

骨质疏松性椎体压缩性骨折患者椎体内骨水泥分布与经皮穿刺椎体成形术后疼痛程度的相关性研究

马骏, 严文琪, 巩栋, 韩生寿
(青海省人民医院骨一科, 青海 西宁 810007)

【摘要】目的: 探讨骨质疏松性椎体压缩性骨折(OVCF)患者椎体内骨水泥分布与经皮穿刺椎体成形(PVP)术后疼痛程度的相关性。**方法:** 回顾性分析行 PVP 术治疗的 150 例 OVCF 患者临床资料, 根据骨水泥分布指数(DI), 分为骨水泥充分弥散组($n=96$)和骨水泥弥散不足组($n=54$), 比较两组患者疼痛视觉模拟评分(VAS)、椎体前缘高度、椎体后凸 Cobb 角、骨密度及术后并发症总发生率。通过有序 Logistic 回归分析骨水泥 DI 与 VAS、椎体前缘高度、椎体后凸 Cobb 角、骨密度及术后并发症总发生率的相关性。**结果:** 两组患者术后 1、3 个月 VAS 评分均低于术后 1 周($P<0.05$), 且骨水泥充分弥散组患者各时间点 VAS 评分均低于弥散不足组($P<0.05$); 术后 1、3 个月, 两组患者椎体前缘高度比较术后 1 周时均上升($P<0.05$); 术后 1、3 个月, 骨水泥弥散不足组后凸 Cobb 角较术后 1 周时降低($P<0.05$), 而骨水泥充分弥散组后凸 Cobb 角无差异($P>0.05$)。骨水泥充分弥散组术后各时间点椎体前缘高度比、后凸 Cobb 角均低于骨水泥弥散不足组($P<0.05$); 与术后 1 周时相比, 两组患者术后 1、3 个月骨密度均上升($P<0.05$), 且骨水泥充分弥散组术后 1、3 个月点骨密度均高于骨水泥弥散不足组($P<0.05$); 骨水泥充分弥散组患者术后并发症总发生率低于骨水泥弥散不足组($P<0.05$); 相关性分析显示, 骨水泥 DI 与 VAS 评分、后凸 Cobb 角、骨密度、术后并发症总发生率负相关; 与椎体前缘高度正相关($P<0.05$)。**结论:** 椎体内骨水泥分布与 PVP 术后疼痛程度、椎体功能恢复密切相关。

【关键词】 骨质疏松性椎体压缩性骨折; 椎体内骨水泥分布; 经皮穿刺椎体成形术; 疼痛程度; 椎体功能恢复
【中图分类号】 R683.2 **【文献标志码】** A

Correlation between distribution of bone cement in vertebral body and pain degree in patients with osteoporotic vertebral compression fracture after percutaneous vertebroplasty

MA Jun, YAN Wen-qi, GONG Dong, HAN Sheng-shou
(Department of Orthopedics I, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining 810007, Qinghai, China)

【Abstract】Objective: To investigate the correlation between distribution of bone cement in vertebral body and degree of pain after percutaneous vertebroplasty (PVP) in patients with osteoporotic vertebral compression fracture (OVCF). **Methods:** The clinical data of 150 patients with OVCF who received PVP were retrospectively analyzed. According to the bone cement distribution index (DI), they were divided into bone cement full dispersion group ($n=96$) and bone cement insufficient dispersion group ($n=54$). The visual analogue scale (VAS), anterior vertebral height, kyphosis Cobb angle, bone mineral density and total incidence rate of postoperative complications were compared between the two groups of patients. Ordered Logistic regression was used to analyze the correlation between bone cement DI and VAS, anterior vertebral height, kyphosis Cobb angle, bone mineral density and total incidence rate of postoperative complications. **Results:** The VAS score at 1 and 3 months after surgery in the two groups of patients was lower than that at 1 week after surgery ($P<0.05$), and the VAS score at each time point in bone cement full dispersion group was lower than that in bone cement insufficient dispersion group ($P<0.05$). The anterior vertebral height ratio in both groups of patients was enhanced at 1 and 3 months after surgery compared to 1 week after surgery ($P<0.05$). At 1 and 3 months after surgery, the kyphosis Cobb angle in bone cement insufficient dispersion group was reduced compared with that at 1 week after surgery ($P<0.05$), and there was no difference in the kyphosis Cobb angle in bone cement full dispersion group ($P>0.05$). The anterior vertebral height ratio and kyphosis Cobb angle at each time point after surgery in bone cement fill dispersion group were lower than those in bone cement insufficient dispersion group ($P<0.05$). Compared with 1 week after surgery, the bone mineral density in the two groups of patients was increased at 1 month and 3 months after

