

Behandlung der osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mittels Vertebroplastik?



Jürg Bernhard^a, Stephan Marx^b

^a Medizinische Klinik, Rehabilitationszentrum Bürgerspital Solothurn,

^b Orthopädische Klinik, Kantonsspital Olten

Quintessenz

- Osteoporotisch bedingte Frakturen verursachen 7,5mal mehr Hospitalisationstage in Akutkliniken als Myokardinfarkte.
- Etwa ein Viertel aller Frauen bis zum 85. Lebensjahr haben radiologisch sichtbare Wirbelfrakturen.
- Die Vertebroplastik und die Kyphoplastik sind wichtige Methoden in der Behandlung von tumorös befallenen oder frakturierten Wirbelkörpern.
- In 85–90% der Patienten mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen kommt es nach Vertebroplastik zu dramatischer oder vollständiger Schmerzlinderung innert 72 Stunden.
- Der Eingriff ist in geübten Händen bei guter Indikationsstellung risikoarm und effektiv.
- Grosse kontrollierte vergleichende Studien zwischen konventioneller Therapie der osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen und der Vertebroplastik fehlen trotz vieler Jahre klinischer Erfahrung in dieser Technik.

Summary


Vertebroplasty in the treatment of osteoporotic fractures

- *Osteoporotic fractures account for 7.5 times more regular hospital stay than myocardial infarction.*
- *Approximately one quarter of all women aged up to 85 years show vertebral fractures on x-ray.*
- *Vertebroplasty and kyphoplasty are important techniques in the treatment of tumour-affected or fractured vertebrae.*
- *Vertebroplasty confers almost complete pain relief in 85–90% of patients with osteoporotic vertebral fractures.*
- *Performed by experienced specialists, the techniques of vertebroplasty and kyphoplasty are effective and relatively safe.*
- *Despite many years of clinical experience, there is a lack of controlled studies comparing conventional treatment of osteoporotic vertebral fractures and vertebroplasty.*

Einleitung

Osteoporotische Frakturen – epidemiologische und gesundheitsökonomische Aspekte

Die Osteoporose stellt ein sehr grosses medizinisches und zunehmend auch ökonomisches Problem dar. In der Schweiz gibt es ungefähr 261 000 Frauen und 87 000 Männer mit Osteoporose. Auch in der Tagespresse ist das Thema präsent [1]. Allein im Jahr 2000 verursachten osteoporotische Frakturen 7,5mal mehr Hospitalisationstage in Akutkliniken als alle Myokardinfarkte zusammen, d.h. rund 390 000 Spitaltage, was direkte Kosten von ungefähr 357 Millionen Franken nach sich zog [2]. Mehr als ein Drittel aller 50jährigen Frauen und ungefähr jeder siebte Mann erleiden als Folge der Osteoporose einmal im Leben eine Fraktur [3]. Die Frakturen treten meist ohne adäquates Trauma auf.

Die Frakturen können sich entweder als Mikrofrakturen, d.h. ohne konventionell radiologisch nachweisbare Strukturveränderung des Knochens, oder aber als Makrofrakturen manifestieren. Dabei stellt die Wirbelkörperfraktur die häufigste Fraktur dar [4]. An der Wirbelsäule sind Makrofrakturen meist als Keilwirbel oder als sogenannte Fischwirbel sichtbar (Abb. 1 ). In den Vereinigten Staaten von Amerika sind dies pro Jahr gut 500 000–700 000 Wirbelkörperfrakturen bei insgesamt etwa 1,5 Millionen osteoporotischen Frakturen pro Jahr [5]. Kompressionsfrakturen der Wirbelkörper sind aber auch in Europa sehr häufig und bei 25% aller Frauen bis zum 85. Lebensjahr konventionell radiologisch sichtbar [6].

Wie oft eine solche Fraktur asymptomatisch verläuft, ist umstritten. Es scheint, dass lediglich ein Drittel aller osteoporotischen Wirbelfrakturen akute Rückenschmerzen verursachen [7]. Auch werden wahrscheinlich nicht selten bei Exazerbationen von chronischen Rückenschmerzen oder bei akuten Rückenschmerzepisoden andersartige Diagnosen gestellt und Frakturen nicht diagnostiziert. Die Dunkelziffer ist wahrscheinlich erheblich. Häufig werden Patientinnen und Patienten mit Frakturen ambulant durch den Hausarzt allenfalls in Zusammenarbeit mit dem Spezialisten behandelt. Auch

