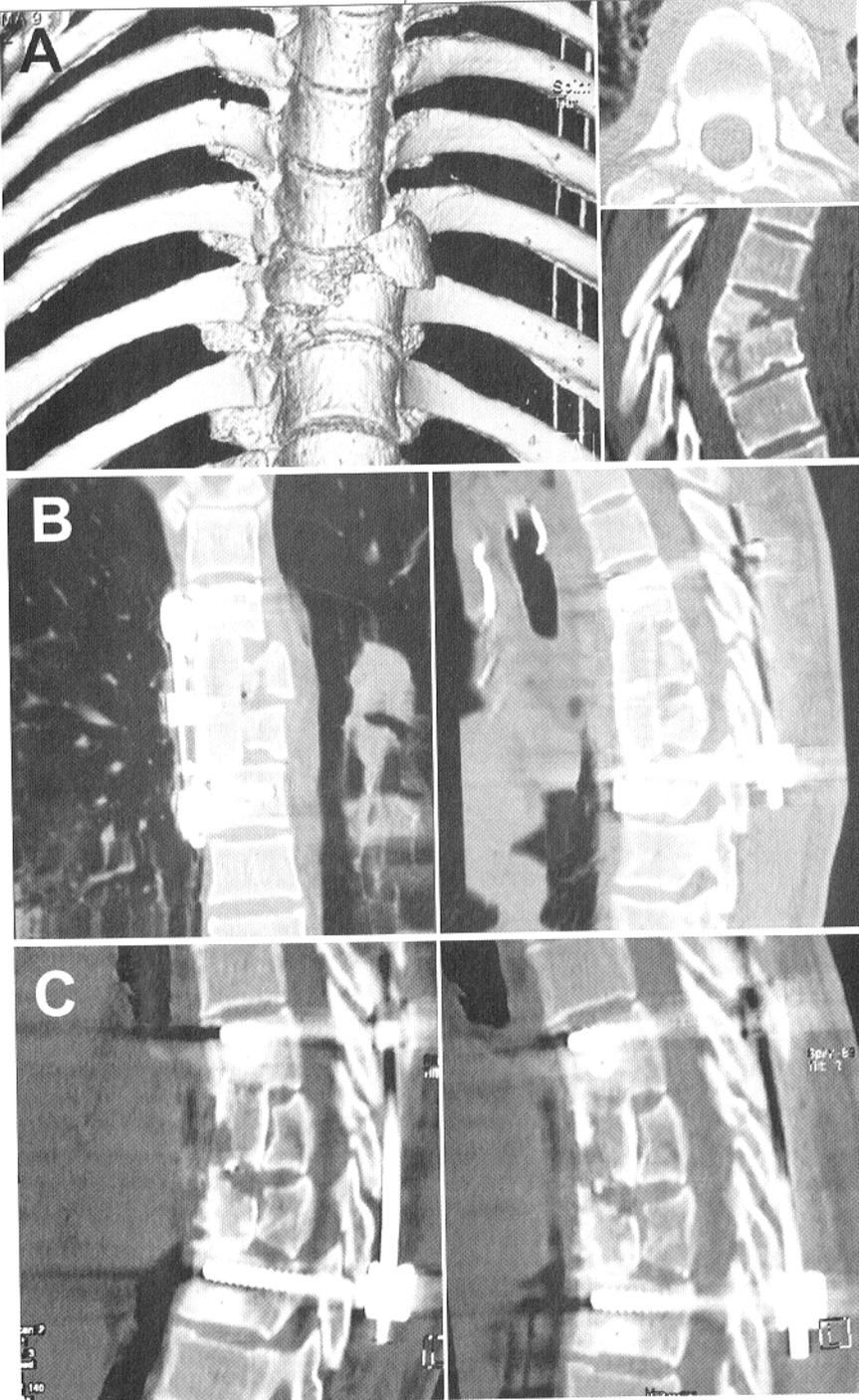


Abb. 3 ▲ 29-jährige Patientin (Nr. 20) mit frakturiertem trikortikalen Knochenblock nach trisegmentaler anteriorer Instrumentierung bei hochinstabiler Verletzung von Th7/Th8. In der kurzfristig durchgeführten CT-Kontrolle kein sekundärer Korrekturverlust der Instrumentierung. a Unfall-CT inklusive 3D-Rekonstruktion. b Koronar und sagittal rekonstruierte CT unmittelbar postoperativ. c Sagittal rekonstruierte MSCT 9 Monate postoperativ (links) sowie 12 Monate postoperativ (rechts) mit Nachweis einer zunehmenden Einheilung des Transplantats im kranialen Bereich ohne Korrekturverlust oder Auslockerung der Instrumentierung

## Ergebnisse

Ein Jahr postoperativ wurde bei 65% der eingeschlossenen Patienten ( $n=13/20$ , 95%-KI=40,8–84,6) anhand der vorgestell-

ten Kriterien eine vollständige Einheilung der in die Defektzone des verletzten Wirbelsäulenabschnitts eingebrachten Transplantate festgestellt. 25% der Patienten ( $n=5/20$ , 95%-KI=8,7–49,1) wiesen eine

partielle Einheilung des Transplantats mit unvollständigem knöchernem Kontakt zwischen Knochenspan und Transplantatlager auf.

In diesen Fällen wurde anhand der sagittal und koronar rekonstruierten CT-Daten ermittelt, inwieweit zusätzlich Zeichen einer Auslockerung des MACS<sup>TL</sup> mit begleitendem Korrekturverlust vorlagen. Dies war bei keinem dieser Patienten der Fall, sodass wir zunächst den weiteren Spontanverlauf abwarten und die Patienten geplant zu klinisch-radiologischen Verlaufsuntersuchungen einbestellen konnten. Konventionell-radiologisch ergab sich hierbei kein Anhalt für einen sekundären Korrekturverlust oder eine Implantatauslockerung (■ Abb. 1).

