

临床论著

经皮椎体成形术骨水泥分布评价及影响因素分析

刘长枫, 宋文慧, 刘昌文, 梁凯恒, 张锐熙, 李永涛

(山西医科大学第二医院骨科 030000 太原市)

【摘要】目的:探讨一种评价经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)骨水泥分布的新方法,并分析不同骨水泥分布的影响因素。**方法:**回顾性分析 2015 年 5 月~2018 年 5 月在我科行 PVP 治疗的 132 例骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)患者,男 23 例,女 109 例,年龄 77.33 ± 8.27 岁。根据术后正侧位 X 线片和不同层面 CT 图像上的骨水泥分布形态,计算骨水泥在椎体内的空间分布评分,将患者分为两组,A 组评分为 0~7 分,B 组评分为 8~10 分。两组患者术前、术后 1d、术后 3 个月、术后 6 个月及术后 12 个月进行疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS);记录两组患者年龄、性别、术前骨密度值、骨折天数(骨折发生日期至手术日期),使用三维重建 CT 图像测量手术椎体体积、骨水泥体积并计算骨水泥填充率。比较两组患者上述临床资料及影像学参数差异以筛选骨水泥分布的潜在影响因素,多因素 Logistic 回归分析确定独立影响因素,构建受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC),确定骨水泥填充率的临界值。**结果:**A 组患者 62 例,B 组患者 70 例。骨水泥分布情况:2 分 2 例,3 分 8 例,4 分 6 例,5 分 8 例,6 分 10 例,7 分 28 例,8 分 32 例,9 分 22 例,10 分 16 例。两组患者术后 1d、3 个月、6 个月及 12 个月的 VAS 评分与术前相比明显改善($P < 0.05$)。B 组患者术后 3 个月 VAS 评分小于 A 组($P < 0.05$),术后 1d、6 个月及 12 个月的 VAS 评分两组间无显著性差异($P > 0.05$)。B 组患者的骨折后手术时间明显小于 A 组,差异有统计学意义($P < 0.05$);B 组患者骨水泥体积、填充率均大于 A 组患者,差异有统计学意义($P < 0.05$)。多因素 Logistic 回归分析结果显示,骨水泥填充率是骨水泥分布的独立影响因素($OR = 1.413$; 95%CI: 1.202, 1.660)。骨水泥填充率的 ROC 曲线下面积为 0.778(95%CI: 0.697~0.846, $P < 0.05$),达到骨水泥广泛分布的临界值为 28.1%,此时对应的敏感性和特异性分别为 67.14%和 75.81%。**结论:**PVP 能够有效缓解 OVCF 患者疼痛,骨水泥分布范围随骨折时间延长而减小。骨水泥填充率是骨水泥分布的重要独立影响因素,当骨水泥填充率达到 28.1%时即可实现广泛的骨水泥分布。

【关键词】骨质疏松性椎体压缩性骨折;经皮椎体成形术;骨水泥分布;填充率

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.11.07

中图分类号:R683.2 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2019)-11-1001-08

Evaluation and influencing factor analysis of bone cement distribution after percutaneous vertebroplasty/LIU Changfeng, SONG Wenhui, LIU Changwen, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2019, 29(11): 1001-1008

【Abstract】Objectives: To explore a new method for evaluating the distribution of bone cement in percutaneous vertebroplasty(PVP), and then to analyze the influencing factors of bone cement distribution. **Methods:** From May 2015 to May 2018, a total of 132 patients(23 males and 109 females, mean age 77.33 ± 8.27 years) with osteoporotic vertebral compression fracture(OVCF) who underwent PVP were recruited in this retrospective analysis study. The spatial distribution score of bone cement in the vertebral body was calculated according to postoperative X-ray and CT, and patients were allocated to two groups: group A: 0-7 points and group B: 8-10 points. The visual analogue scale(VAS) at preoperation, one-day, three-month, six-month and 12-month follow-up were compared between the two groups. The age, sex, preoperative bone mineral density, and number of fracture days (fracture date to surgery date) were recorded. Furthermore, the volume of the vertebral body, volume of bone cement and filling rate of bone cement were measured by using 3D reconstructed CT

基金项目:山西省应用基础研究项目(编号:201801D121324)