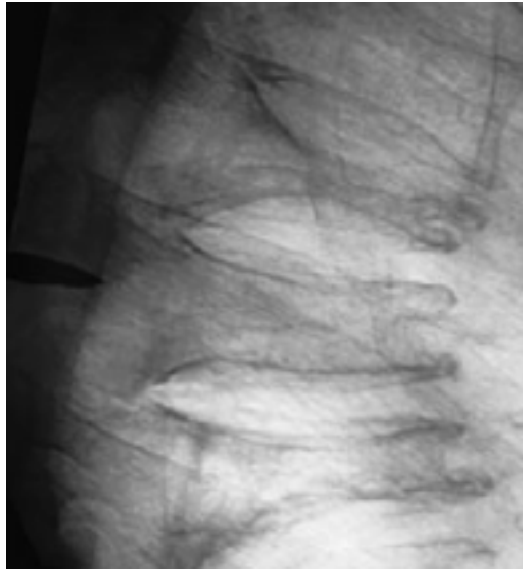


Abbildung 1
Typische Keilwirbel bei Osteoporose.

werden die Wirbelfrakturen bis auf wenige Ausnahmen konservativ behandelt. Osteoporotisch bedingte Wirbelkörperfrakturen sind aber nicht selten mit invalidisierenden Schmerzen verbunden und führen dann oft zur Hospitalisation, da die meist älteren Patientinnen und Patienten sich zufolge der Schmerzen nicht mehr zu Hause versorgen können. Gerade diese verminderte Mobilität bzw. vermehrte Bettlägerigkeit ist von einer nicht zu vernachlässigenden Komplikationsrate begleitet. Die Mortalität ist im Vergleich zur gleichaltrigen Bevölkerung dann um etwa 30% erhöht [8]. Auch kommt es durch die Frakturen zu relevanten Veränderungen der Statik an der Wirbelsäule. Die Kyphosierung der Wirbelsäule wirkt sich biomechanisch ungünstig aus, indem die Last zunehmend auf die vorderen Anteile der Wirbel verlagert wird.

Konventionelle Therapie der Frakturen in der Akutphase

Analgetika, Kalzitonin, Orthosen und relative Bettruhe stellen bis heute die Eckpfeiler der Akuttherapie dar [5]. Sekundär-prophylaktisch werden meist Kalzium-Supplemente in Kombination mit Vitamin D₃, Bisphosphonate und neuerdings auch Teträparatid eingesetzt. Letztere Massnahmen haben aber keinen sofortigen, den Wirbelkörper stabilisierenden Effekt, und Bisphosphonate wirken verhältnismässig nur wenig analgetisch. Des Weiteren werden nicht-pharmakologische Interventionen wie Sturzprophylaxemassnahmen, Safe-Hip-Hosen und Physiotherapie eingesetzt [9]. Trotz der genannten Massnahmen ist das Risiko für eine neue Fraktur nach einer früheren Fraktur massiv erhöht [7].

Sowohl Patientinnen und Patienten wie auch Ärzte wünschen sich deshalb eine Behandlungsmethode, welche den oftmals invalidisierenden

Schmerz schnell verschwinden lässt, den frakturierten und unter Umständen weiter zusammenbrechenden Wirbelkörper sofort stabilisiert und den Patienten die verlorene Funktion rasch wieder zurückgewinnen lässt, damit idealerweise eine baldige Entlassung aus dem Spital erfolgen kann. Die in den letzten Jahren immer mehr ins Bewusstsein rückende Vertebroplastik scheint diese Lücke zu füllen. Eine offene Operation mit Fixateur interne wird aufgrund der aufwendigeren Technik und der erhöhten Komplikationsrate nur bei wenigen osteoporotischen Frakturen empfohlen, insbesondere dann, wenn neurologische Komplikationen eine Dekompression erfordern, was wahrscheinlich nur in rund 0,05% der osteoporotischen Wirbelfrakturen der Fall ist.