In 2 Fällen wurde zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung ein Bruch des eingebrachten Transplantats festgestellt, ohne dass hierfür ein klinisches Korrelat vorlag. Im 1. Fall handelte es sich um einen Patienten, der sich im Rahmen eines Pkw-Überschlagtraumas eine kraniale Bertsungspaltfraktur (A3.2.1) des 1. Lendenwirbels zugezogen hatte. Die Fraktur war nach primärer dorsaler Stabilisierung von anterior monosegmental mittels MACS<sup>TL</sup> und Span versorgt worden. Die unmittelbar postoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen inklusive CT hatten zunächst den Nachweis eines intakten und korrekt platzierten Spans erbracht.

Nach regelhaftem postoperativen Verlauf und zeitgerechter Wiederherstellung der Arbeitsfähigkeit im angestammten Beruf als Investmentberater mit überwiegend stehender Betätigung stellte sich der Patient 12 Monate postoperativ zur CT-Kontrolle mit der Fragestellung einer ME des dorsalen Implantats vor. Hier wurde erstmals die Diagnose einer Osteonekrose des Beckenkammspans mit stattgehabtem Bruch des Transplantats gestellt. Gegenüber dem unmittelbar postoperativen Befund ergab sich ein geringer Korrekturverlust von 5° ohne Zeichen einer Auslockerung des MACS<sup>TL</sup>, sodass wir uns aufgrund des unauffälligen klinischen Bildes zur Entfernung des dorsalen Implantats ohne weitere Maßnahmen entschieden. Der Patient wurde zuvor über den radiologischen Befund und die Notwendigkeit weiterer CT-Kontrollen zum Ausschluss eines sekundären Versagens der anterioren

