

Perkutane Zementaugmentation

Traumatische Wirbelfrakturen junger Patienten

Perkutane Zementaugmentationstechniken wie Vertebro-, Kypho- und Stentoplastik sind zur Behandlung von akuten bis subakuten, osteoporotisch bedingten Kompressionsfrakturen der Wirbelsäule bei älteren Patienten etabliert. Unter Verwendung der korrekten Technik und Indikation sind diese Verfahren der konservativen Therapie bezüglich Schmerzreduktion, Lebensqualität und Stellungskorrektur

überlegen [7]. Der Stellenwert dieser minimalinvasiven Techniken bei traumatisch bedingten Wirbelbrüchen junger Patienten mit normaler Knochenqualität ist umstritten und bislang wissenschaftlich ungenügend untersucht. In vorliegender Übersichtsarbeit soll er anhand von theoretischen Überlegungen, Daten der Literatur und eigenen ersten Erfahrungen und Resultaten beleuchtet werden.

Indikation

Da sich Mechanismus, Morphologie und Verhalten von Frakturen bei osteoporotischem und junglichem, gesundem Knochen grundlegend unterscheiden, gelten auch bei der Wahl der Therapie nicht dieselben Grundsätze.

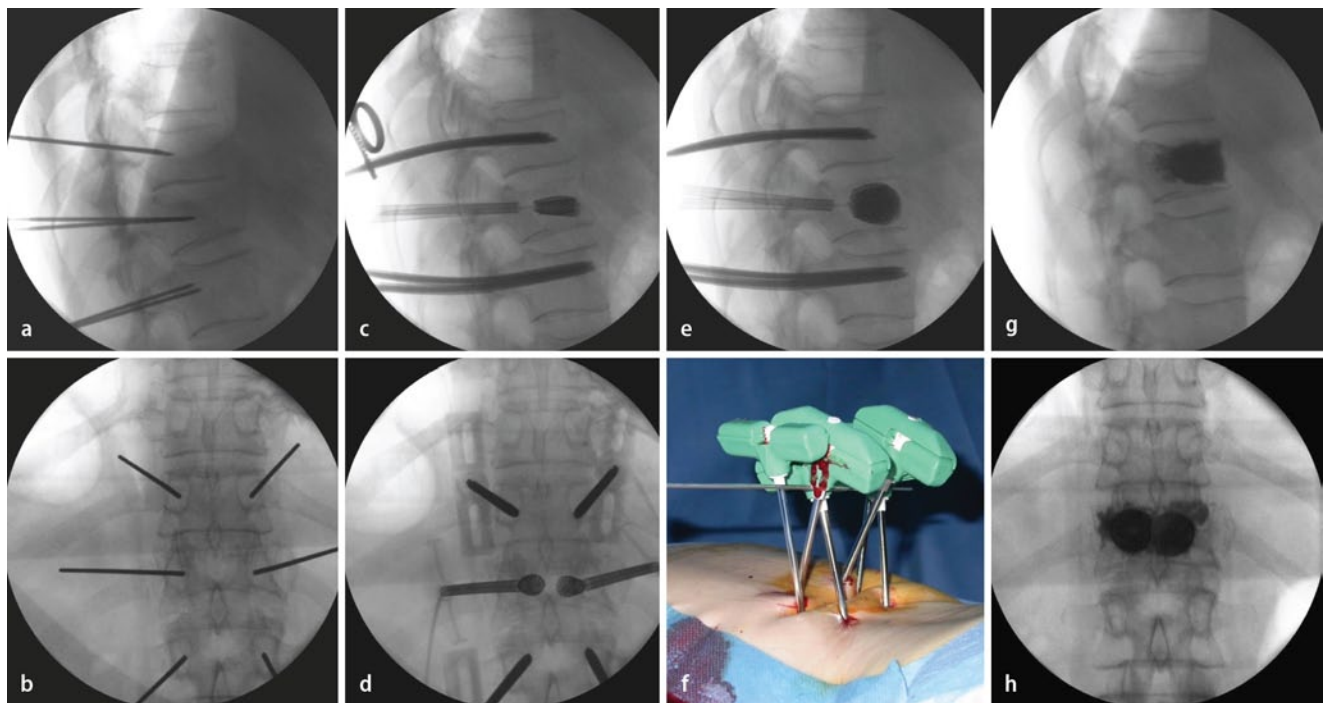


Abb. 1 ▲ Technik der ballon-/stentassistierten Lordoplastik [15], Vorbereitung mit Kirschner-Drähten (a,b), Reposition der Fraktur via Lordosemanöver mit Trokaren der Nachbarwirbel und schrittweises Dilatieren des Ballons (c-f), abschließendes Füllen des Defekts mit Knochenzement (g,h)

A1-Frakturen

Beim alten Patienten kommt die Vertebro-/Kyphoplastik bei einfachen Kompressionsfrakturen (Typ A1, [12]) zur Anwendung, um der schmerzhaften Restmobilität und weiterem Stellungsverlust durch Nachsintern bei schlechter Knochenqualität entgegenzuwirken.

