

临床论著

骨水泥在椎体骨折线内弥散情况对
椎体成形术治疗效果的影响

江晓兵, 莫 凌, 梁 德, 张顺聪, 杨志东, 姚珍松, 晋大祥, 丁金勇

(广州中医药大学第一附属医院脊柱骨科 510405 广州市)

【摘要】目的:探讨经皮椎体成形术(PVP)中骨水泥在椎体骨折线内弥散情况对疗效的影响。**方法:**回顾性研究 2009 年 9 月~2011 年 12 月因骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF)住院并行 PVP 治疗的 45 例患者,男 14 例,女 31 例,年龄 53~88 岁,平均 72.18 岁,病程 2h~4 个月,平均 17.36d。均为胸腰段(T10~L2)单一椎体骨折。根据术前多平面重建 CT 或 MRI 评估椎体骨折线位置,参考术后 X 线、多平面重建 CT 判断骨水泥在椎体骨折线内的弥散情况,将患者分成两组,A 组($n=30$):骨水泥充分弥散在骨折线内,B 组($n=15$):骨水泥在骨折线内弥散不佳。记录术前、术后 3d 及末次随访时的疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)及局部后凸 Cobb 角,末次随访时与术后 3d 局部 Cobb 角之差定义为后凸纠正丢失量,对比分析两组上述指标的差异,并记录相关并发症。**结果:**所有患者均顺利完成椎体成形术,无严重并发症出现。除骨密度外两组患者术前基线特征无显著性差异,术后 3d 及末次随访时的 VAS 评分、ODI 均较术前明显改善($P<0.05$),术后 3d 时的 VAS 评分、ODI 相比术前值的改善程度(术前-术后)A 组优于 B 组(VAS: 5.03 ± 1.33 vs 3.53 ± 1.13 , ODI: 26.17 ± 2.10 vs 24 ± 2.03 , $P<0.05$),末次随访时的 VAS 评分、ODI 两组无显著性差异($P>0.05$)。两组术后 3d 局部 Cobb 角均较术前明显纠正($P<0.05$),A 组术后 3d 时的 Cobb 角与末次随访时无显著性差异($P>0.05$),B 组末次随访时的后凸 Cobb 角较术后 3d 时显著增大($P<0.05$)。A 组后凸纠正丢失量显著小于 B 组($1.08^\circ\pm 0.38^\circ$ vs $3.58^\circ\pm 0.37^\circ$, $P<0.05$)。A 组 8 例出现骨水泥渗漏,B 组 6 例出现骨水泥渗漏,总体渗漏率为 31.1%,骨水泥渗漏均未引起临床症状。**结论:**PVP 可有效缓解胸腰段骨 OVCF 患者的疼痛,改善功能障碍;骨水泥在骨折线内弥散不佳会影响近期疗效,也可能是骨折椎体接受 PVP 术后仍发生进展性后凸畸形的危险因素。

【关键词】椎体成形术;骨水泥弥散;骨质疏松性椎体压缩骨折;骨折线;后凸畸形

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2014.02.09

中图分类号:R683.2 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2014)-02-0144-06

The effect of distribution of bone cement in the fracture lines on the outcome of percutaneous vertebroplasty/JIANG Xiaobing, MO Ling, LIANG De, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2014, 24(2): 144-149

【Abstract】 Objectives: To evaluate the effect of distribution of bone cement in the fracture lines on the outcome of percutaneous vertebroplasty(PVP). **Methods:** 45 patients were analyzed retrospectively in this study, all cases were diagnosed as thoracolumbar osteoporosis vertebral compressional fracture(OVCF) and treated by PVP(T10-L2) from September 2009 to December 2011. There were 14 males and 31 females, with a mean age of 72.18 years(53-88ys), the average duration was 17.36d(2h-4m). The distribution of vertebral fracture lines was determined based on preoperative CT or MRI. According to the relationship between bone cement and fracture lines in postoperative X-ray or CT, patients were allocated to group A($n=30$): bone cement diffusing into fracture line sufficiently, and group B($n=15$): bone cement diffusing into fracture line insufficiently or absently. VAS, ODI and local kyphotic Cobb angle at preoperation, 3 days after the operation and the last follow-up as well as the complication were compared between two groups. **Results:** PVP were performed suc-