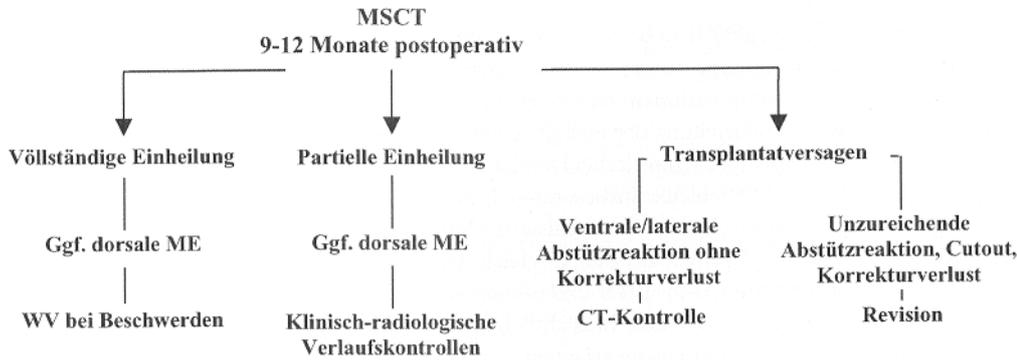


Abb. 4 ◀ Flussdiagramm zum differenzierten Vorgehen bei gestörter Transplantateinheilung im Bereich der anterioren thorakolumbalen Wirbelsäule in Abhängigkeit des klinisch-radiologischen Befunds

Instrumentierung aufgeklärt. Weitere CT-Untersuchungen erfolgten dann 15, 24 und 42 Monate nach dem Unfall.

Zwei Jahre nach dem Unfall zeigten sich kräftige knöcherne Randanbauten ventral und lateral der primär instrumentierten Diskusloge ohne weiteren Korrekturverlust, sodass in Kombination mit dem unverändert in situ befindlichen MACS<sup>TL</sup> von einer stabilen Situation ausgegangen werden konnte. Die Aufnahmen 3,5 Jahre nach dem Trauma bestätigten, dass trotz des Untergangs des eingebrachten Beckenkammspans eine dauerhafte und stabile Fusion des betroffenen Segments bestehen blieb (▣ Abb. 2).

In dem anderen Fall handelte es sich um eine Patientin, die nach einem Motorradunfall eine Rotationsverletzung (C1.3.3) des 7. und 8. Brustwirbels ohne begleitende Neurologie erlitten hatte und noch am Unfalltag in unserer Klinik der dorsalen Stabilisierung zugeführt wurde. Anschließend erfolgte in einem komplikationslosen Eingriff die trisegmentale anteriore Fusion. Nach Durchführung einer unauffälligen CT unmittelbar postoperativ mit Darstellung eines intakten Knochenspans wurde 9 Monate postoperativ bei klinischer Beschwerdefreiheit erneut eine CT in unserer Klinik durchgeführt.

Obleich von der Patientin zuvor keine abrupten Schmerzereignisse oder andere Auffälligkeiten bemerkt worden waren, zeigte sich zu diesem Zeitpunkt erstmals eine zentrale Frakturierung des Spans. In Analogie zum vorgenannten Kasus ließ sich auch hier der genaue Zeitpunkt des Transplantatversagens nicht rekonstruieren. Da radiologisch wiederum kein Korrekturverlust und keine Implantatauslockerung vorlagen, haben wir uns nach den

günstigen Erfahrungen im vorgenannten Fall erneut zum Abwarten entschieden. In der nachfolgenden CT 12 Monate postoperativ zeigte sich dann eine unveränderte Situation mit progredientem Einbau der beiden Transplantatanteile in die angrenzenden Wirbel (▣ Abb. 3).

