

Journal für
Mineralstoffwechsel
Zeitschrift für Knochen- und Gelenkerkrankungen
Orthopädie • Osteologie • Rheumatologie

**Stabilisierende Operationen an der
Wirbelsäule bei schwerer
Osteoporose**

Becker S, Meissner J

Bretschneider W, Bartl R, Ogon M

*Journal für Mineralstoffwechsel &
Muskuloskelettale Erkrankungen*

2007; 14 (3), 107-112

Homepage:

**[www.kup.at/
mineralstoffwechsel](http://www.kup.at/mineralstoffwechsel)**

**Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche**

Member of the



Indexed in SCOPUS/EMBASE/Excerpta Medica
www.kup.at/mineralstoffwechsel



Offizielles Organ der
Österreichischen Gesellschaft
zur Erforschung des Knochens
und Mineralstoffwechsels



Österreichische Gesellschaft
für Orthopädie und
Orthopädische Chirurgie



Österreichische
Gesellschaft
für Rheumatologie

Krause & Pachernegg GmbH · VERLAG für MEDIZIN und WIRTSCHAFT · A-3003 Gablitz

P.b.b. GZ02Z031108M, Verlagspostamt: 3002 Purkersdorf, Erscheinungsort: 3003 Gablitz

Erschaffen Sie sich Ihre ertragreiche grüne Oase in Ihrem Zuhause oder in Ihrer Praxis

Mehr als nur eine Dekoration:

- Sie wollen das Besondere?
- Sie möchten Ihre eigenen Salate, Kräuter und auch Ihr Gemüse ernten?
- Frisch, reif, ungespritzt und voller Geschmack?
- Ohne Vorkenntnisse und ganz ohne grünen Daumen?

Dann sind Sie hier richtig



Stabilisierende Operationen an der Wirbelsäule bei schwerer Osteoporose

S. Becker, J. Meissner, W. Bretschneider, R. Bartl, M. Ogon

Osteoporotische Patienten haben im Bereich der Wirbelsäule ein erhöhtes Fraktur- und Fehlstellungsrisiko im Sinne von Skoliose und Kyphose und werden deshalb immer öfter auch offen chirurgisch behandelt. Offene stabilisierende Eingriffe müssen auf den eingeschränkten Knochenstatus Rücksicht nehmen und entsprechend angepaßt werden. Hier gibt es chirurgische Grundsätze, die beachtet werden müssen. In diesem Übersichtsartikel werden diese chirurgischen Grundsätze und Tips zusammengefaßt und diskutiert, um das Risiko bei stabilisierenden Operationen an der Wirbelsäule bei osteoporotischen Patienten zu minimieren.

Osteoporotic patients have an increased vertebral fracture and deformity (e. g. kyphosis, scoliosis) risk and therefore are more and more often treated with open fusion techniques. Those techniques need to be adapted to the poor bone stock. Surgical principles must be followed. This review article is summarising surgical principles and tips in order to minimise the risk of spinal instrumentation and stabilisation in osteoporotic patients. J Miner Stoffwechs 2007; 14 (3): 107–112.

Ein bekanntes epidemiologisches Problem mit weitreichenden Konsequenzen für die Behandlung zukünftiger Patienten in allen Bereichen der Medizin ist die zunehmende Überalterung der Bevölkerung. Schon 2050 werden 54 % der Bevölkerung in den Industrienationen über 65 Jahre alt sein [1]. Auf orthopädischem Gebiet konzentriert sich somit die Operationshäufigkeit zunehmend auf ein älteres Patientengut mit den altersentsprechend typischen Erkrankungen. Bei Vorliegen einer Osteoporose sind vor allem zwei Krankheitskomplexe zu erwähnen: die osteoporotische Fraktur und die degenerative Skoliose [2–5]. Bei der Planung von operativen Eingriffen kann es sein, daß unter Umständen eine osteoporotische Grunderkrankung (noch) nicht festgestellt wurde. Deshalb ist es hilfreich, bei den in Tabelle 1 gelisteten Voraussetzungen mit einer Osteoporose im fortgeschrittenen Alter zu rechnen und entweder den Verdacht durch eine Osteodensitometrie präoperativ absichern zu lassen oder eine Operation bereits auf die osteoporotischen Umstände hin anzupassen.

Osteoporose, osteoporotische Fraktur und skoliotische Deformität im Alter gehen Hand in Hand. Skoliotische Deformitäten sind bereits bei 36–48 % osteoporotischer Frauen vorhanden. Weiterhin kann eine De-novo-Skoliose sehr schnell durch eine osteoporotische Fraktur mit spinalem Kollaps erfolgen. Umgekehrt haben zudem adulte Skoliotiker eine gegenüber der gesunden Bevölkerung herabgesetzte Knochendichte [3, 6]. Aufgrund dieser komplexen Verhältnisse ist es wichtig, eine operative Strategie für die Stabilisierung von Fehlstellungen bei Osteoporotikern zu entwickeln.