surgery ($P<0.05$), and the bone mineral density in bone cement full dispersion group was higher than that in bone cement insufficient dispersion group at 1 month and 3 months after surgery ($P<0.05$). The total incidence rate of postoperative complications in bone cement full dispersion group was lower than that in bone cement insufficient dispersion group ($P<0.05$). Correlation analysis showed that bone cement DI was negatively correlated with VAS score, kyphosis Cobb angle, bone mineral density and total incidence rate of postoperative complications, and was positively correlated with anterior vertebral height ($P<0.05$). **Conclusion:** The distribution of bone cement in vertebral body is closely related to the degree of pain and recovery of vertebral function after PVP.

【Key words】 Osteoporotic vertebral compression fractures; Distribution of bone cement in vertebral body; Percutaneous vertebroplasty; Pain degree; Vertebral function recovery

骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)是老年人群中极为常见的脊柱疾病^[1]。OVCF 的发生主要是骨质疏松引起的椎体骨量减少及骨密度降低,椎体强度减弱,在轻微外伤或日常活动中即可发生压缩性骨折,患者通常展现出剧烈的背部痛感、明显的活动能力受限、身高降低及脊柱后凸畸形,严重时甚至影响呼吸功能和心理健康^[2-3]。近年来,随着微创技术的发展,经皮穿刺椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)作为一种有效的微创手术方式,逐渐成为治疗 OVCF 方法之一, PVP 通过在 X 线或 CT 引导下,经皮穿刺将骨水泥注入椎体,以此实现椎体强化、骨折稳定以及疼痛缓解的效果^[4-5]。骨水泥在 PVP 手术中起着关键作用,其具有良好的生物相容性和骨粘合性,能够在短时间内固化并提供较强的支撑力,能够有效填充椎体内的骨折间隙,恢复椎体的强度和稳定性^[6],但在针对 OVCF 患者的临床治疗中,关于骨水泥在椎体内理想分布,目前尚未确立一个普遍认可的标准。本研究旨在探讨

OVCF 患者椎体内骨水泥分布与 PVP 术后疼痛程度的相关性,通过分析骨水泥分布的均匀性对手术效果的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2022 年 1 月至 2024 年 10 月青海省人民医院收治的 150 例行 PVP 术治疗的 OVCF 患者的临床资料。纳入标准:(1)确诊为 OVCF^[7];(2)年龄 ≥ 18 岁;(3)均顺利完成 PVP 术治疗;(4)临床资料完整;(5)单椎体骨折。排除标准:(1)合并椎管狭窄、脊柱侧弯等脊柱疾病;(2)既往接受过脊柱手术;(3)合并严重内科疾病;(4)PVP 术失败;(5)术前存在严重并发症,如脊髓损伤、神经根受压等。术后次日影像学复查,根据骨水泥分布指数(DI)分为骨水泥充分弥散组(骨水泥 DI 为 II、IV 级、V 级, $n=96$ 例)和骨水泥弥散不足组(骨水泥 DI 为 I、III 级, $n=54$ 例),两组患者一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较 [$n(\%)$, $\bar{x}\pm s$]