基金项目:2012 年卫生部资助项目(编号:W2012ZT07)

第一作者简介:男(1984-),主治医师,在职博士研究生,研究方向:脊柱伤病与骨质疏松症

电话:(020)36591604 E-mail:374595810@qq.com

通讯作者:梁德 E-mail:spinedrjxb@sina.com

cessfully in all patients without severe complication. The baseline characters except the BMD showed no significant difference between two groups. VAS and ODI scores after operation improved significantly compared with preoperative ones in both groups ($P<0.05$). Compared with preoperation, VAS and ODI at 3 days after surgery of group A was higher than those of group B (VAS: 5.03 ± 1.33 vs 3.53 ± 1.13 , ODI: 26.17 ± 2.10 vs 24 ± 2.03 , $P<0.05$), but there was no significant difference between two groups at the last follow-up ($P>0.05$). The local kyphotic Cobb angle at 3 days after operation in two groups decreased significantly compared with preoperative ones ($P<0.05$). There was no significant difference between 3 days after operation and the last follow-up in group A ($P>0.05$). However, in group B, the local kyphotic Cobb angle at the last follow-up was significantly higher than that at 3 days after surgery ($P<0.05$). Loss of correction in group A was significantly lower than that in group B ($1.08^\circ\pm0.38^\circ$ vs $3.58^\circ\pm0.37^\circ$, $P<0.05$). 8 cases in group A and 6 cases in group B presented asymptomatic bone cement leakage respectively, with a total leakage rate of 31.1%. **Conclusions:** PVP is an effective therapy for thoracolumbar OVCF due to its pain relief and function recovery. Insufficient bone cement distribution in the fracture lines may affect the short-term clinical outcome, furthermore, it may be a risk factor to induce progressive kyphotic deformity.

[Key words] Percutaneous vertebroplasty; Bone cement diffusion; Osteoporosis vertebral compression fracture; Fracture line; Kyphosis

[Author's address] Department of Spine Surgery, the 1st Affiliated Hospital of Guangzhou Traditional Chinese Medicine University, Guangzhou, Guangdong, 510405, China

经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP) 常用于治疗保守治疗无效的骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporosis vertebral compression fracture, OVCF), 并可取得快速止痛的效果, 但可能有一些因素会影响椎体成形术的疗效, 导致不同患者间的治疗效果存在差异。既往研究证实, 椎体成形术起效的主要机制之一为骨水泥固化后骨折椎体的强度、稳定性、力学支撑效能得到显著提升^[1,2]。同时, 椎体成形术在椎体劈裂骨折、爆裂骨折及 Kümmell 病等患者中也可快速起效^[3-5], 更说明固化的骨水泥可在骨折椎体内起到类似“内固定”的作用。根据这些原理, 我们认为骨水泥是否在骨折线内充分充填, 很可能会影响骨折椎术后的即时稳定性及力学强度, 可能是影响 PVP 治疗效果的重要因素, 但既往有关报道很少。本研究通过回顾性病例分析探讨 PVP 术中骨水泥在椎体骨折线内弥散情况对治疗效果的影响, 报道如下。

1 临床资料

1.1 一般资料

研究对象来自 2009 年 9 月~2011 年 11 月在我院脊柱专科住院行 PVP 治疗的 OVCF 患者, 纳入标准: (1) 经保守治疗 2~4 周无效的 OVCF 患者; (2) 同意行 PVP 并签署手术知情同意书; (3) 单一胸腰段椎体骨质疏松性压缩性骨折。排除标准: (1) 不符合纳入标准的患者; (2) 椎体肿瘤、骨

髓瘤等引起的病理性椎体压缩骨折; (3) 颈椎压缩骨折患者; (4) 长期服用激素; (5) 老年痴呆症。共纳入 45 例患者, 其中男 14 例, 女 31 例, 年龄 53~88 岁, 平均 72 岁。入院时的病程 2h~4 个月, 平均 17.36d。均为胸腰段单一椎体骨折, T10 4 例, T11 10 例, T12 14 例, L1 12 例, L2 5 例。手术具体操作参照既往文献^[3]。