第一作者简介:男(1994-),硕士在读,研究方向:脊柱外科

电话:(0351)3365103 E-mail:Surgeonlcf@163.com

通讯作者:宋文慧 E-mail:songwenhui301@sina.com

images. Potential influencing factors were screened after comparing the difference between the clinical and radiologic parameters in the two groups. Multivariate logistic regression analysis was performed to identify the independent influencing factors of bone cement distribution. Meanwhile, a receiver operating characteristic curve(ROC) was used to determine the cut-off value of the bone cement filling rate. **Results:** There were 62 patients in group A and 70 patients in group B. Distribution conditions of bone cement include: 2 points 2 cases, 3 points 8 cases, 4 points 6 cases, 5 points 8 cases, 6 points 10 cases, 7 points 28 cases, 8 points 32 cases, 9 points 22 cases, and 10 points 16 cases. VAS scores at one-day, three-month, six-month and 12-month follow-up improved significantly compared with preoperative ones in both groups($P<0.05$). Group B had a better restoration of VAS scores at three-month follow-up than group A($P<0.05$), but no significant difference was observed at one-day, six-month and 12-month follow-up. In group B, the number of days from fracture to surgery was significantly smaller than that of group A($P<0.05$), while the bone cement volume and the filling rate were bigger than those in group A($P<0.05$). Filling rate was identified as the independent risk factor influencing the distribution of bone cement by multivariate logistic regression analysis (OR=1.413, 95% CI: 1.202–1.660). The area under the receiver operating characteristic curve of filling rate was 0.778(95% CI: 0.697–0.846, $P<0.05$). The cut-off value of filling rate to reach a wide bone cement distribution was 28.1%, with a sensitivity of 67.14% and a specificity of 75.81% respectively. **Conclusions:** PVP can effectively relieve the pain of OVCF, and the bone cement distribution area gradually reduces with the extension of fracture time. Filling rate was identified as the independent risk factor influencing the distribution of bone cement, and a wide bone cement distribution can be achieved when the filling rate reaches 28.1%.

[Key words] Osteoporotic vertebral compression fracture; Percutaneous vertebroplasty; Bone cement distribution; Filling rate

[Aurthor's address] Department of Orthopedics, Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan, 030000, China

骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)已成为全世界最常见的骨质疏松性骨折,其发生率在 50 岁以上人群中占 30%~50%^[1]。经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)创伤小、恢复快、疗效好,被广泛应用于 OVCF 的治疗^[2-3]。多项随机对照试验与荟萃分析研究表明,与保守治疗相比,患者 PVP 术后短中期疼痛缓解更显著,患者能通过早期功能锻炼获得更高的生活质量^[4-7]。骨水泥作为 PVP 主要的填充材料,其在椎体内的分布是影响术后疗效的关键因素。近年来,诸多学者评估 PVP 术后影像学资料发现,局限、偏态的骨水泥分布模式会使患者疼痛症状不缓解,手术椎体前缘高度丢失,甚至导致骨折复发以及相邻椎体的压缩骨折^[8-11]。尽管 PVP 术后疗效与骨水泥分布相关,但骨水泥在椎体内的分布缺乏公认的评判标准。原因在于骨水泥在椎体内的弥散与诸多因素相关,其分布形态复杂多样。目前,关于骨水泥分布的影响因素,国内文献鲜有研究报道。本研究回顾性分析我院脊柱外科收治并采用 PVP 治疗的 OVCF 患者临床资料,提出评价骨水泥分布的新方法,探究影响椎体内骨水泥分布的相关因素以

及骨水泥分布与骨水泥体积间的剂量关系。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集我院脊柱外科 2015 年 5 月~2018 年 5 月行 PVP 治疗的 OVCF 患者共 132 例,男 23 例,女 109 例,年龄 77.33 ± 8.27 岁(55~87 岁)。纳入标准:①术前腰椎(L1~L5)平均骨密度 ≤ -2.5 (T 值);②单节段胸腰椎骨折,无 PVP 手术史;③双侧椎弓根注入骨水泥。排除标准:①椎体转移性肿瘤、良性肿瘤、感染或其他疾病引起的病理性骨折;②由于脊髓或神经根受损致神经功能障碍;③既往有椎体压缩骨折病史或有 PVP 手术史;④发生骨水泥椎间盘渗漏或伴有术后神经功能缺损的患者;⑤影像学诊断“椎体裂隙征”的患者。132 例患者术前均行 X 线片、CT 三维重建及 MRI 检查。结合患者术前疼痛症状、体格检查及 MRI 结果(T1 加权像低信号、T2 加权像高信号或等信号、脂肪抑制序列高信号)确诊为新鲜的 OVCF,并确定疼痛责任椎体。术后复查 X 线片及 CT 三维重建。所有患者临床资料完整且随访时间大于 1 年。

1.2 手术方法

患者取俯卧位,胸前及髂前上棘垫枕,脊柱过伸位复位。选择双侧椎弓根穿刺途径穿刺,C型臂X线透视调整方向,使椎体的上、下终板呈一条直线,双侧椎弓根影以棘突为中心对称分布,确定手术椎体及穿刺点位置并标记。常规消毒后,用1%利多卡因在穿刺点周围进行局部麻醉。做一0.5cm皮肤切口,将穿刺针针尖置于双侧椎弓根影外上缘(左侧10点钟、右侧2点钟位置),缓慢锤击穿刺针,当透视正位见穿刺针尖端位于椎弓根中心时,侧位见穿刺针尖端抵达椎弓根前后中点。继续锤击穿刺针,直至正位穿刺针尖端接近椎弓根内缘时,侧位见穿刺针尖端已抵达椎体后壁。穿刺针继续进入约2~3mm,完成穿刺。调制骨水泥,拔出穿刺针针芯,并将液压推管与穿刺套管连接。在实时动态监测透视下,由前向后缓慢、定量、间隔注入拉丝后期骨水泥,骨水泥注入量根据椎体大小、骨折类型及压缩程度决定。骨水泥注入完成后分离液压装置与穿刺套管,插入针芯。观察15min后拔出穿刺针,术毕。术后24h佩戴支具下床活动。