Beim jungen Patienten kann dieser Frakturtyp aber in der Regel erfolgreich konservativ behandelt werden, da der Knochen durch die Kompression impaktiert wurde und ein weiterer Stellungsverlust nicht mehr zu erwarten ist. Liegt allerdings eine relevante Kyphosierung vor ($>15^\circ$ Frakturkyphose und $>25^\circ$ Segmentkyphose) kann die Indikation zur operativen Aufrichtung zur Wiederherstellung der sagittalen Balance gestellt werden. In diesen relativ seltenen Fällen sind die rein perkutane Aufrichtung und Augmentation eine zu diskutierende Alternative, zumal moderne Systeme wie Kypho- oder Stentoplastie in Kombination mit einer Lordoplastie eine Frakturreposition erlauben (■ **Abb. 1**). Als Vorteil dabei ist neben den niedrigeren Kosten und der geringeren Invasivität anzuführen, dass eine Fusion des betroffenen Segments vermieden werden kann, und eine spätere Metallentfernung zur Freigabe des initial unversehrten Segments entfällt.

A2-Frakturen

Eine stärkere Krafteinwirkung beim Trauma bewirkt eine Berstung und/oder Spaltung des Wirbels. Da bei reinen Spaltbrüchen (Typ A2, Pincerfrakturen) kein eigentlicher Defekt entsteht, der sich mittels Zementinjektion füllen ließe, eignen sich diese Frakturen nicht für eine perkutane Augmentation. Auch Ballon-/Stent-systeme scheinen den jugendlichen Knochen nur zu verdrängen und können in dieser Situation keinen Hohlraum kreieren, sondern es kann in der Folge zu einer weiteren Fragmentdislokation.

Aufgrund entsprechender Resultate in einer laufenden prospektiven Studie definierten wir diesen Frakturtyp als Kontraindikation zur rein perkutanen Augmentation.

Inkomplette Berstungsbrüche (Typ A3.1) und Berstungs-spaltbrüche (A3.2)

Obwohl mittlerweile moderne Implantate zu ihrer operativen Versorgung vorliegen, die wenig invasive, monosegmentale Stabilisierungen erlauben, muss bei einem instrumentierten Verfahren doch mindestens ein Bewegungssegment versteift werden. Es lohnt sich deshalb, zu prüfen, bei welchen Frakturmustern durch eine perkutane Augmentation eine ausreichende Primärstabilität erreichbar ist und eine Fusion vermieden werden kann, wie wir das aktuell in einer prospektiven Studie untersuchen. Erste Resultate ergaben, dass die AO-Klassifikation (AO: Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) die A3.1- und A3.2-Frakturen zu ungenau beschreibt, da, um eine Aussage über den Erfolg einer perkutanen Technik treffen zu können, der Zustand der Bandscheibe und der Längsbänder entscheidend ist: Bei perkutanen Techniken ist für die Frakturreposition die Integrität der Längsbänder zur Ligamentotaxis unerlässlich. Des Weiteren wird eine schwer beschädigte Bandscheibe, insbesondere wenn der Nukleus in die Fraktur disloziert wurde, im weiteren Verlauf dehydrieren und im besten Fall zu einer *spontanen* Fusion führen, und zwar mit einem weiteren Stellungsverlust, weshalb in dieser Situation eine instrumentierte Fusion vorzuziehen ist. Zur Abschätzung der Integrität der Bandscheibe ist also eine präoperative MRT-Untersuchung (MRT: Magnetresonanztomographie) nötig. Zudem ist für das Überleben der Bandscheibe eine dichte und funktionelle Endplatte essenziell, damit der hydrostatische Druck aufrechterhalten werden kann, der für den Nährstoffaustausch Voraussetzung ist [1].

Wie anhand der unten aufgeführten Fallbeispiele dargestellt, ist die anatomische Reposition der Endplatte auch mit Hilfe eines hoch auflösenden Computertomogramms (CT) präoperativ nur schwer vorzusagen; erste Erfahrungen bestätigten jedoch, dass Spaltkomponenten mit eingeklemmten Fragmenten und quergestellte Fragmente eine adäquate Reposition verhindern und sich nicht für perkutane Techniken eignen (■ **Abb. 3**). Inwiefern sich die Anzahl der Fragmen-

te, das Ausmaß der Dislokation und der Grad der Frakturkyphose auf das Ergebnis auswirken, ist Gegenstand einer laufenden prospektiven Untersuchung.

Typ-A3.3-, -B- und -C-Verletzungen

Diese schwereren Wirbelfrakturen eignen sich nicht für eine uninstrumentierte Versorgung, da die abzufangenden Scher-, Torsions- und Extensionskräfte durch eine alleinige Zementinjektion nicht neutralisiert sind [3]. In Kombination mit einer dorsalen, instrumentierten Aufrichtung ist die Defektfüllung des Frakturwirbels mit Zement eine Alternative zum ventralen Wirbelkörperersatz, besonders, wenn eine offene Dekompression erforderlich ist. Die dorsale Instrumentierung sollte in diesem Fall jedoch belassen werden. Wird eine Metallentfernung durchgeführt, um bei einer monosegmentalen dorsalen Spondylodese das unversehrte Segment wieder freizugeben, muss infolge Dehydratation der Bandscheibe mit einem Stellungsverlust von etwa 7° gerechnet werden (■ **Abb. 2**).