1.2 骨水泥在骨折线内弥散情况的评价方法

(1) 根据术前 MRI 或 CT 判断患者骨折线所处位置, MRI 中 T1、T2 加权像中均为低信号的条带区定义为骨质压缩带或压缩骨折复张后的真空裂隙, CT 矢状位中对应的影像表现为条带状骨质压缩致密影或真空裂隙, 结合影像中发现的椎体周围皮质裂口位置, 确定骨折线具体走向; (2) 根据术后 X 线或 CT 检查评价骨水泥是否在骨折线内充分弥散, 出现以下情况定义为骨水泥在骨折线内弥散不佳: 术后 X 线侧位片、CT 矢状位图像提示骨水泥未达到骨折线所在位置, 或者虽然 X 线侧位片、CT 矢状位图像示骨水泥弥散至骨折线处, 但 X 线正位片或 CT 冠状位中提示骨水泥在骨折线区域内的填充范围小于 1/2。反之, 则定义为骨水泥在骨折线内弥散良好。通过综合观察患者术前 X 线片、CT、MRI 等影像学资料, 可以较清晰地观察到椎体内骨折线的位置, 由 2 位副高以上职称医师根据术后 X 线、CT 多平面重建中骨水泥在椎体内弥散情况, 将患者分成两组, A 组

($n=30$):骨水泥均匀弥散在骨折线内(图 1),B 组($n=15$):骨水泥在骨折线内弥散不佳(图 2)。

1.3 疗效评价方法

记录术前、术后 3d、末次随访时间(术后 8~13 个月,平均 10.7 个月)疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale,VAS)及 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index,ODI);测量术前、术后 3d 及末次随访时骨折椎体局部后凸 Cobb 角。记录两组患者术后相关并发症。对比分析两组患者的基线特征、各个时间点 VAS 评分、ODI 和局部 Cobb 角变化。

1.4 统计学方法

统计学资料均采用 SPSS 17.0 软件进行处理,患者年龄、体重、骨密度、病程、VAS、ODI 及局部后凸 Cobb 角等计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组患者基线特征采用卡方检验或独立样本 t 检验、两组不同随访时间 VAS 评分、ODI 及局部后凸 Cobb 角的组内、组间的对比采用单因素方差分析。

2 结果

两组患者骨密度有显著性差异,A 组患者骨密度较 B 组低;其余基线特征无显著性差异(表 1)。所有患者均顺利完成手术,术后两组患者均未

出现感染、肺栓塞、骨水泥中毒反应、死亡等严重并发症。A 组出现 8 例骨水泥渗漏,B 组出现 6 例骨水泥渗漏,总体渗漏率为 31.1%,其中椎旁渗漏 6 例,椎间隙渗漏 5 例,椎体后缘渗漏 2 例,椎体静脉丛渗漏 1 例。所有患者均未出现有症状的骨水泥渗漏。两组术后 3d 及末次随访时的 VAS 评分、ODI 均较术前明显改善($P<0.05$),术后 3d 的 VAS 评分、ODI 改善程度(术前-术后 3d)A 组优于 B 组(VAS: 5.03 ± 1.33 vs 3.53 ± 1.13 ,ODI: 26.17 ± 2.10 vs 24 ± 2.03 , $P<0.05$),末次随访时的 VAS 评分、ODI 两组无显著性差异($P>0.05$)。两组术后 3d 时局部 Cobb 角均较术前明显纠正($P<0.05$),A 组术后 3d 时 Cobb 角与末次随访时无显著性差异(表 2, $P>0.05$),B 组术后末次随访时 Cobb 角较术后 3d 时增大($P<0.05$)。末次随访时 A 组 1 例出现骨折椎体再次塌陷,B 组 6 例出现骨折椎体再次塌陷,4 例出现了进展性后凸畸形。A 组后凸纠正丢失量($1.08^\circ \pm 0.38^\circ$)显著小于 B 组($3.58^\circ \pm 0.37^\circ$)($P<0.05$)。

