

MRI Post-vertebroplasty

Imaging RM post-vertebroplastica

R. Fossaceca • M. Di Terlizzi • A. Stecco • L. Canalis • F. Travaglini • R. Ambrosini • A. Carriero

Department of Diagnostic and Interventional Radiology, “Maggiore della Carità” University Hospital, Corso Mazzini 18, I-28100 Novara, Italy

Correspondence to: M. Di Terlizzi, Tel.: +39-032-13733889, Fax: +39-032-13733579, e-mail: marcoditerlizzi13@libero.it

Received: 2 March 2006 / Accepted: 27 May 2006 / Published online: 19 March 2007

Abstract

Purpose. Percutaneous vertebroplasty (PVP), first described by Hervè Deramond in 1984, is an interventional procedure for the treatment of aggressive vertebral angioma. The aim of this study was to evaluate magnetic resonance imaging (MRI) patterns in the affected vertebrae before and after vertebroplasty by determining changes in signal intensity and size and distribution of bone cement within the vertebra at follow-up carried out at 1 week, 6 months and 12 months.

Materials and methods. Fourteen patients were examined using MRI, for a total of 41 treated vertebrae; MRI was performed with a 0.5-Tesla (T) superconductive magnet (SIGNA GE).

Results. MRI patterns following vertebroplasty are mainly characterised by the signal produced by the areas surrounding the cement and by the cement itself. There is little effect on the size of the treated vertebra. Acrylic cement appears as an intraspongy focal area of T1 and T2 hypointensity that is mostly oval (34%) or rounded (26.8%); this appearance tends to become stable 6 months after treatment. The area surrounding the cement appears hypointense on T1 and hyperintense on T2, a likely expression of bone marrow oedema; this signal alteration tends to disappear gradually.

Conclusions. In pre- and post-vertebroplasty imaging, MRI is regarded as the reference standard for correct evaluation of both container and content. Awareness of cement changes over time and of the reaction of the surrounding bone tissue is crucial for correct assessment of post-vertebroplasty images.

Key words Vertebroplasty • Polymethylmethacrylate • MRI • Interventional radiology

Riassunto

Obiettivo. La vertebroplastica percutanea (VPP) è una procedura di radiologia interventistica utilizzata per la prima volta da Deramond nel 1984 per il trattamento di un angioma vertebrale espansivo. Scopo del nostro lavoro è stato valutare e descrivere la semeiotica del segnale RM, a carico delle vertebre patologiche, prima e dopo vertebroplastica, documentando le modificazioni dell'intensità del segnale, delle dimensioni e della distribuzione del cemento nella vertebra eseguendo un follow-up ad 1 settimana, 1, 6 e 12 mesi.

Materiali e metodi. Sono stati studiati con esame RM 14 pazienti per un totale di 41 vertebre trattate; lo studio RM è stato condotto con un magnete superconduttivo da 0,5 T (SIGNA GE).

Risultati. L'imaging RM dopo vertebroplastica si caratterizza principalmente dal segnale indotto dal cemento e dal segnale indotto nell'area limitrofa al cemento, con scarso effetto sulle dimensioni della vertebra trattata. Il cemento acrilico si presenta come una area focale intraspongiosa ipointensa in T1 ed in T2, di forma prevalentemente ovalare (34%), rotondeggiante (26,8%) e tale aspetto tende a stabilizzarsi dopo sei mesi dal trattamento. L'area limitrofa a quella dove si è distribuito il cemento si presenta ipointensa in T1 ed iperintensa in T2, verosimile espressione di edema della spongiosa ossea; tale alterazione del segnale tende ad attenuarsi nel periodo successivo.

Conclusioni. Nell'imaging pre- e post-vertebroplastica la risonanza magnetica è considerata metodica di “riferimento” per la valutazione corretta del contenente e del contenuto. La conoscenza delle modificazioni nel tempo del cemento e la reazione del tessuto osseo limitrofo è fondamentale per una corretta interpretazione dell'imaging post vertebroplastica.

Parole chiave Vertebroplastica • Polimetilmetacrilato • RM • Radiologia interventistica

Introduction

First described by Hervè Deramond in 1984, percutaneous vertebroplasty (PVP) has undergone progressive technical and methodological refinement over the past few years, and now, many centres have adopted this procedure with success [1, 2].

Introduzione

La vertebroplastica (VPP) è una procedura interventistica che è stata segnalata per la prima volta in letteratura nel 1984 da Hervè Deramond e si è sviluppata, nel metodo e nella tecnica, negli ultimi anni ed attualmente molti sono i centri dove la procedura è eseguita con successo [1, 2].

PVP is an interventional procedure in which polymethylmethacrylate (PMM), a synthetic cement that polymerises rapidly at room temperature through an exothermic reaction, is injected under computed tomography (CT) and/or fluoroscopic guidance into a vertebral body affected by osteoporosis [3], metastasis, angioma, multiple myeloma, or trauma [4, 5]. The injection can be performed via posterior or lateral transpedicular approach in the lumbar spine, transpedicular or intercostal-transverse approach in the dorsal spine and anterolateral approach in the cervical spine [6, 7]. The approach can be either unilateral or bilateral. The aim of the procedure is to stabilise the vertebra, relieve pain, and improve patient mobility [8].

Awareness of the main imaging changes arising in treated vertebrae is therefore fundamental, and magnetic resonance imaging (MRI) is the most widely used modality for examinations before and after treatment [9, 10]. The aim of this study was to evaluate MRI patterns before and after vertebroplasty to document changes in signal intensity and size and distribution of bone cement within the treated vertebra [11].

Materials and methods

Between January and October 2004, 14 nonconsecutive patients (nine women and five men, age range 35–89 years) were examined for a total of 41 pathological vertebrae. Candidates for the procedure were selected in accordance with eligibility criteria of the American College of Radiology [12]. To evaluate the imaging changes after PVP, all patients underwent MRI at baseline and 1 week and 1, 6 and 12 months after treatment [13, 14]. The patients were affected by osteoporosis (8/14 cases; 57%) [15], multiple myeloma (3/14 cases; 21.5%) and posttraumatic fractures (3/14 cases; 21.5%).

