

Journal für  
**Mineralstoffwechsel**

Zeitschrift für Knochen- und Gelenkerkrankungen

Orthopädie • Osteologie • Rheumatologie

**Biomechanik und Verzahnung bei  
Wirbelkörperfrakturen: Wo stehen  
wir heute? Ein aktueller  
Literaturvergleich**

Drees P

*Journal für Mineralstoffwechsel &  
Muskuloskelettale Erkrankungen*

2011; 18 (3), 118-120

**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](http://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

# Biomechanik und Verzahnung bei Wirbelkörperfrakturen: Wo stehen wir heute?

## Ein aktueller Literaturvergleich

P. Drees

**Kurzfassung:** In der Fachwelt ist man sich einig, dass Stabilisierung und Schmerzbefreiung primäre Ziele vertebraler Augmentationsverfahren sind, die alle am Markt befindlichen Systeme nachweislich bieten. Darüber hinaus sind jedoch in den vergangenen Jahren eine Fülle wissenschaftlicher Publikationen erschienen, die die verschiedenen Verfahren unter unterschiedlichen Gesichtspunkten kritisch beleuchten, wie z. B. die Biomechanik in der Wirbelsäule nach Zementaugmentation (auch in Hinblick auf vermehrte Anschlussfrakturen) oder die Bedeutung des Erhalts der trabekulären Wirbelkörperstruktur. In der vorliegenden Arbeit werden die

Ergebnisse verschiedener Publikationen zum Thema vertebrale Augmentation unter diesem Gesichtspunkt verglichen und bewertet.

**Schlüsselwörter:** vertebrale Augmentation, Vertebroplastie, Kyphoplastie, Anschlussfrakturen, Biomechanik der Wirbelsäule

**Abstract: Biomechanics and Interdigitation of Vertebral Compression Fractures: Where Are We Now? A Literature Review.** Experts agree that the general goals of vertebral augmentation – pain relief and stabilization – are fulfilled by any vertebral augmentation system offered on the market. Beyond that several sci-

entific articles appeared during the last years to critically highlight different aspects e.g. the biomechanics of the spine after augmentation with bone cement (also in context with adjacent fractures), the importance to preserve the trabecular structure of the vertebral body etc. The present article is comparing and evaluating several publications on these different aspects of vertebral augmentation. **J Miner Stoffwechs 2011; 18 (3): 118–20.**

**Key words:** vertebral augmentation, vertebroplasty, kyphoplasty, adjacent fractures, biomechanics of the spine

Auch wenn die Forderung zu Recht besteht, evidenzbasierte Medizin zu betreiben, so wissen wir dennoch, dass viele Heilerfolge das Ergebnis langer Erfahrung und die sinnvolle Verknüpfung unterschiedlicher Studienergebnisse sind. Diese Arbeit hat das Ziel, die Ergebnisse unterschiedlicher Untersuchungen zu verschiedenen Augmentationsverfahren zu vergleichen und daraus Schlüsse für den aktuellen klinischen Alltag zur Behandlung von Wirbelkörperkompressionsfrakturen zu ziehen.

Die Biomechanik der Wirbelsäule ist komplex und immer wieder Grund für zahlreiche Forschungen. Wenn aber die gesunde Wirbelsäule der Wissenschaft noch zahlreiche Rätsel aufgibt, wie groß ist dann erst die Summe der Fragezeichen bei einer osteoporotischen und noch viel mehr bei einer Wirbelsäule, die man mit Zement stabilisiert hat [1, 2]?

Seit man in den 1980er-Jahren Zement in Wirbelkörper injiziert, hat man zwei große Ziele: Stabilisierung und Schmerzreduktion [3]. Diese Ziele können wir heute getrost auch auf evidenter Basis als erreicht betrachten, sei es bei der Behandlung osteoporotischer als auch tumorbedingter Frakturen [4–6].

Für diese Patienten haben sich – trotz der Arbeiten von Buchbinder und Kallmes [7, 8] – die meisten von uns für die vertebrale Augmentation zum Wohle der Patienten entschieden. Zwei Verfahren werden dabei am häufigsten verwendet: die Vertebroplastie und die Kyphoplastie mittels Ballonen. Beim ersten Verfahren wird lediglich dünnflüssiger Zement in den frak-

turierten Wirbelkörper injiziert, bei letzterem werden vor der Applikation des Zementes 2 Ballone in den Wirbelkörper eingebracht und anschließend mit Kontrastmittel aufgefüllt. Der so geschaffene Hohlraum durch komprimierte Spongiosa soll zum einen als eine Art Schutzraum dienen, um die aus der Vertebroplastie bekannten und gefürchteten Nebenwirkungen der Zementleckagen zu vermeiden [9]. Zum anderen zeigte sich aber auch bei frischen Frakturen die Möglichkeit der Wiederaufrichtung von Kompressionsfrakturen [10, 11]. Gerade diese Aufrichtung scheint biomechanische Vorteile zu haben, weil sie die alte Lastverteilung wiederherzustellen scheint. Bisher wurden allerdings lediglich die theoretischen Vorteile der Aufrichtung beschrieben. Außerdem berichten mehrere Autoren vom Verlust der vollständigen Auffüllung nach Entfernen der Ballone vor Befüllen der Hohlräume [10–14] sowie von Komplikationen u. a. aufgrund der starken Druckentwicklung bei der Balloninfiltration [15, 16].