Da über die minimal-invasive Versorgung der osteoporotischen Frakturen mit Vertebroplastie oder Ballonkyphoplastie auch in diesem Journal schon mehrmals berichtet und Studienergebnisse dargestellt wurden (J Miner Stoffwechs 2004, Sonderhefte 1 und 3), bezieht sich dieser Beitrag nur auf die offenen stabilisierenden Methoden mit Instrumentation.

Indikationen zur offenen Stabilisation bei Osteoporose sind spinale Imbalance nach Fehlstellungen durch Frakturen, Tumoren etc., Instabilitäten, multisegmentale spinale Stenosen sowie neurologische Ausfälle oder Verschlechterung des neurologischen Befundes. Hauptziel der Operation ist bei allen diesen Erkrankungen die (Wieder-) Herstellung einer ausbalancierten und stabilen Wirbelsäule oder die

Tabelle 1: Risikofaktoren für intraoperative schlechte Knochenverhältnisse (nach [22])

- Anamnese einer Spontanfraktur im Erwachsenenalter des Patienten oder bei einem nahen Angehörigen
- Hellhäutigkeit
- Fortgeschrittenes Alter
- Rauchen
- Niedriges Körpergewicht
- Weibliche Patienten
- Demenz
- Schlechter allgemeiner Gesundheitsstatus
- „Gebrechlichkeit“

neurologische Befundverbesserung [7]. Während operative Grundsätze bei Patienten ohne Osteoporose aufgrund biomechanischer Untersuchungen entwickelt wurden, sind diese bei Osteoporose oft nicht mehr gültig. Bei Osteoporose herrschen sowohl am Wirbelkörper als auch am Pedikel pathologische Zustände, die die Durchführung einer Instrumentationstechnik wie bei Nicht-Osteoporotikern verbieten.

Bei der gesunden Wirbelsäule basiert die Schraubenverankerung vor allem auf einem intakten und knochendichten Pedikel. Hier werden bei einer Instrumentation 80 % der kraniokaudalen Steifigkeit und 60 % der Ausrißfestigkeit erreicht. Diese kann durch Fixierung einer Schraube im Wirbelkörper um 20 % sowie bei bikortikaler Verankerung durch die Vorderwand des Wirbels um weitere 20 % ansteigen [8, 9]. Bei Osteoporose jedoch sind alle Strukturen des Wirbels von der Erkrankung befallen, d. h. wir haben erniedrigte Knochendichte sowohl im Wirbelkörper als auch im Pedikel. Bei knochengesunden Probanden ist die Knochendichte im Wirbelkörper im Mittel sechsmal niedriger als im Pedikeldurchschnitt, wobei die trabekuläre Struktur des Pedikels lediglich eine doppelt so hohe Festigkeit, die kortikale Struktur dagegen eine bis zu achtmal so hohe Festigkeit besitzt. Bei Osteoporotikern kann die Wirbelkörperfestigkeit so weit herabgesetzt sein, daß hier keine Stabilität mehr erreicht werden kann und die Schraubenstabilität lediglich auf einer Fixation im Pedikel basiert. Allerdings ist die Knochendichte aller Pedikelanteile, insbesondere auch der für eine Fixation wichtige subkortikale und kortikale Knochen, gegenüber knochengesunden Probanden im Schnitt um die Hälfte vermindert [8]. Eine transpedikuläre Schraubenfixation bei Osteoporose erreicht gegenüber knochengesunden Patienten bei normaler biomechanischer Belastung somit eine signifikant niedrigere Stabilität bei deutlich höherer Restbeweglichkeit der Schrauben im Wirbelkörper [10–15]. Diese Tatsachen erklären die hohen Schraubenlockerungsraten bei Osteoporose, die bis

Korrespondenzadresse: Dr. Stephan Becker, Orthopädisches Spital Wien-Speising, Operatives Wirbelsäulenzentrum, III. Abteilung, A-1134 Wien, Speisinger Str. 109, E-Mail: stephan.becker@oss.at

zu 12 % betragen können [6, 16]. Hinsichtlich der Schraubenlockerung bei stabilisierenden Operationen im allgemeinen lassen sich hier drei verschiedene Zeitpunkte und Ursachen ausmachen [6]:

- Eine akute Lockerung nur wenige Wochen nach der Operation ist entweder durch einen Operationsfehler (falscher Stabdurchmesser, nicht ausreichendes Anziehen der Muttern etc.) oder häufiger durch eine über-

schießende Bewegung/Trauma bedingt, wobei hier akut Schmerzen auftreten und auch häufig eine Prominenz des Implantates zu tasten ist. Typischerweise kommt es bei jungen oder knochengesunden Patienten oft zu einem Ausbrechen der Schrauben mit einer Pedikelfraktur, während bei osteoporotischen Patienten die Schraube oft einfach aus dem Pedikel herausrutscht oder der Wirbel selbst frakturiert (Abb. 1).

