

骨水泥弥散类型与胸腰段椎体成形术后早期术椎塌陷的相关性研究

白杰¹ 陈荣彬^{1△} 李勇²

[摘要] **目的:**观察胸腰段椎体成形术(PVP)后三种骨水泥弥散类型对老年骨质疏松性压缩性骨折(OVCF)的临床疗效及早期术椎塌陷的影响。**方法:**对2017年1月至2018年12月采用PVP治疗OVCF($T_{11} \sim L_2$)90例病例进行比较研究,其中男13例,平均年龄(73.85 ± 8.16)岁,女77例,(70.58 ± 7.06)岁。术后常规摄胸腰段正侧位DR片,通过Photoshop图形处理软件分别计算术椎骨水泥弥散颗粒区和团块区面积,将弥散颗粒区面积与团块区面积的比值定义为 k 值, $k < 50\%$ 为团块型, $50\% \leq k \leq 100\%$ 为混合型, $k > 100\%$ 为弥散型,根据 k 值分为弥散组(28例)、团块组(31例)、混合组(31例),定义随访时X线侧位片术椎高度较术后椎体高度下降4 mm为术椎塌陷,通过观察比较三组的视觉模拟(VAS)评分,术前、术后及随访时椎体高度、Cobb角、椎体压缩率等指标,进行统计分析。**结果:**所有患者均获得随访,随访时间为1~11个月,平均(2.61 ± 2.06)个月。弥散型、团块型及混合型三种弥散类型构成 k 值分别为 154.88 ± 58.87 , 29.57 ± 13.48 和 73.30 ± 16.70 ,差异有统计学意义($P < 0.05$)。术后及随访时VAS评分及JOA评分各组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。术后随访时出现术椎塌陷:弥散组9例(32.1%),团块组12例(39%),混合组1例(3%)。随访时椎体压缩率、Cobb角及椎体高度三组比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**胸腰段PVP术后三种骨水泥弥散类型均可获得良好的治疗效果,骨水泥呈团块型分布是造成术后术椎塌陷的因素之一。

[关键词] 骨水泥弥散类型;椎体成形术;再塌陷;胸腰段

[中图分类号] R681.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2020)06-0026-06

Study on the Relationship between the Types of Cement Diffusion and the Collapse of Early Postoperative Vertebrae after Thoracolumbar Vertebroplasty

BAI Jie¹ CHEN Rongbin^{1△} LI Yong²

¹ The Second School of Clinical Medicine, Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, Guangzhou 510410, China;

² Zhuhai Hospital of Guangdong Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Zhuhai 519015, Guangdong China.

Abstract Objective: To observe the clinical efficacy and the impact on the early operated-vertebrae collapses from three diffuse types of bone cement after thoracolumbar percutaneous vertebroplasty (PVP) in treating geriatric osteoporotic vertebral compression fracture (OVCF). **Methods:** Retrospectively study 90 cases of OVCF($T_{11} \sim L_2$) treated with PVP from January 2017 to December 2018. They were 13 males with average age (73.85 ± 8.16) years and 77 females with average age (70.58 ± 7.06) years. Post-surgery standard frontal and lateral DR X-ray films were put into the graphic handling software Photoshop. Areas of the diffuse-granule region and the bulk region were calculated and defined k as the ratio of the area of the diffuse-granule region to that of the bulk region. $k < 50\%$ was defined as the bulk type, $50\% \leq k \leq 100\%$ was defined as the mixed type, and $k > 100\%$ was defined as the diffuse type. According to the values of k , there were 28 dif-

fuse-type cases, 31 bulk-type cases and 31 mixed-type cases. Decrease of 4 mm in the height of the operated vertebra was defined as collapse of operated vertebra. Visual Analog Score (VAS scoring), the heights of the operated vertebrae before and after the surgery, Cobb angle and compression rate of the vertebrae were documented and compared in this 3 groups.