组别	性别		年龄(岁)	体质量指数 (kg/m^2)	病程(d)	手术时间(min)	骨水泥 注入量(mL)
	男	女					
骨水泥充分弥散组($n=96$)	45(46.87)	51(53.13)	62.85 $\pm$ 1.52	21.63 $\pm$ 1.52	7.96 $\pm$ 1.22	24.15 $\pm$ 5.12	4.16 $\pm$ 1.00
骨水泥弥散不足组($n=54$)	23(42.59)	31(57.41)	62.69 $\pm$ 1.43	21.36 $\pm$ 1.32	7.73 $\pm$ 1.10	25.71 $\pm$ 6.28	4.29 $\pm$ 1.09
t/χ^2 值	0.256		0.632	1.094	1.147	1.648	0.740
P 值	0.613		0.528	0.276	0.253	0.101	0.461

1.2 方法

两组患者均由同一个手术团队完成,患者取俯卧体位,肩部前端及髂前上棘下方各置一垫枕,以使脊柱处于过伸状态进行复位操作。通过 C 型臂 X 线机透视,锁定手术的目标椎体,按照标准流程执行穿刺,待球囊扩张至预期效果后,抽出内部对比剂,并撤出球囊,给予患者静脉滴注甲泼尼龙,在骨水泥“抽丝”时,于透视监控下注入骨水泥,注射过程中,通过前后位透视观察,确保椎体前部得到充分填充后,逐步向后退行注射,若单次穿刺术后正位透视检查显示,骨水泥在椎体内的分布未达椎体中线对侧,

则采取双侧穿刺策略,完成注射后,旋转并移除工作通道,实施压迫止血,以单针缝合穿刺口,并采用无菌敷料进行妥善包扎。术后严密监察患者的下肢感觉功能、运动状态以及呼吸状况,自术后次日始,患者可在佩戴腰围的保护下离床活动。

1.3 观察指标

(1)骨水泥椎体内分布,术后次日复查 X 线及 CT,根据骨水泥分布指数(DI)分级^[8]: I 级:骨水泥以团块形式填充,其覆盖面积不及椎体正面及侧面 X 线影像面积的一半; II 级:骨水泥同样以团块形式填充,但覆盖面积超过椎体正面及侧面 X 线影像面

积的一半;Ⅲ级:呈现为海绵状填充模式,骨水泥覆盖面积小于椎体正面 X 线影像的 1/2,而大于侧面 X 线影像的 1/2;Ⅳ级:骨水泥以团块形式填充,其间形成两个间隔,且其覆盖面积超过椎体正面及侧面 X 线影像面积的一半;Ⅴ级:呈现为全面的海绵状填充,覆盖面积超过椎体正面及侧面 X 线影像面积的一半。(2)疼痛程度,术后 1 周、1 个月、3 个月时,采用疼痛视觉模拟评分(VAS)^[9]评估两组患者疼痛程度,通过一条标有 0 至 10 刻度的直线,让患者根据自身的疼痛感受选择评分。(3)椎体前缘高度、后凸 Cobb 角,术后 1 周、1 个月、3 个月时,两组患者接受正位与侧位的 X 线检查,计算伤椎前缘高度与上下邻椎前缘高度均值的比值,并测定矢状面的后凸 Cobb 角。(4)骨密度,术后 1 周、1 个月、3 个月时,使用双能 X 线骨密度仪检测两组患者骨密度。(5)术后并发症总发生率,统计术后 3 个月内,两组患者术后并发症发生情况。(6)相关性分析,统计两组患者术后疼痛程度、椎体前缘高度、后凸 Cobb 角情况、骨密度进行 Spearman 分析,获取影响 OVCF 患者 PVP 术后疼痛程度因素并分析应对措施。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件对数据进行统计分析。计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验,组内比较采用配对样本 t 检验,多组间比较采用重复测量方差分析;计数资料用[$n(\%)$]表示,组间比较采用独立样本 χ^2 检验或 Fisher 确切概率