Vertebroplasty was done via a unilateral transpedicular approach in all patients. MRI was performed using a 0.5-Tesla (T) superconductive magnet (SIGNA GE, Milwaukee, WI, USA), with scans limited to the spine segment comprising the pathological vertebra. The imaging protocol used consisted of T1-weighted spin-echo (SE) sequences (TR 400, minimal TE, slice thickness 4 mm, interval 0.5 mm, FOV 31 cm, examination time 2 h 40 min), T2-weighted SE sequences (TR 2,350 ms, TE 103.5 ms, slice thickness 4 mm, interval 0.5 mm, FOV 31 cm, examination time 4 min 04 s) and T2-weighted short tau inversion recovery (STIR) sequences (TR 3,000 ms, TE 23 ms, slice thickness 4 mm, interval 0.5 mm, FOV 31 cm, examination time 4 h); all images were acquired in the sagittal plane. Images were assessed by two radiologists working in consensus who considered signal intensity, cement distribution patterns within the vertebra and possible signal intensity changes within the vertebral body.

MRI signal intensity was evaluated in three distinct regions of the vertebra, before and after treatment (at baseline, at 1 week and at 1, 6 and 12 months) by manually placing regions of interest (ROIs) within the vertebral body. These measurements, which expressed absolute ROI values, were made at the periphery of the vertebral body, in the area adjacent to the treated area and in the treated area itself, at baseline and re-

La VPP consiste nell'iniezione di polimetilmetacrilato (PMM) (un cemento sintetico che polimerizza rapidamente, a temperatura ambiente, con una reazione esotermica), sotto guida TC e/o fluoroscopica, all'interno di un corpo vertebrale divenuto patologico a causa di osteoporosi [3], metastasi, angiomi, mieloma multiplo o trauma [4, 5]. L'iniezione può essere eseguita, a seconda del tratto di colonna vertebrale interessato dal processo patologico, per via trans-peduncolare posteriore o laterale nel tratto lombare, trans-peduncolare o intercosto-trasversa nel segmento dorsale e con approccio antero-laterale nel segmento cervicale [6, 7]. L'approccio può inoltre essere monolaterale o bilaterale. Il fine ultimo della procedura è quello di stabilizzare la vertebra, ridurre la sintomatologia dolorosa ed eventualmente di migliorare, come conseguenza, la mobilità del paziente [8].

A tal proposito è fondamentale descrivere e saper riconoscere le principali modificazioni della vertebra trattata con particolare rilievo all'imaging post VPP; tra le varie metodiche utilizzate nei controlli prima e dopo il trattamento la risonanza magnetica (RM) è sicuramente la più utilizzata [9, 10]. Scopo del nostro lavoro è stato quello di valutare e descrivere la semeiotica RM prima e dopo vertebroplastica, al fine di documentare le modificazioni dell'intensità del segnale, delle dimensioni e della distribuzione del cemento all'interno della vertebra trattata [11].

Materiali e metodi

Tra gennaio e ottobre 2004, sono stati esaminati 14 pazienti non consecutivi per un totale di 41 vertebre patologiche: i pazienti di cui 9 donne e 5 uomini, avevano un'età compresa tra 35 e 89 anni. I pazienti da sottoporre a vertebroplastica sono stati selezionati in accordo con i criteri di inclusione dell'American College of Radiology [12]. Al fine di valutare le modificazioni dell'imaging dopo VPP, tutti i pazienti sono stati studiati con esame RM prima del trattamento e seguiti nel tempo con esami di follow-up a distanza di 1 settimana, 1, 6 e 12 mesi dal trattamento [13, 14]. I pazienti trattati erano affetti da: osteoporosi (8/14 casi, 57%) [15], mieloma multiplo (3/14 casi, 21,5%) e fratture post-traumatiche (3/14 casi, 21,5%).

Le procedure di vertebroplastica sono state eseguite mediante approccio trans-peduncolare monolaterale in tutti i pazienti. Lo studio RM, mirato alla valutazione del tratto di colonna comprendente la vertebra da trattare, è stato condotto con una magnete superconduttivo da 0,5 T (SIGNA GE, Milwaukee, USA). Il protocollo di studio ha previsto l'utilizzo di sequenze SE T1 pesate (TR 400, TE minimo, spessore dello strato 4 mm, intervallo 0,5 mm, FOV 31 cm, tempo di esame 2 min e 40 s), sequenze SE T2 pesate (TR 2350 ms, TE 103,5 ms, spessore dello strato 4 mm, intervallo 0,5, FOV 31 cm, tempo esame 4 min e 4 s) e sequenze STIR T2 pesate (TR 3000 ms, TE 23 ms, spessore dello strato 4 mm, intervallo 0,5, FOV 31 cm, tempo di esame 4 min); tutte le immagini sono state acquisite nel piano sagittale.

La valutazione delle immagini RM è stata eseguita, per consenso, da due radiologi e sono state prese in considerazione le caratteristiche dell'intensità di segnale, le modalità



Fig. 1 Magnetic resonance imaging (MRI) signal intensity measured with regions of interest (ROIs) positioned (1) within the cement, (2) within the area immediately adjacent to the cement and (3) distally to the cement.

Fig. 1 Intensità del segnale RM misurata con ROI posizionate (1) nel cemento; (2) nell'area immediatamente adiacente al cemento; (3) in sede distale.



Fig. 2 Vertebral heights measured at the level of (1) the anterior wall (2) the medial segment and (3) the posterior wall of the pathological vertebra.

Fig. 2 Altezze misurate a livello: (1) del muro anteriore; (2) del tratto medio; (3) e del muro posteriore della vertebra patologica.

peated 1 week and 1, 6 and 12 months after treatment (Fig. 1).