Technik

Im Vergleich zum osteoporotischen Knochen von älteren Patienten bestehen beim jugendlichen Wirbel 2 relevante Unterschiede:

Spongiosa. Sie ist im jüngeren Lebensalter viel dichter als beim älteren Patienten, sodass im Wesentlichen nur der durch die Reposition entstandene Defekt gefüllt werden muss und somit die verwendeten Zementvolumina geringer als beim osteoporotischen Knochen sind. Dies bedingt aber, dass die Füllungskanülen präzise in den Defekt platziert werden müssen und dass es nach der Defektfüllung rasch zum Zementaustritt durch Frakturspalten kommen kann und entsprechende Vorsicht geboten ist. Durch eine vorhergehende Wirbellavage lassen sich der lokale Injektionswiderstand verringern und die Zementverteilung besser steuern [4].

Bandscheibenhydratation. Der zweite wesentliche Unterschied liegt bei der in der Regel noch gut hydrierten Bandschei-

Tab. 1 Verteilungsmuster der Augmentationstechnik in Relation zum Frakturtyp

Frakturtyp	VP	Ballon/Stent	LP	LP + Ballon/Stent	VP + Stabilisierung
A1	38	12	7	4	1
A3.1	5	19	1	5	2
A3.2	2	12	1	1	19
A3.3	0	1	0	1	9
B	0	0	0	0	5
Total	45	44	9	11	36

LP Lordoplastik, VP Vertebroplastik

be, die deren Reposition entgegenwirkt, weshalb Ballons oder Stents als Repositionshilfen häufiger indiziert sind. Entscheidend ist hier ebenfalls deren korrekte Platzierung, die anhand von präoperativen CT-Bildern geplant werden muss.

Wie oben erwähnt sind das Ziel von perkutanen Augmentationstechniken bei jungen Patienten vornehmlich die Stellungskorrektur und Stabilisierung instabiler Frakturtypen; entsprechend sollten die Eingriffe unter Vollnarkose und kompletter Relaxation erfolgen, da dadurch die Reposition deutlich leichter ist bzw. eine adäquate Reposition von den Patienten in Lokalanästhesie nicht toleriert wird. Des Weiteren kann durch eine sorgfältige Lagerung, wobei sich der Frakturwirbel im Durchhang befindet, oft bereits ein Großteil der Reposition bewerkstelligt werden.

Bleibt der Wirbel impaktiert, kann zusätzlich zur Reposition mittels Ballon oder Stent eine perkutane Reposition durch Zug über die Nachbarwirbel erfolgen. Zur Vorbereitung dieser (ballon-/stentunterstützten) Lordoplastik werden die Pedikel des Frakturwirbels und der Anschlusswirbel mit Kirschner-Drähten im a.-p. Strahlengang besetzt und nach Tiefenkontrolle im seitlichen Strahlengang durch Yamshidi-Nadeln (Anschlusswirbel) bzw. mit den Trokaren für das Ballon-/Stentsystem (Frakturwirbel) besetzt (Abb. 1a,b). Dabei empfiehlt es sich, den Frakturwirbel etwas konvergierender zu besetzen, damit sich die Griffe der Füllungskanülen nicht gegenseitig behindern. Zudem sollten die Kanülen für Anschlusswirbel zum Frakturwirbel zielend eingebracht werden, um das maximal mögliche lordotische Moment zu erhöhen. Nach Besetzen der Füllungskanülen der Anschlusswirbel mit starren Trokaren wird über diese schrittweise ein lordosierendes Manöver durchgeführt;

gleichzeitig wird versucht, die Endplatte mit schrittweiser Füllung der Ballons synchron zu reponieren (Abb. 1c,f, [15, 18]). Meist lässt sich hierdurch eine anatomische Wirbelhöhe erzielen, und der entstandene Defekt kann mit hochviskösem Knochenzement gefüllt werden. Moderne Stentsysteme erlauben es, die reponierte Endplatte in Position zu halten, ansonsten ist nach Deflation des Ballons häufig, v. a. bei gut hydrierten jugendlichen Bandscheiben, ein Repositionsverlust zu beobachten [19]. Nach Aushärten des Zements werden die Vorspannung gelöst und die Kanülen entfernt (Abb. 1g,h).

Das Aushärtungsverhalten des verwendeten Zements entscheidet über das unmittelbar postoperative Regime. Bei dem von uns in der Regel verwendeten PMMA ist eine sofortige Vollbelastung erlaubt, wir empfehlen den Patienten, während der ersten 4 Wochen auf hohe körperliche Belastung und auf Kontakt- und „high impact“-Sportarten zu verzichten.

Resultate

Sämtliche im Folgenden angeführten Daten beruhen auf einer retrospektiven Datenanalyse mit Stichwortsuche im Zeitraum zwischen dem 01.01.2000 und dem 31.12.2010.