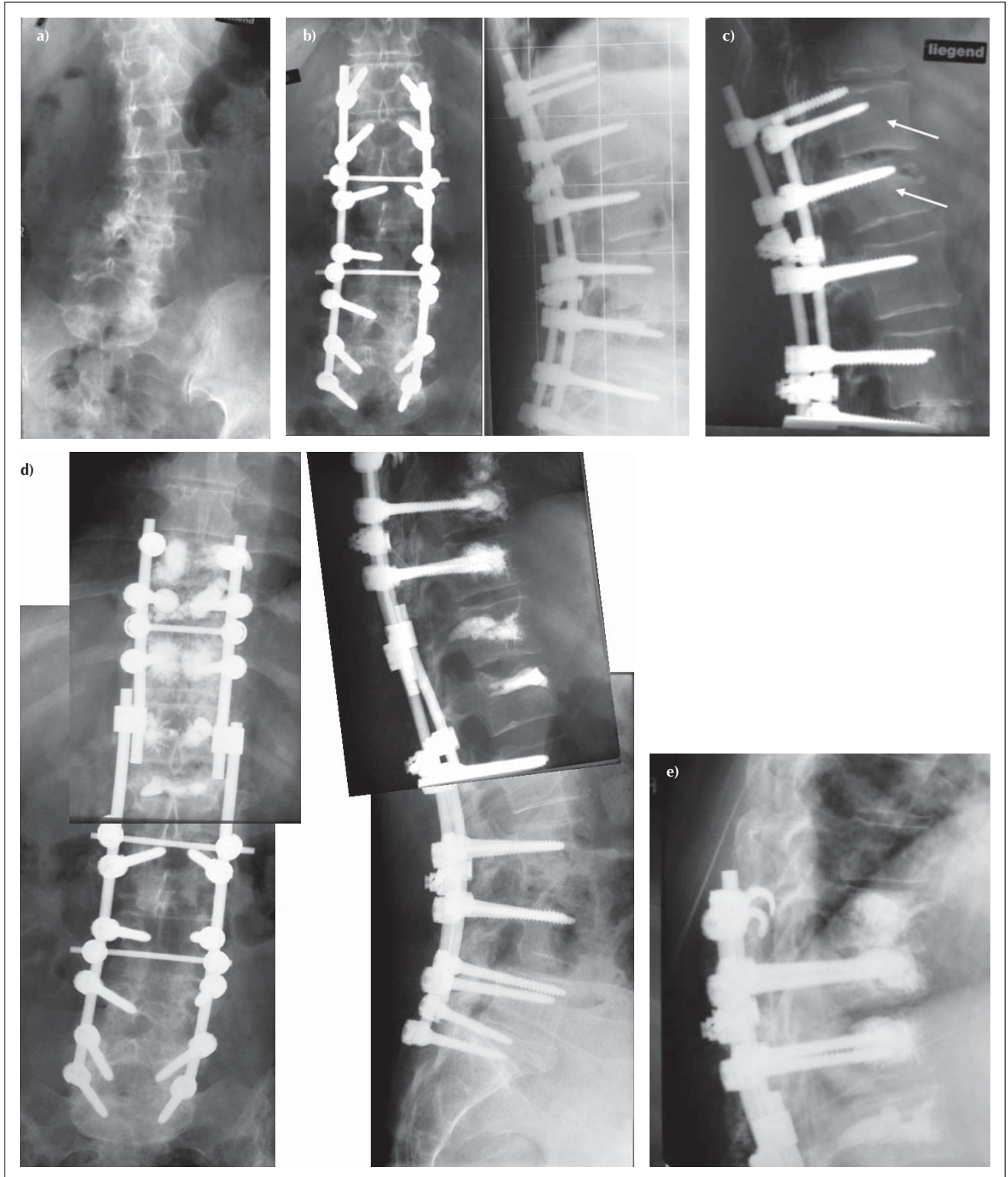


Abbildung 1: 64-jährige Patientin, M. Parkinson: (a): Degenerative Lumbalskoliose und Osteoporose. (b): Primäre Stabilisation dorsal Th12–S1, ventral L3/L4 mit Beckenkammimplantat. (c): 3 Monate nach Versorgung Auslockerung der Schrauben Th12 und L1 (Pfeile) mit Fraktur der Wirbel Th12 und L1. (d): Versorgung mit Ballonkyphoplastie Th12 und L1 sowie Schraubenaugmentation und Stabilisation Th 10/11. (d, e): Zusätzlich prophylaktische Ballonkyphoplastie und Laminahaken Th9.

- Monate nach Stabilisation kann bei Routinekontrollen ein Saum im Röntgen festgestellt werden, ohne daß bei den Patienten Symptome auftreten. Diese Patienten sind jedoch kurzfristiger zu überwachen, um hier ein Durchbrechen der Schraube durch den Pedikel oder der Endplatte des Wirbels rechtzeitig festzustellen und zu behandeln (Abb. 1).

Diese Spätsymptome sechs bis neun Monate nach Stabilisation treten vor allem bei verzögerter Knochenbruchheilung/Einheilung von Implantaten, also bei Osteoporose oder bei Pseudarthrose des Wirbelsegmentes (in bis zu 11 %) mit entweder Ausbrechen der Schrauben und/oder eines anterioren Implantates auf und führen nicht selten zu komplexen Fehlstellungen mit deutlichen Schmerzen und erhöhtem Querschnittsrisiko [6].

