

Leitthema

Orthopäde 2009 · 38:335–342
 DOI 10.1007/s00132-008-1377-3
 Online publiziert: 21. Februar 2009
 © Springer Medizin Verlag 2009

P.F. Heini¹ · S. Pfäffli²

¹ Klinik für Orthopädische Chirurgie und Spine Research
 Center, Inselspital, Universität Bern

² Universitätsklinik für Allgemeine Innere Medizin, Inselspital Bern

Zementaugmentation bei Wirbelmetastasen (Vertebro- und Kyphoplastie)

Neben Lunge und Leber ist das Skelett der dritthäufigste Ort von metastatischen Tumormanifestationen, und die Wirbelsäule ist dabei weitaus am häufigsten betroffen (40–70% aller Tumorpatienten [4, 18]). Die Hälfte der Wirbelmetastasen sind bedingt durch Mamma-, Lungen- und Prostatakarzinome [6]. Weitere häufige Primärtumoren sind Nierenzell-GIT und Schilddrüsenkarzinome. Lymphome und multiples Myelom sind häufige „Primärtumoren“. Tumoren mit hoher Metastaseninzidenz im Bereich der Wirbelsäule (WS) sind das Prostatakarzinom (90,5%), Mammakarzinom (74,3%), Melanom (54,5%) und Lungenkarzinom (44,9%), [29].

Kardinalsymptom der Metastasen sind Schmerzen, seltener findet sich eine neurologische Problematik (10–20% der Patienten), [10]. Skelett- und insbesondere Wirbelsäulenmetastasen sind gelegentlich die Erstmanifestation eines Tumorleidens überhaupt oder sie manifestieren ein Rezidiv eines geheilt geglaubten Karzinoms. Im Vergleich zu primären WS-Tumoren sind Metastasen mehr als 10-mal häufiger. Die verbesserten Behandlungsmöglichkeiten der Primärtumoren zeigen eine höhere Überlebensrate, dadurch scheinen mehr Patienten im Verlauf an symptomatischen Ablegern im Skelett betroffen zu sein, insbesondere im Bereich der Wirbelsäule [10, 30]. Die Tumordinfiltration erfolgt meist hämatogen. Wenn der Tumor infolge der progressiven Destruk-

tion des Wirbels ein kritisches Maß an Knochensubstanz destruiert, ist der Wirbel mechanisch geschwächt und führt zu entsprechend typischen lokalen Schmerzen. Bei dominanter Tumordinfiltration im Spinalkanal kann eine alleinige neurologische Symptomatik vordergründig sein.

Bei mechanisch bedingten Schmerzen kann mittels einer perkutanen Zementaugmentation eine sehr effektive Schmerzreduktion erreicht werden. Ver-

schiedene Autoren haben ihre Erfahrungen in der Behandlung von Wirbelmetastasen und v. a. bei multiplen Myelomen rapportiert [1, 3, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25].

Indikation und Kontraindikation zur Zementaugmentation

Die Kardinalindikation zur perkutanen Zementaugmentation ist die schmerz-

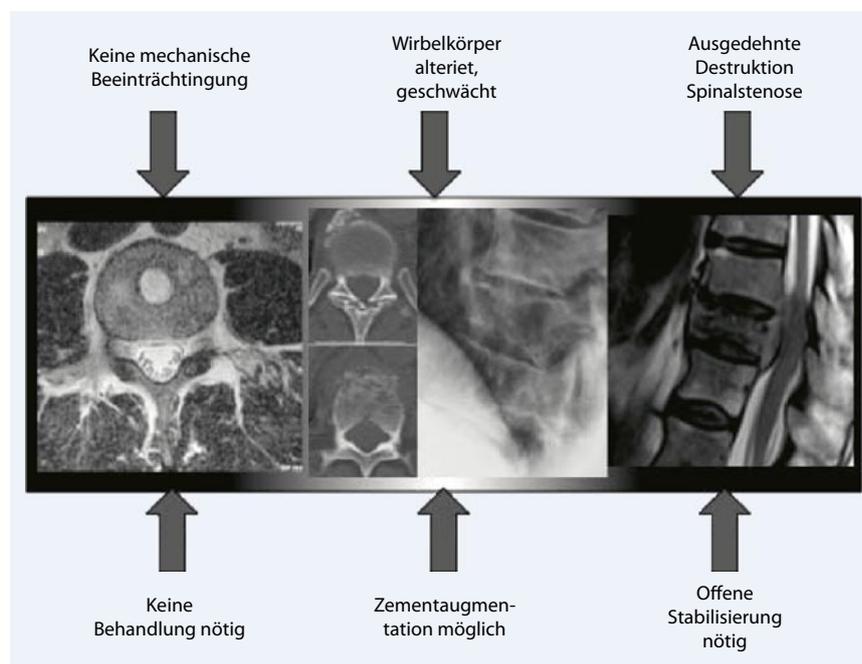


Abb. 1 ▲ Schematische Darstellung der Behandlungsindikationen: Kleine, mechanisch nicht relevante Osteolysen bedürfen keiner chirurgischen Maßnahme. Mittelschwere Destruktionen der Wirbelkörper, einhergehend mit mechanischen Schmerzen, können mittels einer Zementaugmentation behandelt werden. Ausgedehnte Läsionen, insbesondere im Bereich der posterioren Elemente und/oder tumorbedingter Spinalkanaleinengungen, sollten offen operativ angegangen werden