1.3 影像学评价

引入半定量评分系统量化骨水泥的空间分布。根据术后正侧位X线片上的骨水泥分布特征,计算冠状面和矢状面的分布评分;根据术后不同层面CT图像上的骨水泥分布形态来计算水平面的分布评分(图1)。(1)水平面:选择手术椎体平面的CT图像,通过椎体中心分别作一水平线和垂线,将椎体分成四个区域,综合每一平面上骨水泥分布情况计算骨水泥水平面分布得分(图1a)。4分:骨水泥分布于四个区域;3分:骨水泥分

布于四个区域中的三个;2分:骨水泥分布于四个区域中的两个;1分:骨水泥分布于四个区域中的一个;0分:骨水泥在水平面上的分布面积忽略不计。(2)矢状面:选择术后X线侧位图像,沿椎体前壁作两条垂直于椎体前缘的直线将椎体均分为上、中、下三部分,观察并计算骨水泥矢状面分布得分(图1b)。3分:骨水泥分布于矢状面上、中、下三部分;2分:骨水泥分布于矢状面的上、中、下其中的两部分;1分:骨水泥分布于矢状面的上、中、下其中的一部分;0分:骨水泥在矢状面上的分布面积忽略不计。(3)冠状面:选择术后X线正位图像,沿椎体上缘作两条垂直于椎体上终板的直线将椎体均分为左、中、右三部分,观察并计算骨水泥冠状面分布得分(图1c)。3分:骨水泥分布于冠状面左、中、右三部分;2分:骨水泥分布于冠状面左、中、右其中的两部分;1分:骨水泥分布于冠状面左、中、右其中的一部分;0分:骨水泥在矢状面上的分布面积忽略不计。每个区域内骨水泥分布面积大于50%,则认为骨水泥分布在该区域内;如果小于50%则认为骨水泥在该区域内分布忽略不计。

水平面评分以得分最高平面计入,与矢状面和冠状面得分相加,得到骨水泥空间分布评分并分为两组:A组,0~7分,骨水泥在椎体内局限分布;B组,8~10分,骨水泥在椎体内广泛分布。

1.4 椎体及骨水泥体积的测量

术后对患者行CT三维重建检查,将CT图像数据导出为DICOM格式文件,再将文件导入Mimics软件。分别测量椎体体积与骨水泥分布体积,并计算骨水泥的填充率。椎体体积:根据骨质

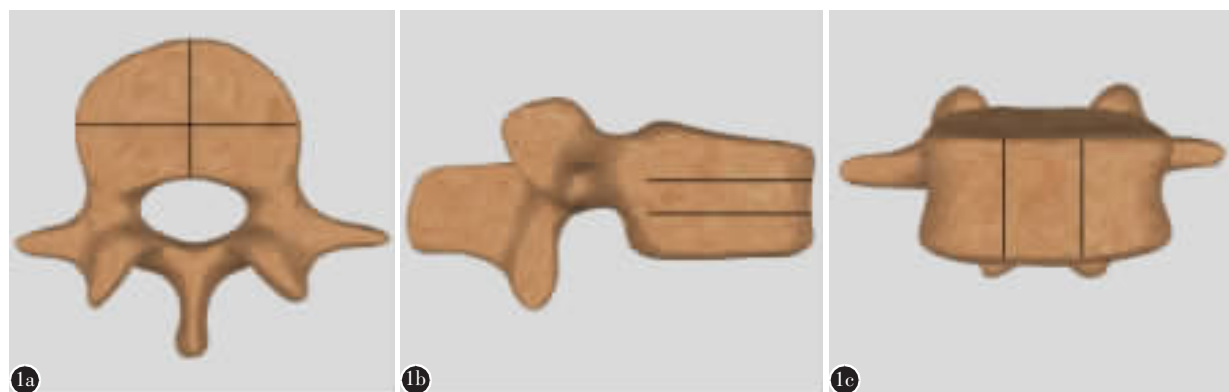


图1 PVP术后骨水泥的影像学分布评分 a 水平面评价方式 b 矢状面评价方式 c 冠状面评价方式

Figure 1 Radiographic score of bone cement distribution after PVP a Axial evaluation b Sagittal evaluation c Coronal evaluation