Entwicklung

Die perkutane Vertebroplastik wurde erstmals 1984 durchgeführt. Galibert et al. behandelten ein zervikales vertebrales Angiom mittels perkutaner Punktion und erfolgreicher Füllung des Wirbelkörpers mit Polymethylmetacrylat (PMMA)-Zement [10]. Wenig später wurde die Methode der Vertebroplastik auch bei lytischen Knochenmetastasen angewandt [11]. Seit mehreren Jahren findet die Vertebroplastik in der Behandlung von osteoporotisch bedingten Wirbelkörperfrakturen eine zunehmende Akzeptanz. Verschiedene auch grössere Studien haben die Wirksamkeit belegt [12–15]. Da das Risiko einer weiteren Spontanfraktur insbesondere bei bereits vorliegender Fraktur im Vergleich zur gleich alten Bevölkerung ohne Kyphosierung der Wirbelsäule um das Fünffache und bei Vorliegen mehrerer Frakturen um den Faktor zwölf erhöht ist [5], besteht ein gutes Argument zur Wiederherstellung einer möglichst physiologischen Wirbelsäulenkrümmung. Die Methode der Vertebroplastik wurde deshalb weiterentwickelt, und mit verschiedenen Ballontechniken wird versucht, den meist keilförmig deformierten Wirbelkörper wieder in seine ursprüngliche Form aufzurichten, was als Kyphoplastik bezeichnet wird. Ebenso versucht man, benachbarte gefährdete Wirbel prophylaktisch zu zementieren.

Prinzip und Technik

Das Verfahren der Vertebroplastik versucht, die Probleme beim Management von osteoporotischen Frakturen an der Wirbelsäule oder mit Wirbelsäulenmetastasen zu lösen, denen keine klare weitere Behandlungsoption zur Verfügung steht oder bei denen andere mögliche Verfahren zu aufwendig oder komplikationsträchtig erscheinen. Dieses Verfahren erlaubt, den Schmerz zu lindern, Analgetika zu reduzieren und den stationären Aufenthalt zu verkürzen.

Bei 85–90% der Patienten¹ mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen kommt es nach Vertebroplastik zu dramatischer oder vollständiger Schmerzlinderung innert 72 Stunden. Bei malignombedingten Frakturen ist die Schmerzlinderung etwas geringer ausgeprägt [5].

Der rasche und häufig eindrückliche analgetische Effekt der Vertebroplastik [14, 20, 23, 24, 26–28] hat zwei Gründe. Erstens spielt höchstwahrscheinlich die Stabilisierung der erhaltenen Knochenstrukturen eine Rolle und zweitens eine Destruktion der terminalen Nervenendigungen durch zytotoxische Effekte des Methylmethacrylates. Schmerzen aufgrund einer Rückenmarkskompression oder einer Einengung der Foramina intervertebralia können durch die Vertebroplastik nicht beeinflusst werden.

Vertebroplastik

Die Injektion des Knochenzementes in den Wirbelkörper wird durch einen perkutanen transpedikulären oder paravertebralen Zugang (Abb. 2) unter kontinuierlicher Bildwandlerkontrolle durchgeführt (Abb. 3). In der Routinesituation kann die Vertebroplastik in einer Lokalanästhesie mit leichter Sedation in weniger als einer Stunde durchgeführt werden. In manchen Fällen ist eine Allgemeinanästhesie in Intubationsnarkose zu empfehlen, da durch die Zementinjektionen der Schmerz vorübergehend intensiviert werden kann. Dies gilt insbesondere für mehrsegmentale Zementierungen.

Eine operative Erleichterung beim Vorgehen über mehrere Etagen stellt heute die Fluoronavigation dar (Abb. 4). Hierbei wird an die erste herkömmlich perkutan eingebrachte Kanüle der Referenzbogen des Navigationssystems angebracht; anschliessend werden BV-Bilder in zwei Ebenen von den weiter zu behandelnden Wirbeln gemacht. Nun kann man die Wirbel navigiert mit Kanülen besetzen und auf aufwendige Durchleuchtung bis zur Zementierung verzichten. Dies erhöht nicht nur die Sicherheit des Patienten, sondern beschleunigt auch das Verfahren insgesamt. Zudem ist die Strahlendosis um ein vielfaches geringer – hiervon profitieren ebenfalls Patient und auch der Operateur [16]. Das Ziel der Vertebroplastik ist eine möglichst gleichmässige Auffüllung des Wirbels mit dem PMMA-Zement, damit die auftretenden Kräfte möglichst harmonisch verteilt werden können und keine «Steifigkeitssprünge» innerhalb eines Wirbels entstehen. Steinmann et al. verglichen den unipedikulären und den bipedikulären Zugang hinsichtlich der Auswirkungen auf Wirbelkörpersteife, -stärke und Höhenerhalt, ohne dass das bipedikuläre Vorgehen entscheidende Vorteile gezeigt hätte [17]. Somit kann in der