Aus den hier geschilderten Erfahrungen wurde ein Algorithmus für das Vorgehen im Falle einer gestörten Späneinheilung nach thorakoskopischer Rekonstruktion der ventralen Säule formuliert (▣ Abb. 4). Danach sollte bei allen Patienten frühestens 9 und spätestens 12 Monate nach dem Eingriff eine MSCT zur Beurteilung der Späneinheilung durchgeführt werden. Aufgrund einer vollständigen Einheilung konnte zu diesem Zeitpunkt in 13 Fällen ( $n=13/20$ ) das dorsale Implantat entfernt werden, um dorsal blockierte Segmente freizugeben und einen Bruch der Pedikelschrauben zu vermeiden. Weitere Kontrolluntersuchungen waren verzichtbar, sind jedoch bei einer Verschlechterung des klinischen Befunds angezeigt.

Bei Vorliegen einer partiellen Einheilung ohne Zeichen der Implantatlockering wurde das dorsale Implantat ebenfalls zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung entfernt ( $n=5/20$ ). Diese Patienten blieben jedoch angebunden und wurden einer Kontrolluntersuchung nach 18 und 24 Monaten unterzogen, wobei sich die Anfertigung konventioneller Röntgenaufnahmen als ausreichend erwies. Im Falle eines Transplantatversagens mit Spanbruch oder -untergang ( $n=2/20$ ) entschied die Klinik und Röntgenbefund darüber, ob die bestehende Instrumentierung revidiert oder zunächst der weitere Spontanverlauf abgewartet werden konnte, was jeweils der Fall war.

## Diskussion

### Ergebnisse der anterioren Fusion an der thorakolumbalen Wirbelsäule

Die Versorgung traumatischer Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule wird bis heute kontrovers diskutiert. Biomechanische Untersuchungen haben Vorteile zugunsten der dorsoventralen gegenüber der alleinigen dorsalen Stabilisierung ergeben [16, 29, 48]. Klinische Untersuchungen konnten bislang jedoch keine Überlegenheit des kombinierten Verfahrens nachweisen [9, 10, 47]. Darüber hinaus ist der zusätzliche ventrale Eingriff mit einer relevanten Zugangsmorbidität behaftet, aufgrund derer minimal-invasive Operationstechniken inzwischen auch auf dem Gebiet der Wirbelsäulen Chirurgie besonderes Interesse erlangt haben [18, 32].

Langzeitergebnisse, insbesondere Daten zur Fusion und Einheilung autogener Knochenimplantate nach minimal-invasiver anteriorer Rekonstruktion der thorakolumbalen Wirbelsäule nach einem Trauma, sind im aktuellen Schrifttum nur spärlich vorhanden. Wir haben daher die ersten 20 Patienten, die aufgrund einer traumatischen Fraktur der thorakolumbalen Wirbelsäule in unserer Klinik einer thorakoskopischen anterioren Fusion zugeführt wurden, im Rahmen einer prospektiven Studie untersucht.

Fragestellung war die Einheilung der autogenen Knochenspäne, die mittels CT 1 Jahr nach dem Primäreingriff untersucht wurde. Zu diesem Zeitpunkt lag eine vollständige Einheilung in 65% sowie eine partielle Inkorporation in 25% der Fälle vor. Günstigere Ergebnisse wurden von Kim et

al. [23] beschrieben, die 1 Jahr nach thorakoskopischer anteriorer Spondylodese eine Fusionsrate von 90% feststellten. Allerdings wurden von den Autoren keine eindeutigen Kriterien für das Vorliegen einer Fusion definiert und lediglich konventionelle Röntgenaufnahmen angefertigt. Wie andere Arbeitsgruppen sind wir dagegen der Auffassung, dass zur Beurteilung von Fusion und Spaneinheilung die Durchführung einer CT unverzichtbar ist [8, 12, 41, 43].