法。采用有序 Logistic 回归分析数据相关性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者疼痛程度比较

VAS 评分组间、时间点及各时间点组间差异均有统计学意义($P < 0.05$);两组患者术后 1、3 个月 VAS 评分均低于术后 1 周,且骨水泥充分弥散组各时间点 VAS 评分均低于弥散不足组($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 两组患者 VAS 评分比较($\bar{x} \pm s$,分)

组别	术后 1 周	术后 1 个月	术后 3 个月
骨水泥充分弥散组($n=96$)	3.05±0.49 ^①	2.59±0.37 ^{①②}	2.03±0.25 ^{①②}
骨水泥弥散不足组($n=54$)	3.46±0.47	2.73±0.40 ^②	2.35±0.22 ^②
$F_{\text{组间}}/P_{\text{组间}}$ 值	60.021/<0.001		
$F_{\text{时间}}/P_{\text{时间}}$ 值	271.132/<0.001		
$F_{\text{各时间点组间}}/P_{\text{各时间点组间}}$ 值	4.496/0.011		

① $P < 0.05$,与骨水泥弥散不足组相比;② $P < 0.05$,与同组术后 1 周相比。

2.2 两组患者椎体前缘高度、后凸 Cobb 角比较

术后 1、3 个月,两组患者椎体前缘高度比较术后 1 周时均上升($P < 0.05$);术后 1、3 个月,骨水泥弥散不足组后凸 Cobb 角较术后 1 周时降低($P < 0.05$),而骨水泥充分弥散组后凸 Cobb 角无统计学差异($P > 0.05$)。骨水泥充分弥散组术后各时间点椎体前缘高度比、后凸 Cobb 角均低于骨水泥弥散不足组($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 两组患者椎体前缘高度比、后凸 Cobb 角比较($\bar{x} \pm s$)

组别	椎体前缘高度比			后凸 Cobb 角(°)		
	术后 1 周	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 1 周	术后 1 个月	术后 3 个月
骨水泥充分弥散组($n=96$)	62.23±10.12 ^①	70.23±8.74 ^{①②}	82.10±8.59 ^{①②}	20.25±2.56 ^①	19.77±2.52 ^①	18.36±0.96 ^①
骨水泥弥散不足组($n=54$)	66.41±9.06	73.59±9.11 ^②	91.06±7.12 ^②	23.37±1.95	21.10±1.83 ^②	19.05±0.85 ^②
$F_{\text{组间}}/P_{\text{组间}}$ 值	39.259/<0.001			78.082/<0.001		
$F_{\text{时间}}/P_{\text{时间}}$ 值	221.820/<0.001			85.847/<0.001		
$F_{\text{各时间点组间}}/P_{\text{各时间点组间}}$ 值	3.961/0.020			14.068/<0.001		

① $P < 0.05$,与骨水泥弥散不足组相比;② $P < 0.05$,与同组术后 1 周相比。

2.3 两组患者骨密度比较

与术后 1 周比较,两组患者术后 1、3 个月骨密度均上升($P < 0.05$),骨水泥充分弥散组术后 1 个月及术后 3 个月点骨密度均高于骨水泥弥散不足组($P < 0.05$)。见表 4。

2.4 两组患者术后并发症总发生率比较

骨水泥充分弥散组患者术后并发症总发生率低于骨水泥弥散不足组($P < 0.05$)。见表 5。

2.5 两组患者骨水泥椎体内分布多因素回归分析结果

VAS 评分、后凸 Cobb 角、骨密度、术后并发症

总发生、椎体前缘高度均与骨水泥椎体内分布相关($P < 0.05$)。见表 6 及表 7。

表 4 两组患者骨密度比较($\bar{x} \pm s$,g/cm²)