In den vergangenen 10 Jahren führten wir in unserer Klinik bei 145 Patienten unter 50 Jahren (17–49 Jahre, Mittelwert 40 Jahre) eine Zementaugmentation bei traumatisch erlittener Wirbelfraktur durch. Alle Patienten wurden über die Technik und die Risiken der Augmentation informiert und über Alternativen (offene Verfahren, konservative Behandlung) aufgeklärt.

Bei 45 Patienten (vornehmlich Typ-A1-Frakturen) wurde eine alleinige Vertebroplastik, bei 44 Patienten eine Ky-

Trauma Berufskrankh 2012 · 14[Suppl 1]:74–80
DOI 10.1007/s10039-011-1782-4
© Springer-Verlag 2011

L.M. Benneker

Perkutane Zementaugmentation. Traumatische Wirbelfrakturen junger Patienten

Zusammenfassung

Der Stellenwert von perkutanen Augmentationstechniken wie Vertebroplastie, Kyphoplastie, Stentoplastie und Lordoplastie bei traumatischen Frakturen junger Patienten wird diskutiert. Die Durchsicht der Daten der Literatur und die retrospektive Analyse der eigenen 145 Fälle von traumatischen Wirbelfrakturen bei jungen Patienten, die in den vergangenen 10 Jahren mittels Zementaugmentation behandelt wurden, ergaben, dass diese Techniken auch beim nichtosteoporotischen Knochen durchaus ihren Stellenwert haben. Die klinischen Resultate sind vielversprechend, und Komplikationen und Revisionen sind selten. Die Technik eignet sich v. a. für Typ-A1-, -A3.1- und -A3.2-Frakturen, sofern die Endplatte nicht relevant zerstört ist.

Schlüsselwörter

Wirbelsäule · Trauma · Vertebroplastie · Kyphoplastie · Zement

Percutaneous cement augmentation. Traumatic vertebral fractures in young patients

Abstract

In this review the value of minimally invasive percutaneous augmentation techniques, such as vertebroplasty, kyphoplasty, stentoplasty and lordoplasty for traumatic vertebral fractures in young patients are discussed. Data from the literature and personal experience from the past 10 years reveal that these techniques show good clinical results at low costs and low complication rates. The techniques are suitable for compression fractures of the Magerl types A1, A3.1 and A3.2 as long as destruction of the endplate is moderate.