Untersuchungen zur Fusion nach thorakoskopischer anteriorer Spondylodese liegen auch bei orthopädischem Krankengut vor. Hier betrug die Fusionsrate nach Korrekturingriffen zur Beseitigung skoliothischer Deformierungen 80% [36]. Als vorteilhaft für eine erfolgreiche Fusion wurde von den Autoren eine große Kontaktfläche zwischen Knochenspan und Lager ohne Weichteilinterposition angeführt und eine vollständige Resektion der an den Span angrenzenden Endplatten empfohlen. Eindeutige Hinweise auf eine verbesserte Fusionsrate nach vollständiger Endplattenresektion liegen in der Literatur bislang jedoch nicht vor [25, 36, 51].

Essentiell für eine erfolgreiche Fusion ist außerdem eine gute Nutrition des Spans, weshalb einige Autoren die Verwendung vaskularisierter Transplantate propagieren [35]. Unklar ist, ob sich die zusätzliche Verwendung eines winkelstabilen Implantats positiv oder negativ auf die Spaneinheilung auswirkt. Während einige Daten aus tierexperimentellen Untersuchungen auf eine bessere Fusionsrate bei zusätzlicher Stabilisierung durch winkelstabile Implantatsysteme hindeuten, erbrachten andere Untersuchungen den Nachweis einer signifikant höheren Knochenneubildung mit abnehmender Rigidität der ventralen Instrumentierung [13, 44].

Insgesamt ist bezüglich der limitierten Spaneinheilungsrate bei unserem Patientengut kein kausaler Zusammenhang mit der thorakoskopischen Technik erkennbar. Vielmehr weist die thorakoskopisch geführte anteriore Fusion nach unseren Erfahrungen und Durchsicht des aktuellen Schrifttums bezüglich der Fusionsrate gegenüber der offenen Technik keinen relevanten Unterschied auf [11, 13, 19, 24, 33].

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Datenlage aufgrund inhomogener Studienpopulationen, fehlender Kriterien zur Beurteilung der Fusion sowie uneinheitlicher diagnostischer Standards unübersichtlich bleibt. Insbesondere liegen keine kontrollierten, randomisierten Studien vor, die einen direkten Vergleich zwischen minimal-invasiver und offener anteriorer Spondylodese hinsichtlich Spaneinheilung und Fusion erlauben.

Zur Inzidenz von Spanfrakturen finden sich in der Literatur derzeit keine Angaben. Diese betrug im Rahmen unserer Untersuchung 10%. Als Ursache für das Auftreten von Spanfrakturen gilt das sog. „Spanremodelling“ als wahrscheinlich. Dieses beschreibt den durch Osteoklasten vermittelten Umbau der Spankortikalis, wodurch es zu einer Zunahme der Porosität bei gleichzeitiger Abnahme der Stabilität um 50% kommt [37]. Die größte mechanische Schwächung erfährt der Knochenspan im Zeitraum von 3–6 Monaten nach der Transplantation, sodass eine Frakturierung am ehesten innerhalb dieses Intervalls zu erwarten ist [51].

Um einer Frakturierung des Knochenspans vorzubeugen, sollte bei der Entnahme auf eine ausreichende Transplantatgröße geachtet werden. Eine Reduktion des hierbei resultierenden Hebedefekts gelingt möglicherweise durch Entnahme bikortikaler Knochenspäne, wodurch die Integrität des Beckenkamms gewahrt bleibt [1]. Nach unseren Erfahrungen eignen sich bikortikale Späne allerdings nur zur Durchführung kurzstreckiger Fusionen, während für bi- und trisegmentale anteriore Instrumentierungen erfahrungsgemäß großkalibrige Transplantate benötigt werden und dann die Entnahme trikortikaler Späne unvermeidbar ist.