Abb. 2 ▲ 65-jährige Patientin mit Erstmanifestation eines Tumors im Bereich von Th10: Die Staginguntersuchung ergibt keine Hinweise auf einen Primärtumor. Der Tumor infiltrierte ausgedehnt auch die posterioren Elemente, zusätzlich besteht eine relevante Spinalkanaleinengung (noch ohne neurologisches Defizit). Hier ist eine Zementaugmentation nicht mehr angezeigt. Es wurde ein lokales Tumordebulking und eine Stabilisierung vorgenommen. Die histologische Diagnose ergab schließlich ein malignes Lymphom

hafte Fraktur eines oder mehrerer Wirbelkörper, wenn die tumoröse Destruktion dessen mechanische Tragfähigkeit kompromittiert. Dadurch kann die Stabilität wieder hergestellt werden, was in den meisten Fällen eine rasche Schmerzreduktion bewirkt. Bei ausgedehnten Osteolyse kann eine Augmentation bei noch intaktem Wirbel erwogen werden [27].

Kontraindikationen sind Veränderungen, die entweder mechanisch irrelevant sind oder solche, die eine offene chirurgische Intervention erfordern (z. B. bei einer hochgradigen Stenosierung des Spinalkanals und/oder wenn eine Destruktion der Bogenwurzeln und/oder Facettengelenke besteht ■ **Abb. 1, 2**, [23]). Selbstverständlich gelten die allgemein gültigen Kriterien einer jeder operativen Behandlung wie Koagulopathie, Infekt und sehr schlechter Allgemeinzustand.

Ist die Destruktion der Hinterwand eine Kontraindikation für eine Verteb-

roplastik? Nein, sofern keine Stenosierung durch den Tumor vorliegt, kann eine Augmentation auch bei arrodierter Wirbelkörperhinterwand gemacht werden [13, 27]. Man kann intraoperativ den Zementfluss monitorisieren und kontrollieren und muss ggf. die Füllung abbrechen.

Präoperative Abklärung

Patienten mit einer Tumoranamnese und Rücken- oder Nackenschmerzen müssen rasch bildgebend abgeklärt werden. Neben einer MRT-Untersuchung sollte auch eine Computertomographie (CT) der betroffenen Wirbelsäulenabschnitte durchgeführt werden, um die ossären Strukturen klar mitzubeurteilen. Beispielsweise ist bei einer osteoplastischen Durchsetzung des Wirbelkörpers eine Zementaugmentation selten nötig, da mechanisch der Wirbel in der Regel genügend stabil ist. Eine Skelettszintigraphie kann als

Screening weiterhelfen, wenn eine MRT-Untersuchung nicht möglich ist.

Chirurgische Technik

Die Technik der Zementaugmentation bei Tumoren ist im Prinzip mit der Behandlung von Osteoporosefrakturen identisch [11, 12]. Der Eingriff wird entweder in einer Sedationsanalgesie oder Vollnarkose durchgeführt. Für die Kanülenplatzierung wird ein trans- oder parapedikulärer Zugang gewählt. Abhängig von Ausmaß und Lokalisation der Osteolyse sollte die Platzierung optimiert werden. Hilfreich kann hierfür und insbesondere für die Kontrolle der Zementfüllung eine biplanare Bildwandlerkontrolle sein.

Vor jeder Zementaugmentation ist eine Gewebebiopsie, die sich durch die liegende Kanüle vornehmen lässt, empfehlenswert und zwingend, wenn der Primärtumor nicht bekannt ist. Im Bereich der Halswirbelsäule (HWS) wird von einigen Autoren eine perkutane oder transorale Augmentation beschrieben, alternativ wird diese offen durchgeführt [26]. Die häufigste Läsion an der HWS betrifft die Osteolyse von C2 [21]. Hier wird im Prinzip die selbe Technik verwendet, wie sie für die Densverschraubung angewandt wird (s. ■ **Abb. 1**).

Was unterscheidet die Zementaugmentation bei Tumoren von der bei Osteoporose?

Die Augmentation bei Osteoporose ist einfacher durchzuführen, weil die Knochenstruktur homogener ist, auch die klinischen Ergebnisse sind bei Osteoporosefrakturen konstanter als bei der Behandlung von Tumorpatienten. Umgekehrt ist die Komplikationsrate beim Tumoren größer [2]. Beim Myelom können ähnlich gute Effekte erreicht werden wie bei der Behandlung von Osteoporosefrakturen [19, 20], (s. ■ **Abb. 5**).