3 讨论

随着人口老龄化的加剧,骨质疏松症的发病率逐年上升,OVCF 是骨质疏松症常见的并发症



图 1 患者女,80 岁 a 术前腰椎侧位 X 线片示 L2 椎体压缩性改变 b、c 腰椎多平面重建 CT 矢状位、冠状位清晰显示 L2 椎体上终板下缘有一致密骨质压缩带,与椎体前壁及侧壁裂口相连 d 腰椎 MRI T2WI 示上终板下缘低信号骨质压缩带,与 CT 中骨折线部位相符 e 术后 3d 复查腰椎侧位 X 线片示 L2 椎体骨水泥填充良好,椎体高度及局部 Cobb 角度得到改善 f、g 术后多平面重建 CT 矢状位、冠状位示骨水泥在骨折线内弥散良好 h 术后 1 年病椎未见明显塌陷

Figure 1 A Female, 80ys a Preoperative lateral X-ray of Lumbar spine showed L2 vertebral compressional fracture b, c Preoperative sagittal, coronal plane of multi-planar reconstruction(MPR) CT showed that compression fracture line and denser bone located below the superior endplate of L2 d Sagittal T2WI MRI scan of lumbar spine displayed a bone compression zone with low intensity signal in the corresponding site of CT e Lateral X-ray of Lumbar spine 3 days after operation revealed the bone cement distributed sufficiently in vertebral body, height and Cobb angle of vertebrae improved f, g MPR CT of post-operation showed that bone cement diffused in the fracture lines sufficiently h After 12 months, there wasn't progressive collapse in the index vertebrae