Schaut man sich nun die jüngsten Arbeiten zur Biomechanik der augmentierten Wirbelsäule an, so erkennt man Trends, die zu einem weiteren Fortschritt bei der vertebralen Augmentation führen können. Vielfach diskutiert werden die Anschlussfrakturen und die Fragen, die sich dadurch ergeben: Wie wirkt sich die Zementverteilung und -befüllung auf die Belastung der Wirbelsäule aus [1, 2, 17]?

Becker et al. beschreiben in ihrer Studie mithilfe der Finite-Elemente-Analyse an der Lendenwirbelsäule die Kräfte, die nach Ballon-Kyphoplastie auftreten, und das entsprechende Stress-Shielding [1]. Interessant dabei ist, dass sie ebenso wie die Arbeitsgruppe Rohlmann mit ihren Finite-Elemente-Modellen zu dem Ergebnis kommen, dass bei standardisierten Frakturen die Füllmenge keine Rolle bei den Kräfteverhältnissen in der Wirbelsäule spielt [1, 16]. Jedoch ist zu beobachten, dass bei einer Ballon-Kyphoplastie im osteoporotischen Wirbelkörper ein erhebliches Stress-Shielding entsteht [1]. Aus der biomechanischen Forschung wissen wir, dass Stress-Shielding

Eingelangt am 15. Juli 2011; angenommen nach Revision am 20. August 2011

Aus dem Zentrum für Unfallchirurgie und Orthopädie, Stiftungsklinikum Mittelrhein

**Korrespondenzadresse:** PD Dr. Philipp Drees, Zentrum für Unfallchirurgie und Orthopädie, Stiftungsklinikum Mittelrhein, Johannes-Müller-Straße 7, D-56069 Koblenz, Deutschland; E-Mail: philipp.drees@stiftungsklinikum.de

aber einen Knochenabbau zur Folge hat. Das ist allerdings eine Nebenwirkung, die gerade bei Osteoporose-Patienten auf alle Fälle zu vermeiden ist [18].

Des Weiteren konnte die Arbeitsgruppe um Becker zeigen, dass eine Aufrichtung des Wirbelkörpers biomechanisch von Vorteil ist, sofern sie vollständig gelingt [1]. Da dies in den meisten Fällen im OP jedoch nicht der Fall ist [10–14, 19], mit den Ballonen aber wesentliche intervertebrale trabekuläre Strukturen verdrängt und zerstört werden [20], ist von diesem Verfahren abzuraten, folgern die Arbeiten von Becker und Rohlmann gleichermaßen. Stattdessen empfehlen beide Arbeitsgruppen die Verwendung eines ultra-hochviskösen Zements [1, 16], der ggf. mittels Radiofrequenz-Energie erzeugt wird und ausschließlich wegen seiner Beschaffenheit – der sehr hohen Viskosität – in der Lage ist, die Deformität zu korrigieren [6, 9, 11].

Berlemann et al. machten schon darauf aufmerksam, dass größere Zementblöcke in der Wirbelsäule natürlich wesentlich härter sind, als der Wirbelkörper vor der Füllung mit PMMA war. Sie schließen daraus, dass weniger Zement geringere Auswirkungen auf das biomechanische Gleichgewicht hat [21]. Neuere Untersuchungen von Becker et al. zeigen jedoch, dass die Härte des Zementes eher einen Einfluss hat [1]. Der Standardzement für die Füllung der Wirbelkörper sollte 2 GPa nicht überschreiten.

Im Frühjahr diesen Jahres erschienen die ersten Ergebnisse aus der Marburger Arbeitsgruppe von Oberkircher et al., die die Verzahnung des PMMA mit den Trabekeln bei unterschiedlichen Kyphoplastie-Verfahren untersuchten – dies als Voraussetzung für weitere Untersuchungen zur besseren Stabilität bei besserer Verzahnung [20]. Gestützt werden die Daten durch Ergebnisse anderer Autoren [22]. Es ist zu erwarten, dass eine gleichmäßigere Verteilung und eine gute Verzahnung zu geringeren Spannungsspitzen und damit zu weniger Stress-Shielding führt. In den vorgestellten Ergebnissen schnitten Verfahren, die nicht vorab mit einem Ballon den Wirbelkörper aufdehnten und die trabekuläre Struktur dadurch zerstörten, deutlich besser ab. Die engste Verzahnung gab es mit dem ultra-hochviskösen Zement der RF-Kyphoplastie, die zudem auf den Einsatz eines zusätzlichen Implantates verzichtet und damit auch eine kurze OP-Zeit zur Folge hat [9, 11].