Results: All patients were followed up ranged from 1 to 11

基金项目:广东省医学科学技术研究基金(A2018165)

广东省中医药管理局(20194010)

¹ 广州中医药大学第二临床医学院(广州, 510410)

² 广东省中医院珠海医院

[△]通信作者 E-mail: 469843897@qq.com

months with average (2.61 ± 2.06) months. The k values of the diffuse-type, bulk-type and mixed-type were 154.88 ± 58.87 , 29.57 ± 13.48 and 73.30 ± 16.70 respectively, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The between-group difference in VAS scoring of the post-surgery group and follow-up group was not statistically ($P > 0.05$). In terms of the vertebral collapse, 9 cases (32.1%) in the diffuse-type group, 12 cases (39%) in the bulk-type group and 1 case (3%) in the mixed-type group were found. Statistically significant differences among 3 groups were found in terms of the vertebral compression rate during follow-up, Cobb angle, and vertebra's height ($P < 0.05$). **Conclusion:** The diffuse bone cement types after the thoracolumbar PVP can acquire good therapeutic results, while bone cement with bulk-type distribution is one of the factors contributing to the post-surgery vertebral collapse.

Keywords: diffuse types of bone cement; vertebroplasty; recollapse; thoracolumbar

骨质疏松性椎体压缩性骨折 (Osteoporotic Vertebral Compression Fracture, OVCF) 是老年人最常见的疾病之一^[1], 可以引发急性或慢性腰背疼痛、脊柱功能受限、椎体高度丢失和生活质量下降^[2-3], 经皮椎体成形术 (Percutaneous Vertebroplasty, PVP) 和经皮椎体后凸成形术 (Percutaneous Kyphoplasty, PKP) 通过将骨水泥注射到骨折椎体, 达到稳定骨折椎体、迅速缓解疼痛的治疗目的, 在临床已得到广泛应用^[4]。术后早期出现术椎再次塌陷, 往往伴随椎体高度的丢失及后凸畸形进行性加重, 将导致再发腰背部疼痛、脊柱畸形, 严重者需再次行手术治疗稳定骨折椎体, 已经越来越受到关注^[5]。笔者前期研究表明^[6], PVP 术后出现术椎塌陷的发生率为 14.36%, 骨水泥弥散类型可能是影响 PVP 术后早期术椎塌陷的危险因素, 但其相关机制尚不明确, 且国内外相关研究报道较少。本研究通过对我院 2017 年 1 月至 2018 年 12 月收治的胸腰段椎体压缩性骨折 ($T_{11} \sim L_2$) 行双侧穿刺 PVP 治疗的病例进行回顾性分析, 旨在探讨不同骨水泥弥散类型对 PVP 术后治疗效果及早期术椎再塌陷的影响。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选择 2017 年 1 月至 2018 年 12 月在本院收治的 90 例胸腰段 ($T_{11} \sim L_2$) 单节段 OVCF 行椎体成形术患者, 其中男 13 例, 平均年龄 (73.85 ± 8.16) 岁; 女 77 例, 平均年龄 (70.58 ± 7.06) 岁; 随访时间为 1~11 个月, 平均 (2.61 ± 2.06) 个月。

1.2 诊断及纳入标准

诊断标准: 根据 2015 年《骨质疏松性椎体压缩性骨折的治疗指南》的诊断标准。纳入标准: 1) 有外伤史, 术前均存在腰背部疼痛、活动受限, 查体局部棘突及棘旁压痛、叩击痛; 2) 术前 X 线片、CT 及 MRI 检查明确胸腰段单个椎体压缩性骨折, 椎体压缩不超过 1/2; 3) 经双能 X 线骨密度测量仪测量腰椎骨密度 $T < -2.5SD$ 。同意参与本研究并签署知情同意书。