Vertebral heights (mm) were measured both at baseline and during the stabilisation phase 6 months after treatment to assess effects on vertebral size. Measurements were made in the sagittal plane at the level of the anterior, medial and posterior walls of the treated vertebra (Fig. 2).

Cement distribution pattern within the treated vertebra was assessed qualitatively. In particular, we identified the following patterns: rounded (Fig. 3c); patchy, dot like (Fig.

di distribuzione del cemento all'interno della vertebra e le eventuali modificazioni del segnale del soma trattato. Intensità del segnale RM: è stata valutata l'intensità del segnale in tre differenti regioni della vertebra, prima e dopo il trattamento (1 settimana, 1 mese, 6 mesi e 12 mesi) mediante il posizionamento manuale di aree ROI nel contesto del corpo vertebrale. Tali misurazioni, espressione di valore ROI assoluto, sono state effettuate a livello della parte periferica della vertebra, della zona limitrofa all'area trattata ed a livello dell'area trattata. Sono state quindi ripetute nei controlli ad una settimana, un mese, sei mesi e dodici mesi (Fig. 1).

Altezze (mm): sono state eseguite misurazioni dell'altezza delle vertebre prima del trattamento e nella fase di stabilizzazione sei mesi dopo il trattamento, al fine di verificarne gli effetti sulle dimensioni della vertebra: le misurazioni sono state effettuate nel piano sagittale a livello del muro anteriore, del tratto medio e del muro posteriore della vertebra trattata (Fig. 2).

Distribuzione del cemento nella vertebra trattata: è stato valutato qualitativamente il pattern della distribuzione del cemento nel contesto del soma vertebrale trattato. In particolare sono state identificate le seguenti caratteristiche di distribuzione: rotondeggiante (Fig. 3c), a carta geografica, puntiforme (Fig. 4) o ovalare (Fig. 4). È stata inoltre valutata l'omogeneità o la disomogeneità della distribuzione del cemento. A seconda del loro aspetto morfologico, le vertebre sono state inoltre classificate, secondo la semeiotica classica prima e dopo il trattamento, in vertebra plana, vertebra con avvallamento della limitante somatica superiore, con avvallamento della limitante somatica inferiore e vertebra con aspetto a lente biconcava. I dati ottenuti sono stati elaborati mediante test statistico t di Student, con IC del 95%.

Risultati

La valutazione è stata effettuata su un numero complessivo di 41 vertebre trattate di cui 10 dorsali (quattro D11 e sei D12), 31 lombari (nove L1, sei L2, sette L3 sei L4 e tre L5). Relativamente alla distribuzione del cemento nel contesto del soma della vertebra trattata, la distribuzione disomogenea è stata riscontrata nel 26,8% nel controllo dopo una settimana del trattamento e nel 12,2 % dopo 1 mese dal trattamento; la distribuzione omogenea non è stata mai evidenziata; la distribuzione puntiforme del cemento è stata riscontrata nel 7,3% dei casi dopo 1 settimana e dopo 1 mese dal trattamento; la distribuzione a carta geografica è stata evidenziata nel 14,6% dei casi dopo una settimana ed è stata riscontrata nel 19,5% dei casi ad un mese dal trattamento; la distribuzione ovalare del cemento, presente nel 21,9% dopo una settimana è stata riscontrata nel 34,1% ad un mese dal trattamento mentre la distribuzione rotondeggiante, presente nel 29,2% dei casi ad 1 settimana, era presente nel 26,8% dei casi ad un mese dal trattamento (Tabella 1). La morfologia della distribuzione del cemento osservata nel contesto del soma vertebrale a distanza di un mese dal trattamento non si è in seguito modificata nei successivi controlli a sei mesi e ad un anno dal trattamento.

Relativamente al parametro delle altezze dei somi vertebrali, il test statistico ha evidenziato: una deviazione stan-