及骨水泥的 CT 值,选择阈值(226~3071)进行图像分割,定位手术椎体后擦除双侧横突、椎弓根和椎板,逐层勾勒出椎体边界后进行三维重建得出椎体体积。骨水泥体积:根据骨水泥的 CT 值,选择阈值(1000~3071)进行图像分割,逐层勾勒出骨水泥边界后进行三维重建得出骨水泥体积。填充率:骨水泥体积/椎体体积。

1.5 观察指标

选择可能影响骨水泥分布的相关因素,包括患者年龄、性别、术前骨密度值、骨折天数(骨折发生至手术日期)。评价并记录术前、术后 1d、术后 3 个月、术后 6 个月、术后 12 个月的疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)。

1.6 统计学分析

采用 SPSS 22.0(SPSS 公司,美国)软件行统计学处理,计量资料用均数±标准差表示,计数资料用数字(百分比)表示。两组患者术前及术后不同随访时间的 VAS 评分比较采用成组设计资料 *t* 检验。再行单因素分析,两组间年龄、骨密度、骨折天数、椎体体积、骨水泥体积和填充率比较采用独立样本 *t* 检验或 Mann-Whitney U 检验,性别比较采用 χ^2 检验。对骨水泥分布有潜在影响的相关变量($P<0.05$)行多因素 Logistic 回归分析,并构建受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

2.1 骨水泥空间分布情况与疼痛评估

纳入研究的 132 例患者均顺利完成手术,无一例出现严重的手术并发症。A 组患者 62 例, B 组患者 70 例。骨水泥分布情况:2 分 2 例,3 分 8 例,4 分 6 例,5 分 8 例,6 分 10 例,7 分 28 例,8 分 32 例,9 分 22 例,10 分 16 例。两组患者术后疼痛症状均得到显著缓解,术后 1d、3 个月、6 个月和 12 个月的 VAS 评分与术前比较明显下降($P<0.05$);B 组患者术后 3 个月 VAS 评分小于 A 组($P<0.05$);两组术前、术后 1d、术后 6 个月和术后 12 个月 VAS 评分的组间差异无统计学意义($P>0.05$,表 1)。

2.2 骨水泥分布的影响因素

两组性别、年龄、骨密度比较均无统计学意义($P>0.05$);B 组患者的骨折天数明显小于 A 组,差异有统计学意义($P<0.05$);两组骨水泥体积、填充

率比较, B 组患者均大于 A 组,差异有统计学意义($P<0.05$,表 2,图 2、3)。多因素 Logistic 回归分析结果显示,填充率是骨水泥分布的独立影响因素($P<0.05$,表 3)。

2.3 骨水泥分布的 ROC 曲线分析

骨水泥体积 ROC 曲线下面积为 0.658(95% CI:0.570~0.738, $P<0.05$);填充率的 ROC 曲线下面积为 0.778(95% CI:0.697~0.846, $P<0.05$)。骨水泥广泛分布的临界值为 28.1%,此时对应的敏感性和特异性分别为 67.14%和 75.81%(表 4,图 4)。

3 讨论

由于研究目的不同且术后影像学资料片面单

表 1 两组患者术前、术后 VAS 评分对比

Table 1 VAS of pre-operation and post-operation

	A组(n=62) Group A	B组(n=70) Group B
术前 Preoperative	8.02±0.50	8.12±0.38
术后 1 天 Postoperative 1 day	2.64±0.49 ^①	2.59±0.49 ^①
术后 3 个月 Postoperative 3 months	2.61±0.45 ^①	2.38±0.43 ^{①②}
术后 6 个月 Postoperative 6 months	1.85±0.71 ^①	1.83±0.64 ^①
术后 12 个月 Postoperative 12 months	1.49±0.82 ^①	1.45±0.78 ^①

注:①与术前比较 $P<0.05$;②与 A 组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperative data, $P<0.05$; ②Compared with group A, $P<0.05$

表 2 影响骨水泥分布的单因素分析

Table 2 Single factor analysis for the factors that affect bone cement distribution

	A组(n=62) Group A	B组(n=70) Group B
性别(男/女) Gender(male/female)	11/51	12/58
年龄(岁) Age(year)	72.24±7.86	74.42±8.65
骨密度(T 值) Bone mineral density	-3.68±0.83	-3.64±0.97
骨折天数(d) Fracture days	20.76±14.81	11.27±8.16 ^①
椎体体积(ml) Volume of the vertebral body	27.26±6.15	27.44±6.11
骨水泥体积(ml) Volume of bone cement	7.00±2.20	8.31±2.11 ^①
填充率(%) Filling rate	25.39±4.63	30.38±4.17 ^①

注:①与 A 组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with group A, $P<0.05$