1.3 排除标准

1) 由于骨髓瘤、脊柱感染或转移性肿瘤导致的病

理性骨折; 2) ≥ 2 个椎体骨折; 3) 全身或局部感染、椎管内骨折块卡压所致相关神经症状。

1.4 手术方法及术后处理

患者取俯卧过伸体位, 局部麻醉, 经 C 臂机透视正侧位确定骨折椎体及椎弓根位置, 所有患者均行双侧椎弓根穿刺, 将穿刺针旋转穿过椎弓根, 直至椎体后 1/4, 安装骨水泥推注套管, 在 C 臂机透视监测下, 逐步注入骨水泥 3~5 mL, 术中把控骨水泥注入时间及管道深度, 以防骨水泥渗漏, 待骨水泥凝固后依次拔除工作套管, 缝合伤口。术后当日绝对卧床休息, 次日佩戴胸腰支具下地活动, 术后规范行抗骨质疏松治疗, 术后 1~3 d 内复查 X 线片及 CT 了解骨水泥充盈情况, 术后 1 个月、6 个月、12 个月复查 X 线片进行随访。

1.5 分组及观察指标

1.5.1 分组方法 依据术后复查 X 线正侧位片, 利用 Photoshop CS 5 图形处理软件, 通过快速选择及魔棒等工具, 分别选择弥散区与团块区, 查看直方图弥散区与团块区所占像素值, 通过 X 线片正侧位比例尺分别计算正侧位椎体骨水泥团块区面积 M_1 和弥散区面积 M_2 , 以正侧位弥散区和团块区面积平均值作为该椎体的弥散区面积和团块区面积。两者之间的比值定义为 k 值, 即 $k = M_1 / M_2$ ^[7], 定义 $k < 50\%$ 纳入团块型组, $50\% \leq k \leq 100\%$ 纳入混合型组, $k > 100\%$ 纳入弥散型组, 弥散类型分型方法见图 1。

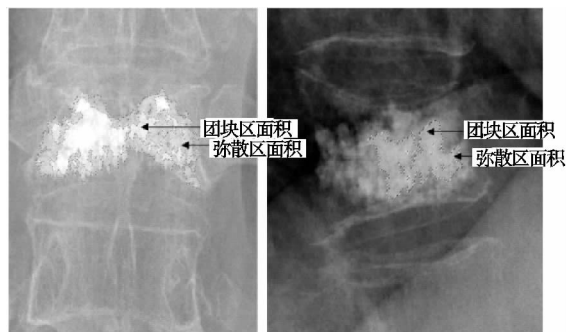


图 1 骨水泥弥散类型分型方法

设像素值为 N , 分辨率² 为 A , 平均弥散区 $M_1 = (\text{平均弥散区 } N/A) \times 6.45$, 平均团块区 $M_1 = (\text{平均团块区 } N/A) \times 6.45$, 骨水泥 k 值 = (平均弥散区 M_1 / 平

均团块区 $M_2) \times 100\%$ ^[5]。

1.5.2 观察指标 通过观察术前、术后 1 d、随访时视觉模拟量表 (VAS) 及日本骨科协会评估治疗分数 (JOA) 评估腰背部疼痛变化及功能改善情况。分别在术后 1 d、随访时复查正侧位 X 线片, 分别测量术前、术后 1 d、随访时椎体高度、Cobb 角、椎体高度压缩率, 其中椎体高度压缩率通过测量侧位 DR 片骨折椎体前壁、中间和后壁高度, 取所测前、中、后部椎体高度平均值为伤椎椎体高度, 椎体高度压缩率 = $[(\text{压缩前椎体高度} - \text{伤后或术后椎体高度}) / \text{压缩前椎体高度}] \times 100\%$ 。

1.6 统计学方法

采用 SPSS19.0 统计学软件进行处理分析, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 手术前后比较采取配对 t 检验, $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

本研究共纳入 90 例患者, 其中男 13 例, 女 77 例; 年龄 52~90 岁, 平均 (71.06 ± 7.28) 岁; 随访时间 1~11 个月, 平均 (2.61 ± 2.06) 个月。术中三组患者骨水泥注入量 1.8~5.4 mL, 平均 (3.85 ± 0.90) mL, 三组骨水泥注入量差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 如表 1 所示。