► Technisch entscheidend ist ein hochvisköser Zement

Technisch entscheidend bei der Behandlung von Frakturen im Rahmen von Tumoren ist, dass ein hochvisköser Zement verwendet wird. Die unregelmäßige Kno-

Hier steht eine Anzeige.



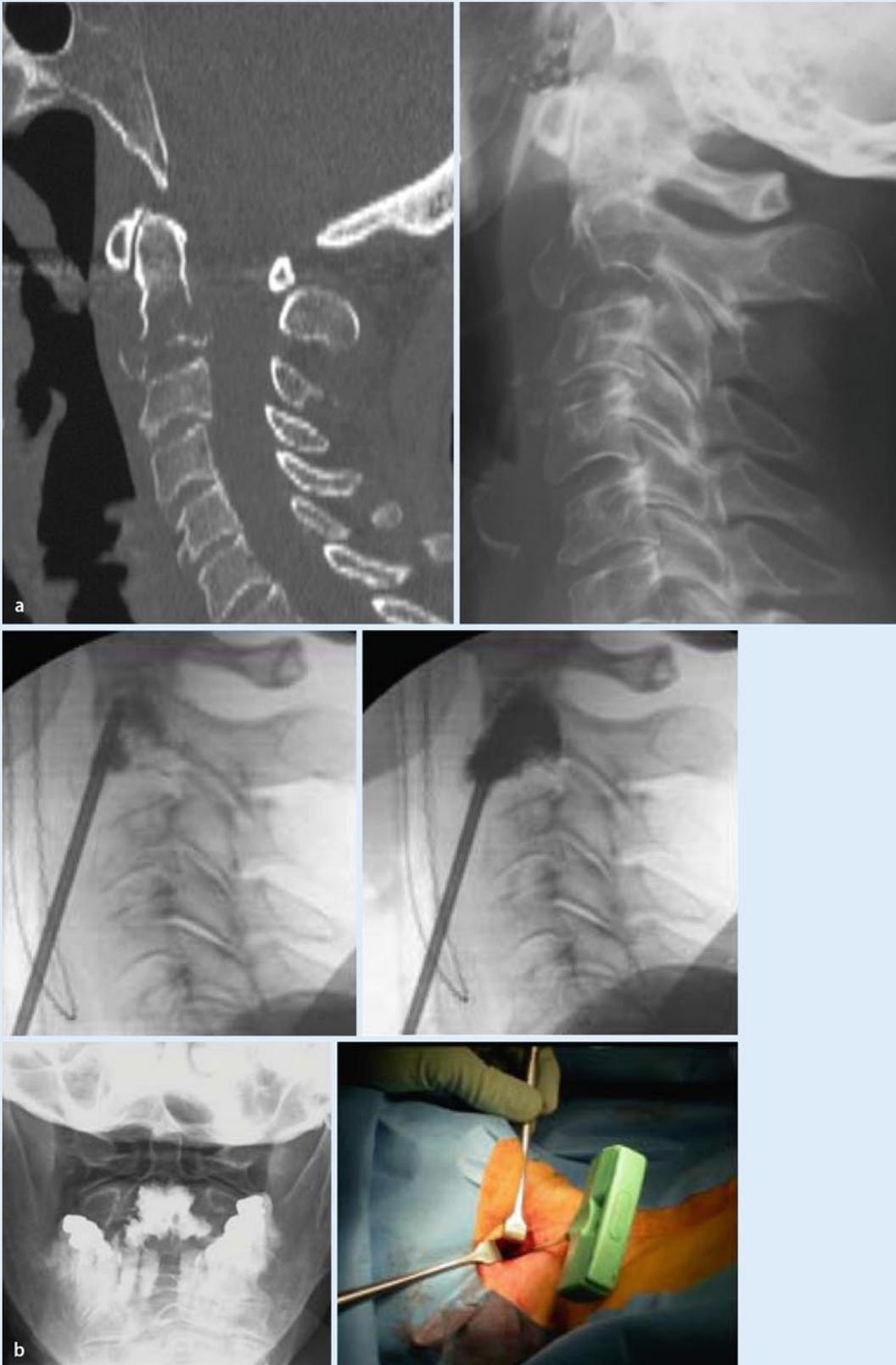


Abb. 3 ◀ 60-jährige Patientin mit fortgeschrittenem Tumorleiden bei Mamma-
karzinom. **a** Ausgedehnte
Destruction vom Korpus
von C2. **b** Offene Ver-
tebroplastie mit biplanarer
Bildwandlerkontrolle. Trotz
Defekt der Wirbelhinter-
kante kann eine kontrollier-
te Füllung erreicht werden

Infobox 1

Eigene Kasuistik (s. Tab. 1)

Von 1998–2008 haben wir bei 150 Patienten eine Zementaugmentierung bei Tumoren durchgeführt. Dies entspricht <10% aller Zementaugmentierungen, die für Osteoporosefrakturen gemacht wurden. Dagegen wurden 230 Patienten wegen einer Wirbelmetastase mit einer offenen Dekompression und Stabilisierung operiert. Bei 2 Patienten musste bei einer Radikulopathie wegen Zementextravasat eine Dekompression, bei 3 Patienten wegen ungenügender Stabilisierung durch die Vertebroplastik eine offene Stabilisierung und bei 5 Patienten mit einem multiplen Myelom im Verlauf eine Augmentierung von weiteren Wirbelfrakturen durchgeführt werden.