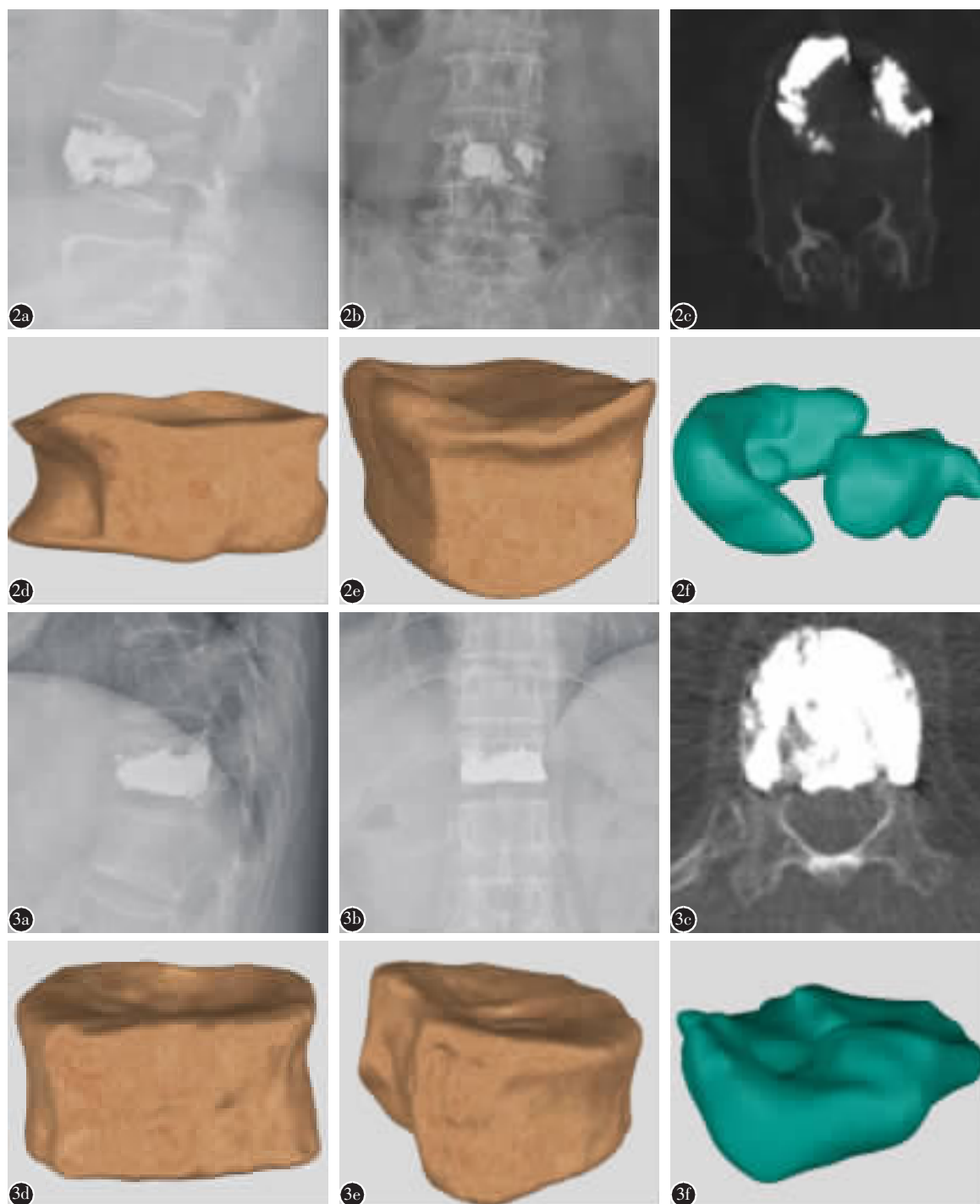


图 2 女性,74 岁,骨质疏松性 L4 椎体压缩性骨折,影像学骨水泥分布评分=4 分 a 矢状面评分 1 分 b 冠状面评分 1 分 c 水平面评分 2 分 d、e 椎体体积=32.60ml f 骨水泥体积=6.72ml;填充率=20.61% 图 3 女性,62 岁,骨质疏松性 T11 椎体压缩性骨折。骨水泥分布评分=9 分 a 矢状面评分 2 分 b 冠状面评分 3 分 c 水平面评分 4 分 d、e 椎体体积=26.79ml f 骨水泥体积=7.90ml,填充率=29.49%

Figure 2 A 74-year-old female, osteoporotic compression fracture at L4. Bone cement distribution score=4 points a 1 points in the sagittal plane b 1 point in the coronal plane c 2 points in the axial plane d, e Volume of the vertebral body=32.60ml f Volume of bone cement=6.72ml; Filling rate=20.61% **Figure 3** A 62-year-old female, osteoporotic compression fracture at T11. Bone cement distribution score=9 points a 2 points in the sagittal plane b 3 point in the coronal plane c 4 points in the axial plane d, e Volume of the vertebral body=26.79ml f Volume of bone cement=7.90ml; Filling rate=29.49%