表 1 患者一般资料比较 ($\bar{x} \pm s$)

| 组别 | 例数 | 年龄/岁 | 随访时间/月 | 骨水泥注入量/mL |
|-----|----|-------------------|-----------------|-----------------|
| 弥散型 | 28 | 70.571 ± 6.59 | 2.68 ± 1.85 | 3.78 ± 1.00 |
| 团块型 | 31 | 70.90 ± 6.16 | 2.60 ± 2.25 | 4.15 ± 0.76 |
| 混合型 | 31 | 71.65 ± 8.92 | 2.55 ± 2.11 | 3.63 ± 0.87 |
| t | | 0.167 | 0.029 | 2.876 |
| P | | 0.846 | 0.971 | 0.062 |

2.2 三组骨水泥弥散情况

三组骨水泥弥散情况比较见表 2, 团块型、混合型、弥散型 3 组 k 值两两比较结果显示: 弥散型 k 值显著高于团块型、混合型, 混合型 k 值显著高于团块型, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 典型骨水泥弥散类型见图 2-4。

表 2 三组骨水泥弥散构成 k 值比较

| 分组 (I) | 分组 (J) | 平均差 (I-J) | 标准误 | P |
|--------|--------|---------------------------|-----------|----------|
| 弥散型 | 团块型 | 125.308 94 ¹⁾ | 11.386 04 | <0.001 |
| | 混合型 | 81.570 55 ¹⁾ | 11.522 74 | <0.001 |
| 团块型 | 弥散型 | -125.308 94 ¹⁾ | 11.386 04 | <0.001 |
| | 混合型 | -43.738 39 ¹⁾ | 3.853 68 | <0.001 |
| 混合型 | 弥散型 | -81.570 55 ¹⁾ | 11.522 74 | <0.001 |
| | 团块型 | 43.738 39 ¹⁾ | 3.853 68 | <0.001 |

注: 1) 组间比较, $P < 0.05$ 。

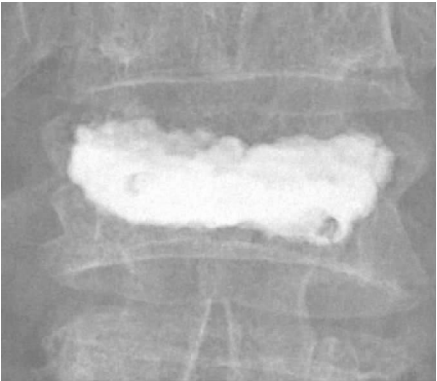


图 2 骨水泥呈团块型分布 ($k=27\%$)



图 3 骨水泥呈混合型分布 ($k=75\%$)

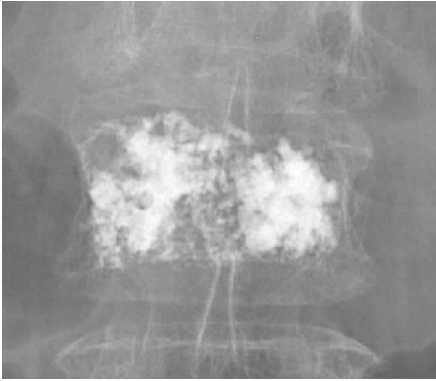


图 4 骨水泥呈弥散型分布 ($k=143\%$)

2.3 三组骨水泥弥散类型 VAS 及 JOA 评分比较

三组患者骨水泥弥散类型 VAS 及 JOA 评分比较见表 3-4, 统计分析结果显示: 对于 VAS 评分, 三组间在术前、术后、随访时比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。对于 JOA 评分, 三组间的术前 JOA 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 三组间的随访 JOA 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

| 表 3 三组患者术前、术后及随访时的 VAS 评分($\bar{x}\pm s$) | | | | |
|---|----|-----------|-----------|-----------|
| 组别 | 例数 | 术前 | 术后 | 随访 |
| 弥散型 | 28 | 7.54±0.84 | 3.61±2.41 | 1.57±0.57 |
| 团块型 | 31 | 7.03±0.95 | 3.32±3.08 | 1.68±1.11 |
| 混合型 | 31 | 7.32±0.79 | 2.94±2.13 | 1.29±0.53 |
| <i>t</i> | | 2.543 | 0.507 | 1.989 |
| <i>P</i> | | 0.084 | 0.604 | 0.143 |