Ist die Tumoraussaat durch die Zementinjektion ein Problem?

Dieses Phänomen wird immer wieder diskutiert, es gibt aber keine Erfahrungsberichte oder Hinweise die eine solche Hypothese unterstützen. Auch bei multietageren Augmentierungen bei Patienten mit multiplem Myelom sind in unserer Serie keine entsprechenden Fälle mit einer raschen Zustandverschlechterung beobachtet worden. Allerdings stützt sich diese Aussage auf einige wenige Fälle ohne prospektive Datenerfassung.

Tab. 1 Eigene Kasuistik (1998–2008): 150 Patienten, 158 Interventionen (HWS n=4, BWS n=60, LWS n=86)

Tumor	n
Myelom	38
Bronchus	25
Mamma	19
Prostata	18
Lymphom	9
Urothel	7
Nierenzell	4
Hämangiom	3
Diverse (Rektum, Melanom, Ösophagus, Schilddrüse, Leber, Portio, Ewing-Sarkom, Schwannom)	10
Ohne bekannten Primärtumor	17

chenstruktur erhöht das Risiko von Extravasaten, dazu kommt dass solide Tumoren nur durch entsprechend dicken Zement verdrängt werden können [5].

Sind stark vaskularisierte Tumoren besonders kritisch zu füllen?

Die starke Vaskularisierung von gewissen Tumoren wie das Nierenzellkarzi-

P.F. Heini · S. Pfäffli

Zementaugmentierung bei Wirbelmetastasen (Vertebro- und Kyphoplastie)

Zusammenfassung

Pathologische Wirbelfrakturen bei Metastasen oder im Rahmen eines multiplen Myeloms können mittels einer Zementaugmentierung (Vertebro- oder Kyphoplastie) effizient stabilisiert werden. Die Indikationsstellung beschränkt sich auf Läsionen im Wirbelkörper, sobald die posterioren Elemente involviert sind genügt eine Zementierung nicht mehr, ebenso wenn eine Spinalkanaleinengung/Neurokompression vorhanden ist. Technisch wird gleich verfahren wie bei der osteoporotischen Fraktur – das Extravasationsrisiko ist aber erheblich größer und die kli-

nischen Ergebnisse sind nicht so uniform positiv wie bei Osteoporosefrakturen. Die Zementaugmentierung per se ist keine Tumorbehandlung sondern eine Stabilisierung des Wirbels. Osteolysen ohne mechanische Kompromittierung brauchen keine Augmentierung. Die Patientenbetreuung sollte interdisziplinär vernetzt erfolgen.

Schlüsselwörter

Wirbelsäule · Tumor · Vertebroplastie · Kyphoplastie · Pathologische Fraktur

Cement injection for spinal metastases (vertebroplasty and kyphoplasty)

Abstract

Osteolytic lesions of the spine (metastasis, myeloma) can be treated extremely efficiently by percutaneous cement injection. The treatment should be restricted to osteolytic lesions of the vertebral body, and only if a relevant mechanical deterioration is present. If the pedicles and/or the lamina are involved and if there is compression of the spinal canal, the treatment is no longer appropriate. The surgical technique is similar to the treatment of osteoporotic fractures; however, there is definitely a higher risk for cement leakage and the clinical outcome is not as predictable as in osteoporotic fracture treat-

ment. It is important to realize that cement injection per se has no impact on the tumor itself, but provides stability to the vertebral body. An osteolytic lesion without mechanical compromise does not need a vertebroplasty. Patients with tumorous lesions of the spine should be followed by an interdisciplinary team of spine surgeon, oncologist and radio-oncologist.

