

· 临床论著 ·

胸腰椎骨折椎体水肿对经皮椎弓钉固定疗效的影响[△]

苏林涛¹, 余秋宇¹, 马俊², 黄亮亮², 江剑峰¹, 韩尧政¹, 雷昌宇¹, 康辉^{2*}

(1. 武汉科技大学医学院, 湖北武汉 430000; 2. 中国人民解放军中部战区总医院, 湖北武汉 430000)

摘要: [目的] 探讨胸腰椎骨折患者椎体水肿程度对经皮椎弓根螺钉内固定术 (percutaneous pedicle screw fixation, PPSF) 临床疗效的影响。[方法] 回顾性分析 2018 年 2 月—2021 年 5 月行 PPSF 治疗的 141 例胸腰椎骨折患者的临床资料。[结果] 依据术前 MRI 影像椎体水肿程度将患者分为三组, 其中轻度组 55 例, 中度组 52 例, 重度组 34 例。三组患者手术时长、术中透视次数、切口总长度、术中失血量、一次置钉成功率、切口愈合等级、首次下地活动时间和住院时长的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。随访时间平均 (18.5±2.4) 个月, 三组患者完全负重活动时间的差异无统计学意义 ($P>0.05$)。术后随时间推移, 三组患者 VAS、ODI、JOA 评分均显著改善 ($P<0.05$); 相应时间点, 三组间上述评分的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。影像方面, 与术前相比, 术后即刻及末次随访时, 三组患者椎体前缘压缩率 (anterior vertebral compression rate, AVCR) 和局部后凸 Cobb 角 (kyphotic angle, KA) 均显著减小 ($P<0.05$)。术前轻度组、中度组、重度组 AVCR [(22.6±11.5) mm vs (29.1±9.8) mm vs (35.9±9.1) mm, $P<0.001$] 和 KA [(7.1±10.6)° vs (11.6±8.9)° vs (16.1±8.8)°, $P<0.001$] 表现出逐渐增加的趋势, 差异均具有统计学意义。术后即刻, 三组患者的 AVCR 和 KA 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。末次随访时, 三组患者 AVCR [(7.8±6.4) mm vs (10.7±6.8) mm vs (14.2±9.3) mm, $P<0.001$] 和 KA [(-0.7±7.8)° vs (4.2±7.6)° vs (8.6±6.2)°, $P<0.001$] 再次呈现轻度组<中度组<重度组, 差异具有统计学意义。[结论] 椎体严重水肿的患者, 术后远期容易出现迟发性后凸畸形。

关键词: 胸腰椎骨折, 椎体水肿, 局部后凸 Cobb 角, 远期后凸畸形

中图分类号: R683.2 文献标志码: A 文章编号: 1005-8478 (2024) 20-1852-06

Effect of vertebral body edema on clinical outcomes of percutaneous pedicle screw fixation for thoracolumbar fracture // SU Lin-tao¹, YU Qiu-yu¹, MA Jun², HUANG Liang-liang², JIANG Jian-feng¹, HAN Yao-zheng¹, LEI Chang-yu¹, KANG Hui². 1. Medical College, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430000, China; 2. Department of Orthopaedics, General Hospital, Central Theater of PLA, Wuhan 430000, China

Abstract: [Objective] To investigate the effect of vertebral body edema extent on clinical outcomes of percutaneous pedicle screw fixation (PPSF) for thoracolumbar fracture. [Methods] A retrospective study was done on 141 patients who received PPSF for thoracolumbar fracture treated from February 2018 to May 2021. [Results] According to the vertebral body edema extent in preoperative MRI images, the patients were divided into three groups, including 55 cases in mild group, 52 cases in moderate group and 34 cases in severe group. There were no statistically significant differences in operation duration, intraoperative fluoroscopy times, total incision length, intraoperative blood loss, success rate of first screw placement, incision healing grade, postoperative walking time and length of hospital stay among three groups ($P>0.05$). The mean follow-up time was (18.5±2.4) months, and there was no significant difference in time to resume full weight-bearing activity among the three groups ($P>0.05$). The VAS, ODI and JOA scores were significantly improved over time in all three groups ($P<0.05$), whereas which were not statistically significant among the three groups at any time points accordingly ($P>0.05$). As for images, there were no significant differences in anterior vertebral compression rate (AVCR) and local kyphotic Cobb angle (KA) among the three groups before and immediately after surgery ($P>0.05$), but all with statistically significant differences at the preoperative and the latest follow-up. [Conclusion] The severe vertebral body edema preoperatively might lead to delayed kyphosis deformity in long term after PPSF.