Neben der Schraubenlockerung treten selbstverständlich noch andere biomechanische Komplikationen auf, die sich wiederum in eine frühe (< 3 Monate postoperativ) und späte Phase einteilen lassen:

- Frühe Komplikationen nach stabilisierender Operation bei Osteoporose sind weiterhin Pedikelfrakturen in bis zu 2,5 % sowie Anschlußfrakturen des kranialen Bewegungssegmentes in 10–13 %.
- Neben Schraubenlockerungen und Pseudarthrosen ist die wichtigste und häufigste Spätkomplikation der fortschreitende kyphotische Kollaps des kranialen Bewegungssegments, welcher in 26–32 % der Patienten auftritt, d. h. jeder dritte operierte Patient wird in weiterem Verlauf einen kyphotischen Kollaps des nach kranial anschließenden Wirbels erleiden [6, 12, 14, 16, 17]. Dieses Risiko ist so hoch, daß DeWald 2006 formuliert hat: „Progressive kyphosis is an inevitable consequence of multilevel instrumentations in osteoporotic patients“

[6]. Dieses Kollapsrisiko ist selbstverständlich von vielen Faktoren abhängig, wobei jedoch die operative Versorgung hier als Hauptrisikofaktor anzusehen ist. Deshalb sind in den letzten Jahren Strategien entworfen worden, um die Komplikationsrate nach stabilisierenden Operationen bei osteoporotischer Wirbelsäule zu senken.

Operative Strategien zur Senkung der Komplikationsrate

Aufgrund der Tatsache des hohen Schraubenversagens bei Osteoporose ist es allgemein anerkannt, zusätzliche Fixationsmaßnahmen vorzunehmen. Diese Maßnahmen betreffen den Einsatz von sublaminären Drähten, pedikulolaminären Haken, konischen Schrauben, iliakaler Fixation und expandierbaren Schrauben [12, 14]. Durch die Kombination von Schrauben mit Drähten oder Haken kann hier die primäre Stabilität signifikant erhöht werden [11, 14, 18] (Abb. 1).

Eine weitere erhöhte Stabilität des Konstruktes kann erreicht werden, wenn die Schrauben entweder mindestens über die halbe Wirbelkörpertiefe oder bikortikal durch die Vorderwand des Wirbels eingebracht werden und Vorbohren möglichst vermieden wird [10, 19, 20]. Dabei sollte 6,5 mm-Schrauben der Vorzug vor dickeren Schrauben gegeben werden, da bei dickeren Schrauben (> 7,0 mm) zwar die Ausrißfestigkeit höher ist als bei dünneren Schrauben, jedoch in 24–40 % Pedikelfrakturen bei osteoporotischen Pedikeln auftreten, was die gesamte Instrumentation gefährden kann [10, 21].

Letztendlich ist es neben einer exakten Operationstechnik ebenso wichtig, die Länge der Fusion genau zu planen.