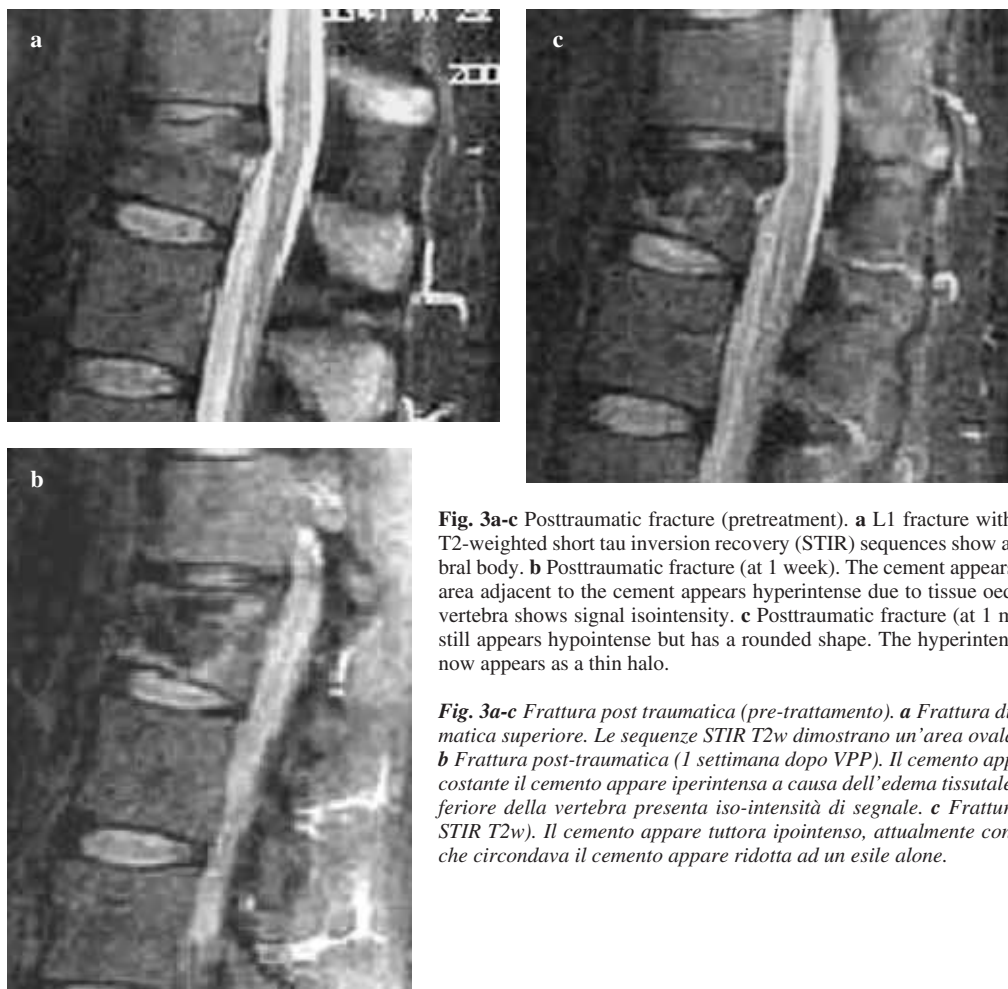


Fig. 3a-c Posttraumatic fracture (pretreatment). **a** L1 fracture with compression of the superior endplate. T2-weighted short tau inversion recovery (STIR) sequences show a hypointense oval area within the vertebral body. **b** Posttraumatic fracture (at 1 week). The cement appears hypointense (T2-weighted STIR). The area adjacent to the cement appears hyperintense due to tissue oedema. The posterior-inferior area of the vertebra shows signal isointensity. **c** Posttraumatic fracture (at 1 month; T2-weighted STIR). The cement still appears hypointense but has a rounded shape. The hyperintensity previously surrounding the cement now appears as a thin halo.

Fig. 3a-c Frattura post traumatica (pre-trattamento). **a** Frattura di L1 con avvallamento della limitante somatica superiore. Le sequenze STIR T2w dimostrano un'area ovale di ipointensità nel corpo vertebrale. **b** Frattura post-traumatica (1 settimana dopo VPP). Il cemento appare ipointenso (STIR T2w). L'area circostante il cemento appare iperintensa a causa dell'edema tissutale. L'area situata nell'angolo postero-inferiore della vertebra presenta iso-intensità di segnale. **c** Frattura post-traumatica (1 mese dopo VPP; STIR T2w). Il cemento appare tuttora ipointenso, attualmente con forma rotondeggiante. L'iperintensità che circondava il cemento appare ridotta ad un esile alone.

4); or oval (Fig. 4). Homogeneity and heterogeneity of cement distribution were also evaluated. Before and after treatment, vertebrae were morphologically classified according to classic imaging patterns into *vertebra plana*, vertebra with concavity of the superior endplate, vertebra with concavity of the inferior endplate and biconcave vertebra. Data obtained were processed using the Student's *t* test with 95% confidence interval (CI).

Results

A total of 41 vertebrae, ten dorsal (four D11 and six D12) and 31 lumbar (nine L1, six L2, seven L3, six L4 and three L5), were evaluated. Cement distribution within the vertebra was heterogeneous in 26.8% of cases at 1 week and 12.2% at

standard media di 17,1 nel pre-vertebroplastica e di 16,7 nel post-vertebroplastica in corrispondenza del muro anteriore; una deviazione standard media di 11,4 pre-vertebroplastica e di 11,0 nel post-vertebroplastica in corrispondenza della porzione centrale del soma; una deviazione standard media di 19,3 pre-vertebroplastica e di 18,8 nel post-vertebroplastica in corrispondenza del muro posteriore (Tabella 2). I dati derivanti dal confronto delle altezze delle vertebre prima e dopo dodici mesi dal trattamento [16] non sono risultati statisticamente significativi ($p>0,05$) (Tabella 2 e Fig. 5).

La vertebra con aspetto a lente biconcava è stata osservata complessivamente nel 31% dei casi, la vertebra con avvallamento della limitante somatica superiore nel 29%, la vertebra con avvallamento della limitante somatica inferiore nel 19% e la vertebra plana nel 21% dei casi; queste percentuali sono rimaste immutate sia prima che dopo vertebroplastica.

La valutazione dell'intensità del segnale mediante il posizionamento di una ROI perifericamente all'area trattata ha dimostrato: nelle sequenze SE T1 prima del trattamento un valore medio di $140,25 \pm 5,20$, ad una settimana dal trattamento un valore medio di $148,67 \pm 5,79$, ad un mese dal trattamento un valore medio di $206,5 \pm 9,5$, a sei mesi dal trattamento un valore medio di $163,33 \pm 9,83$, ad un anno dal trattamento un valore medio di $163,35 \pm 9,88$. La valutazione dell'intensità