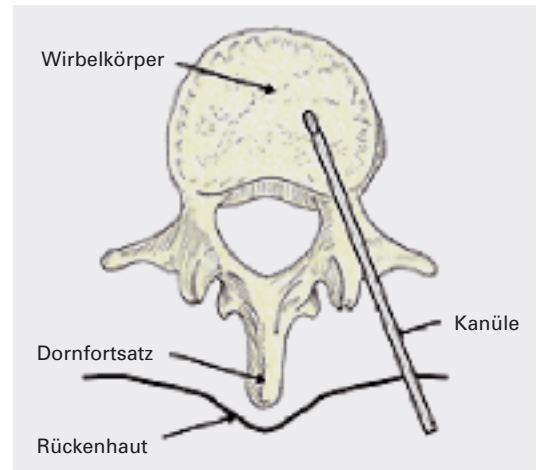


Abbildung 2
Einführen der Kanüle über den Pedikel in den Wirbelkörper

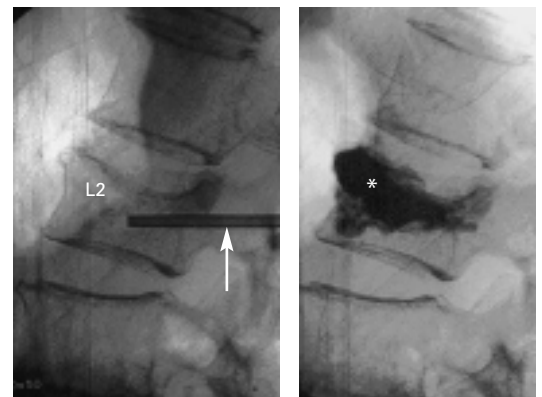


Abbildung 3
Einführen der Kanüle über den Pedikel (Pfeil) in den Wirbelkörper und Applikation des röntgen-dichten Zements (*) in den frakturierten Wirbel L2.

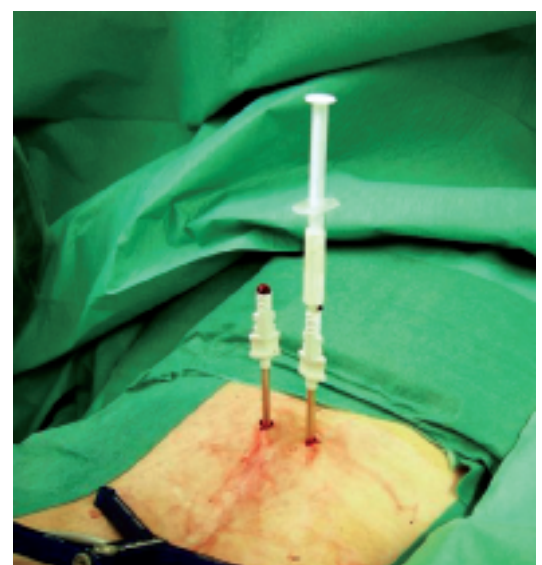



Abbildung 4
Fluoronavigation mit Referenzbogen (blau, links unten), zwei Kanülen im Wirbelkörper, links mit aufgesetzter Spritze mit Zement.

¹ Der Einfachheit halber wird im folgenden von «Patienten» gesprochen, obwohl mehr Frauen als Männer betroffen sind.

Routinesituation zugunsten der niedrigeren Kosten, der geringeren Durchleuchtungszeit, der niedrigeren Operationsrisiken und des kürzeren Eingriffs auf ein beidseitiges Vorgehen verzichtet werden.

Kyphoplastik

Kyphotische Frakturwirbel und mobile segmentale Kyphosen können sehr häufig durch die lordotische Lagerung auf dem Operationstisch zufriedenstellend reponiert werden. Eine Aufrichtung des Wirbelkörpers in seinen Originalzustand kann durch die perkutane Vertebroplastik oftmals jedoch nicht erreicht werden. Hier bietet die Kyphoplastik eine neue Option zur Augmentation von Wirbelkörpern. Hierbei wird durch einen transpedikulären oder extrapedikulären Zugang eine Kanüle in den Wirbelkörper platziert. Anschliessend wird ein Ballon in den Wirbelkörper eingebracht und dort aufgeblasen (Abb. 5 )¹). Idealerweise wird dadurch eine Kompressionsfraktur bis zur Originalhöhe des Wirbelkörpers aufgerichtet. Die dadurch entstandene Kavität wird anschliessend mit Knochenzement aufgefüllt. Die Zementinjektion erfolgt mit einer besseren Kontrolle und durch einen wesentlich geringeren Injektionsdruck. Auch dieses Verfahren wird entweder in Lokalanästhesie oder Allgemeinanästhesie durchgeführt. Auch hier ist eine Kontrolle unter einem Bildwandler notwendig.