Key words: thoracolumbar fracture, vertebral body edema, local kyphosis Cobb angle, long-term kyphosis deformity

胸腰椎骨折是脊柱损伤中最常见的类型之一^[1]。随着我国人口老龄化和工业发展, 胸腰椎骨折的发病

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100608

△基金项目:湖北省医学青年拔尖人才项目[编号:鄂卫通(2019)48号];湖北省卫健委面上科研项目(编号:WJ2023M091);武汉市中青年医学骨干人才培养工程项目[编号:武卫生计生(2017)51号]

作者简介:苏林涛, 硕士研究生在读, 研究方向:脊柱外科, (电子信箱)slt15071246855@163.com

***通信作者:**康辉, (电子信箱)kanghuicss@163.com

率总体呈上升趋势^[2]。对于无神经损伤的胸腰椎骨折常采取保守治疗，但发生迟发性后凸的概率较高^[3, 4]。严重的后凸畸形会引起腰背疼痛和神经损伤，严重影响患者生活质量^[5-7]。手术治疗能显著减少迟发性后凸畸形的发生，因此常被视为更佳选择^[8, 9]。然而，即使采取手术治疗的患者，远期仍可能出现后凸畸形和椎体高度的丢失^[10, 11]。如何减少及预防术后后凸畸形是临床治疗的关键。跨伤椎置钉、骨质疏松、长期使用激素及术后早期负重等被认为是影响术后迟发后凸畸形的重要因素，但很少有研究关注椎体水肿与术后迟发后凸畸形之间的相关性^[12]。笔者在临床工作中发现，在出现迟发后凸畸形的患者中，往往伴有严重的椎体水肿，即在患者的 MRI 图像上可表现为 T2 加权像的高信号和 T1 加权像的低信号^[13]。本研究对椎体水肿程度与临床疗效的相关性进行探究，以期为临床个体化治疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准：(1) 年龄 18~60 岁；(2) 单椎体骨折，节段范围为 T₁₁~L₄；(3) AO 分型为 A3、A4 型^[14]；(4) 双侧椎弓根完整；(5) Tlics 评分≥4 分。

排除标准：(1) 既往有胸腰椎手术、感染史；(2) 严重骨质疏松；(3) 伴神经功能损伤；(4) 受伤至手术时间超过 14 d；(5) 影像资料不全。

1.2 一般资料

回顾性分析本院 2018 年 2 月—2021 年 5 月行经皮椎弓根螺钉内固定术 (percutaneous pedicle screw fixation, PPSF) 治疗的 141 例患者的临床资料。本研究通过医院伦理委员会审核 (审查号: [2021] 059-01)，所有患者及家属知情同意。

1.3 手术方法

患者于全身麻醉下取俯卧位，腹部两侧垫软枕使其悬空，伤椎对应手术床的可折弯处，手法按压复位。经 C 形臂 X 线机透视定位伤椎及上下椎体椎弓根体表投影点，并在旁开 1 cm 处画线标记作为穿刺点，手术区常规消毒、铺巾、贴皮肤保护膜。以穿刺点进针，经皮插入穿刺针，定位准确后插入导针至椎体，透视见导针长度、位置可，均位于椎弓根及椎体。攻丝后分别拧入合适的椎弓根螺钉，再次透视确保椎弓根螺钉均位于椎弓根及椎体，长度及方向均合适，经皮下隧道放置连接棒，安放好螺帽并撑开固定。透视满意后逐层缝合。手术后 1 d 开始行功能锻炼，手术后 3~4 d 开始佩戴胸腰支具下地活动，术后 3 个月内注意佩戴支具保护和避免弯腰、负重。