Fasst man also die letzten Arbeiten dieser Art zusammen, so lässt dies nur einen Schluss zu: Aktuell sollten Verfahren gewählt werden, die keine Zementblöcke im Wirbelkörper hinterlassen, den verbliebenen Knochen bestmöglich schonen und aufgrund einer guten intratrabekulären Verzahnung keine Belastungsspitzen im Wirbelkörper bilden. Zusätzlich ist eine Korrektur des Kyphosewinkels anzustreben. So haben sich vor allem aus kurativer Sicht neben den Zielen Stabilisierung und Schmerzbefreiung von Patienten mit Wirbelkörperkompressionsfrakturen zwei weitere Forderungen entwickelt: (intravertebrale Knochen-) Substanzschonung und weitestgehende Wiederherstellung des ursprünglichen Wirbelkörperprofils.

Die absolute Zementmenge scheint dabei nicht von allzu großer Relevanz zu sein. Das weist daraufhin, dass die kontrollierte und gezielte Radiofrequenz-Kyphoplastie (RFK) nach heuti-

gem Wissensstand die einzige Methode der vertebrealen Augmentation im Bereich der Kyphoplastie zu sein scheint, die derzeit all diese Kriterien erfüllt [6, 9, 11, 20, 22, 23], und damit auch die Methode der Wahl, da die Endfestigkeit des PMMA im Knochen die geforderten 2 GPa nicht übersteigt.

Auch im Bereich der „aufrichtungsfreien“ Techniken vertebraler Augmentationen setzt man mittels höherer Viskosität auf mehr Sicherheit. So scheint bei der Vertebroplastie derzeit das Confidence Spinal Cement System™ (DePuy) die Methode der Wahl zu sein [24]. Ob auch hier die Erwartungen erfüllt werden, bleibt abzuwarten und muss klinisch, vor allem langfristig, überprüft werden. Besonders letzteres gilt auch für jene Produkte am Markt, die anstelle des Zementes Silikon auf PMMA-Basis verwenden. Hierzu erfordert es derzeit noch eine ganze Reihe biomechanischer Testungen, bspw. ob die Endfestigkeit eine ausreichende Stabilität in der frakturierten Wirbelsäule bildet. Außerdem lassen die bekannten Nebenwirkungen aus der plastischen Chirurgie massive Zweifel an der Sicherheit dieses Materials aufkommen. Die klinische Praxis hat gezeigt, dass bisher alle neuen Zemente, welche nicht auf PMMA-Basis bestanden, kurz- und mittelfristig ihre Erwartungen nicht halten konnten. Letztendlich liegen sichere, valide und langfristige Daten bisher nur für Zemente auf PMMA-Basis vor. Hier gilt es dringend, die Datenlage zu verbessern.

### ■ Relevanz für die Praxis

Bei dem heute beinahe unübersichtlichen Angebot an verschiedenen Kyphoplastie-Systemen sollte die Wahl auf ein solches fallen, welches das Risiko der Extravasatrate minimiert, jedoch in der Lage ist, Frakturen aufzurichten. Des Weiteren sollten heutige Systeme dem Erhalt der Trabekel auch in Anbetracht medikamentöser Osteoporosetherapie, die am Aufbau trabekulärer Strukturen ansetzt, Rechnung tragen. Schlussendlich müssen größere komplexe Zementblöcke konventioneller Kyphoplastie-Techniken vermieden und durch neuere Techniken, wie bspw. der Radiofrequenz-Kyphoplastie, mit einer möglichst guten Verzahnung und damit „natürlichen“ Biomechanik ersetzt werden.

### ■ Interessenkonflikt

Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehung hin: PD Dr. Philipp Drees ist gelegentlich als Referent für die Firma DFine Europe GmbH, Mannheim, tätig.