### Vorgehen bei unvollständiger Spaneinheilung

Das Vorgehen bei ausbleibender Fusion oder Transplantatbruch muss individuell anhand des klinischen Zustands des Patienten und des jeweiligen radiologischen Befunds bestimmt werden. Nach unseren bisherigen Erfahrungen scheint eine abwartende Haltung mit Durchfüh-

rung klinischer und konventionell-radiologischer Verlaufskontrollen bei partieller Spaneinheilung vertretbar. Auch ein Spanbruch muss nicht zwingend eine chirurgische Intervention nach sich ziehen. Allerdings ist in solchen Fällen eine engmaschige Anbindung des Patienten ebenso wie die Durchführung von CT-Verlaufskontrollen unabdingbar. Ergeben sich aus der CT Hinweise auf eine begleitende Insuffizienz der instrumentierten Implantate mit radiologisch relevantem Korrekturverlust, muss ohne Verzögerung eingeschritten werden, um einen Kollaps der gesamten Instrumentierung mit Auftreten neurologischer Sekundärkomplikationen zu verhindern.

Nur im Falle einer begleitenden Abstützreaktion ventral und lateral der instrumentierten Region ohne erkennbare Implantatauslockerung und ohne Korrekturverlust kann zunächst abgewartet werden. Voraussetzung hierfür ist die klinische Beschwerdefreiheit des Patienten, der in das weitere Konzept eng eingebunden werden und eine ausreichende Compliance aufweisen muss. Wird eine Revision der ventralen Instrumentierung erforderlich, kann alternativ zum Span die Verwendung eines distrahierbaren Titan-cages in Betracht gezogen werden, wobei derzeit keine eindeutig definierten Standards bezüglich Indikation und Instrumentierung eines Cages bei diesem Krankengut existieren. Nach unserem Kenntnisstand wird der Cage in den meisten Zentren zusätzlich durch winkelstabile Implantate von dorsal und ventral gesichert [14, 26].

Dass diese Maximalvariante tatsächlich den biomechanischen Erfordernissen entspricht, ist bislang durch entsprechende Untersuchungen nicht erwiesen. Außerdem steht nicht zu erwarten, dass eine solche Versorgung zukünftig flächendeckend finanzierbar sein wird. Vor diesem Hintergrund wird das autogene Transplantat bei der Defektrekonstruktion von Korpusfrakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule bis auf weiteres unverzichtbar sein. Ob durch eine Augmentation mit rekombinant erzeugten Wachstumsfaktoren ein reproduzierbarer Benefit erzielt werden kann, wird im Rahmen prospektiver kontrollierter klinischer Studien erst noch zu prüfen sein.

## Schlussfolgerung

Die Verwendung autogener Knochenspäne vom Beckenkamm entspricht bei der thorakoskopisch geführten anterioren Fusion der thorakolumbalen Wirbelsäule weitgehend dem üblichen Standard. Die Einheilung der Transplantate ist jedoch inkonstant und 1 Jahr nach dem Eingriff radiologisch noch nicht in allen Fällen abgeschlossen. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, alle Patienten einem adäquaten Monitoring zuzuführen, mit dem die Spaneinheilung und das Ausmaß der knöchernen Fusion sicher erfasst werden können.

Zu diesem Zweck empfehlen wir die Durchführung einer multiplanar rekonstruierten MSCT 12 Monate postoperativ. Das Vorgehen bei einer unvollständigen oder ausbleibenden Fusion muss individuell in Abhängigkeit von Klinik und radiologischem Befund festgelegt werden. Grundsätzlich ist eine stabile knöcherne Fusion auch bei vollständigem Aufbrauch des Knochenspans möglich, wobei in solchen Fällen die engmaschige Anbindung des Patienten mit Durchführung von CT-Verlaufskontrollen obligat ist.