Zur Wertigkeit der Kyphoplastik führten Dudeney et al. [18] eine Untersuchung an osteolytischen vertebrealen Kompressionsfrakturen beim multiplen Myelom durch. Grosse Komplikationen in Verbindung mit dieser Technik wurden nicht berichtet. Im Durchschnitt konnten 34% des Höhenverlustes wieder hergestellt wer-

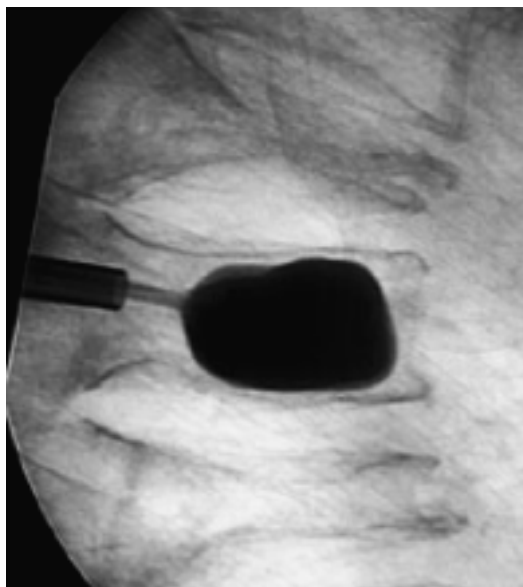


Abbildung 5
Ballonkyphoplastie an der Wirbelsäule im Wirbel (vgl. Abb. 1 = identische Region).

den. Die Autoren fassten zusammen, dass die Kyphoplastik ein effektives Verfahren in der Behandlung von osteolytischen vertebrealen Kompressionsfrakturen beim multiplen Myelom darstellt. Harrop et al. berichteten in einer Studie von 63 Patienten mit osteolytischen vertebrealen Frakturen von 1999 bis 2002 über ein ähnliches Ergebnis [19].

Indikationen

Die Hauptindikation für den Einsatz der perkutanen Vertebroplastik und Kyphoplastik stellt heute die schmerzhafte osteoporotische Fraktur des älteren Patienten dar. In vielen Arbeiten wurde ein schnell einsetzender und lang anhaltender Effekt auf die Schmerzsymptomatik durch die Vertebroplastik berichtet. Ebenso wurde berichtet, dass instabile Wirbelkörper stabilisiert werden konnten [20–22]. Ausser bei den osteoporotischen Frakturen konnten insbesondere auch bei tumorinduzierten Osteolysen, Metastasen solider Tumore, bei Lymphomen und dem multiplen Myelom durch die Vertebroplastik gute Ergebnisse erzielt werden.

Klassische Indikationen

- Trotz mehrwöchiger (vier bis acht Wochen) analgetischer Therapie schmerzhafte Osteoporose-Frakturen;
- symptomatische Wirbelkörperhämangiome;
- lytische Wirbelkörpermetastasen.

Tumore, die ein rasches destruktives Wachstum aufweisen, sind weniger geeignet, mittels Vertebroplastik behandelt zu werden. Auch sollte vor einer Vertebroplastik die Art des Tumors bekannt und ein onkologischer Behandlungsplan vorhanden sein.

Aber auch bei Frakturen, bei denen initial eine weitere Kyphosierung erwartet werden muss, sollte die Möglichkeit einer Vertebroplastik/Kyphoplastik evaluiert werden. Für eine Vertebroplastik/Kyphoplastik richtungweisend sind hier

- die initiale Kyphosierung (d.h. Frakturen mit einem Kyphosewinkel von über 20°);
- die Frakturlokalisation (thorakolumbal und lumbal eher als mid-thorakal);
- die Entfernung der Fraktur von der Hinterkante (z.B. wenn das dorsale Drittel des Wirbelkörpers beteiligt ist).

Aufgrund der Erfahrungen kann festgestellt werden, dass eine Vertebroplastik dann erfolgversprechend erscheint, wenn der Wirbelkörper nicht mehr als ca. drei Viertel seiner ursprünglichen Höhe verloren hat [25]. Wahrscheinlich ist bei höhergradiger Sinterung das Verfahren der Kyphoplastik gegenüber der Vertebroplastik überlegen.