Keywords

Spine · Trauma · Vertebroplasty · Kyphoplasty · Cement

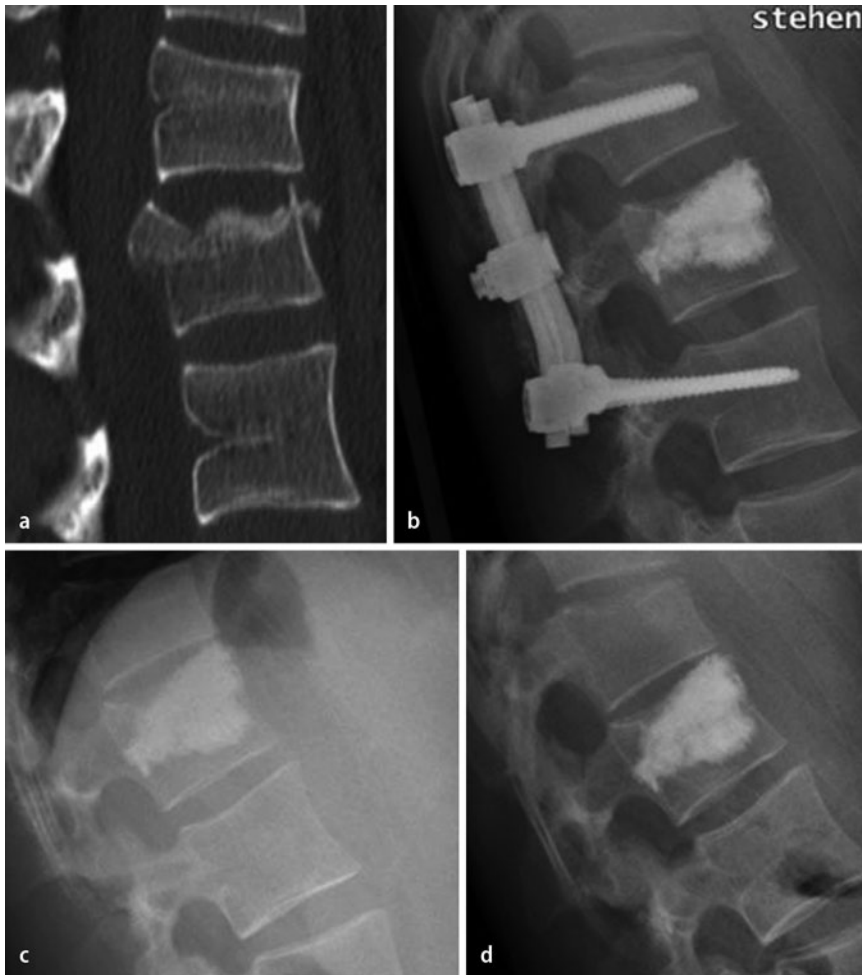


Abb. 2 ▲ Typischer Verlauf nach Metallentfernung bei Kombinationsbehandlung einer superioren Berstungsspaltfraktur des Lendenwirbelkörpers (LWK) 1 (a) mit dorsaler Dekompression, Stabilisierung und monosegmentaler Spondylodese Th12/L1 (Th: thorakal, L: lumbal) sowie Augmentation des Frakturwirbels mit PMMA (Polymethylmethacrylat), bisegmentale Lordose von $6,5^\circ$ (b), 2 Monate nach Metallentfernung (12 Monate nach Trauma) bereits erheblicher (0° , c) im weiteren Verlauf (3 Jahre nach Trauma) noch etwas zunehmender Stellungsverlust ($-1,5^\circ$, d)

pho- oder Stentoplastik (12 A1- und 32 A3-Frakturen) und bei 20 Patienten eine Lordoplastik (gemischte Frakturverteilung) durchgeführt (■ Tab. 1). Ähnlich wie bei den Operationen ohne Lordosemanöver wurden bei Letzteren die Ballons und Stents v. a. bei Berstungsfrakturen verwendet.

Zementaustritt durch die Frakturen wurde regelmäßig dokumentiert, in keinem Fall ergab sich aber in dieser Alterskategorie dadurch eine klinische Konsequenz. Bei 3 Patienten wurde bei hochgradigen Kompressionsfrakturen auf eine offene Stabilisierung gewechselt, da trotz akuter Fraktur durch äußere Maßnahmen keine zufriedenstellende Reposition möglich war. Bei 2 Patienten mit subaku-

ten Frakturen (3 bzw. 9 Wochen alt) ließen sich der Ballon bzw. Stent nicht dilatieren und auch keine relevante Reposition erzielen. Diese Patienten profitierten auch bezüglich der Schmerzen nicht relevant von dieser Art der Versorgung, bei einer Patientin, bei der zusätzlich eine Lordoplastik versucht wurde, trat sogar eine mehrwöchige Schmerzverstärkung auf. In der Regel konnte durch den Eingriff eine rasche Schmerzlinderung erzielt werden, allerdings ist die Dokumentation mangelhaft.

Bei weiteren 36 Patienten wurde im Rahmen einer offenen Aufrichtung im Sinne einer Defektfüllung eine Vertebroplastik angeschlossen. Die offene Instrumentierung wurde v. a. für komplexere

Frakturen (Berstungs-, Spaltbrüche und B-Verletzungen mit Kompressionsfraktur), oft in Kombination mit einer Dekompression gewählt. Komplikationen infolge Zementierung traten in dieser Gruppe nicht auf. Bei relativer Unversehrtheit der Bodenplatte wurde dorsal nur monosegmental fusioniert, um nach etwa 8–10 Monaten durch eine Metallentfernung das untere Bewegungssegment wieder freizugeben. Bei allen auf diese Weise behandelten Patienten ($n=13$) trat im Verlauf jedoch ein messbarer Stellungsverlust im eigentlich fusionierten, oberen Segment auf [Mittelwert $6,5^\circ$ ($1,5$ – 12°), ■ Abb. 2].

Intraoperativ wurde bei der Metallentfernung jeweils eine erfolgte dorsale Spondylodese beschrieben. Nur in einem Fall bewahrte die Bandscheibe ihre anatomische Höhe, bei 4 Patienten trat ein Höhenverlust ohne weitere degenerative Veränderungen auf, bei den meisten war das Segment kollabiert ($n=7$), und in einem Fall wurde eine ventrale knöchernen Überbrückung dokumentiert. Die kaudalen Bandscheiben zeigten zur Hälfte einen diskreten Höhenverlust ($n=7$), die übrigen bewahrten ihre anatomische Höhe, und alle waren, soweit ohne MRT und Funktionsaufnahmen beurteilbar, funktionell intakt (minimaler Follow-up von 6 Monaten). Klinisch waren alle diese Patienten beschwerdearm und hatten subjektiv von der Metallentfernung profitiert. Bei 2 Patienten mit bisegmentaler dorsaler Fusion und Vertebroplastik des Frakturwirbels kam es zu einer Schraubenlockerung mit Stellungsverlust, sodass eine Verlängerung der Instrumentierung erforderlich war.

Diskussion

Unsere eigenen Erfahrungen der letzten 10 Jahre und kleine Fallserien der Literatur zeigten [2, 6], dass perkutane Zementaugmentationen auch bei jungen Patienten, bei korrekter Indikation und Durchführung, eine geeignete und zumindest im kurzfristigen Verlauf sichere Alternative zu den Standardverfahren darstellen. Die Vorteile bezüglich Invasivität und Materialkosten sind offensichtlich, zudem besteht Hoffnung, dass mit zunehmender Marktöffnung die Kosten für die perkuta-



Abb. 3 ◀ Fallbeispiel einer inkompletten Berstungsfraktur LWK1 A3.1.1 eines 45-jährigen Landwirts, **a-c** präoperativ, **d-f** postoperative CT-Kontrolle: korrekte Wiederherstellung der Segmenthöhe, aber fehlende Ligamentotaxis und aufgrund kleinerer, z. T. quergestellter Fragmente nicht anatomisch repositionierte Endplatte, **g,h** stehende Verlaufsrontgenaufnahmen: zunehmender Kollaps des Bandscheibenfachs mit progredienter Nachkyphosierung von initial 10° postoperativ (**g**) auf 13° nach 2 Monaten (**h**) und 15° mit ventraler Fusion nach 6 Monaten (**i**), Patient bereits nach 6 Wochen wieder arbeitstätig, jedoch erst nach 8 Monaten schmerzfrei

nen Ballon- und Stentsysteme auf ein realistisches Niveau gesenkt werden.