表 3 影响骨水泥分布的多因素分析

	偏回归系数 B	标准误 SE	Wald统计量 Waldχ ²	P值 P Value	优势比 OR	95%可信区间 95%CI
骨折天数 Fracture days	0.052	0.029	3.116	0.078	1.053	0.994~1.116
骨水泥体积 Volume of bone cement	-0.077	0.128	0.361	0.548	0.926	0.720~1.919
填充率 Filling rate	0.345	0.082	17.599	0.000	1.413	1.202~1.660

表 4 骨水泥体积、填充率的 ROC 曲线下面积及临界值

变量 Variables	骨水泥体积 Volume of bone cement	填充率 Filling rate
曲线下面积 AUC	0.658	0.778
95%可信区间 95%CI	0.570~0.738	0.697~0.846
P值 P Value	0.001	0.000
临界值 Cut-off value	7.89	28.1

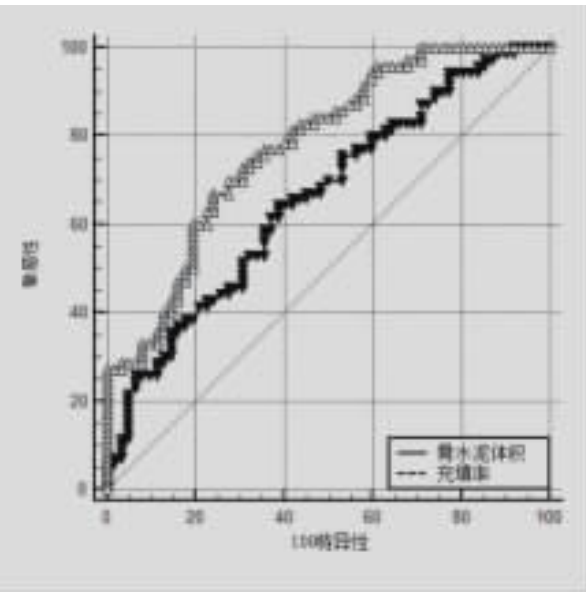


图 4 骨水泥体积、填充率的 ROC 曲线
Figure 4 Receiver-operating characteristic(ROC) curves of volume of bone cement and filling rate

一，对椎体内骨水泥分布模式尚无统一的评价方法。Zhang 等^[12]观察术后 X 线片，将骨水泥是否接触上、下终板作为分组的标准。Hou 等^[13]将术后侧位 X 线片上的椎体分为前、中、后三部分，测量各部分骨水泥距离上下终板的距离，计算椎体各部分骨水泥高度与椎体高度之比，分析骨水泥与上下终板的位置关系。单一将骨水泥是否位于上、下

终板附近作为其分布的评价标准仅适合研究骨水泥分布是否与椎体再骨折相关，因为其只能代表骨水泥在椎体内的纵向受力及载荷方式。

贺双军等^[14]在术后正位 X 线片上根据椎体左、右两侧的团块状骨水泥连接与否以及骨水泥在 X 线平片显像的密集程度，将患者分为“H”型与“O”型两组，分析两种不同的骨水泥的分布方式对术后远期疗效的影响。He 等^[15]使用透明网格将术后正侧位图像划分多个小正方形单位(0.25mm²)，分别估算骨水泥面积及椎体截面的面积并计算其比值，并将这种弥散面积代替弥散体积的计算方式作为评价骨水泥空间分布标准。由于术后缺乏 CT 检查，既往的临床研究大多通过观察二维图像来评价骨水泥分布及形态，主观性较大，混杂因素较多，无法真实反映骨水泥的分布及形态。我们基于术后 X 线片和 CT+三维重建的评价方法，从多平面评价椎体内骨水泥的分布，并使用半定量评分系统，利用数字打分的方法衡量骨水泥在椎体内的分布范围，较其他方法更客观且准确。

在本研究中，我们根据术后 X 线片及 CT 中骨水泥在椎体内分布情况，将其分为骨水泥在椎体局限分布组(A 组)和骨水泥在椎体内广泛分布组(B 组)。两组患者术后各随访时间点 VAS 评分较术前明显改善，疼痛均得到缓解。B 组术后 3 个月 VAS 评分较 A 组低，原因可能与广泛分布的骨水泥与骨折线接触面积更大，固定断裂骨小梁的数量更多，能充分减少骨小梁间的微动对神经末梢的刺激有关。而在术后 6 个月及术后 12 个月，两组的 VAS 评分对比无显著性差异，其原因可能在于椎体内微骨折已经愈合，骨小梁间的微动也趋于稳定。