1.4 评价指标

依照 Jun 等^[13]提出的椎体水肿分级标准，观察患者 MRI 正中矢状面图像，根据水肿面积占整个伤椎面积的百分比将患者分为三组，轻度组：伤椎椎体无水腫或伤椎椎体水肿范围<33%，中度组：伤椎椎体水肿范围为 33%~66%；重度组：伤椎椎体水肿范围>66%，如图 1 所示。



图 1. 椎体水肿程度的分级。1a: 椎体轻度水肿；1b: 椎体中度水肿；1c: 椎体重度水肿。

Figure 1. Classification of vertebral edema extent. 1a: Mild edema; 1b: Moderate edema; 1c: Severe edema.

记录围手术期相关指标，包括手术时长、术中透视次数、切口总长度、术中失血量、术后首次下地时间、住院时长和早期并发症等。采用疼痛视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS)、Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI)、日本骨科协会

(Japanese Orthopaedic Association, JOA) 评分评估临床疗效。行影像学检查，记录并算出椎体前缘压缩率 (anterior vertebral compression rate, AVCR)、局部后凸 Cobb 角 (kyphotic angle, KA)^[13]。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件分析数据。计量数据以 $\bar{x} \pm s$

表示, 资料呈正态分布时, 采用单因素方差分析, 两两比较用 *LSD* 法; 资料不符合正态分布时, 等级资料组间比较采用 *Kruskal-Wallis H* 检验。分类计数资料比较用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 围手术期情况

依据术前 MRI 影像椎体水肿程度将患者分为三组, 其中轻度组 55 例, 中度组 52 例, 重度组 34

例。患者的一般资料见表 1, 三组患者的性别、年龄、BMI、节段、AO 分型和损伤至手术时间的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

所有患者手术均顺利完成, 术中均无神经根损伤、硬膜撕裂、血管损伤的情况出现。三组患者围手术期资料见表 1。三组患者手术时长、术中透视次数、切口总长度、术中失血量、首次下地活动时间、一次置钉成功率、切口愈合等级、住院时长等的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。术后无严重相关早期并发症发生。

表 1. 三组患者的一般资料和围手术期资料与比较

Table 1. General and perioperative data of three groups

指标	轻度组 (n=55)	中度组 (n=52)	重度组 (n=34)	P 值
性别 (例, 男/女)	30/25	33/19	27/7	0.060
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	40.9 \pm 11.5	41.4 \pm 12.2	41.4 \pm 11.8	0.978
BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	22.5 \pm 1.8	22.8 \pm 1.5	22.8 \pm 1.6	0.632
节段 (例, T ₁₁ /T ₁₂ /L ₁ /L ₂ /L ₃ /L ₄)	1/10/27/10/5/2	1/10/19/16/2/4	0/6/14/7/4/3	0.599
AO 分型 (例, A3/A4)	25/30	27/25	20/14	0.444
损伤至手术时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	6.0 \pm 1.8	6.1 \pm 1.6	6.3 \pm 1.9	0.798
手术时长 (min, $\bar{x} \pm s$)	69.9 \pm 7.7	68.4 \pm 7.1	71.4 \pm 6.7	0.185
术中透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	10.9 \pm 3.0	11.7 \pm 3.0	11.5 \pm 3.2	0.373
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	9.7 \pm 1.1	10.0 \pm 1.1	9.8 \pm 1.2	0.561
术中失血量 (ml, $\bar{x} \pm s$)	69.6 \pm 3.7	68.3 \pm 3.5	68.8 \pm 7.1	0.263
首次下地活动时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	3.4 \pm 0.7	3.4 \pm 1.0	3.3 \pm 1.0	0.954
一次置钉成功率 [钉 (%)]	304 (92.1)	284 (91.0)	179 (87.7)	0.765
切口愈合 (例, 甲/乙/丙)	52/3/0	51/1/0	31/3/0	0.349
住院时长 (d, $\bar{x} \pm s$)	8.3 \pm 2.0	8.3 \pm 1.6	8.5 \pm 2.0	0.873