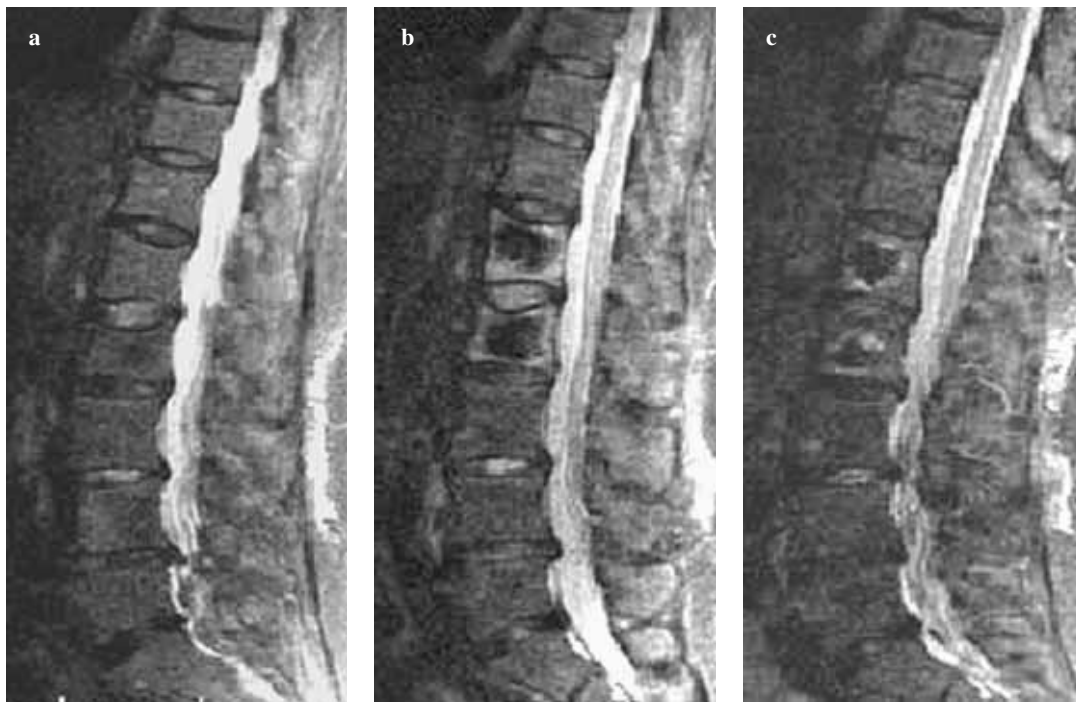


Fig. 4a-c Osteoporosis [pre-percutaneous vertebroplasty (PVP); T2-weighted short tau inversion recovery (STIR)]. **a** Osteoporotic L1 fracture with biconcave shape. The lesion is hypointense with mottled appearance. Osteoporotic L2 fracture with concavity of the superior endplate; the lesion appears hypointense with rounded shape. **b** L1 osteoporosis (at 1 week; T2-weighted STIR). The cement appears hypointense, with surrounding hyperintense halo due to oedema. The area of hypointensity after cement injection has an oval shape. **c** L1-L2 osteoporosis (at 12 months; T2-weighted STIR). The area of cement hypointensity is unchanged, whereas the hyperintense halo due to oedema has markedly decreased.

Fig. 4a-c Osteoporosi (pre-VPP; STIR T2w). **a** Frattura patologica di L1 da osteoporosi, con aspetto a lente biconcava. La lesione mostra segnale ipointenso con aspetto puntiforme. Frattura patologica di L2 da osteoporosi con avallamento della limitante somatica superiore; la lesione presenta ipointensità di segnale di forma rotondeggiante. **b** Osteoporosi (1 settimana dopo VPP; STIR T2w) L1: il cemento appare ipointenso, con un alone di iperintensità circostante dovuto ad edema. L'ipointensità dopo il rilascio del cemento mostra forma rotondeggiante. L2: il cemento appare ipointenso, con un alone di iperintensità circostante dovuto ad edema. L'ipointensità dopo il rilascio del cemento mostra forma ovalare. **c** Osteoporosi (12 mesi dopo VPP; STIR T2w) L1-L2: l'ipointensità del cemento appare invariata, mentre è apprezzabile una marcata riduzione dell'alone di iperintensità dovuta all'edema circostante.

1 month; in no case was it homogeneous. Distribution was dot like in 7.3% of cases at both 1 week and 1 month and was patchy in 14.6% of cases at 1 week and in 19.5% at 1 month. An oval distribution pattern was seen in 21.9% of cases at 1 week and in 34.2% at 1 month; a rounded distribution pattern was seen in 29.2% at 1 week and 26.8% at 1 month (Table 1). The distribution patterns seen at 1-month follow-up remained unchanged at 6 and 12 months.

As regards vertebral heights, the statistical test revealed mean standard deviations (SD) before and after treatment of 17.1 and 16.7 at the level of the anterior wall, 11.4 and 11.0 at the level of the medial portion and 19.3 and 18.8 at the level of the posterior wall (Table 2). Results of the comparison of vertebral heights at baseline and at 12 months [16] were not statistically significant ($p > 0.05$) (Table 2; Fig. 5).

Biconcave vertebra and vertebra with superior endplate

del segnale con posizionamento di una ROI perifericamente all'area trattata ha dimostrato: nelle sequenze STIR T2 prima del trattamento un valore medio di $82,25 \pm 6,20$, ad una settimana dal trattamento un valore di $113,25 \pm 6,22$, ad un mese dal trattamento un valore medio di $134,5 \pm 1,5$, a sei mesi dal trattamento un valore medio di $60,75 \pm 0,83$, ad un anno dal trattamento un valore medio di $61,51 \pm 0,91$. La valutazione dell'intensità del segnale con posizionamento di una ROI perifericamente all'area trattata ha dimostrato: nelle sequenze SE T2 prima del trattamento un valore medio di $80,65 \pm 8,30$, ad una settimana dal trattamento un valore di $101,67 \pm 8,34$, ad un mese dal trattamento un valore medio di $125,33 \pm 5,5$, a sei mesi dal trattamento un valore medio di $100,20 \pm 8,42$, ad un anno dal trattamento un valore medio di $98,51 \pm 8,91$.

È stata rilevata una variabilità statisticamente significativa nella modifica dell'intensità del segnale esclusivamente nelle sequenze T1 ($p = 0,002$, $< 0,05$) mentre non sono emerse diffe-

Table 1 Frequency of cement morphology and distribution within the vertebra. No variations were noted at 1 and 6 months

Morphology	Frequency 1 week post-vertebroplasty, n (%)	1 month, 6 months, 12 months post-vertebroplasty, n (%)
Heterogeneous	11 (26.8)	5 (12.2)
Homogeneous	0 (0)	0 (0)
Dot like	3 (7.3)	3 (7.3)
Patchy	6 (14.6)	8 (19.5)
Oval	9 (21.9)	14 (34.1)
Rounded	12 (29.2)	11 (26.8)

Tabella 1 Frequenza della morfologia e distribuzione del cemento nella vertebra. Nel controllo a 1 mese e a 6 mesi non sono state notate variazioni

Tipo di morfologia	Frequenza della morfologia Post-vertebroplastica 1 settimana, n (%)	Post-vertebroplastica 1, 6, 12 mesi, n (%)
Disomogenea	11 (26,8)	5 (12,2)
Omogenea	0 (0)	0 (0)
Puntiforme	3 (7,3)	3 (7,3)
Carta geografica	6 (14,6)	8 (19,5)
Ovalare	9 (21,9)	14 (34,1)
Rotondeggiante	12 (29,2)	11 (26,8)

concavity were observed in 31% and 29% of cases, respectively, whereas vertebra with inferior endplate concavity and *vertebra plana* were detected in 19% and 21% of cases, respectively; these percentages remained unchanged before and after vertebroplasty.