组别	术后 1 周	术后 1 个月	术后 3 个月
骨水泥充分弥散组($n=96$)	0.42±0.10	0.51±0.12 ^{①②}	0.59±0.11 ^{①②}
骨水泥弥散不足组($n=54$)	0.44±0.12	0.47±0.07	0.52±0.09
$F_{\text{组间}}/P_{\text{组间}}$ 值	6.550/0.002		
$F_{\text{时间}}/P_{\text{时间}}$ 值	48.761/<0.001		
$F_{\text{各时间点组间}}/P_{\text{各时间点组间}}$ 值	8.421/<0.004		

① $P < 0.05$,与骨水泥弥散不足组相比;② $P < 0.05$,与同组术后 1 周相比。

表 5 两组患者术后并发症总发生率[$n(\%)$]

组别	骨水泥渗漏	感染	神经损伤	肺栓塞	邻近椎体骨折	合计
骨水泥充分弥散组($n=96$)	2(2.13)	1(1.06)	1(1.06)	0(0.00)	1(1.06)	5(5.31)
骨水泥弥散不足组($n=54$)	2(3.70)	3(5.56)	2(2.70)	1(1.85)	0(0.00)	8(13.81)
χ^2 值						4.029
P 值						0.045

表 6 多因素赋值

变量	赋值方法
骨水泥椎体内分布	骨水泥充分弥散=0;骨水泥弥散不足=1
VAS 评分	实际值
椎体前缘高度	实际值
后凸 Cobb 角	实际值
骨密度	实际值
术后并发症总发生率	否=0;是=1

表 7 骨水泥椎体内分布多因素回归分析结果

变量	β 值	SE 值	Wald 值	P 值	OR 值	95%CI
VAS 评分	1.107	0.268	17.062	<0.001	3.025	1.789~5.116
椎体前缘高度	1.228	0.341	12.968	<0.001	3.414	1.75~6.662
后凸 Cobb 角	0.933	0.242	14.864	<0.001	2.542	1.582~4.085
骨密度	0.942	0.109	74.688	<0.001	2.565	2.072~3.176
术后并发症总发生率	1.147	0.530	4.684	0.030	3.149	1.114~8.898

3 讨论

OVCF 严重时可导致患者活动能力受限,进而引发一系列并发症,如肺部感染、褥疮等,随着人口老龄化的加剧,OVCF 的患病率逐年上升,对老年人的生活质量产生了显著的负面影响^[10-11]。

PVP 凭借其创伤微小、术后恢复迅速以及止痛效果极为显著等优势,已成为 OVCF 治疗中的常用术式^[12]。PVP 技术通过向受损椎体中灌注骨水泥,旨在提升椎体强度、复原椎体原有高度,并有效减轻疼痛,尽管 PVP 在临床上取得显著效果,但仍有部分患者术后疼痛缓解不理想等问题^[13]。

近年来,研究逐渐明确骨水泥在椎体内的分布情况可能对术后效果产生重要影响。Wang 等^[14]研究表明,骨水泥分布的均匀性不仅关系到椎体的力学强度恢复,还可能影响术后疼痛的程度及椎体功能的恢复。但目前关于骨水泥分布与术后疼痛的相关性研究尚不充分,尤其是在骨水泥分布是否偏侧对术后疼痛的影响方面,仍需进一步探讨。本研究结果显示,骨水泥充分弥散组各时间点 VAS 评分均显著低于骨水泥弥散不足组,骨水泥 DI 与 VAS 评分负相关,此结果与 Liang 等^[15]类似,提示