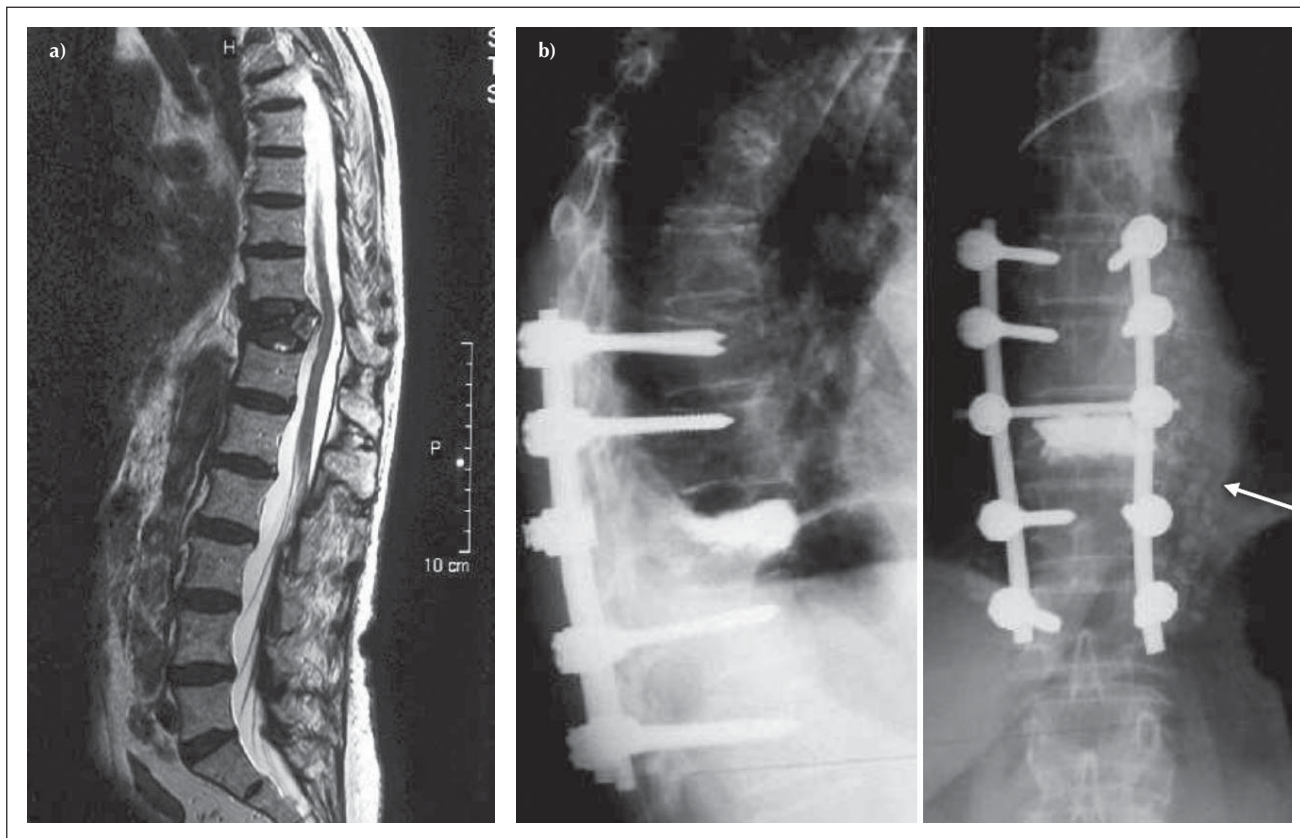


Abbildung 2: 80jährige Patientin mit Fraktur Th11: (a): Zunehmende neurologische Ausfälle und Claudicatio spinalis. (b): Versorgung mit Dekompression, offener Ballonkyphoplastie und dorsaler Fusion Th9 bis L1 mit zusätzlicher dorsaler Knochenanlagerung (Pfeil).

Tabelle 2: Operationstips bei skoliotischen/kyphotischen Deformitäten

- Die Instrumentation darf nie im Apex der Kurve oder der Kyphose enden.
- Die Instrumentation sollte entweder unterhalb oder oberhalb einer kyphotischen Krümmung enden.
- Die instrumentierten Endsegmente sollten untereinander ausbalanciert sein.
- Die Instrumentation sollte, wenn möglich, nicht bei L1 enden, da die Frakturgefahr für Th12 sehr hoch ist.
- Es sollte immer versucht werden, die Instrumentation innerhalb des sagittalen Lots zu legen.

Hier sind Richtlinien aus der Skoliosechirurgie anwendbar, die jedoch an die osteoporotischen Umstände genau adaptiert werden müssen. Prinzipiell sollte die Instrumentation auf so wenig Level wie möglich beschränkt werden, um die Schraubenauslockerungsrate zu senken und einen angrenzenden Kollaps zu vermeiden. Während monosegmental durchaus eine unilaterale Dekompression ohne Stabilisation durchgeführt werden kann, sind multisegmentale Dekompressionen ohne Stabilisation gefährlich. Hier muß entsprechend der Klinik des Patienten genau abgewogen werden, ob nicht lediglich eine monosegmentale Dekompression eines Nerves oder des Spinalkanals ausreicht; diesem sollte, wenn möglich, immer der Vorzug vor dem Einsatz von „Hardware“ gegeben werden.

Hinsichtlich des Anschlußkollapsrisikos ist es bei skoliotischen Krümmungen zudem wichtig, daß die Instrumentation mindestens ein bis zwei Bewegungssegmente unterhalb des Apex endet. Der Skoliosechirurgie entstammen weitere Regeln, die auch bei Osteoporose einzuhalten sind (Tab. 2) [22]. Gegenüber der Skoliose bei knochengesunden Patienten ist es jedoch wichtig, daß bei Osteoporotikern nicht um jeden Preis eine komplette Korrektur der Fehlstellung angestrebt wird; eine stabile Wirbelsäule mit geringerer Korrektur zeigt diesbezüglich signifikant niedrigere Komplikationsraten [6]. Bei langstreckigen Versorgungen ist zu beachten, daß ein Minimum von zwei Bewegungssegmenten ober- und unterhalb von Fraktur/Apex/Tumor etc. stabilisiert wird. Hier können so entweder 2–3 Schraubenpaare oder entsprechende Mischimplantate mit

Schrauben, Drähten und Haken zum Einsatz kommen (Abb. 1, 2). Bei älteren Patienten ist neben einer Osteoporose häufig auch eine degenerative Wirbelsäulenerkrankung vorhanden. Bei diesen Patienten ist zu beachten, daß die thorakalen und thorakolumbalen Wirbel nicht so sklerotisch wie die mittleren und unteren lumbalen Wirbel werden, was bei der BWS und dem thorakolumbalen Übergang die Frakturhäufigkeit weiter steigert und bei einer Stabilisierung entsprechend mit in Betracht gezogen werden sollte.