## Korrespondierender Autor

**Dr. D. Briem**

Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Zentrum für Operative Medizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Martinistraße 52, 20246 Hamburg  
E-Mail: briem@uke.uni-hamburg.de

**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.

## Literatur

- Behairy YM, Al Sebai W (2001) A modified technique for harvesting full-thickness iliac crest bone graft. *Spine* 26: 695–697
- Beisse R, Potulski M, Bühren V (2001) Endoscopic techniques for the management of spinal trauma. *Eur J Trauma* 27: 275–291
- Blattert TR, Delling G, Dalal PS, Toth CA, Balling H, Weckbach A (2002) Successful transpedicular lumbar interbody fusion by means of a composite of osteogenic protein-1 (rhBMP-7) and hydroxyapatite carrier: a comparison with autograft and hydroxyapatite in the sheep spine. *Spine* 27:2697–2705
- Blattert TR, Delling G, Weckbach A (2003) Evaluation of an injectable calcium phosphate cement as an autograft substitute for transpedicular lumbar interbody fusion: a controlled, prospective study in the sheep model. *Eur Spine J* 12: 216–223
- Boden SD (2002) Overview of the biology of lumbar spine fusion and principles for selecting a bone graft substitute. *Spine* 27: 26–31
- Boden SD, Kang J, Sandhu H, Heller JG (2002) Use of recombinant human bone morphogenetic protein-2 to achieve posterolateral lumbar spine fusion in humans: a prospective, randomized clinical pilot trial: 2002 Volvo Award in clinical studies. *Spine* 27: 2662–2673
- Boden SD, Zdeblick TA, Sandhu HS, Heim SE (2000) The use of rhBMP-2 in interbody fusion cages. Definitive evidence of osteoinduction in humans: a preliminary report. *Spine* 25: 376–381
- Breitenseher MJ, Gabler C, Kukla C, Trattng S, Imhof H (1994) Die traumatisierte und operierte Wirbelsäule. Aktuelle bildgebende Diagnostik. *Radiologie* 34: 740–746
- Briem D, Lehmann W, Ruecker AH, Windolf J, Rueger JM, Linhart W (2004) Factors influencing the quality of life after burst fractures of the thoracolumbar transition. *Arch Orthop Trauma Surg* 124 (accepted)
- Briem D, Linhart W, Lehmann W et al. (2003) Untersuchung der Lebensqualität nach dorso-ventraler Stabilisierung von Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Übergangs. *Unfallchirurg* 103: 625–632
- Briem D, Rueger JM, Linhart W (2003) Einheilung autogener Transplantate nach dorsoventraler Instrumentierung instabiler Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Unfallchirurg* 106: 195–203
- Cook SD, Patron LP, Christakis PM, Bailey KJ, Banta C, Glazer PA (2004) Comparison of methods for determining the presence and extent of anterior lumbar interbody fusion. *Spine* 29: 1118–1123
- Cunningham BW, Kotani Y, McNulty PS, Cappuccino A, Kanayama M, Fedder IL, McAfee PC (1998) Video-assisted thoracoscopic surgery versus open thoracotomy for anterior thoracic spinal fusion. A comparative radiographic, biomechanical, and histologic analysis in a sheep model. *Spine* 23: 1333–1340
- Eysel P, Hopf C, Furderer S (2001) Kyphotische Deformierungen bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Orthopäde* 30: 955–964
- Greenwald AS, Boden SD, Goldberg VM, Khan Y, Laurencin CT, Rosier RN (2001) Bone-graft substitutes: facts, fictions, and applications. *J Bone Joint Surg Am* 83 (Suppl 2): 98–103
- Gurwitz GS, Dawson JM, McNamara MJ, Federspiel CF, Spengler DM (1993) Biomechanical analysis of three surgical approaches for lumbar burst fractures using short-segment instrumentation. *Spine* 18: 977–982
- Heini PF, Berlemann U (2001) Bone substitutes in vertebroplasty. *Eur Spine J* 10 (Suppl 2): 205–213