OVCF 患者椎体内骨水泥分布与 PVP 术后疼痛程度相关,同时相关性分析发现骨水泥 DI 与术后并发症总发生率负相关,分析原因可能是在使用骨水泥时,发生骨水泥渗漏到周围组织或血管中,从而引发神经压迫症状、肺栓塞等,渗漏的骨水泥可能导致周围组织的水肿和压迫,进而引起疼痛^[16]。骨水泥分布的不充分或不对称易导致椎体内部的应力集中,增加术后疼痛的风险^[17],本研究中的骨水泥充分弥散组各时间点 VAS 评分均显著低于骨水泥弥散不足组,这可能与骨水泥充分弥散组骨水泥分布更均匀、应力分布更合理有关,椎体成形术后椎体的强度和刚度显著增加,但过度的刚度可能导致脊柱的正常生理活动受限,骨水泥分布不充分可能会对邻近椎体的健康产生影响,同时引起椎体生物力学性能的失衡,进而增大术后椎体再次塌陷及邻近椎体遭受骨折的风险,从而加重疼痛^[18]。

本研究结果发现,后凸 Cobb 角、骨密度与骨水泥 DI 负相关,分析原因可能是在 PVP 手术中,骨水泥的注入旨在恢复椎体的正常高度,从而减轻椎体的压缩变形和相关的疼痛,椎体前缘高度的恢复情况直接影响椎体的稳定性^[19],若椎体的压缩变形未能充分纠正,导致椎体的支撑力不均,增加椎体的应力集中,而后凸角度的增大表明脊柱弯曲程度增加,这可能对椎体的力学环境产生显著影响,椎体的后部承受更大的压力^[20],可能导致椎体的进一步压缩变形,增加椎体的不稳定性。Yang 等^[21]研究表明,骨密度直接影响椎体的强度和愈合能力,当患者椎体的骨质较为疏松时,骨水泥的固定效果可能较差,导致椎体的支撑力不足。

为减轻 OVCF 患者 PVP 术后疼痛程度,应确保骨水泥在椎体内的骨水泥弥散充足,避免骨水泥弥散不足以减少应力集中和生物力学失衡的风险。术中应使用精确的注射技术和影像学引导,确保骨水泥的准确注入和分布,同时术前应充分评估患者的椎体结构和骨密度,预测骨水泥渗漏风险并采取相应预防措施。在手术中,应尽可能恢复椎体的正常高度和后凸角度,减轻椎体的压缩变形和相关疼痛,术后则需定期复查,评估椎体恢复情况并及时调整治疗方案。对于骨密度较低的患者,术前和术后应采取提高骨密度的措施,如使用抗骨质疏松药物、增加钙和维生素 D 的摄入等,以增强椎体强度和愈合能力,降低术后疼痛风险。此外,术后应密切监测患者是否出现并发症,如神经压迫症状、肺栓塞等,并及时处理疼痛或其他不适症状,评估原因并采取相应治疗措施。

综上,椎体内骨水泥分布的均匀性与 PVP 术后

疼痛程度及椎体功能恢复密切相关,此外,椎体前缘高度、后凸 Cobb 角、骨密度、术后并发症均是影响术后疼痛的独立影响因素。

参考文献

[1] Dai C, Liang G, Zhang Y, *et al.* Risk factors of vertebral re-fracture after PVP or PKP for osteoporotic vertebral compression fractures, especially in Eastern Asia: a systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2022, 17(1): 161.

[2] Kutsal FY, Ergani GOE. Vertebral compression fractures; Still an unpredictable aspect of osteoporosis[J]. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 2021, 51(2): 393—399.

[3] Huang W, Nagao M, Yonemoto N, *et al.* Evaluation of the efficacy and safety of romosozumab (evenity) for the treatment of osteoporotic vertebral compression fracture in postmenopausal women; a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials (CDM-J) [J]. *Pharmacoepidemiology and Drug Safety*, 2023, 32(6): 671—684.

[4] Gassie K, Pressman E, Vicente AC, *et al.* Percutaneous vertebroplasty and upper instrumented vertebra cement augmentation reducing early proximal junctional kyphosis and failure rate in adult spinal deformity: case series and literature review [J]. *Operative Neurosurgery (Hagerstown, Md)*, 2023, 25(3): 209—215.