Als schon relativ alte, aber in der letzten Zeit wieder mehr angewandte Methode zur Erhöhung der Stabilisation ist die zusätzliche Schraubenaugmentation mit PMMA-Zement zu sehen (Abb. 1, 3). Hier ist es durch die Weiterentwicklung des ursprünglichen PMMA-Zements, der aus der Hüftchirurgie kam, gelungen, den Zement hinsichtlich seiner thermischen Wirkung auf das umgebende Gewebe zu optimieren, sodaß diese Zemente heute sehr gut an der Wirbelsäule eingesetzt werden können. Die Überlegenheit von PMMA-augmentierten Schrauben gegenüber allen anderen Konstrukten ist klar bewiesen [10, 23, 24]. Zudem kann eine Schraubenaugmentation eine wichtige biomechanische Vorsichtsmaßnahme vor Anschlußkomplikationen gewährleisten: Es kann bei gleicher Stabilität auf weitere Schrauben verzichtet werden, und somit sind kurzstreckige Stabilisationen möglich. Zudem können prophylaktisch angrenzende Bewegungssegmente mit Vertebroplastie oder Ballonkyphoplastie versorgt werden, was die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule nicht weiter einschränkt und die Komplikationsrate weiter zu senken scheint [25] (Abb. 1, 3).

Aktuell ist die Frage, ob es möglich ist, zur Schraubenaugmentation außer PMMA auch einen resorbierbaren Zement (β -Trikalziumphosphat, β -TCP) zu verwenden. Beide Substanzen haben in vielen Studien gezeigt, daß dadurch die Schraubenfestigkeit im Knochen verbessert werden kann. So wurde mit PMMA die Festigkeit auf 49–162 %, mit β -TCP auf bis zu 102 % [10, 23–27] erhöht. Aufgrund einer verbesserten Schraubenfixation im Wirbelkörper ist es

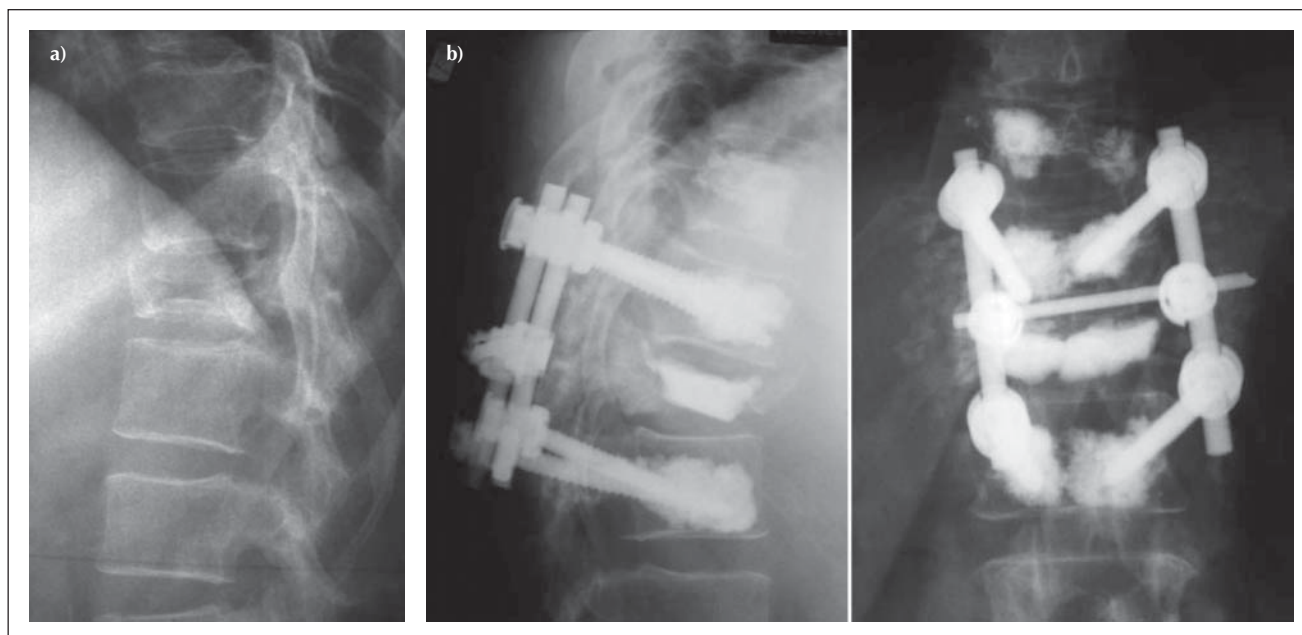


Abbildung 3: 63jährige Patientin, BMI 42, nach Sturz Th12-Fraktur (Typ A3.3 nach AO) mit zunehmender Neurologie nach konservativer Behandlung: (a): 3 Monate nach Fraktur. (b): Versorgung mit dorsaler Dekompression und Ballonkyphoplastie Th12 sowie kurzstreckiger Schraubenfixation Th11 bis L1 mit prophylaktischer Ballonkyphoplastie Th 10, stabile Verhältnisse zwei Jahre nach Versorgung.

mit PMMA und β -TCP möglich, die Instrumentationsstrecke kürzer zu halten, die Nachteile einer langstreckigen Fusion wurden bereits diskutiert.

Im allgemeinen sollte auf eine ventrale Abstützung bei Osteoporose verzichtet werden, da ein hohes Einbruchrisiko von Implantaten in den Knochen auch ventral besteht. Durch eine Schraubenaugmentation posterior können jedoch anterior Implantate zusätzlich abgesichert werden [5].