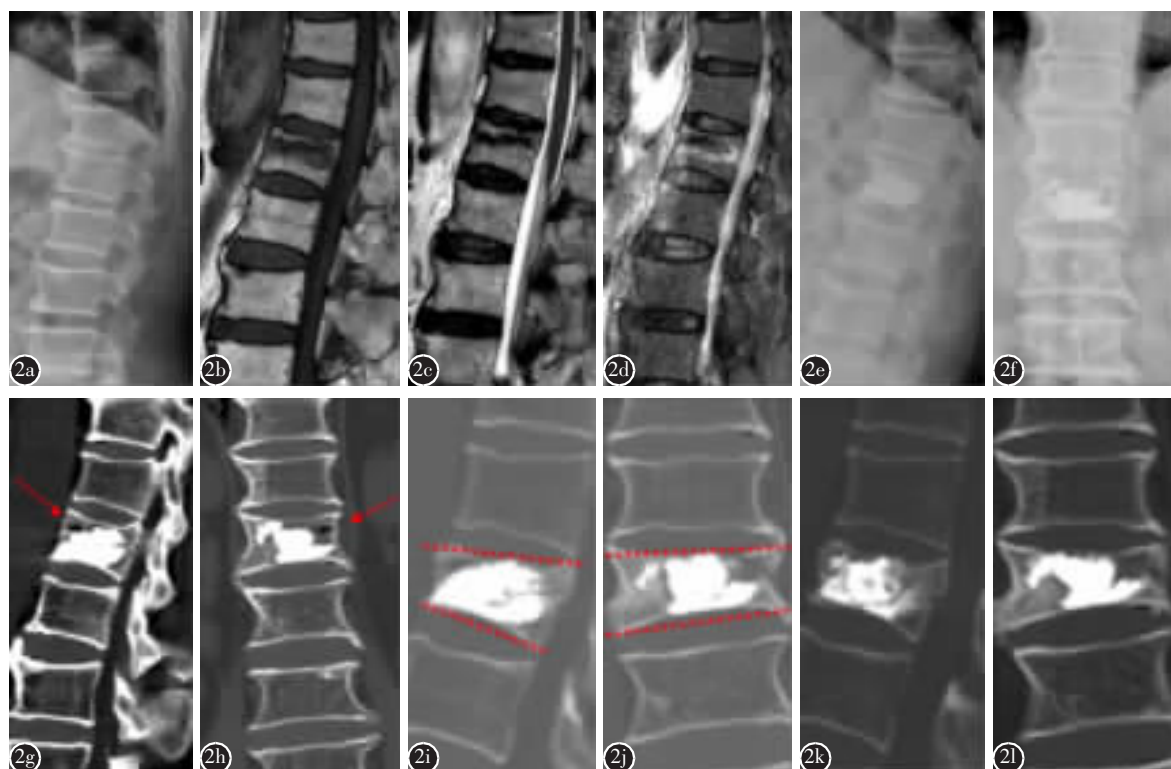


图 2 患者男, 75 岁 **a** 术前腰椎侧位 X 线示 L1 椎体未见明显异常 **b~d** 胸腰椎 MRI T1WI、T2WI、STIR 加权像矢状位均显示 L1 椎体上终板下有低信号线形区域, 为压缩骨折复张后的真空裂隙 **e, f** 行 L1 椎体成形术后 3d 胸腰椎正侧位 X 线片示椎体高度及局部 Cobb 角度得到改善 **g, h** 术后多平面重建 CT 矢状位、冠状位示骨水泥在骨折线内弥散不佳(虚线箭头所指), 部分真空裂隙未得到填充 **i, j** 术后 6 个月 CT 示 L1 椎体出现塌陷 **k, l** 术后 12 个月, CT 示 L1 椎体塌陷较前加重, 胸腰段出现进展性后凸畸形

Figure 2 A male, 75ys **a** Preoperative lateral X-ray of lumbar spine showed normal of L1 vertebral body seemingly **b~d** Sagittal T1WI, T2WI, STIR MRI scan of lumbar spine indicated a line with low intensity signal below the superior endplate of L1, which was considered as the vacuum cleft after the reduction of compression fracture **e, f** L1 PVP was performed, anteroposterior and lateral film of thoracolumbar X-ray revealed height and Cobb angle of vertebra improved **g, h** MPR CT of post-operation demonstrated bone cement diffused in the fracture line insufficiently, remaining partial vacuum cleft in vertebral body without the distribution of bone cement **i, j** The vertebra occurred collapse after 6 months **k, l** The index vertebra got worse than before, which developed progressive kyphosis of thoracolumbar

之一,可引起剧烈胸腰背部疼痛,严重影响患者的生活质量。现有研究表明,OVCF 产生疼痛可能与以下因素有关:(1)椎体骨小梁的微骨折刺激末梢神经引起疼痛^[6];(2)椎体骨折导致脊柱稳定性下降,引起腰背部肌肉、筋膜的损伤^[7]。近年来,PVP 已广泛应用于保守治疗效果不佳的 OVCF 患者,PVP 可以迅速有效地缓解疼痛、恢复椎体高度及改善患者生活质量,具有显著的临床疗效^[8]。

然而,关于 PVP 的止痛机制仍存在争议,目前公认的止痛机制可能与以下因素有关^[6,9]:(1)力学强度恢复及稳定重建。骨膜和椎体终板异常活动、椎体微小的骨折及骨折线微动对椎体内的

神经末梢产生刺激引起疼痛,而 PVP 通过注入骨水泥弥散到断裂的骨小梁,可起到固定骨折和强化椎体的作用,使骨折椎体承受的异常应力及骨折椎的异常活动度降低,达到减少刺激骨折椎周围骨膜及伤害感受器的目的,从而使疼痛减轻;(2)热学因素。骨水泥聚合时产生热量引起神经组织、疼痛伤害感受器发生热学坏死;(3)化学因素。骨水泥单体瞬时聚集的浓度产生毒性引起神经末梢坏死。

但是,虽然许多研究报道 PVP 疗效显著,但并非所有患者术后都能取得理想的止痛效果,临床上仍有部分患者术后疼痛缓解不明显,或者术

后残留反复的疼痛。对于 PVP 疗效存在差异的原因尚不明确, 骨水泥注射量与骨水泥在椎体的分布情况可能是影响 PVP 疗效的因素。既往有学者对 PVP 骨水泥注入量进行了研究, 证实合适的骨水泥量有助于恢复椎体刚度、强度^[1], 随着骨水泥量的增加, 其渗漏也会增加。但是, 骨水泥量多少与疼痛缓解无相关性^[2]。然而, 骨水泥在椎体内分布情况是否影响 PVP 的疗效的相关研究较少。Tanigawa 等^[10]对 76 例 OVCF 患者行椎体强化术, 通过 X 线及 CT 观察将术后骨水泥在椎体分布情况分为结实团块分布组和海绵状分布组, 术后随访发现两组患者止痛效果相似, 但是结实团块状分布组患者新发椎体骨折率较高。但是, 有关骨水泥在椎体骨折线内分布情况对疗效的影响尚无相关研究。