[5] 张弛, 吴海龙, 张帅. 经皮椎体后凸成形术对骨质疏松性椎体压缩性骨折患者脊柱-骨盆矢状面参数及继发邻椎骨折的影响[J]. *川北医学院学报*, 2024, 39(5): 642—645.

[6] 王鹏程, 郝申申, 李洪珂, 等. 弯角与单侧 PVP 治疗脊柱胸腰段 OVCF 的骨水泥分布及临床效果比较[J]. *临床误诊误治*, 2020, 33(10): 76—81.

[7] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 骨质疏松性椎体压缩性骨折诊疗与管理专家共识[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2018, 11(5): 425—437.

[8] 吴登将, 陈为坚, 张远华, 等. 椎体增强术后骨水泥分布指数对手术椎体及邻边椎体再发骨折的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2022, 42(6): 1392—1395.

[9] 曹卉娟, 邢建民, 刘建平. 视觉模拟评分法在症状类结局评价测量中的应用[J]. *中医杂志*, 2009, 50(7): 600—602.

[10] Qiu Z, Wang P, Chao Y, *et al.* The risk of new vertebral fracture after percutaneous vertebral augmentation in patients suffering from single-level osteoporotic vertebral compression fractures: a meta-analysis and systematic review[J]. *Medicine*, 2023, 102(46): e35749.

[11] Zhang Z, Zhang Y, Li L, *et al.* Risk factors for low back pain following percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fracture[J]. *American Journal of Translational Research*, 2024, 16(8): 3778—3786.

[12] Tan L, Wen B, Guo Z, *et al.* Robot-assisted percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: a retrospective matched-cohort study [J]. *International Orthopaedics*, 2023, 47(2): 595—604.

[13] Wang Q, Sun C, Zhang L, *et al.* High-versus low-viscosity cement vertebroplasty and kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fracture: a meta-analysis [J]. *European Spine Journal*, 2022, 31(5): 1122—1130.

[14] Wang X, Zhu YH, Zhu QS. Efficacy and safety of robot-assisted versus fluoroscopy-assisted PKP or PVP for osteoporotic vertebral compression fractures: a systematic review and meta-analysis [J]. *Journal of Robotic Surgery*, 2023, 17(6): 2597—2610.

[15] Liang D, Pei J, Pei R, *et al.* Clinical efficacy of percutaneous vertebroplasty versus percutaneous kyphoplasty treating osteoporotic vertebral compression fractures with kyphosis[J]. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 2024, 50(3): 1043—1049.

[16] 崔志远, 毛兆虎, 刘玉林, 等. 单侧 PVP 术对 OVCF 术后椎体高度恢复及疼痛程度的效果研究[J]. *中国医药导报*, 2021, 18(18): 92—95.

[17] 蔡明, 戚颖, 刘肃, 等. 骨水泥不同分布对骨质疏松性椎体压缩性骨折的生物力学影响: 三维有限元分析[J]. *中国医学物理学杂志*, 2022, 39(6): 771—777.

[18] 付海军, 冯毅, 武太勇, 等. 经皮椎体成形术椎间盘骨水泥渗漏对相邻椎体生物力学影响的有限元分析[J]. *北京生物医学工程*, 2022, 41(2): 140—147.

[19] 王方, 李景龙, 潘亚林. 两种改良入路椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效比较[J]. *临床骨科杂志*, 2024, 27(6): 761—764.

[20] Xiao SW, Zhou SF, Pan SX, *et al.* Precooling storage of bone cement in percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2024, 25(1): 1032.

[21] Yang D, Tan J, Long Y, *et al.* Sequential treatment of teriparatide and alendronate versus alendronate alone for elevation of bone mineral density and prevention of refracture after percutaneous vertebroplasty in osteoporosis: a prospective study[J]. *Aging Clinical and Experimental Research*, 2023, 35(3): 531—539.

(收稿日期: 2025—04—14 修回日期: 2025—05—29)