### Literatur:

1. Becker S, Dabirrahmani D, Hogg M, et al. Nachteile der Ballonkyphoplastie mit PMMA – eine klinische und biomechanische Stellungnahme. *J Miner Stoffwech* 2010; 17 (Sonderheft 1): 10–4.
2. Rohlmann A, Zander T, Bergmann G. Spinal loads after osteoporotic vertebral fractures treated by vertebroplasty or kyphoplast. *Eur Spine J* 2006; 15: 1255–64.
3. Galibert P, Deramond H, Rosat P, et al. Note préliminaire sur le traitement des angiomes vertébraux par vertébroplastie acrylique percutanée. *Neurochirurgie* 1987; 33: 166–8.
4. Wardlaw D, Cummings SR, Van Meirhaeghe J, et al. Efficacy and safety of balloon kyphoplasty compared with non-surgical care for vertebral compression fracture (FREE): a randomised controlled trial. *Lancet* 2009; 373: 1016–24.
5. Klazen CA, Lohle PN, de Vries J, et al. Vertebroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos II): an open-label

- randomised trial. *Lancet* 2010; 376: 1085–92.
6. Elgeti F, Gebauer B. Die Radiofrequenz-Kyphoplastie zur Behandlung osteoporotischer und neoplastischer Wirbelkörperfrakturen. *J Mineral Stoffwechs* 2010; 17 (Sonderheft 1): 5–9.
7. Buchbinder R, Osborne RH, Ebeling PR, et al. A randomized trial of vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral fractures. *N Engl J Med* 2009; 361: 557–68.
8. Kallmes DF, Comstock BA, Heagerty PJ, et al. A randomized trial of vertebroplasty for osteoporotic spinal fractures. *N Engl J Med* 2009; 361: 569–79.
9. Drees P, Kafchitsas K, Mattyasovszky S, et al. Radiofrequency kyphoplasty – an innovative method of treating osteoporotic vertebral body compression fractures. *J Miner Stoffwechs* 2011; 18 (Suppl 1): 13–7.
10. Voggenreiter G, Brocker K, Röhl B, et al. Results of balloon kyphoplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures. *Unfallchirurg* 2008; 111: 403–12.
11. Licht AW, Kramer W. One year observation study upon a new augmentation procedure (radiofrequency-kyphoplasty) in the treatment of vertebral body compression fractures. *EuroSpine* 2010, Wien, 2010: P 38.
12. Heini PF, Orler R, Bosczyck B. Balloon kyphoplasty and lordoplasty. In: Mathis JM, Deramond H, Belkoff SM. *Percutaneous Vertebroplasty and Kyphoplasty*, 2. Aufl., Springer, 2006; 3–7.
13. Belkoff SM, Mathis JM, Fenton DC, et al. An ex vivo evaluation of an inflatable bone tamp used in the treatment of compression fracture. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001; 26: 151–6.
14. Röllinghoff M, Siewe J, Zarghooni K, et al. Effectiveness, security and height restoration on fresh compression fractures – a comparative prospective study of vertebroplasty and kyphoplasty. *Minim Invasive Neurosurg* 2009; 52: 233–7.
15. Saliou G, Rutgers DR, Kocheida EM. Balloon-related complications and technical failures in kyphoplasty for vertebral fractures. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010; 31: 175–9.
16. Nussbaum DA, Gailloud P, Murphy K. A review of complications associated with vertebroplasty and kyphoplasty as reported to the Food and Drug Administration medical device related web site. *J Vasc Interv Radiol* 2004; 15: 1185–92.
17. Rohlmann A, Boustani HN, Bergmann G, et al. A probabilistic finite element analysis of the stresses in the augmented vertebral body after vertebroplasty. *Eur Spine J* 2010; 19: 1585–95.
18. Lunt M, O'Neill TW, Felsenberg D, et al.; European Prospective Osteoporosis Study Group. Characteristics of a prevalent vertebral deformity predict subsequent vertebral fracture: results from the European Prospective Study (EPOS). *Bone* 2003; 33: 505–13.
19. Rotter R, Martin H, Fuerderer S, et al. Vertebral body stenting: a new method for vertebral augmentation versus kyphoplasty. *Eur Spine J* 2010; 19: 916–23.
20. Oberkircher L, Krüger A, Blümel C, et al. Zementinterdigitation und Knochen-Zement-Interface unterschiedlicher Wirbelkörperaugmentationsverfahren – eine Kadaverstudie. *Osteoporose & Rheuma aktuell* 2011; (1): 12–4.
21. Berlemann U, Heini PF. Percutaneous cement techniques for treatment of osteoporotic spinal sintering. *Unfallchirurg* 2002; 105: 2–8.
22. Dalton BE, Kohm AW, Poser RD. Comparison of targeted vertebral augmentation technique (tva) versus balloon kyphoplasty in an ex vivo vertebral compression fracture model. *GRIBOI* 2011: P 15 (65).
23. Elgeti FA, Marnitz T, Kröncke TJ, et al. DFine radiofrequency kyphoplasty (RFK) – kyphoplasty with ultrahigh viscosity cement. *Rofo* 2010; 182: 803–5.
24. Siegal JD. Treatment of vertebral compression fractures. *US Musculoskeletal Review* 2009; 4: 33–6.

# 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](#)