2.4 三组椎体高度、Cobb 角及椎体压缩率比较

三组的椎体高度、Cobb 角及椎体压缩率比较结果见表 5,对于 Cobb 角,三组间在术前比较差异有统计学意义,弥散型术前 Cobb 显著高于混合型($P<0.05$);三组间在术后比较差异有统计学意义,团块型术后 Cobb 角显著高于混合型($P<0.05$);三组间在随

访时比较差异有统计学意义,弥散型、团块型随访时的 Cobb 均显著高于混合型($P<0.05$)。对于椎体压缩率指标(见图 5),三组间的椎体压缩率比较差异有统计学意义,团块型的椎体压缩率要显著高于混合型($P<0.05$)。

| 表 4 三组患者术前及随访时的 JOA 评分($\bar{x}\pm s$) | | | |
|--|----|------------|------------|
| 组别 | 例数 | 术前 | 随访 |
| 弥散型 | 28 | 11.82±1.85 | 23.93±1.39 |
| 团块型 | 31 | 11.61±1.63 | 24.06±1.00 |
| 混合型 | 31 | 12.16±1.79 | 24.19±1.45 |
| <i>t</i> | | 0.803 | 0.311 |
| <i>P</i> | | 0.669 | 0.734 |

| 表 5 三组椎体高度、Cobb 角及椎体压缩率比较($\bar{x}\pm s$) | | | | | | | | |
|---|----|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| 组别 | 例数 | 椎体高度/mm | | | Cobb 角/(°) | | | 椎体压缩率 |
| | | 术前 | 术后 | 随访 | 术前 | 术后 | 随访 | |
| 弥散型 | 28 | 2.05±1.63 | 2.17±0.42 | 1.85±0.46 | 14.26±8.24 | 9.32±5.97 | 12.34±8.36 | 0.15±0.12 |
| 团块型 | 31 | 1.73±0.39 | 2.09±0.32 | 1.74±0.42 | 12.65±5.81 | 9.01±3.52 | 11.74±5.06 | 0.18±0.13 |
| 混合型 | 31 | 2.05±0.33 | 2.43±0.32 | 2.19±0.40 | 10.02±3.54 | 6.47±1.94 | 7.62±1.79 | 0.10±0.10 |
| <i>t</i> | | 1.102 | 8.066 | 9.101 | 3.668 | 4.448 | 6.326 | 3.134 |
| <i>P</i> | | 0.337 | 0.001 | <0.001 | 0.030 | 0.014 | 0.003 | 0.048 |

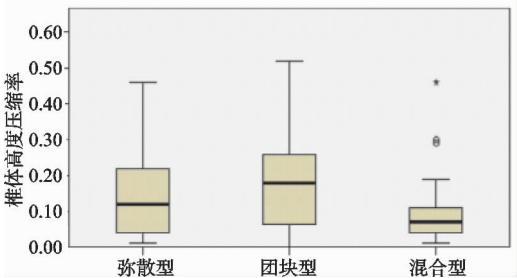


图 5 三组椎体高度压缩率比较

3 讨论

PVP 和 PKP 是治疗 OVCF 的有效微创术式,因其可强化椎体、有效缓解疼痛、恢复压缩椎体高度和脊柱稳定性,已在临床得到广泛应用^[7-8]。但大量研究表明,PVP 和 PKP 术后恢复的椎体高度存在再塌陷的情况,Niu 等^[9]以术后椎体高度下降超过 4 mm 为标准,有 14% 的患者出现术椎再塌陷;Yu 等^[10]以术后椎体高度丢失≥15%或椎体后凸角度增加 10%为标准,分别有 26% 和 32.7% 的患者出现术椎塌陷。本研究中,以手术椎体高度下降 4 mm 为标准,术后出现术椎塌陷率为 25%,其中骨水泥呈团块型分布术后早期出现术椎塌陷的发生率为 39%,混合型发生率最低,发生率为 3%。