对于四肢骨干骨折, 术前分析骨折线走向及形态类型有助于预判螺钉、克氏针等内固定物的

置入位置及长度, 从而保证跨骨折线固定, 以重建骨折部位的稳定性, 减少骨折端异动, 促进骨折愈合。与此相似, 既往研究已表明椎体成形术可以起到稳定椎体骨折和强化骨折椎体的效果, 除 OVCF 外, 近年来甚至还有学者将 PVP 用于治疗椎体劈裂骨折、爆裂骨折及 Kummell 病等, 也起到了良好的止痛效果^[3-5], 这更说明 PVP 可以对不稳定的骨折椎体起到重建稳定的效果。根据这一原理, 我们认为骨水泥在椎体内固化后可起到类似“内固定”的作用。从这一机制分析, 有理由相信椎体骨折线区域是否有骨水泥弥散很可能是影响 PVP 治疗效果的影响因素之一。

在本研究中, 为了保证更好的基线特征同质性, 我们纳入了相关临床特点接近的胸腰段单一椎体骨折的患者, 根据术前 CT 及 MRI 可以清晰定位椎体内骨折线分布部位, 根据术后 X 线及 CT 中骨水泥在椎体内弥散情况, 我们将其分为骨水泥充分弥散在骨折线内(A 组)及骨水泥在骨折线内弥散不佳(B 组)两组。术后 3d, A 组在 VAS 评分、ODI 改善方面优于 B 组, 其原因可能在于骨水泥能较好地弥散于骨折线内, 对断裂的骨小梁起着固定作用, 减少骨折端微动, 提升了术后椎体的即时稳定性, 减少对神经末梢的刺激, 从而减轻疼痛。因此, 我们建议术中应尽量追求骨水泥均匀分布于骨折线。对于骨水泥未能较好分布在椎体骨折线的患者, 其术后近期疗效相对较差, 这可能与骨折端仍存在位移有关。两组患者的局部 Cobb 角在 PVP 术后均较术前明显改善, 说明 PVP 有利于纠正骨折椎体局部后凸畸形, 这可能与实施手术时采用过伸体位及穿刺时施加压力有关。但是, 在中期随访中, 我们发现 A 组后凸纠正丢失量显著小于 B 组, B 组中部分患者出现进展

表 1 两组患者基线特征比较
Table 1 Baseline Characteristics of two groups

	A组(n=30) Group A	B组(n=15) Group B
年龄(岁) Age (y)	72.53±8.93	72.13±7.06
性别比(男/女) Male/Female	10/20	6/9
体重(kg) Body weight	60.37±9.30	59.65±10.17
病程(d) Course	17.46±7.20	17.27±7.16
骨密度(T) BMD	-3.81±1.43	-2.22±1.89 ^①
术前 VAS 评分 Pre-operation VAS score	7.57±0.90	7.60±0.51
术前 ODI Pre-operation ODI score	38.93±1.66	38.80±1.82

注: ①与 A 组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with group A, $P<0.05$

表 2 两组术前、术后 3d 及末次随访时间 VAS 评分、ODI 及 Cobb 角对比
Table 2 VAS, ODI and Cobb angle of pre-operation, post-operation and final follow-up

	VAS 评分(分)		ODI(分)		Cobb 角(°)	
	A组 Group A	B组 Group B	A组 Group A	B组 Group B	A组 Group A	B组 Group B
术前 Pre-operation	7.57±0.90	7.60±0.51	38.93±1.66	38.80±1.82	11.19±5.67	13.96±5.49
术后 3d Post-operation 3days	2.53±0.94 ^①	4.07±0.88 ^{①②}	12.7±1.38 ^①	14.80±1.66 ^{①②}	6.43±4.99 ^①	8.10±5.32 ^①
末次随访时 Final follow-up	1.37±0.49 ^①	1.53±0.64 ^①	5.40±1.01 ^①	5.60±0.74 ^①	7.51±5.37 ^①	11.68±4.98 ^{①②}

注: ①与同组术前比较 $P<0.05$; ②与同时间点 A 组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with pre-operation of the same group, $P<0.05$; ②Compared with group A at the same time, $P<0.05$