Results of the evaluation of signal intensity based on the ROI positioned peripherally to the treated area were as follows: a mean value of 140.25 ± 5.20 at baseline, 148.67 ± 5.79 at 1 week, 206.5 ± 9.5 at 1 month, 163.33 ± 9.83 at 6 months and 163.35 ± 9.88 at 12 months in T1-weighted SE sequences; a mean value of 82.25 ± 6.20 at baseline and 113.25 ± 6.22 at 1 week, 134.5 ± 1.5 , at 1 month 60.75 ± 0.83 at 6 months and 61.51 ± 0.91 at 12 months in T2-weighted STIR sequences; and a mean value of 80.65 ± 8.30 at baseline and 101.67 ± 8.34 at 1 week, 125.33 ± 5.5 at 1 month, 100.20 ± 8.42 at 6 months and 98.51 ± 8.91 at 12 months in T2-weighted SE sequences.

Statistically significant differences in signal intensity variations were found in T1 sequences ($p=0.002$, <0.05), but not in T2 STIR or SE sequences ($p=0.36$, >0.05).

Discussion

The current interest in vertebroplasty, fully justified by its acknowledged therapeutic success [17, 18], has its rationale in the minimally invasive treatment of back pain [19, 20].

renze statisticamente significative nelle variazioni di intensità del segnale nelle sequenze STIR e SE T2 ($p=0,36$, $>0,05$).

Discussione

L'interesse suscitato oggi dalla vertebroplastica, ampiamente giustificato dal riconosciuto successo terapeutico [17, 18], trova il suo razionale nel trattamento mini-invasivo del dolore vertebrale [19, 20]. L'evoluzione e la diffusione della vertebroplastica impone la conoscenza delle principali variazioni del soma trattato con le varie metodiche di imaging; ciò al fine di valutare e correttamente interpretare l'imaging dopo trattamento [21]. Considerata la diffusione della RM nello studio del rachide cervico-dorso-lombare e l'incidenza degli esami RM abbiamo focalizzato la nostra attenzione alla descrizione delle modificazioni delle modificazioni RM del comportamento della vertebra trattata [22].

Al fine di approfondire le modificazioni del segnale RM dopo vertebroplastica abbiamo analizzato la vertebra trattata prima del trattamento ed a distanza di un mese, sei mesi ed un anno dal trattamento, valutando sia la morfologia sia le alterazioni di intensità del segnale; tali reperti sono fondamentali in RM ai fini descrittivi e per la comprensione delle variazioni indotte dal trattamento. Relativamente alle dimensioni della vertebra, l'iniezione del materiale nel soma vertebrale avrebbe potuto determinare o effetto di espanso, con aumento delle dimensioni somatiche e conseguente va-

Table 2 Statistical results of comparison of vertebral sizes before and after treatment

	Mean SD	SD	No.	Diff.	Diff.	T statistic	df	p value
Anterior wall								
Before	17.18571	5.271966	14					
After	16.77143	5.251143	14	0.414286	1.898525	0.816484	13	0.428932
Medial segment								
Before	11.48571	6.200354	14					
After	11.00714	6.371628	14	0.478571	2.927897	0.611582	13	0.551360
Posterior wall								
Before	19.30000	2.835761	14					
After	18.87857	3.194750	14	0.421429	1.995834	0.790067	13	0.443662

SD, standard deviation; Diff., differential; df, degree of freedom

Tabella 2 Risultati statistici del confronto delle dimensioni delle vertebre prima e dopo vertebroplastica

	DS media	DS	N	Diff	Diff	T statistico	df	valore p
Muro anteriore								
Pre	17,18571	5,271966	14					
Post	16,77143	5,251143	14	0,414286	1,898525	0,816484	13	0,428932
Muro centrale								
Pre	11,48571	6,200354	14					
Post	11,00714	6,371628	14	0,478571	2,927897	0,611582	13	0,551360
Muro posteriore								
Pre	19,30000	2,835761	14					
Post	18,87857	3,194750	14	0,421429	1,995834	0,790067	13	0,443662

DS, deviazione standard; Diff., differenziale; df, grado di libertà

The evolution and dissemination of vertebroplasty requires awareness of the main changes a treated vertebra undergoes, as they might appear on different imaging modalities, to evaluate and correctly interpret posttreatment images [21]. Given the widespread use of MRI for evaluation of the lumbar, dorsal and cervical spine and the incidence of MRI examinations, our study focused on the changes visible on MRI [22].

To evaluate post-vertebroplasty MRI signal alterations, we studied the vertebrae at baseline and 1, 6 and 12 months after treatment, considering both vertebral size and morphology and changes in signal intensity; these data are crucial in MRI for descriptive purposes and to understand the changes induced by treatment. With regard to vertebral size, the material injected into the vertebra could have produced either vertebral expansion – increase in size and consequent morphological changes – or diffusion of the cement within the vertebra with little or no effect on size. In our series, no statistically significant differences were observed in vertebral size and morphology before and after treatment. This demonstrates that the acrylic cement distributes diffusively within the spongy bone trabeculae, causing no appreciable bone expansion; it also shows that restoration of normal vertebral size and morphology should not be expected on post-vertebroplasty MRI.