术后椎体高度的丢失可导致术后疼痛的再发生、脊柱后凸畸形^[11],甚至需要翻修手术^[12-13]。国内外研究表明,椎体成形术后出现术椎再塌陷与 PVP 和 PKP 术式的选择、术前椎体压缩程度、术后椎体高度恢复程度、骨水泥的注入量、椎体内裂隙的存在及骨质

疏松程度相关^[9-10,12-14],同时骨折椎体位于胸腰段也是一个不可忽视的重要因素,其特殊的生物力学结构导致椎体长期处于高负荷状态。既往研究表明,出现术椎塌陷的患者大部分位于胸腰段^[9],此外,Li 等^[15]认为骨密度过低与术椎再塌陷密切相关,骨质疏松后椎体内骨小梁排列稀疏,椎体的强度和抗压性显著降低,加之外伤后骨折部位急性骨量丢失,伤椎即使得到强化,在无成骨作用下骨量减少不能得到逆转,导致术后易出现再塌陷。Imai 等^[16]通过有限元分析研究骨质疏松对老年妇女腰椎应力的影响,表明骨质疏松后由于骨折小梁比例的增加,椎体骨折部位易集中于骨小梁中心区域,在椎间盘退变后,椎体周围成为高应变区,尤以椎体前缘较为显著。随着年龄的增长,松质骨主要发生穿孔性改变,而破骨细胞吸收已穿孔的小梁骨,导致骨小梁的连接性破坏;当新生小梁骨不能充分取代变性的小梁骨微结构时,骨小梁连接发生紊乱,导致脆性增加而易发骨折^[17]。

椎体成形术中骨水泥在椎体的弥散形式和注入量一直是国内外研究的焦点,骨水泥的弥散形式以团块型、混合型和弥散型为主,本研究发现 3 种骨水泥弥散类型术后及随访时 VAS 评分差异无统计学意义,表明 3 种骨水泥弥散类型早期均能取得良好的治疗效果。赵永生等^[18]同样认为,团块型、弥散型、混合型 3 种骨水泥弥散方式的中早期疗效差异不明显。笔者前期的一项大样本回顾性研究表明^[6,19],骨水泥呈团块型分布可能是导致椎体成形术后出现术椎塌陷的危险

因素,本研究结果显示,骨水泥呈团块型术椎的椎体压缩率显著高于弥散型和混合型,差异有统计学意义($P < 0.05$),而混合型在术后随访时 Cobb 角及椎体塌陷率方面,显著低于弥散型及团块型,证实骨水泥呈团块型分布易致早期术椎再塌陷,这与前期研究结论一致,而术椎呈混合型弥散分布可能是较为理想的弥散类型。

骨水泥在椎体内的集中分布可能是影响椎体骨折的危险因素。骨水泥在椎体内弥散不均匀,导致椎体及椎体间的应力分布不均,可能会加速相邻椎间盘的退变以及邻近节段的骨折,同时,应力在椎体内部的分布不均匀,可能导致椎体内未经强化区域出现微小骨折^[20]。PVP 骨水泥在椎体内部的弥散效果要优于 PKP,原因在于 PKP 手术的球囊扩张过程中,将伤椎骨小梁向周围挤压,压缩的骨小梁阻止了骨水泥的弥散,导致骨水泥在椎体内形成团块状,不利于应力的均匀分散。椎体内骨水泥弥散分布不均,导致应力分布不均,引起未强化区发生塌陷^[21]。Kim 等^[22]认为骨水泥注入椎体后明显增加椎体的刚度,而骨水泥呈团块型分布的椎体刚度明显低于骨水泥贯穿骨小梁间隙分布的刚度,这容易导致团块状骨水泥周围的松质骨压缩,导致术椎再塌陷。Lee 等^[23]研究表明,术椎再塌陷主要发生在未被骨水泥填充的上半部分,认为骨水泥伤椎上终板的距离更能准确地反映骨水泥的分散程度,距离过大增加术椎高度再丢失的风险。笔者认为骨水泥呈团块型分布时,骨水泥的集中分布可能增加了术椎上下终板的应力,加之骨水泥注入后可能破坏上下终板骨水泥未被填充区域的松质骨^[24],进而导致术椎的再塌陷,而骨水泥呈混合型分布时,骨折区域充分弥散的同时,周围松质骨也被骨水泥充分弥散,术椎应力分布均匀,在一定程度上降低出现术椎再塌陷的风险。