Keywords

Spine · Tumor · Vertebroplasty · Kyphoplasty · Pathologic fracture

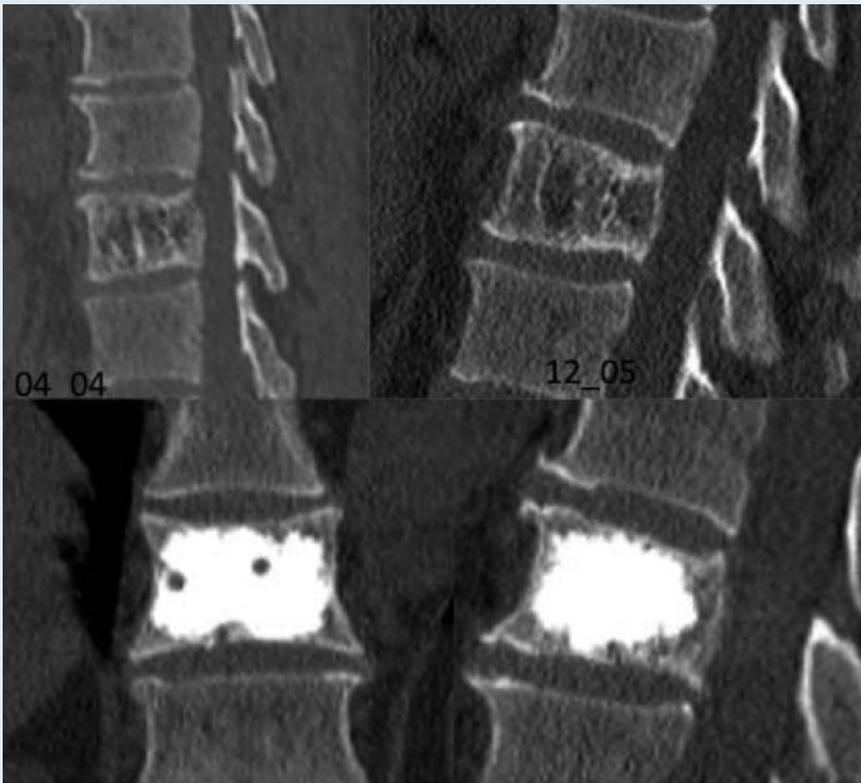


Abb. 4 ◀ 59-jährige gesunde Frau mit zunehmenden lokalen Rückenschmerzen – typischer Befund eines großen progressiven Hämangioms mit mechanischer Beeinträchtigung des Wirbelkörpers: Behandlung mittels perkutaner Zementaugmentation. CT-Kontrolle 1 Jahr postoperativ mit stabiler Situation, keine weitere Progression des Hämangioms