Inwiefern die Patienten klinisch von diesen minimalinvasiven Verfahren profitieren, die im Idealfall ohne Fusion nur den frakturierten Wirbel stabilisieren, kann anhand dieser retrospektiven Fallserie nicht konklusiv beantwortet werden. Wie anhand der exemplarischen Beispiele gezeigt, scheint für ein optimales klinisches Resultat das Überleben der Bandscheibe essenziell (■ **Abb. 3, 4**). In der Regel gelingt auch bei Frakturen mit Beteiligung der Deckplatte eine rasche Beschwerdelinderung, die bei erhaltener Bandscheibe anhält, in anderen Fällen muss aber im Verlauf deren rasche Degeneration festgehalten werden. Obwohl nicht immer symptomatisch geht durch die spontane Fusion und den Stellungsverlust der eigentliche Vorteil des Verfahrens verloren, zumal heute Implantate zur Verfügung stehen, die wenig invasiv eine

monosegmentale, ventrale Fusion ermöglichen. Entscheidend für das Schicksal der Bandscheibe ist neben intrinsischen Faktoren des Patienten wohl die Integrität von Annulus und Endplatte, ohne die der für die Ernährung und Funktion des Nukleus nötige hydrostatische Druck verloren geht. Die heute verwendeten Frakturklassifikationen beschreiben diese Strukturen ungenügend, und die Evaluation von prädiktiven Faktoren ist deshalb Ziel laufender Untersuchungen.

Enttäuschend sind, zumindest radiologisch, die Resultate nach Metallentfernung nach monosegmentaler dorsaler Spondylodese und Zementaugmentation des Frakturwirbels: Regelmäßig mussten wir hier einen erheblichen, sekundären Stellungsverlust nach Metallentfernung im eigentlich fusionierten Segment infolge Kollaps des Bandscheibenfachs feststellen, wobei auch hier die initiale Integrität der Endplatte entscheidend scheint

(■ **Abb. 2**). Als Konsequenz wählen wir dieses Verfahren nur noch bei Fällen, bei welchen keine rein ventrale, monosegmentale Stabilisierung möglich ist (z. B. nötige Dekompression) und belassen die Instrumentierung im Verlauf, womit gute klinische Resultate beschrieben sind [9, 13, 14, 17]. Ist bei jungen Patienten nach dorsaler Dekompression und Stabilisierung eine Freigabe des kaudalen Segments geplant, führen wir eine zusätzliche ventrale, monosegmentale Abstützung durch, was allerdings insgesamt 3 Eingriffe bedingt.

Obwohl Knochenzement (vornehmlich PMMA) in der Prothetik seit Jahrzehnten verwendet wird, bestehen Bedenken bezüglich der Toxizität und des kanzerogenen Potenzials dieses Materials, die bei der Verwendung bei jungen Patienten eine höhere Gewichtung haben. Die in Tierversuchen nachgewiesene lokale, akute Toxizität der Monomere [8, 10] kann-