2.2 随访结果

所有患者均获随访, 随访时间 12~24 个月, 平均 (18.5 \pm 2.4) 个月。三组患者随访结果见表 2。三组患者完全负重活动时间的差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。术后随时间推移, 三组患者 VAS、ODI 评分均显著减少 ($P < 0.05$), JOA 评分显著增加 ($P < 0.05$)。相应时间点, 三组间上述评分的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。随访过程中均未出现螺钉断裂、脱出及需手术翻修情况, 亦未发生严重的晚期并发症。

2.3 影像评估

三组患者影像测量结果见表 3。与术前相比, 术后即刻及末次随访时, 三组患者 AVCR 和 KA 均显著减小 ($P < 0.05$)。术前轻度组、中度组、重度组 AVCR 和 KA 表现出逐渐增加的趋势, 即轻度组 < 中度组 < 重度组, 差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$)。

术后即刻, 三组患者的 AVCR 和 KA 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。末次随访时, 三组患者 AVCR 和 KA 再次呈现轻度组 < 中度组 < 重度组, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。重度水肿典型影像见图 2。

3 讨论

PPSF 术后后凸畸形复发并不少见, 后凸畸形可能引起腰背痛, 并增加再发骨折及脊髓神经损伤的风险^[16]。预防术后迟发后凸畸形一直是临床医生关注的重点。有研究指出, 迟发后凸畸形可能与长期使用激素、骨质疏松、术后早期负重、跨伤椎置钉等因素有关。然而, 很少有研究探讨术后迟发后凸畸形与椎体水肿程度的关系。本研究通过对比三组患者影像资料发现, 在术后即刻, 三组患者椎体前缘压缩率和 KA 均得到一定程度的恢复, 然而, 在末次随访时, 椎体前缘压缩率和 KA 轻、中、重度组依次增大。这

表明手术能够短期内恢复椎体高度，矫正后凸畸形，但长期随访结果显示，椎体严重水肿更容易出现椎体

形变和迟发后凸畸形，典型病例见图 2。这与早期研究观察到的结果相吻合^[13]。

表 2. 三组患者随访资料 ($\bar{x} \pm s$) 与比较

Table 2. Follow-up data of the three groups ($\bar{x} \pm s$)

指标	轻度组 (n=55)	中度组 (n=52)	重度组 (n=34)	P 值
完全负重活动时间 (d)	104.8±9.4	105.2±8.3	105.6±7.3	0.903
疼痛 VAS 评分 (分)				
术前	8.0±1.2	8.1±0.8	8.1±1.0	0.884
术后 1 周	3.0±0.9	2.9±0.9	3.0±0.8	0.972
术后 3 个月	1.3±0.8	1.2±0.6	1.2±0.8	0.828
末次随访	1.2±0.8	1.2±0.7	1.2±0.7	0.996
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	
ODI 评分 (%)				
术前	50.0±8.9	50.0±9.8	50.5±6.6	0.962
术后 1 周	17.0±4.3	17.1±5.5	17.2±3.9	0.979
术后 3 个月	11.6±3.1	11.9±5.3	11.6±4.0	0.934
末次随访	3.3±2.1	3.3±1.7	3.2±1.6	0.973
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	
JOA 评分 (分)				
术前	9.2±0.9	9.0±0.9	8.9±0.9	0.343
术后 1 周	16.2±1.8	16.3±1.6	16.4±1.3	0.815
术后 3 个月	24.2±1.0	24.2±1.0	24.0±0.8	0.573
末次随访	25.6±1.2	25.3±1.1	25.1±1.0	0.084
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	

表 3. 三组患者影像资料 ($\bar{x} \pm s$) 与比较

Table 3. Radiographic data of the three groups ($\bar{x} \pm s$)

指标	轻度组 (n=55)	中度组 (n=52)	重度组 (n=34)	P 值
AVCR (mm)				
术前	22.6±11.5	29.1±9.8	35.9±9.1	<0.001
术后即刻	4.6±5.8	5.0±7.3	7.1±5.2	0.187
末次随访	7.8±6.4	10.7±6.8	14.2±9.3	<0.001
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	
KA (°)				
术前	7.1±10.6	11.6±8.9	16.1±8.8	<0.001
术后即刻	-1.5±8.4	0.4±7.3	1.4±4.6	0.155
末次随访	-0.7±7.8	4.2±7.6	8.6±6.2	<0.001
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	