Weiter vermag die Vertebroplastik die drohende Kyphosierung einer Fraktur zu vermindern/verhindern; sie hat in diesem Sinne auch eine prophylaktische Wirkung [23].

Mehr als drei Monate alte Frakturen sind in der Regel konsolidiert. Im Zweifelsfall kann eine MRI-Untersuchung Aufschluss darübergeben, ob dies tatsächlich der Fall ist. Liegt ein Knochenmarködem vor, ist die Konsolidation noch nicht abgeschlossen, oder es kam zu neuen (Mikro-)Frakturen.

Kontraindikationen

- Fragmentdislokationen im Spinalkanal;
- frakturierte «offene» Hinterkante;
- ein extremer vertebraler Kollaps mit einem Höhenverlust von über 70% (in diesen Fällen ist eher die Kyphoplastik indiziert);
- Fehlen einer Möglichkeit zu einer operativen Notfalldekompression;
- internistische Faktoren, z.B. Gerinnungsstörungen oder eine Infektion.

Voraussetzungen und Abklärungen

Erfahrungsgemäss sollte für eine Vertebroplastik Clopidogrel (Plavix®) ein bis zwei Wochen und Acetylsalicylsäure eine Woche vorher sistiert werden. Der Quick-Wert sollte >60% betragen. Die Person muss für eine Vertebroplastik 30 Minuten in Bauchlage verharren können. Präinterventionelle durchzuführende Abklärungen sind Thrombozytenzahl, Quick- bzw. INR-Wert und in der Regel ein EKG, wobei die lokalen Gepflogenheiten unterschiedlich sind. Eine eigentliche Altersgrenze für den Eingriff gibt es nicht.

Komplikationen

Komplikationen sind meist ohne Folge für den Patienten und werden in 5–7% der Interventionen beschrieben [29, 30]. Klinisch relevante Komplikationen werden in der Literatur mit 1–3% beschrieben, wobei immer darauf hingewiesen wird, dass eine gute operative Technik solche Komplikationen verhindern kann.

Häufigste Komplikationen

- lokale Hämatome;
- lokale oder systemische Infekte;
- Zement-Lungenembolien;
- Nervenwurzel-, Rückenmarkskompressionen oder -läsionen.

Das Hauptrisiko der Vertebroplastik ist die Extravasation des Knochenzementes, welche durch die forcierte Injektionstechnik des niedrig viskösen Knochenzementes entsteht [30]: Bei 1–2% der

Patienten mit Osteoporose kommt es zu symptomatischem Zementaustritt. Asymptomatischer Zementaustritt ist viel häufiger und tritt in bis zu 65% auf [30, 32], so sind diffuse asymptomatische Lungenembolien beschrieben [31], aber auch über Fälle mit tödlichem Ausgang zufolge Lungenembolie ist berichtet worden. Die klinische Relevanz dieser Extravasate ist in der Regel sehr gering. Es wird sogar über erfolgreiche Vertebroplastiken selbst bei Destruktionen der Wirbelkörperhinterkante berichtet. Komplikationen bei der Vertebroplastik können weitgehend vermieden werden, wenn die Applikationsinstrumente korrekt platziert werden und die Injektion des Zementes kontinuierlich erfolgt und unter Durchleuchtung kontrolliert wird. Unkontrolliert hohe Applikationsdrucke sind hierbei zu vermeiden. Eine gute Dosierbarkeit ist bei der gängigen Applikationsmethode mittels Spritzen (am ehesten 2 ml) gewährleistet, aber auch maschinelle Pump- und Injektionssysteme sind verfügbar und erlauben eine kontinuierliche und sichere Injektion des Zementes. Aber auch bei der Kyphoplastik kann es zu Zementextravasaten in etwa 11% kommen [24].

Wird die Rate von benachbarten Frakturen erhöht?

Häufig diskutiert wird auch die Frage, ob nicht durch Zunahme der Steifigkeit des zementierten Wirbels unphysiologische Kräfte auf die benachbarten Wirbel wirken und dort ein erhöhtes Frakturrisiko induzieren. Nach Vertebroplastiken und Kyphoplastiken wird in etwa 5–30% von Frakturen meist im benachbarten Gebiet berichtet. Die Studie von Fribourg et al. zeigte, dass diese Frakturen häufig in den ersten zwei Monaten nach der Kyphoplastik auftraten und dass in der Folge (durchschnittliche Beobachtungszeit acht Monate) Frakturen selten waren, da es offensichtlich zu adaptativen Umbauprozessen in den benachbarten Wirbelkörper kam [33]. Auch eine neuere Studie bei Vertebroplastiken [34] bestätigt die erwähnten Frakturzahlen.