In agreement with the literature [22, 23], we observed changes in signal intensity in areas adjacent to the treated area related to marrow oedema. However, the differences in

riazione della sua morfologia o un diffusione del cemento nel contesto della vertebra in assenza di sostanziali variazioni delle dimensioni di questa rispetto al pre trattamento. Nella nostra casistica non abbiamo riscontrato differenze statisticamente significative relativamente alla variazione delle dimensioni e dell'aspetto morfologico della vertebra prima e dopo il trattamento. Si evince, pertanto, che il cemento acrilico si distribuisce nelle trabecole della spongiosa ossea del soma vertebrale con un comportamento diffusivo, senza un reale e consistente effetto di espanso e che il ripristino delle dimensioni della vertebra e della sua normale morfologia non debbano essere considerati degli elementi attesi all'imaging RM nel post trattamento.

Relativamente alla valutazione della intensità del segnale, abbiamo notato, in accordo con la letteratura [22, 23], una variazione di essa nelle regioni periferiche all'area trattata correlabile a presenza di edema intra-spongioso. Non vi sono state tuttavia differenze statisticamente significative nel comportamento del segnale tra sequenze prima e dopo trattamento in T1 e T2. L'analisi dei risultati suggerisce, quindi, che il comportamento del segnale atteso nell'area limitrofa al cemento debba presupporre un modesto incremento della intensità in T1 e in T2 dopo trattamento, che tale incremento del segnale cominci ad essere rilevato sin dalla prima settimana dopo la procedura e che divenga più evidente nei controlli ad un mese dal trattamento per poi stabilizzarsi, con riduzione della sua intensità a sei mesi e a dodici mesi dal trattamento. È fondamentale sottolineare che, nella nostra esperienza, la fase di stabilizzazione si è osservata nel



Fig. 5a-c Comparison of vertebral heights (in mm) before and after percutaneous vertebroplasty (PVP). Results of the comparison of vertebral sizes were not statistically significant ($p>0.05$).

Fig. 5a-c Confronto tra le altezze (in mm) dei somi vertebrali prima e dopo trattamento di VPP. I dati derivanti dal confronto delle dimensioni delle vertebre non sono risultati statisticamente significativi per la presenza di un $p>0,05$.

signal intensity between T1 and T2 sequences before and after treatment were not statistically significant. Our results suggest that a slight increase in T1 and T2 signal intensity of the areas adjacent to the cement should be expected after treatment. This increase should be detectable during the first week and becomes more prominent at 1 month before leveling off and finally decreasing at 6 and 12 months. It is important to note that in our experience, the stabilisation phase occurred at 6 months, with signal intensity remaining unchanged at 12 months.

The most frequent patterns of cement distribution were oval and rounded. Oval morphology was detected in 21.9% of cases at 1 week and 34.1% at 1 month, whereas rounded morphology was observed in 29.2% of cases at 1 week and 26.8% at 1 month.

Conclusions

Vertebroplasty is a minimally invasive procedure indicated for the treatment of neck and arm pain, chest pain and back pain caused by vertebral collapse due to osteoporosis [3, 8], metastases, invasive angiomas and myelomas. Clinical stud-

controllo a sei mesi dal trattamento e che il segnale è rimasto invariato ad un anno.

Per quanto riguarda la distribuzione del cemento i reperti morfologici più frequenti sono rappresentati dalla distribuzione ovoidale e rotondeggiante; la prima è stata riscontrata nel 21,9% dopo una settimana e nel 34,1% ad un mese dal trattamento mentre la seconda presente nel 29,2% dei casi ad 1 settimana è presente nel 26,8% ad un mese dal trattamento.

Conclusions

La vertebroplastica è una metodica terapeutica mini-invasiva che ha la sua indicazione elettiva, ove la terapia medica risulta inefficace, nel trattamento delle cervico-brachialgie, delle toracoalgie, delle lombalgie dovute a crolli vertebrali da osteoporosi [3, 8] ed è indicata per altre cause di crolli vertebrali (metastasi, angiomi invasivi e mielomi). Indiscusso appare il risultato clinico, che consiste in un immediato miglioramento del sintomo e soprattutto nel recupero di un'adeguata qualità di vita [11, 14]. Nell'imaging pre- e post-vertebroplastica la risonanza magnetica è considerata metodica di "riferimento" [10] per la valutazione corretta del contenente e del contenuto; in particolare per la capacità della metodica

ies have demonstrated an immediate improvement in symptoms and quality of life [11, 14] following treatment. In pre- and post-vertebroplasty imaging, MRI is considered the reference standard [10] due to its ability to correctly evaluate both container and content and assist in patient selection by excluding those cases showing ependymal infiltration by secondary lesions. In addition, its high-contrast resolution enables one to follow the progression of marrow oedema [22]. The information provided by MRI [21] is instrumental in the evaluation of both the efficacy and possible complications of PVP [9], and awareness of the stages influencing post-vertebroplasty MRI is fundamental.

In our experience, post-vertebroplasty MRI is characterised by three main features: the signal from the cement, the signal from the area adjacent to the cement and the effect produced on vertebral size and morphology. Acrylic cement appeared as an oval (34%) or rounded (26.8%) focal area within the spongy bone, and this appearance tended to stabilise 6 months after treatment. The signal pattern was induced by the lack of hydrogen spectrum in amorphous material and may complicate differentiation from ferromagnetic surgical residues in the spongy bone, potential intraspongy phase artefacts (i.e. titanium), cavernous haemangiomas (on T1), or intraspongy vacuum phenomena. A thorough medical history is therefore fundamental for assessing the patient.

Bone marrow oedema in the area adjacent to the cement [22, 23] was also observed in our experience; in particular, it was evident 1 week to 6 months after treatment and tended to stabilise with only moderate residual hyperintensity in T2 in the following period. Stability of vertebral size after treatment is the result of the diffusive – as opposed to expansive – cement distribution pattern within the spongy bone, which means that there is no change in shape or size of the vertebra after treatment.

di selezionare i pazienti candidati, escludendo tra questi i casi in cui si evidenzino infiltrazioni ependimali da parte di lesioni secondarie e per l'elevata risoluzione di contrasto che consente di seguire nel tempo l'evoluzione dell'edema intra-spongioso [22]. Le informazioni che la RM [21] è in condizione di fornire sono, quindi, fondamentali sia ai fini della valutazione dell'efficacia del trattamento che delle eventuali complicanze della VPP [9]; è pertanto opportuno puntualizzare le tappe che condizionano l'imaging RM dopo vertebroplastica.