在本研究中，两组间的骨折时间、骨水泥体积及填充率均存在差异。本研究结果显示，新鲜压缩骨折的椎体内骨水泥弥散范围往往大于陈旧性骨

折,这可能是由于新鲜骨折椎体骨折端骨小梁排列紊乱,血肿尚未机化,骨水泥更容易向周围弥散。而随着时间推移,骨折开始修复,血肿机化形成肉芽组织,纤维组织逐渐骨化形成骨痂,排列杂乱的骨小梁逐渐趋向规律,随着骨水泥弥散受到的阻力增大,弥散范围也逐渐减小。然而,两组患者的骨密度值无显著性差异。这可能是由于纳入研究的患者骨密度跨度范围较小,我们需要纳入骨量减少($-1.0 \leq T \leq -2.5$)与骨质疏松($T < -2.5$)的患者进行比较来判断骨密度是否是影响骨水泥弥散分布的因素。

另外,生物力学及临床研究表明大剂量骨水泥虽能增加椎体刚度,但会导致椎间盘应力乃至相邻终板应力增加,导致邻近节段椎体骨折,随着骨水泥注入量的增加,骨水泥泄漏率会升高;而过少的骨水泥不能使骨折椎体的强度和刚度恢复到足够的水平,致使术后疼痛症状缓解不佳^[9,16-18]。近年来,有许多体外实验研究及有限元分析探讨了注射体积与临床疗效间的关系。Molloy 等^[19]建议胸椎应注射不少于 2ml、胸腰段椎体不少于 4ml、腰椎不少于 6ml 的骨水泥,由于椎体体积的差异,需达到 16% 的骨水泥填充率才能恢复骨折椎体的强度,而刚度的恢复需要大约 29% 的填充率。Martincic 等^[20]通过体外实验发现,当骨水泥填充率超过 15% 时即可恢复骨折椎体的刚度,而当超过 20% 时单个椎体的生物力学性能没有进一步变化,反而会增加对相邻椎体的压力。Jin 等^[21]认为要保证手术疗效并且减少并发症的发生,骨水泥填充率至少应该达到 11.64%。Nieuwenhuijse 等^[22]建议骨水泥的填充率应达到 24%,这样不仅能缓解疼痛,也避免了骨水泥的渗漏和继发骨折的发生。他们都证明了使用骨水泥填充率作为评价标准来预测术后疗效具有不错的灵敏度和特异性。

我们在本研究中使用三维重建的骨水泥弥散体积,而非术中实际骨水泥注入量来代表骨水泥体积进行统计学研究。除了发生骨水泥渗漏导致骨水泥注入量带来的误差外,使用此方法另一个原因在于当骨水泥注入椎体后沿骨小梁和骨折线之间的间隙分散,将骨小梁与周围间隙结合在一起,建立起了由骨水泥、骨小梁和骨小梁间隙的骨水泥填充的三维空间结构。故骨水泥在椎体内的实际体积是由骨水泥包绕骨小梁的复合结构^[23]。

考虑到上述原因,传统的骨水泥注入量并不能作为骨水泥在椎体弥散程度的评价指标。实际上,我们对比不同患者术后 CT 图像后发现,即使在同一水平、相同大小的椎体内注射等剂量的骨水泥,不同患者各个平面上的骨水泥弥散面积也不同。一些患者即使注入大量的骨水泥,其骨水泥弥散程度仍较差,而其他患者仅需注入少量的骨水泥即可实现各个平面的广泛分布。因此我们在勾画骨水泥边界时就将上述三种结构包裹在内来计算骨水泥的弥散体积,并将其与椎体体积相比得出骨水泥的填充率。

本研究将骨水泥分布评分作为标准计算填充率的临界值。回归分析显示骨水泥体积并非影响骨水泥分布的独立因素,而骨水泥填充率是骨水泥分布的重要独立影响因素。通过建立 ROC 曲线,我们发现当骨水泥填充率达到 28.1% 时,即可获得广泛的骨水泥分布(敏感性为 67.14%,特异性为 75.81%)。

本研究的不足之处在于:①我们在术中均使用双侧穿刺途径注入骨水泥,避免了单侧注入带来的骨水泥双侧分布差异的问题。但术中并未测量并控制注射压力,这可能会对骨水泥分布带来影响;②本研究通过研究骨水泥分布与骨水泥体积间的量效关系,得出骨水泥填充率的最小临界值,但随着骨水泥填充率的增大,注入骨水泥体积的增加,骨水泥渗漏等并发症的发生率也会增加。因此仍需进一步研究影响骨水泥渗漏的危险因素,并计算骨水泥填充率的最大值,确定骨水泥注入体积的最佳取值范围并对临床工作进行指导。③本研究基于临床随访观察,随访时间短,样本量小,其效价和信度的评估仍需要大宗病例的长期随访研究来验证。

综上所述,基于术后 CT 及 X 线片提出骨水泥分布的评价方法简单且直观,骨水泥分布范围随骨折时间延长而减小,骨水泥填充率是骨水泥分布的重要独立影响因素,当骨水泥填充率达到 28.1% 时即可实现广泛的骨水泥分布。