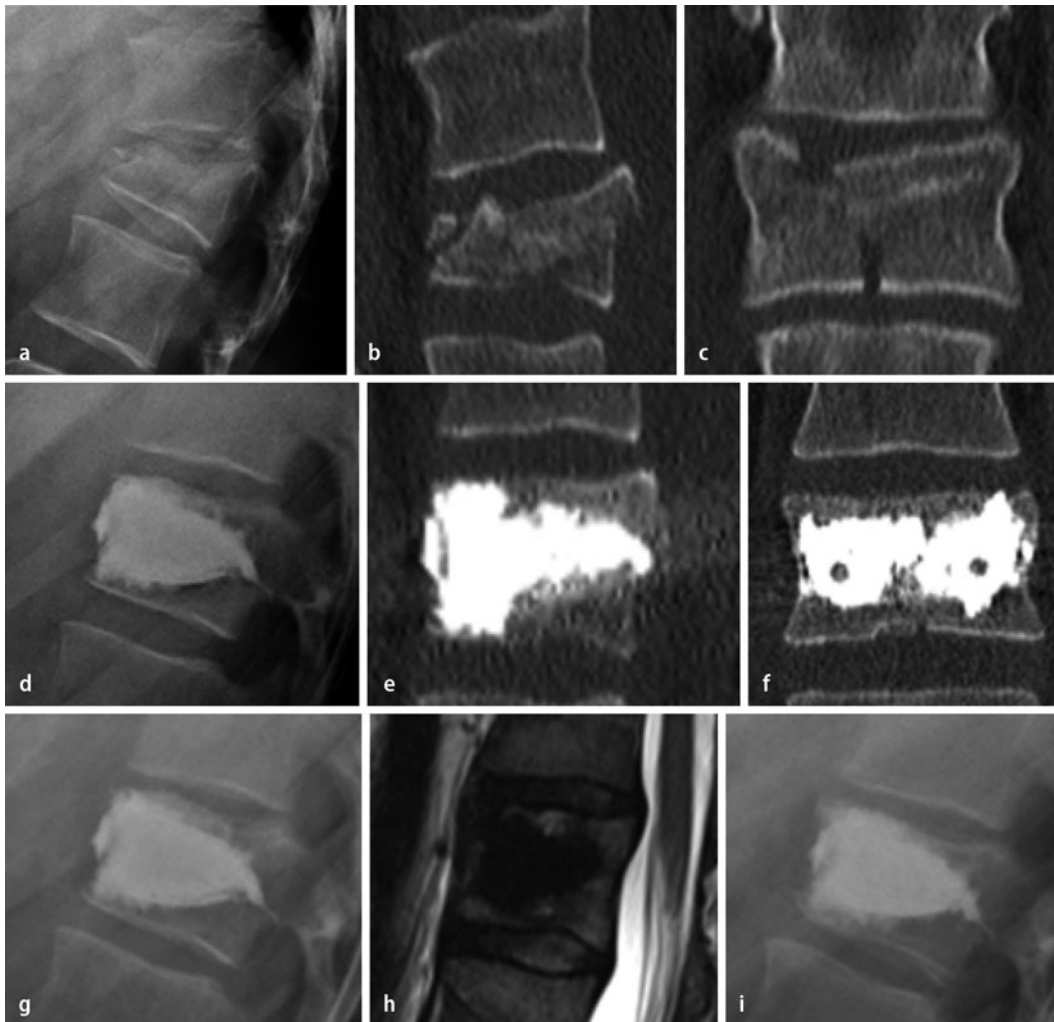


Abb. 4 ◀ Fallbeispiel einer superiores Berstungsspaltfraktur von LWK1 A3.2.1 bei einem 41-jährigen Schreiner (a–c), anatomische Reposition des Segments, des Stempelfragments und der Endplatte durch stentassisierte Lordoplastik (d–f), stehende Verlaufskontrollen nach 2 (g) und 14 Monaten (i): kein Stellungsverlust; MRT nach 4 Monaten (h): Signalverlust in den protonengewichteten Aufnahmen bei ansonsten intakter Bandscheibe, Arbeitstätigkeit nach 4 Wochen bei anhaltender Beschwerdefreiheit

te klinisch bislang nicht gezeigt werden, und nach erfolgter Polymerisation ist das Material inert und scheint keine negativen Langzeiteffekte zu generieren [5, 16]. Die Datenlage ist hier allerdings dünn. Wenn man bedenkt, dass das Material bei jungen Patienten noch Jahrzehnte im Körper verbleibt und nur mit erheblichem Aufwand entfernt werden kann, wäre ein alternativer Knochenzement mit besserer Biokompatibilität, insbesondere (kontrollierter) Resorbierbarkeit wünschenswert. Heute werden neben dem etablierten PMMA v. a. Kalziumphosphate und Glaskeramik verwendet:

- Bezüglich Handhabung, Preis und mechanischer Eigenschaften ist PMMA den anderen Zementen überlegen, als Nachteile sind die fehlende Resorbierbarkeit, die mögliche Toxizität der Monomere und Thermonekrose zu nennen.

- Glaskeramik ist mechanisch noch belastbarer als PMMA, härtet nicht exotherm aus und ist ebenfalls inert, hat aber Nachteile bezüglich Preis und Handhabung, ist klinisch noch wenig erprobt und ebenfalls nicht resorbierbar.
- Kalziumphosphate weisen die beste Biokompatibilität auf: Sie sind potenziell abbaubar, osteokonduktiv, nicht toxisch und härten durch eine isotherme Kristallisation aus. Nachteile bestehen heute noch v. a. in ihrer Handhabung (Injizierbarkeit, Darstellung, „washout“) und der schlechteren mechanischen Eigenschaften [3]. Da die heute verfügbaren Kalziumphosphatzemente zwar Kompressionskräfte gut auffangen können, aber bei Scher- und Torsionskräften deutlich früher versagen, kann man ihren Einsatz nur bei einfachen Kom-

pressionsfrakturen oder in Kombination mit einer Instrumentierung empfehlen [3, 11, 14, 17].