Offene Fragen

Welche Faktoren aber beeinflussen das Resultat der Kyphoplastik? Dazu gibt es nur wenige Studien. Eine retrospektive grosse Studie [25] hat gezeigt, dass eine Höhenminderung von weniger als etwa 70% des Wirbelkörpers und ein typisches Signalverhalten im MRI die Wahrscheinlichkeit eines schlechten Therapieansprechens (im Sinne von Schmerzreduktion und Patientenzufriedenheit) signifikant vermindert hat. Eine Reihe von Fragen blieb bei dieser retrospektiven Studie offen: Warum haben zum Beispiel thorakolumbale Wirbelkörperfrakturen ein schlechteres Ergebnis?

Trotz aller Fortschritte und zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen sind wesentliche Fragen

(Langzeitdaten/-komplika­tionen, Indika­tionen für die ver­schie­de­nen Eingriffe, tech­ni­sche Aspek­te, Zementart usw.) noch Gegen­stand der wei­te­ren fach­li­chen Dis­kus­sion. So feh­len zum Bei­spiel auch nach mehr als sieben Jah­ren Erfah­rung und mehr als 175 000 durch­ge­führ­ten Kyphoplastien gross ange­legte Studien, welche die kon­ven­tionelle Therapie mit den inter­ven­tionellen Kyphoplastien ver­glei­chen [35, 36].

Trotz­dem sind die Ver­tebroplastik und die Kyphoplastik wich­ti­ge Metho­den in der Behan­dung von tumorös befallenen oder frak­tu­rierten Wirbelkörpern. In geübten Hän­den bei guter Indika­tions­stel­lung kann dieser Eingriff risiko­arm und effek­tiv eingesetzt werden.