性后凸畸形,未强化的骨折线周围区域出现继发性塌陷,这一现象可能是因为骨折线内未充分填充骨水泥,强化效果不足有关。Chevalier 等^[11]也通过体外力学实验证实,椎体成形术中骨水泥在椎体上下终板之间充分弥散,有助于防止远期再次塌陷或者骨折,但他们未针对骨折线进行研究。本组病例在随访中发现虽然骨水泥没有在椎体骨折线内填充组有进展性塌陷的趋势,但是中远期疗效相似,这可能与两组患者最终都获得了较好的骨折愈合有关。

回顾性分析这两组患者,我们认为骨水泥弥散均匀与否主要与穿刺管道位置以及椎体骨质疏松程度有关。为保证骨水泥能够在椎体骨折线内均匀弥散,术前准确判定骨折线部位,术中采用双侧置管注射骨水泥,其中一条管道位于骨折线下方,使骨水泥较容易向骨折线内渗透。如果穿刺管道位置远离骨折线部位,容易出现骨水泥在椎体骨折线内弥散不佳。如果椎体骨质疏松程度相对较轻,骨小梁粗大,骨小梁间隙较小,骨水泥在骨小梁内渗透的能力较差,也可能会导致骨水泥弥散不佳;如果椎体骨质疏松严重,骨小梁稀疏,骨小梁间隙较大,骨水泥弥散空间较大,这可能有助于骨水泥更好地在椎体内弥散^[12]。本研究中也发现弥散不佳组的骨密度显著高于弥散良好组。

综上所述,PVP 可有效缓解胸腰段 OVCF 患者的疼痛及改善功能障碍,骨水泥在骨折线内弥散不佳可能会影响椎体成形术的近期疗效,并且可能是椎体成形术后骨折椎体发生进展性后凸畸形的危险因素。但是,本研究仅为回顾性病例观察,并且观察病例数相对较少,存在一定的局限性,今后仍有必要开展大样本、多因素分析或前瞻性随机对照研究来进一步证实。

4 参考文献

1. Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE, et al. The biomechanics

of vertebroplasty: the effect of cement volume on mechanical behavior[J]. Spine, 2001, 26(14): 1537-1541.

2. Kaufmann TJ, Trout AT, Kallmes DF. The effects of cement volume on clinical outcomes of percutaneous vertebroplasty[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2006, 27(9): 1933-1937.

3. 梁德, 江晓兵, 姚珍松, 等. 过伸体位下椎体成形术治疗 Kummell 病的近期疗效[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2010, 20(3): 260-261.

4. Ma R, Chow R, Shen FH. Kummell's disease: delayed post-traumatic osteonecrosis of the vertebral body[J]. Eur Spine J, 2010, 19(7): 1065-1070.

5. Li CH, Chang MC, Liu CL, et al. Osteoporotic burst fracture with spinal canal compromise treated with percutaneous vertebroplasty[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2010, 112(8): 678-681.

6. Barr JD, Barr MS, Lemley TJ, et al. Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization[J]. Spine, 2000, 25(22): 923-928.

7. Francis RM, Aspray TJ, Hide G, et al. Back pain in osteoporotic vertebral fractures[J]. Osteoporos Int, 2008, 19(7): 895-903.

8. Itshayek E, Miller P, Barzilay Y, et al. Vertebral augmentation in the treatment of vertebral compression fractures: review and new insights from recent studies[J]. J Clin Neurosci, 2012, 9(6): 786-791.

9. Furtado N, Oakland RJ, Wilcox RK, et al. A biomechanical investigation of vertebroplasty in osteoporotic compression fractures and in prophylactic vertebral reinforcement[J]. Spine, 2007, 32(17): 480-487.

10. Tanigawa N, Komemushi A, Kariya S, et al. Relationship between cement distribution pattern and new compression fracture after percutaneous vertebroplasty [J]. AJR Am J Roentgenol, 2007, 189(6): 348-352.

11. Chevalier Y, Pahr D, Charlebois M, et al. Cement distribution, volume, and compliance in vertebroplasty: some answers from an anatomy-based nonlinear finite element study [J]. Spine, 2008, 33(16): 1722-1730.

12. 张亮, 高梁斌, 李健, 等. 椎体成形术中椎体骨密度对骨水泥弥散体积的影响[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(11): 915-918.

(收稿日期:2013-09-08 末次修回日期:2013-11-06)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)