Nachteile einer Augmentation mit PMMA sind thermische Schäden mit der Ausbildung nekrotischer Areale um den Zement und ein negativer Einfluß auf das umgebende Knochengewebe mit möglicher Knochenresorption um den Zement. Diese Komplikationen sind aus der Hüftchirurgie ausgiebig bekannt, ob sie in gleichem Maß in der Wirbelsäulenchirurgie auftreten, bleibt abzuwarten.

Ein wesentlicher Nachteil bei der Anwendung von resorbierbaren Knochenzementen ist die erreichte Primärstabilität, die sehr stark von der Injektionstechnik abhängt. Eine falsche Injektion führt zu einer Verhinderung einer regelrechten Kristallisation und somit zu einer vorzeitigen Resorption [28]. Zudem zeigen bisherige resorbierbare Knochenzemente keinerlei Stabilisation hinsichtlich Scherkräften, sodaß hier nur bei stabiler Instrumentation der Einsatz sinnvoll erscheint.

Letztendlich ist auch das Remodelling von resorbierbaren Knochenzementen bei Osteoporose nicht geklärt; hier wurde bisher lediglich eine sehr begrenzte Knochenneubildung festgestellt [29]. Ein resorbierbarer Knochenzement ist jedoch hinsichtlich der Biomechanik nie so belastbar wie ein PMMA und basiert vom Wirkprinzip her auf einer Knochenneubildung und Übernahme der biomechanischen Last durch diesen neuen Knochen, was bei Osteoporose jedoch nie richtig der Fall sein wird. Letztendlich ist heutzutage immer auch der Kostenfaktor ein Diskussionsgrund; PMMA-Zemente sind um ein vielfaches günstiger als β -TCP-Zemente.

Wie aus dem Obengesagten ersichtlich, ist die operative offene Versorgung einer osteoporotischen Wirbelsäule komplex und mit hohen Risiken behaftet. Wenn immer möglich, sollte deshalb minimal-invasiven Verfahren der Vorzug vor instrumenteller Fusion mit Schrauben etc. gegeben werden. Die gezeigten biomechanischen Ergebnisse sind im Einzelfall sicher anwendbar, es ist jedoch aufgrund verschiedenster Pathologien und der Tatsache, daß diese Operationen nicht so häufig durchgeführt werden, schwierig, große Patientenkollektive zusammenzustellen und zu untersuchen. So gilt es lediglich, die gezeigten Vorsichtsmaßnahmen im Einzelfall so gut wie möglich umzusetzen.

Weiterhin sollten bei der Operationsplanung in verstärktem Maß alle potentiellen Risiken des Patienten berücksichtigt werden; hierzu gehören das Alter, der allgemeine Gesundheitszustand, die Größe und Dauer des geplanten Eingriffs, der neurologische Status, die Knochendichte mittels DEXA und die Notwendigkeit eines ventralen Eingriffs. Nach Beurteilung aller dieser Voraussetzungen muß hier die Operationsindikation sehr streng gesetzt werden, um für den Patienten das bestmögliche Ergebnis bei minimalem Risiko zu erzielen.

In Zukunft könnte das perioperative Risiko des osteoporotischen Patienten durch eine Verbesserung der Implantate/

Zemente in Hinblick auf einen dem individuellen Osteoporosegrad besser angepaßten Elastizitätskoeffizienten und den Einsatz von beschichteten Implantaten zur besseren Einheilung sowie von Biomaterialien zur Verbesserung der Fusionsraten gesenkt werden; entsprechende Anstrengungen laufen derzeit weltweit.

Durch die gezielte Indikationsstellung unter Einsatz einer bestmöglichen operativen Technik und des bestmöglichen Implantats kann so dem zukünftigen Ansturm osteoporotischer Patienten getrost ins Auge gesehen werden. Ungeklärt bleibt heute und in absehbarer Zukunft jedoch die Frage, ab wann eine Wirbelsäule zu osteoporotisch für eine offene Instrumentation ist.

Literatur:

1. Riggs BL, Melton LJ 3rd. The worldwide problem of osteoporosis: insights afforded by epidemiology. *Bone* 1995; 17 (Suppl): 505–11.
2. Vanderpool DW, James JJ, Wynne-Davies R. Scoliosis in the elderly. *J Bone Joint Surg Am* 1969; 51: 446–55.
3. Healey JH, Vigorita VJ, Lane JM. The coexistence and characteristics of osteoarthritis and osteoporosis. *J Bone Joint Surg* 1985; 67-A: 586–92.
4. Grubb SA, Lipscomb HJ, Coonrad RW. Degenerative adult onset scoliosis. *Spine* 1988; 13: 241–5.
5. Tan JS, Bailey CS, Dvorak MF, Fisher CG, Crompton PA, Oxland TR. Cement augmentation of vertebral screws enhances the interface strength between interbody device and vertebral body. *Spine* 2007; 32: 334–41.
6. DeWald CJ, Stanley T. Instrumentation-related complications of multilevel fusions for adult spinal deformity patients over age 65: surgical considerations and treatment options in patients with poor bone quality. *Spine* 2006; 31 (Suppl): 144–51.
7. Hu SS. Internal fixation in the osteoporotic spine. *Spine* 1997; 22 (Suppl): 435–48.
8. Hirano T, Hasegawa K, Takahashi HE, Uchiyama S, Hara T, Washio T, Sugiyama T, Yokaichiya M, Ikeda M. Structural characteristics of the pedicle and its role in screw stability. *Spine* 1997; 22: 2504–9.
9. Weinstein JN, Rydevik BL, Rauschnig W. Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation. *Clin Orthop Relat Res* 1992; 284: 34–46.
10. Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, Thomas JC, Holland WR, Field BT, Spencer CW. A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine. *Clin Orthop Relat Res* 1986; 203: 99–112.
11. Coe JD, Warden KE, Herzig MA, McAfee PC. Influence of bone mineral density on the fixation of thoracolumbar implants. A comparative study of transpedicular screws, laminar hooks, and spinous process wires. *Spine* 1990; 15: 902–7.
12. Soshi S, Shiba R, Kondo H, Murota K. An experimental study on transpedicular screw fixation in relation to osteoporosis of the lumbar spine. *Spine* 1991; 16: 1335–41.
13. Law M, Tencer AF, Anderson PA. Caudo-cephalad loading of pedicle screws: mechanisms of loosening and methods of augmentation. *Spine* 1993; 18: 2438–43.
14. Halvorson TL, Kelley LA, Thomas KA, Whitecloud TS 3rd, Cook SD. Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation. *Spine* 1994; 19: 2415–20.
15. Okuyama K, Abe E, Suzuki T, Tamura Y, Chiba M, Sato K. Influence of bone mineral density on pedicle screw fixation: a study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion in elderly patients. *Spine J* 2001; 1: 402–7.
16. Essens S, Sacs BL, Drezyin V. Complications associated with the technique of pedicle screw fixation: a selected survey of ABC members. *Spine* 1993; 18: 2231–9.
17. Dickman CA, Fessler RG, MacMillan M, Haid RW. Transpedicular screw-rod fixation of the lumbar spine: operative technique and outcome in 104 cases. *J Neurosurg* 1992; 77: 860–70.
18. Sarzier JS, Evans AJ, Cahill DW. Increased pedicle screw pullout strength with vertebroplasty augmentation in osteoporotic spines. *Neurosurg* 2002; 96 (Suppl): 309–12.
19. Zdeblick TA, Kunz DN, Cooke ME, McCabe R. Pedicle screw pullout strength. Correlation with insertional torque. *Spine* 1993; 18: 1673–6.
20. Krag MH, Beynon BD, Pope MH, Frymoyer JW, Haugh LD, Weaver DL. An internal fixator for posterior application to short segments of the thoracic, lumbar, or lumbosacral spine. Design and testing. *Clin Orthop Relat Res* 1986; 203: 75–98.
21. Brantley AG, Mayfield JK, Koenenman JB, Clark KR. The effects of pedicle screw fit. An in vitro study. *Spine* 1994; 19: 1752–8.

22. Heinemann DF. Osteoporosis. An overview of the National Osteoporosis Foundation clinical practice guide. *Geriatrics* 2000; 55: 31–6.
23. Wittenberg RH, Lee KS, Shea M, White AA 3rd, Hayes WC. Effect of screw diameter, insertion technique, and bone cement augmentation of pedicular screw fixation strength. *Clin Orthop Relat Res* 1993; 296: 278–87.
24. Pfeifer BA, Krag MH, Johnson C. Repair of failed transpedicle screw fixation. A biomechanical study comparing polymethylmethacrylate, milled bone, and matchstick bone reconstruction. *Spine* 1994; 19: 350–3.
25. Heini PF. The current treatment – a survey of osteoporotic fracture treatment. *Osteoporos Int* 2005; 16 (Suppl 2): 85–92.
26. Tan JS, Kwon BK, Dvorak MF, Fisher CG, Oxland TR. Pedicle screw motion in the osteoporotic spine after augmentation with laminar hooks, sublaminar wires, or calcium phosphate cement: a comparative analysis. *Spine* 2004; 29: 1723–30.
27. Moore DC, Maitra RS, Farjo LA, Graziano GP, Goldstein SA. Restoration of pedicle screw fixation with an in situ setting calcium phosphate cement. *Spine* 1997; 22: 1696–705.
28. Renner SM, Lim TH, Kim WJ, Katolik L, An HS, Andersson GB. Augmentation of pedicle screw fixation strength using an injectable calcium phosphate cement as a function of injection timing and method. *Spine* 2004; 29: E212–6.
29. Libicher M, Hillmeier J, Liegibel U, Sommer U, Pyerin W, Vetter M, Meinzer HP, Grafe I, Meeder P, Noldge G, Nawroth P, Kasperk C. Osseous integration of calcium phosphate in osteoporotic vertebral fractures after kyphoplasty: initial results from a clinical and experimental pilot study. *Osteoporos Int* 2006; 17: 1208–15.

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](#)