- Hertlein H, Hartl WH, Dienemann H, Schurmann M, Lob G (1995) Thoracoscopic repair of thoracic spine trauma. *Eur Spine J* 4: 302–307
- Kaneda K, Taneichi H, Abumi K, Hashimoto T, Satoh S, Fujijya M (1997) Anterior decompression and stabilization with the Kaneda device for thoracolumbar burst fractures associated with neurological deficits. *J Bone Joint Surg Am* 79: 69–83
- Kang JD, An H, Boden S, Phillips F, Foley K, Abdu W (2003) Cement augmentation of osteoporotic compression fractures and intraoperative navigation: summary statement. *Spine* 28: 62–63
- Karches C, Friedl W (2002) Sekundärdisllokationen nach Synex-Cage-Implantation. *Unfallchirurg* 105: 744–747
- Khoo LT, Beisse R, Potulski M (2002) Thoracoscopic-assisted treatment of thoracic and lumbar fractures: a series of 371 consecutive cases. *Neurosurgery* 51: 104–117
- Kim DH, Jahng TA, Balabhadra RS, Potulski M, Beisse R (2004) Thoracoscopic transdiaphragmatic approach to thoracolumbar junction fractures. *Spine J* 4: 317–328
- Knop C, Blauth M, Chow GH et al. (2001) Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs, Teil 3: Nachuntersuchung. Ergebnisse einer prospektiven multizentrischen Studie der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. *Unfallchirurg* 104: 583–600
- Kossmann T, Ertel W, Platz A, Trentz O (1999) Die kombinierte Operation von Frakturen des thorakolumbalen Übergangs mit der Inlay-Span-Technik. *Orthopäde* 28: 432–440
- Lange U, Edeling S, Knop C, Bastian L, Krettek C, Pohlemann T, Blauth M (2001) Wirbelkörperersatz mit Synex. Eine prospektive klinische Studie. In: Kirschner P, Stürmer KM (Hrsg) Hefte zur Zeitschrift „Der Unfallchirurg“, Nr. 283. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio, S 298–299
- Lange U, Knop C, Bastian L, Blauth M (2003) Prospective multicenter study with a new implant for thoracolumbar vertebral body replacement. *Arch Orthop Trauma Surg* 123: 203–208
- Laursen M, Hoy K, Hansen ES, Gelineck J, Christensen FB, Bunger CE (1999) Recombinant bone morphogenetic protein-7 as an intracorporeal bone growth stimulator in unstable thoracolumbar burst fractures in humans: preliminary results. *Eur Spine J* 8: 485–490
- Lee SW, Lim TH, You JW, An HS (2000) Biomechanical effect of anterior grafting devices on the rotational stability of spinal constructs. *J Spinal Disord* 13: 150–155
- Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S (1994) A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J* 3: 184–201
- McAfee PC, Boden SD, Brantigan JW, Fraser RD, Kuslich SD, Oxland TR, Panjabi MM, Ray CD, Zdeblick TA (2001) Symposium: a critical discrepancy—a criteria of successful arthrodesis following interbody spinal fusions. *Spine* 26: 320–334
- McAfee PC, Regan JR, Zdeblick T et al. (1995) The incidence of complications in endoscopic anterior thoracolumbar spinal reconstructive surgery. A prospective multicenter study comprising the first 100 consecutive cases. *Spine* 20: 1624–1632
- McLain RF, Burkus JK, Benson DR (2001) Segmental instrumentation for thoracic and thoracolumbar fractures: prospective analysis of construct survival and five-year follow-up. *Spine J* 11: 310–323
- Mulholland RC (2000) Cages: outcome and complications. *Eur Spine J* 9 (Suppl 1): 110–113
- Nakamura H, Yamano Y, Seki M, Konishi S (2001) Use of folded vascularized rib graft in anterior fusion after treatment of thoracic and upper lumbar lesions. Technical note. *J Neurosurg* 94: 323–327
- Picetti GD III, Pang D, Bueff HU (2002) Thoracoscopic techniques for the treatment of scoliosis: early results in procedure development. *Neurosurgery* 51: 978–984
- Prolo DJ, Rodrigo JJ (1985) Contemporary bone graft physiology and surgery. *Clin Orthop* 1985: 322–342