4 参考文献

1. Ballane G, Cauley JA, Luckey MM, et al. Worldwide prevalence and incidence of osteoporotic vertebral fractures[J]. Osteoporos Int, 2017, 28(5): 1531-1542.
2. Pourtaheri S, Luo W, Cui C, et al. Vertebral augmentation is superior to nonoperative care at reducing lower back pain for

- symptomatic osteoporotic compression fractures: a Meta-analysis[J]. Clin Spine Surg, 2018, 31(8): 339-344.
3. 杨惠林, 刘强, 唐海. 骨质疏松性椎体压缩性骨折患者抗骨质疏松规范治疗专家共识[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(11): 803-807.
4. Andrei D, Popa I, Brad S, et al. The variability of vertebral body volume and pain associated with osteoporotic vertebral fractures: conservative treatment versus percutaneous transpedicular vertebroplasty[J]. Int Orthop, 2017, 41(5): 963-968.
5. Mattie R, Laimi K, Yu S, et al. Comparing percutaneous vertebroplasty and conservative therapy for treating osteoporotic compression fractures in the thoracic and lumbar spine: a systematic review and Meta-analysis [J]. J Bone Joint Surg Am, 2016, 98(12): 1041-1051.
6. Xie L, Zhao ZG, Zhang SJ, et al. Percutaneous vertebroplasty versus conservative treatment for osteoporotic vertebral compression fractures: an updated Meta-analysis of prospective randomized controlled trials[J]. Int J Surg, 2017, 47: 25-32.
7. Yuan WH, Hsu HC, Lai KL. Vertebroplasty and balloon kyphoplasty versus conservative treatment for osteoporotic vertebral compression fractures: a Meta-analysis[J]. Medicine(Baltimore), 2016, 95(31): e4491.
8. Lee HJ, Park J, Lee IW, et al. Clinical, radiographic, and morphometric risk factors for adjacent and remote vertebral compression fractures over a minimum follow-up of 4 years after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: novel three-dimensional voxel-based morphometric analysis[J]. World Neurosurg, 2019, 125: 146-157.
9. Liebschner MA, Rosenberg WS, Keaveny TM. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2001, 26(14): 1547-1554.
10. Liu H, Zhang J, Liang X, et al. Distribution pattern making sense: patients achieve rapider pain relief with confluent rather than separated bilateral cement in percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures[J]. World Neurosurg, 2019, 126: 1190-1196.
11. 刘昊, 连骁, 邹俊, 等. 经皮椎体后凸成形术的骨水泥分布与临床疗效分析[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2017, 10(1): 8-12.
12. Zhang L, Wang Q, Wang L, et al. Bone cement distribution in the vertebral body affects chances of recompression after percutaneous vertebroplasty treatment in elderly patients with osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Clin Interv Aging, 2017, 12: 431-436.
13. Hou Y, Yao Q, Zhang G, et al. Polymethylmethacrylate distribution is associated with recompression after vertebroplasty or kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: a retrospective study [J]. PLoS One, 2018, 13 (6): e0198407.
14. 贺双军, 吕南宁, 刘昊, 等. 经皮椎体后凸成形术骨水泥分布形态对术后早期疗效的影响[J]. 中华骨科杂志, 2019, 39 (3): 137-143.
15. He X, Li H, Meng Y, et al. Percutaneous kyphoplasty evaluated by cement volume and distribution: an analysis of clinical data[J]. Pain Physician, 2016, 19(7): 495-506.
16. Ryu KS, Park CK, Kim MC, et al. Dose-dependent epidural leakage of polymethylmethacrylate after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fractures[J]. J Neurosurg: Spine, 2002, 96(1): 56-61.
17. Zhu SY, Zhong ZM, Wu Q, et al. Risk factors for bone cement leakage in percutaneous vertebroplasty: a retrospective study of four hundred and eighty five patients[J]. Int Orthop, 2016, 40(6): 1205-1210.
18. 蔡凯文, 蒋国强, 卢斌, 等. 椎间隙骨水泥渗漏的不同分型对邻椎相邻终板应力分布的影响: 三维有限元研究[J]. 中华骨科杂志, 2019, 39(6): 364-373.
19. Molloy S, Mathis JM, Belkoff SM. The effect of vertebral body percentage fill on mechanical behavior during percutaneous vertebroplasty[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2003, 28(14): 1549-1554.
20. Martincic D, Brojan M, Kosel F, et al. Minimum cement volume for vertebroplasty[J]. Int Orthop, 2015, 39(4): 727-733.
21. Jin YJ, Yoon SH, Park KW, et al. The volumetric analysis of cement in vertebroplasty: relationship with clinical outcome and complications[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2011, 36 (12): E761-E772.
22. Nieuwenhuijse MJ, Bollen L, Van Erkel AR, et al. Optimal intravertebral cement volume in percutaneous vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(20): 1747-1755.
23. 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:2019-06-24 末次修回日期:2019-10-11)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 李伟霞)