本研究结果显示,椎体成形术后出现术椎再塌陷的发生率较高,骨水泥呈团块型分布容易导致术后早期术椎再塌陷,而骨水泥呈混合型分布有可能降低其发生的风险,骨水泥的弥散分布形式与骨水泥注入时间密切相关,因此在椎体成形术中应严格把握骨水泥的注入时间,注重骨水泥的对称性、均匀弥散分布,在兼顾骨折区域骨水泥填充的同时,还应注重非骨折区域骨水泥的弥散情况。本研究不足之处在于纳入样本量较少,未对其相关生物力学机制进行探讨,今后亟需进行大样本的临床研究及生物力学研究。

参考文献

[1] YU W B,JIANG X B,LIANG D,et al. Risk factors and score for recollapse of the augmented vertebrae after percutaneous vertebroplasty in osteoporotic vertebral com-

pression fractures[J]. *Osteoporos Int*, 2019, 30(2): 423-430.

- [2] LEE S K,LEE S H,YOON S P,et al. Quality of life comparison between vertebroplasty and kyphoplasty in patients with osteoporotic vertebral fractures [J]. *Asian Spine J*, 2014, 8(6): 799-803.
- [3] DRAMPALOS E, NIKOLOPOULOS K, BALTAS C, et al. Vertebral fracture assessment: current research status and application in patients with kyphoplasty [J]. *World J Orthop*, 2015, 6(9): 680-687.
- [4] BUCHBINDER R, JOHNSTON R V, RISCHIN K J, et al. Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018, 11: CD006349.
- [5] HE D, LOU C, YU W, et al. Cement distribution patterns are associated with recompression in cemented vertebrae after percutaneous vertebroplasty: a retrospective study [J]. *World Neurosurg*, 2018, 120: 1-7.
- [6] 吴钊钊, 陈荣彬, 李勇, 等. 骨水泥弥散类型与椎体强化术后再次发术椎塌陷的相关性分析 [J]. *中国医药导报*, 2018, 15(27): 62-65.
- [7] STEVENSON M, GOMERSALL T, LLOYD JONES M, et al. Percutaneous vertebroplasty and percutaneous balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral fractures: a systematic review and cost-effectiveness analysis [J]. *Health Technol Assess*, 2014, 18(17): 1-290.
- [8] TSOUMAKIDOU G, TOOC W, KOCH G, et al. CIRSE guidelines on percutaneous vertebral augmentation [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2017, 40(3): 331-342.
- [9] NIU J, ZHOU H, MENG Q, et al. Factors affecting recompression of augmented vertebrae after successful percutaneous balloon kyphoplasty: a retrospective analysis [J]. *Acta Radiol*, 2015, 56(11): 1380-1387.
- [10] YU W, LIANG D, YAO Z, et al. Risk factors for recollapse of the augmented vertebrae after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral fractures with intra-vertebral vacuum cleft [J]. *Medicine*, 2017, 96(2): e5675.
- [11] KIM Y Y, RHYU K W. Recompression of vertebral body after balloon kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(11): 1907-1912.
- [12] LI X, LU Y, LIN X. Refracture of osteoporotic vertebral body after treatment by balloon kyphoplasty: three cases report [J]. *Medicine*, 2017, 96(49): e8961.
- [13] HA K Y, KIM K W, KIM Y H, et al. Revision surgery after vertebroplasty or kyphoplasty [J]. *Clin Orthop Surg*, 2010, 2(4): 203-208.
- [14] HWEE WENG D H, JUN H T, CHUEN S T, et al. Subsequent vertebral fractures post cement augmentation of the thoracolumbar spine: does it correlate with level-spe-