Fazit für die Praxis

Die perkutane Zementaugmentation ist auch beim jungen Patienten eine geeignete Alternative für Kompressions- und einfache Berstungsfrakturen ohne massive Verletzung der Endplatte. So können einfache Kompressionsfrakturen vom Typ A1 auch bei diesem Klientel erfolgreich perkutan mit Knochenzement alleine versorgt werden; die Wahl des Zements ist hierbei nicht entscheidend. Einfache Berstungsfrakturen (A3.1, A3.2) ohne schwere Destruktion der Endplatten eignen sich ebenfalls für eine perkutane Zementaugmentation, wobei PMMA und Glaskeramik den biokompatibleren

Kalziumphosphatzementen mechanisch (noch) überlegen sind. Frakturen vom Typ A2 und A3 mit schwerer Endplattenläsion und alle Frakturen vom Typ B und C sollten instrumentiert versorgt werden. Im Vergleich zu den etablierten Verfahren ist die perkutane Zementaugmentation minimalinvasiv, kostengünstig und zumindest im kurzfristigen Verlauf sicher. Ob im Langzeitverlauf gegenteilige Effekte auftreten und inwiefern die Patienten von dieser minimalinvasiven Methode ohne die sonst übliche Versteifung profitieren, müssen in prospektiven Studien untersucht werden.

Korrespondenzadresse

PD Dr. L.M. Benneker

Department für Orthopädische Chirurgie und Traumatologie, Inselspital, Universität Bern, Murtenstraße 11, 3010 Bern, Schweiz
lorin.benneker@insel.ch

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

Literatur

- Adams MA, Roughley PJ (2006) What is intervertebral disc degeneration, and what causes it? *Spine* 31(18):2151–2161
- An KC, Kang S, Choi JS et al (2008) The clinical and radiological availability of percutaneous balloon kyphoplasty as a treatment for osteoporotic burst fractures. *Asian Spine J* 2(1):9–14
- Blatter TR, Jestaedt L, Weckbach A (2009) Suitability of a calcium phosphate cement in osteoporotic vertebral body fracture augmentation: a controlled, randomized, clinical trial of balloon kyphoplasty comparing calcium phosphate versus polymethylmethacrylate. *Spine* 34(2):108–114
- Boger A, Benneker LM, Krebs J et al (2009) The effect of pulsed jet lavage in vertebroplasty on injection forces of PMMA bone cement: an animal study. *Eur Spine J* 18(12):1957–1962
- Braunstein V, Sprecher CM, Gisepp A et al (2008) Long-term reaction to bone cement in osteoporotic bone: new bone formation in vertebral bodies after vertebroplasty. *J Anat* 212(5):697–701
- Chen JF, Lee ST (2004) Percutaneous vertebroplasty for treatment of thoracolumbar spine bursting fracture. *Surg Neurol* 62(6):494–500
- Heini PF (2010) Vertebroplasty: an update: value of percutaneous cement augmentation after randomized, placebo-controlled trials. *Orthopade* 39(7):658–664
- Kalteis T, Lüding C, Gugler G et al (2004) Acute tissue toxicity of PMMA bone cements. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 142(6):666–672
- Korovessis P, Repantis T, Petsinis G et al (2008) Direct reduction of thoracolumbar burst fractures by means of balloon kyphoplasty with calcium phosphate and stabilization with pedicle-screw instrumentation and fusion. *Spine* 33(4):E100–E108
- Linder L, Romanus M (1976) Acute local tissue effects of polymerizing acrylic bone cement. An intravital microscopic study in the hamster's cheek pouch on the chemically induced microvascular changes. *Clin Orthop Relat Res* 115:303–312
- Maestretti G, Cremer C, Otten P et al (2005) Prospective study of stand-alone balloon kyphoplasty with calcium phosphate cement augmentation in traumatic fractures. *Eur Spine J* 16(5):601–610
- Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD et al (1994) A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J* 3(4):184–201
- Marco RA, Meyer BC, Kushwaha VP (2010) Thoracolumbar burst fractures treated with posterior decompression and pedicle screw instrumentation supplemented with balloon-assisted vertebroplasty and calcium phosphate reconstruction. *Surgical technique. J Bone Joint Surg Am [Suppl 1 Pt 1]* 92:67–76
- Oner FC, Dhert WJ, Verlaan JJ (2005) Less invasive anterior column reconstruction in thoracolumbar fractures. *Injury [Suppl 2]* 36:B82–B89
- Orler R, Frauchiger LH, Lange U et al (2006) Lordoplasty: report on early results with a new technique for the treatment of vertebral compression fractures to restore the lordosis. *Eur Spine J* 15(12):1769–1775
- Togawa D, Bauer TW, Lieberman IC et al (2003) Histologic evaluation of human vertebral bodies after vertebral augmentation with polymethyl methacrylate. *Spine* 28(14):1521–1527
- Verlaan JJ, Dhert WJ, Verbout AJ et al (2005) Balloon vertebroplasty in combination with pedicle screw instrumentation: a novel technique to treat thoracic and lumbar burst fractures. *Spine* 30(3):E73–E79
- Verlaan JJ, Kraats EB van de, Oner FC et al (2005) The reduction of endplate fractures during balloon vertebroplasty: a detailed radiological analysis of the treatment of burst fractures using pedicle screws, balloon vertebroplasty, and calcium phosphate cement. *Spine* 30(16):1840–1845
- Voggenreiter G (2005) Balloon kyphoplasty is effective in deformity correction of osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine* 30(24):2806–1812