Dalla nostra esperienza l'imaging RM dopo vertebroplastica è caratterizzato da tre elementi fondamentali: il segnale del cemento, il segnale dell'area limitrofa alla localizzazione del cemento, l'effetto indotto dalla procedura sulle dimensioni e sulla morfologia della vertebra. Il cemento acrilico si presenta come una area focale intraspongiosa di forma prevalentemente ovale (34%), rotondeggiante (26,8%) e tale aspetto tende a stabilizzarsi dopo sei mesi dal trattamento. Il razionale di tale comportamento del segnale del cemento è indotto dalla carenza di spettro di idrogeno nel materiale amorfo e può porre problemi di diagnosi differenziale o con residui ferromagnetici intraspongiosi da trattamento chirurgico o con presenza in sede intraspongiosa di materiali in grado di produrre artefatti di fase (ad esempio il titanio), con emangiomi con componente cavernosa intraspongiosa (in T1), con fenomeni di vacuum intraspongiosi; a tal proposito una corretta anamnesi è fondamentale per l'inquadramento del paziente.

L'atteso edema della spongiosa ossea nell'area limitrofa al cemento, descritto dalla letteratura [22, 23], è stato riscontrato anche nella nostra esperienza; in particolare abbiamo verificato come esso sia evidente soprattutto tra una settimana e sei mesi dal trattamento e tenda a stabilizzarsi nel periodo successivo con modesto residuo di iperintensità in T2. Relativamente alla distribuzione del cemento, l'aspetto diffusivo e non espansivo di esso nel contesto della spongiosa ossea somatica condiziona la stabilità delle dimensioni della vertebra trattata, che non modifica la sua forma e le sue dimensioni prima e dopo il trattamento.

References/Bibliografia

- Galibert P, Deramond H, Rosat P et al (1987) Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie* 33:166–168
- Deramond H, Darrasson R, Galibert P et al (1989) Percutaneous vertebroplasty with acrylic cement in the treatment of aggressive spinal angiomas. *Rachis* 1:143–153
- Dublin AB, Hartman J, Latchaw RE et al (2005) The vertebral body fracture in osteoporosis: restoration of height using percutaneous vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol* 26:489–492
- Weill A, Chias J, Simon JM et al (1996) Spinal metastases: indications for and results of percutaneous injection of acrylic surgical cement. *Radiology* 199:241–247
- Cotten A, Dewatre F, Cortet B et al (1996) Percutaneous vertebroplasty for osteolytic metastases and myeloma: effects of the percentage of lesion filling and leakage of methyl methacrylate at clinical follow-up. *Radiology* 200:525–530
- Kim AK, Jensen ME, Dion JE et al (2002) Unilateral transpedicular percutaneous vertebroplasty: initial experience. *Radiology* 222:737–741
- Martin JB, Wetzel SG, Seium Y et al (2003) Percutaneous vertebroplasty in metastatic disease: transpedicular access and treatment of lysed pedicles – initial experience. *Radiology* 229:593–597
- Kobayashi K, Shimoyama K, Nakamura K et al (2005) Percutaneous vertebroplasty immediately relieves pain of osteoporotic vertebral compression fracture and prevents prolonged immobilization of patients. *Eur Radiol* 15:360–367
- Anselmetti GC, Bonaldi G, Baruzzi F et al (2004) Percutaneous vertebroplasty: Results in a large series of patients. *Eur Radiol* 14:B-354
- Do HM (2000) Magnetic resonance imaging in the evaluation of patients for percutaneous vertebroplasty. *Top Magn Reson Imaging* 11:235–244
- Perez-Higueras A, Alvarez L, Rossi RE et al (2002) Percutaneous vertebroplasty: long-term clinical and radiological outcome. *Neuroradiology* 44:950–954

12. Barr JD, Mathis JM, Barr MS et al (2000) Standard for the performance of percutaneous vertebroplasty. In: American College of Radiology Standards 2000–2001. American College of Radiology, Reston, pp 441–448
13. Alvarez L, Perez-Higueras A, Granizo JJ et al (2005) Predictors of outcomes of percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral fractures. *Spine* 30:87–92
14. 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
15. Hodler J, Peck D, Gilula LA et al (2003) Midterm outcome after vertebroplasty: predictive value of technical and patient-related factors. *Radiology* 227:662–668
16. Hiwatashi A, Moritani T, Numaguchi Y et al (2003) Increase in vertebral body height after vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol* 24:185–189
17. Hide IG, Gangi A (2004) Percutaneous vertebroplasty: history, technique and current perspectives. *Clin Radiol* 59:461–467
18. Carlier RY, Gordji H, Mompoin DM et al (2004) Osteoporotic vertebral collapse: percutaneous vertebroplasty and local kyphosis correction. *Radiology* 233:891–898
19. Shimony JS, Gilula LA, Zeller AJ et al (2004) Percutaneous vertebroplasty for malignant compression fractures with epidural involvement. *Radiology* 232:846–853
20. Brown DB, Gilula LA, Sehgal M et al (2004) Treatment of chronic symptomatic vertebral compression fractures with percutaneous vertebroplasty. *AJR Am J Roentgenol* 182:319–322
21. Sun K, Liebschner MA (2004) Evolution of vertebroplasty: a biomechanical perspective. *Ann Biomed Eng* 32:77–91
22. Dansie D, Leutmer PH, Lane J et al (2005) MRI findings after successful vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol* 26:1595–1600
23. Noboru T, Atsushi K, Shuji K et al (2006) Percutaneous vertebroplasty: relationship between vertebral body bone marrow edema pattern on MR images and initial clinical response. *Radiology* 239:195–200