- cific bone mineral density scores[J]. Spine,2015,40(24):1903-1909.
 - [15] LI Y X, GUO D Q, ZHANG S C, et al. Risk factor analysis for recollapse of cemented vertebrae after percutaneous vertebroplasty(PVP) or percutaneous kyphoplasty(PKP) [J]. Int Orthop, 2018(1):1-9.
 - [16] IMAI K, OHNISHI I, YAMAMOTO S, et al. In vivo assessment of lumbar vertebral strength in elderly women using computed tomographybased nonlinear finite element model[J]. Spine, 2008, 33(1):27-32.
 - [17] CHEN H, SHOUMUR A S, EMUR A S, et al. Regional variations of vertebral trabecular bone microstructure with age and gender [J]. Osteoporos Int, 2008, 19(10):1473-1483.
 - [18] 赵永生, 李强, 历强, 等. 骨水泥弥散类型对治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的影响[J]. 中国骨伤, 2017, 30(5):446-452.
 - [19] 何奇龙, 陈荣彬, 李勇. 骨水泥的弥散情况对经皮椎体成形的疗效影响[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2018, 26(6):51-55.
 - [20] 张煜, 张绍东. 椎体成形术后手术椎体再塌陷的危险因素[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(5):459-462.
 - [21] 蓝涛, 陈扬, 杨欣建. 椎体成形术后再骨折研究进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(2):179-182.
 - [22] KIM M J, LINDSEY D P, HANNIBAL M, et al. Vertebroplasty versus kyphoplasty: biomechanical behavior under repetitive loading conditions [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(18):2079-2084.
 - [23] LEE J H, LEE D O, LEE J H, et al. Comparison of radiological and clinical results of balloon kyphoplasty according to anterior height loss in the osteoporotic vertebral fracture [J]. Spine J, 2014, 14(10):2281-2289.
 - [24] LIANG D, YE L, JIANG X, et al. Biomechanical effects of cement distribution in the fractured area on osteoporotic vertebral compression fractures: a three-dimensional finite element analysis [J]. J Surg Res, 2015, 195(1):246-256.
- (收稿日期:2019-12-18)
-
- (上接第 25 页)
- [6] 韩宇, 陈高扬, 王庆宇, 等. 跖腱膜炎的病因及诊治研究进展[J]. 中国体视学与图像分析, 2019, 24(1):37-45.
 - [7] IRVING D B, COOK J L, MENZ H B. Factors associated with chronic plantar heel pain: a systematic review[J]. J Sci Med Sport, 2006, 9(1/2):1-22.
 - [8] BINA E, ARASHBG, VAHIDEH Z. Dry needling in patients with chronic heel pain due to plantar fasciitis: a single-blinded randomized clinical trial[J]. Med J Islam Repub Iran, 2016, 30(1):401-409.
 - [9] 张庆来, 孟站领. 正常青年人左右足底压力分布特征的对比如分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(5):889-892.
 - [10] GRANT A D. Gait analysis: normal and pathological function[J]. The Journal of the American Medical Association, 2010, 304(8):907-917.
 - [11] LEAGUE A C. Current concepts review: plantar fasciitis [J]. Foot Ankle Int, 2008, 29(3):358-366.
 - [12] BOLIVAR Y A, MUNUERA P V, PADILLO J P. Relationship between tightness of the posterior muscles of the lower limb and plantar fasciitis[J]. Foot Ankle Int, 2013, 34(1):42-48.
 - [13] SULLIVAN J, BURNS J, ADAMS R, et al. Musculoskeletal and activity-related factors associated with plantar heel pain[J]. Foot Ankle Int, 2015, 36(1):37-45.
 - [14] 曾秋, 梁晓军, 李毅, 等. 氟比洛芬巴布膏镇痛下的拉伸锻炼治疗足底筋膜炎的疗效[J]. 国外医学:医学地理分册, 2019, 40(2):167-170.
 - [15] ZHANG M, ZHANG D W, YU J, et al. Human foot three-dimensional finite element of modeling and its biomechanical applications[J]. J Med Biomech, 2007, 22(4):339-344.
- (收稿日期:2019-12-09)