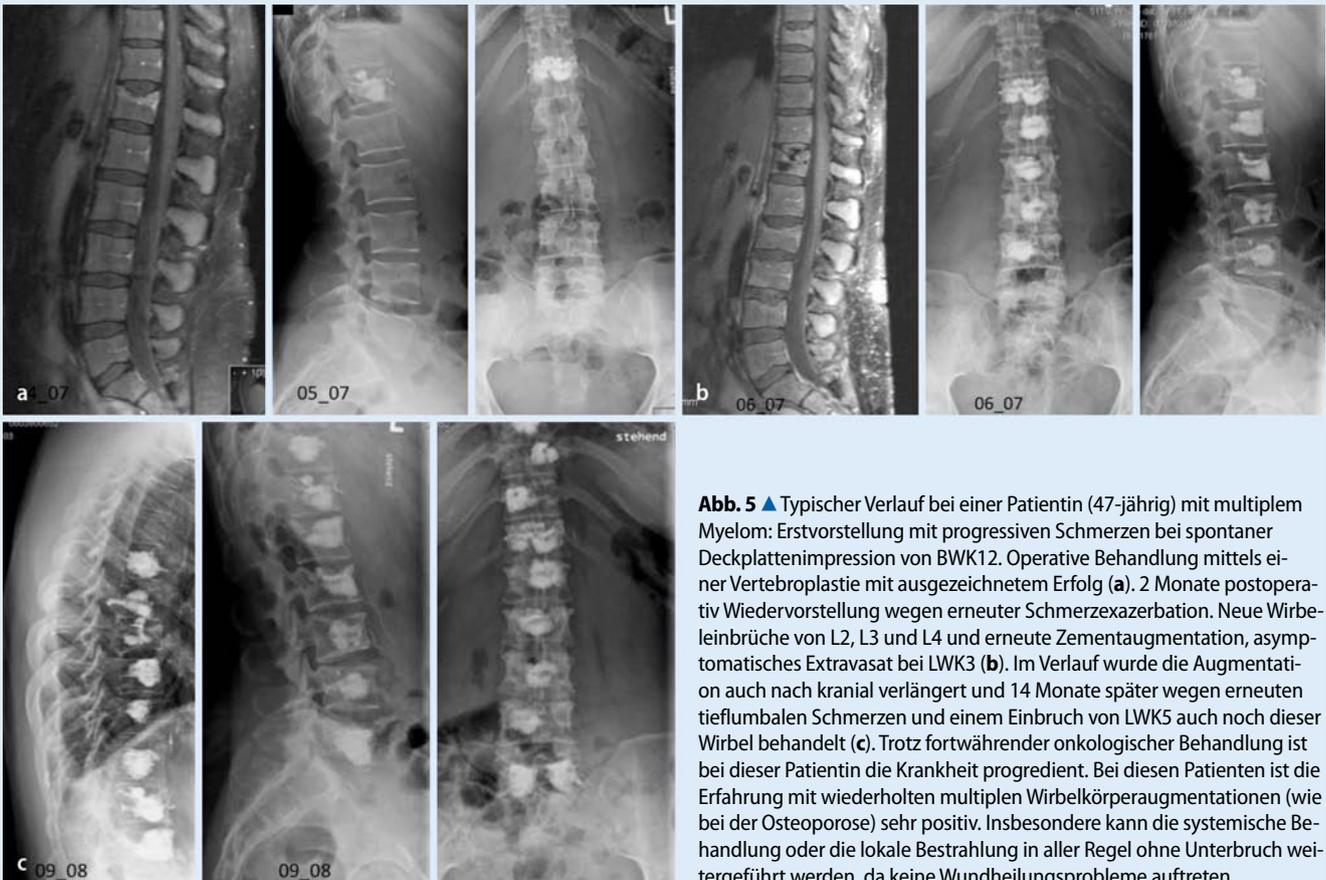


Abb. 5 ▲ Typischer Verlauf bei einer Patientin (47-jährig) mit multiplen Myelom: Erstvorstellung mit progressiven Schmerzen bei spontaner Deckplattenimpression von BWK12. Operative Behandlung mittels einer Vertebroplastie mit ausgezeichnetem Erfolg (a). 2 Monate postoperativ Wiedervorstellung wegen erneuter Schmerzexazerbation. Neue Wirbelleinbrüche von L2, L3 und L4 und erneute Zementaugmentation, asymptomatisches Extravasat bei LWK3 (b). Im Verlauf wurde die Augmentati-on auch nach kranial verlängert und 14 Monate später wegen erneuten tieflumbalen Schmerzen und einem Einbruch von LWK5 auch noch dieser Wirbel behandelt (c). Trotz fortwährender onkologischer Behandlung ist bei dieser Patientin die Krankheit progredient. Bei diesen Patienten ist die Erfahrung mit wiederholten multiplen Wirbelkörperaugmentationen (wie bei der Osteoporose) sehr positiv. Insbesondere kann die systemische Behandlung oder die lokale Bestrahlung in aller Regel ohne Unterbruch weitergeführt werden, da keine Wundheilungsprobleme auftreten

Tab. 2 Übersicht der neuesten publizierten Ergebnisse, Ergänzung zu [30]

Autor	Anzahl Patienten behandelte Wirbel/Diagnose	Resultate	Komplikationen	Follow-up
Mc Donald et al. 2008 [20]	67 Pat. 114 Levels, Myelom	RDQ 20→10, Schmerz 9→4	Extravasate nicht erwähnt	1 Monat bis 1 Jahr
Calmels et al. 2007 [7]	52 Pat. 59 Operationen 103 Wirbel Behandlung von osteoplastischen und osteolytischen Läsionen	71% sehr gut 21 gut	50% Extravasate 8,5% lokale Komplikationen, 1 Kaudakompression	6 Monate
Bartolozzi et al. 2006 [3]	14 Pat. 9 Vertebro-/10 Kyphoplastien bei Myelomz	Alle Patienten gebessert, VAS 7→3	Nicht rapportiert	10 (1–16) Monate
Ramos et al. 2006 [25]	12 Pat. 19 Wirbel Vertebroplastie, Myelom	Schmerz 7,5→1 ECOG-Scale 3,1→1,0 63% sehr zufrieden	84% Extravasate, klinisch stumm	≤4 Jahre FU
Alvarez et al. 2003 [1]	21 Pat. verschiedene Karzinome – alle Vertebroplastien + Bestrahlungstherapie 15 + Dekompression 3	Schmerz VAS 9→3 Funktion: 13 nicht gehfähig präoperativ →10 gehfähig postoperativ	Extravasate bei 44%, ein Pat. mit radikulären Schmerzen (selbstlimitierend)	5,6 (1–18) Monate

ECOG Eastern Cooperative Oncology Group, Pat. Patienten.

nom scheinen für eine perkutane Intervention nicht besonders problematisch. Es sind keine einschlägigen Probleme publiziert und in der eigenen Kasuistik ebenfalls nicht beobachtet worden (s. *Infobox 1*, **Tab. 1, 2**). Entscheidend bleibt auch hier wieder die Verwendung von hochviskösem Knochenzement [5]. Die Rate von Extravasaten bei Tumoren wird bis 100% angegeben, allerdings ohne klinische Symptome in den allermeisten Fällen [7].

Postoperative Betreuung

Die Zementaugmentation zielt auf eine Schmerzreduktion durch Verbesserung/Wiederherstellung der mechanischen Festigkeit des Wirbels. Im Prinzip kann ein Patient sofort nach der Behandlung nach Maßgabe der Beschwerden belasten. Wenn die Schmerzsymptomatik keine wesentliche Besserung zeigt, ist evtl. eine Reevaluation und ggf. eine offene Stabilisierung zu diskutieren (**Abb. 3**) oder bei neu aufgetretenen Frakturen eine Erweiterung der Zementaugmentation. Wichtig bleibt, dass die Patienten onkologisch weiter betreut werden.