Literatur

- Bräm S. Osteoporose – die Spielverderberin im Alter. Mit­tel­landzeitung, 21.3.2005, Seite 25.
- Lippuner K, Golder M, Greiner R. Epidemiology and direct medical costs of osteoporotic fractures of men and women in Switzerland. *Osteoporosis Int* 2005;16:S8–17.
- Jeger J. Diagnose und Therapie der Osteoporose. *Schweiz Med Forum* 2002;15:348–53.
- Dennison E, Cooper C. Epidemiology of osteoporotic fractures. *Horm Res* 2000;54(Suppl 1):58–63.
- Zoarski GH, Stallmeyer MJB, Obuchowski A. Percutaneous Vertebroplasty: A to Z. *Techniques in Vascular and Interventional Radiology* 2002;5:223–38.
- Johansson C, Melstrom D, Rosengren K, et al. Prevalence of vertebral fractures in 85-year-olds: Radiographic examination of 462 subjects. *Acta Orthop Scand* 1993;64:25–7.
- Lindsay R, Silverman SR, Cooper C, et al. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture. *JAMA* 2001;285:320–3.
- Kado DM, Browner WS, Palermo L, et al. Vertebral fractures and mortality in older women: a prospective study. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Arch Intern Med* 1999;159:1215–20.
- Lippuner K. Medical treatment of vertebral osteoporosis. *Eur Spine J* 2003;12(Suppl 2):S132–41.
- 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.
- Kaemmerlen P, Thiesse P, Bouvard H, et al. Vertébroplastie percutanée dans le traitement des métastases. *Téchnique et résultats*. *J Radiol* 1989;70:557–62.
- Heini PF, Wälchli B, Berlemann U. Percutaneous transpedicular vertebroplasty with PMMA: operative technique and early results. *Eur Spine J* 2000;9:445–50.
- Gangi A, Dietmann JL, Guth S, et al. Computed tomography (CT) and fluoroscopy guided vertebroplasty: results and complications in 187 patients. *Sem Intervent Radiol* 1999;16:137–42.
- Diamond TH, Champion B, Clark WA. Management of acute osteoporotic vertebral fractures: a nonrandomized trial comparing percutaneous vertebroplasty with conservative therapy. *Am J Med* 2003;114:257–65.
- Winking M, Stahl JP, Oertel M, et al. Treatment of pain for osteoporotic vertebral collapse by percutaneous PMMA vertebroplasty. *Acta Neurochir* 2004;146:469–76.
- Harstall R, Heini PF, Mini RL, et al. Fluoroskopisch-assistierte perkutane Vertebroplastik: eine relevante Strahlenbelastung für den Operateur? Vortrag DGU-Kongress 2004.
- Steinmann J, Tingey CT, Cruz G, et al. Biomechanical Comparison of Unipedicular Versus Bipedicular Kyphoplasty. *Spine* 2005;30:201–5.
- Dudeney S, Lieberman ICH, Reinhardt MK, et al. Kyphoplasty in the treatment of osteolytic vertebral compression fractures as a result of multiple myeloma. *J Clin Oncol* 2002;20:2382–7.
- Harrop J, Reinhardt MK, Lieberman ICH, et al. Incidence of remote and adjacent fractures after kyphoplasty. *Spine* 2002;27(Suppl):122.
- Cotton A, Dewatre F, Cortet B, et al. Percutaneous vertebroplasty for osteolytic metastases and myeloma: effects of the percentage of lesion filling and the leakage of methylmethacrylate at clinical follow-up. *Radiology* 1996;200:525–30.
- Cortet B, Cotton A, Boutry N, et al. Percutaneous vertebroplasty in patients with osteolytic metastases or multiple myeloma. *Rev Rhum (Engl Ed)* 1997;64:177–83.
- Jensen ME, Evans AJ, Mathis JM. Percutaneous polymethylmethacrylate vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral body compression fractures: technical aspects. *AJNR* 1997;18:1897–904.
- Carlier RY, Gordji H, Mompoin DM, et al. Osteoporotic vertebral collapse: Percutaneous vertebroplasty and local kyphosis correction. *Radiology* 2004;233:891–8.
- Ledlie JT, Renfro MB. Kyphoplasty treatment of vertebral fractures: 2-Year outcomes show sustained benefits. *Spine* 2006;31:57–64.
- Alvarez L, Pérez-Higueras A, Granizo JJ, et al. Predictors of Outcomes of Percutaneous Vertebroplasty for Osteoporotic Vertebral Fractures. *Spine* 2005;30:87–92.
- Cotton A, Bouty N, Cortet B, et al. Percutaneous vertebroplasty: state of the art. *Radiographics* 1998;18:311–32.
- Bascoulergue Y, Duquesnel J, Leclercq R, et al. Percutaneous injection of methylmethacrylate in the vertebral body for the treatment of various diseases: percutaneous vertebroplasty. *Radiology* 1998;169:372.
- Kraus GJ, Achatz W, Gorzer HG. Pelvic and leg venous thrombosis as a complication of percutaneous vertebroplasty. *Röfo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 2003;175:565–6.
- Evans J, Jensen ME, Kip KE, et al. Vertebral Compression Fractures: Pain Reduction and Improvement in Functional Mobility after Percutaneous Polymethylmethacrylate Vertebroplasty – Retrospective Report of 245 Cases. *Radiology* 2003;226:366–72.
- Deramond H, Depriester C, Galibert P, et al. Percutaneous Vertebroplasty with Polymethylmethacrylate. Technique, indications and Results. *Radiologic Clinics of North America* 1998;36:533–46.
- Bernhard J, Heini PF, Villiger PM. Asymptomatic diffuse pulmonary embolism caused by acrylic cement: an unusual complication of percutaneous vertebroplasty. *Ann Rheum Dis* 2003;62:85–6.
- Barr JD. Point of view: An in vivo comparison of the potential for extravertebral cement leak after vertebroplasty and kyphoplasty. *Spine* 2002;27:2178–9.
- Fribourg D, Tang C, Sra P, et al. Incidence of subsequent vertebral fracture after kyphoplasty. *Spine* 2004;29:2270–6.
- Trout AT, Kallmes DF, Kaufmann TJ. New fractures after vertebroplasty: Adjacent fractures occur significantly sooner. *AJNR* 2006;27:217–23.
- www.kyphon.com/professionals/balloonKyphoplasty.cfm (kontaktiert 15.1.2006).
- Jarvik JG, Kallmes DF, Deyo RA. Point of view: Kyphoplasty: More Answers or More Questions? *Spine* 2006;31:65–6.

Korrespondenz:

Dr. med. Jürg Bernhard
Medizinische Klinik
Rehabilitationszentrum
Bürgerspital Solothurn
Schöngrünstrasse 38
CH-4500 Solothurn
jbernhard_so@spital.ktso.ch