— Die Zementinjektion per se ist keine Tumorbehandlung!

Zur lokalen Tumorkontrolle sollte, wenn immer möglich, eine Bestrahlung durchgeführt werden [16].

Kombinierte Verfahren von Radiofrequenzablation und Zementaugmentation

Vereinzelte Mitteilungen über die Kombination einer Radiofrequenzablation mit anschließender Zementaugmentation zeigen die Machbarkeit, der definitive Wert der Tumorablation im Knochen ist aber nicht klar [14, 16] – insbesondere bleibt die Frage, inwieweit diese eine zusätzliche Strahlentherapie ersetzt. Die Indikationsstellung für eine Zementaugmentation bleibt aber gleich, es geht um die Stabilisierung eines mechanisch alterierten Wirbelkörpers.

— Nicht jede Osteolyse braucht eine Zementinjektion!

Ist die Kyphoplastie gegenüber der Vertebroplastie überlegen?

Bei der Behandlung von Osteoporosefrakturen zeigt die Kyphoplastie im Vergleich zur Vertebroplastie eine geringere Inzidenz von Zementaustritten, bzgl. klinischem Outcome zeigen die beiden Verfahren keinen Unterschied [8]. Es sind nur vereinzelte Erfahrungsberichte publiziert, über die explizite Tumorbehandlung mittels Kyphoplastie [3, 24]. Hier finden sich keine Unterschiede im Vergleich zur Vertebroplastie.

Sonderfall Hämangiom

Die primäre Indikation zur Vertebroplastie waren aggressive Hämangiome [9], erst später wurden Osteoporosefrakturen und metastatische Veränderungen damit behandelt. Wirbelkörperhämangiome sind ein häufiger Zufallsbefund in MRT- und CT-Untersuchungen. Diese bedürfen keiner Behandlung, einzig aggressive Hämangiome mit progressiver Destruktion des Wirbels sollten behandelt werden. Dabei gilt zu beachten, dass die Tumoren forciert augmentiert werden, um die Progression zu stoppen und mechanische Stabilität zu gewährleisten (**Abb. 4, 5**).

Beimischung von chemotherapeutischen Agentien

Die Zementinjektion per se hat kaum einen Effekt auf die lokale Tumorbiologie. Zwar wird die Zugabe von Chemotherapeutika in den Zement diskutiert, um einen hohen lokalen Medikamentenspiegel zu erreichen, allerdings beschränken sich die verfügbaren Informationen auf anekdotische Einzelfälle.

Fazit für die Praxis

Die perkutane Zementaugmentation zur Behandlung von pathologischen Wirbelfrakturen im Rahmen von Metastasen und beim Myelom ist sehr effizient und ist auch für Patienten möglich, die

an einem weit fortgeschrittenen Stadium Ihrer Tumorerkrankung leiden. Voraussetzung ist eine sorgfältige Indikationsstellung und eine korrekte chirurgische Technik. Kyho- und Vertebroplastie sind bezüglich klinischen Resultaten gleichwertig. Beide Techniken haben ein fantastisches Potential, um die Lebensqualität dieser Patienten zu verbessern. Wichtig ist, deren Limits zu kennen. Die Behandlung ist nicht mehr angezeigt, wenn eine komplexe Instabilität und oder eine neurologische Kompromittierung vorliegt. Die Indikationsstellung und Behandlung sollte durch einen erfahrenen Wirbelsäulenchirurgen erfolgen. Zur lokalen Tumorkontrolle sollte, wenn immer möglich, eine Strahlentherapie durchgeführt werden. Eine Sonderstellung nehmen Patienten mit einem multiplen Myelom ein. Hier kann man bei Bedarf multiple Wirbel stabilisieren und dadurch den Wirbelsäulenkollaps vermeiden. Das Hämangiom ist ein häufiger Zufallsbefund im MRT, aber nur die seltene aggressive Form bedarf einer Behandlung.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. P.F. Heini



Klinik für Orthopädische Chirurgie und Spine Research Center, Inselspital, Universität Bern 3010 Bern Schweiz paul.heini@insel.ch

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Alvarez L, Perez-Higueras A, Quinones D et al (2003) Vertebroplasty in the treatment of vertebral tumors: postprocedural outcome and quality of life. *Eur Spine J* 12: 356–360
- Barr JD, Barr MS, Lemley TJ, McCann RM (2000) Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization. *Spine J* 25: 923–928
- Bartolozzi B, Nozzoli C, Pandolfo C et al (2006) Percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty in patients with multiple myeloma. *Eur J Haematol* 76: 180–181
- Bohm P, Huber J (2002) The surgical treatment of bony metastases of the spine and limbs. *J Bone Joint Surg Br* 84: 521–529
- Bohner M, Gasser B, Baroud G, Heini P (2003) Theoretical and experimental model to describe the injection of a polymethylmethacrylate cement into a porous structure. *Biomaterials* 24: 2721–2730
- Byrne TN (1992) Spinal cord compression from epidural metastases. *N Engl J Med* 327: 614–619
- Calmels V, Vallee JN, Rose M, Chiras J (2007) Osteoblastic and mixed spinal metastases: evaluation of the analgesic efficacy of percutaneous vertebroplasty. *J Neuroradiol* 28: 570–574
- Eck JC, Nachtigall D, Humphreys SC, Hodges SD (2008) Comparison of vertebroplasty and balloon kyphoplasty for treatment of vertebral compression fractures: a meta-analysis of the literature. *Spine J* 8: 488–497
- Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D (1987) Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie* 33: 166–168
- Gerszten PC, Welch WC (2000) Current surgical management of metastatic spinal disease. *Oncology (Williston Park)* 14: 1013–1030
- Heini P (2007) AO Spine Manual. Principles and Techniques: Vertebroplasty. Thieme, Stuttgart
- Heini PF, Walchli B, Berlemann U (2000) Percutaneous transpedicular vertebroplasty with PMMA: operative technique and early results. A prospective study for the treatment of osteoporotic compression fractures. *Eur Spine J* 9: 445–450
- Hentschel SJ, Burton AW, Fournay DR et al (2005) Percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty performed at a cancer center: refuting proposed contraindications. *J Neurosurg Spine* 2: 436–440
- Hoffmann RT, Jakobs TF, Trumm C et al (2008) Radiofrequency ablation in combination with osteoplasty in the treatment of painful metastatic bone disease. *J Vasc Interv Radiol* 19: 419–425
- Jakobs TF, Trumm C, Reiser M, Hoffmann RT (2007) Percutaneous vertebroplasty in tumoral osteolysis. *Eur Radiol* 17: 2166–2175
- Jang JS, Lee SH (2005) Efficacy of percutaneous vertebroplasty combined with radiotherapy in osteolytic metastatic spinal tumors. *J Neurosurg Spine* 2: 243–248
- Layton KF, Thielen KR, Cloft HJ, Kallmes DF (2006) Acute vertebral compression fractures in patients with multiple myeloma: evaluation of vertebral body edema patterns on MR imaging and the implications for vertebroplasty. *Am J Neuroradiol* 27: 1732–1734
- Lieberman I, Reinhardt MK (2003) Vertebroplasty and kyphoplasty for osteolytic vertebral collapse. *Clin Orthop Relat Res* 415(Suppl): 176–186
- Masala S, Anselmetti GC, Marcia S et al (2008) Percutaneous vertebroplasty in multiple myeloma vertebral involvement. *J Spinal Disord Tech* 21: 344–348
- McDonald RJ, Trout AT, Gray LA et al (2008) Vertebroplasty in multiple myeloma: outcomes in a large patient series. *Am J Neuroradiol* 29: 642–648
- Mont'Alverne F, Vallee JN, Cormier E et al (2005) Percutaneous vertebroplasty for metastatic involvement of the axis. *Am J Neuroradiol* 26: 1641–1645
- Murphy KJ, Nwankwo IJ, Gailloud P (2007) Percutaneous vertebroplasty in the treatment of blastic vertebral column metastasis from breast cancer. *J Vasc Interv Radiol* 18: 321–323
- Patchell RA, Tibbs PA, Regine WF et al (2005) Direct decompressive surgical resection in the treatment of spinal cord compression caused by metastatic cancer: a randomised trial. *Lancet* 366: 643–648
- Pflugmacher R, Beth P, Schroeder RJ et al (2007) Balloon kyphoplasty for the treatment of pathological fractures in the thoracic and lumbar spine caused by metastasis: one-year follow-up. *Acta Radiol* 48: 89–95
- Ramos L, de Las Heras JA, Sanchez S et al (2006) Medium-term results of percutaneous vertebroplasty in multiple myeloma. *Eur J Haematol* 77: 7–13
- Rodriguez-Catarino M, Blimark C, Willen J et al (2007) Percutaneous vertebroplasty at C2: case report of a patient with multiple myeloma and a literature review. *Eur Spine J* 16(Suppl 3): 242–249
- Taneichi H, Kaneda K, Takeda N et al (1997) Risk factors and probability of vertebral body collapse in metastases of the thoracic and lumbar spine. *Spine* 22: 239–245
- van der Linden E, Kroft LJ, Dijkstra PD (2007) Treatment of vertebral tumor with posterior wall defect using image-guided radiofrequency ablation combined with vertebroplasty: preliminary results in 12 patients. *J Vasc Interv Radiol* 18: 741–747
- Wong DA, Fornasier VL, MacNab I (1990) Spinal metastases: the obvious, the occult and the impostors. *Spine J* 15: 1–4
- Wu AS, Fournay DR (2005) Supportive care aspects of vertebroplasty in patients with cancer. *Support Cancer Ther* 2: 98–104