椎体严重水肿愈合形态较差的主要机制：(1) 作为椎体的微观结构，骨小梁数量和排列是影响椎体强度最主要的因素之一。在受到外力时，椎体内骨小梁会发生改变，微观表现为骨小梁微骨折和出血，宏观表现为椎体水肿。当 MRI 图像显示严重的椎体水肿时，表明椎体内骨小梁的数量和结构遭受严重破坏，

严重的骨小梁破坏导致局部缺血^[17, 18]；(2) 椎体严重水肿可能会损伤供应椎体前 1/3 节段的动脉前支和供应上下椎体节段动脉后支血管，增加椎体缺血坏死的风险^[19]；(3) 椎体内的骨髓腔是营养物质运输的重要途径，严重的椎体水肿可能导致营养运输途径受阻，增加骨折修复的难度^[20]；(4) 严重的椎体水肿

反映椎体严重骨质疏松，骨质疏松患者受压松质骨结构容易形成较大的骨缺陷，使修复和重建变得困难^[21]。



图 2. 患者男性，54 岁，高处坠落伤致胸椎骨折，行经皮椎弓根螺钉内固定术。2a: 术前 MRI 示 T₁₂ 椎体水肿程度为重度；2b: 术前 CT 示 T₁₂ 椎体压缩严重，局部出现后凸畸形；2c: 手术后 1 周内 CT 示 T₁₂ 椎体高度恢复满意、局部后凸畸形矫正；2d: 手术后 18 个月 CT 示出现迟发后凸畸形。

Figure 2. A 54-year-old male suffered from thoracic fracture caused by falling injury from height, underwent posterior pedicle screw fixation. 2a: Preoperative MRI showed severe edema of T₁₂ vertebral body; 2b: Preoperative CT showed severe compression of T₁₂ vertebral body with local kyphosis; 2c: CT one week after operation showed satisfactory recovery of T₁₂ vertebral body height and correction of local kyphosis; 2d: CT 18 months after operation revealed recurrent kyphosis.

本研究旨在为不同程度的椎体水肿患者个体化治疗方案提供参考。对于椎体严重水肿的患者，为预防后凸畸形等远期不良预后，有以下建议^[12, 22, 23]：(1) 术后前 3 个月避免弯腰、负重，严格佩戴支具并定期复查；(2) 术后功能锻炼不可或缺；(3) 行抗骨质疏松治疗。

此外，需要注意椎体水肿的评估时机，因为椎体在受伤后会逐渐修复，水肿程度会发生变化^[24]。通常，椎体明显的水肿发生在创伤后 14 d 内，随着时间推移，成纤维细胞开始增殖，新生毛细血管增生，血肿开始机化，局灶性软骨组织和肉芽组织在椎体内形成，组织中水分逐渐被吸收，从而降低椎体水肿程度，MRI 图像上显示的水肿信号逐渐减弱^[25]。因此，本研究评估患者椎体水肿的程度时均采用受伤后 2 周内的 MRI 图像。

综上所述，对于胸腰椎骨折患者，椎体水肿严重时更易出现迟发后凸畸形。对于此类患者，术后应更加注意行支具保护、抗骨质疏松等综合治疗，以降低迟发性后凸畸形等不良预后的发生。

参考文献

[1] 沈皆亮, 郝杰, 何斌. 不伴神经损伤的胸腰椎爆裂骨折保守和手术治疗效果对比: 一项荟萃分析 [J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25 (2): 126-131. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2017.02.07.

Shen JL, Hao J, He B. Conservative versus surgical treatment for thoracolumbar burst fracture without neurological deficit: a meta analysis [J]. Orthopedic Journal of China, 2017, 25 (2): 126-131. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2017.02.07.

[2] Katsuura Y, Osborn JM, Cason GW. The epidemiology of thoracolumbar trauma: a meta-analysis [J]. J Orthop, 2016, 13 (4): 383-388. DOI: 10.1016/j.jor.2016.06.019.

[3] Cantor JB, Lebowitz NH, Garvey T, et al. Nonoperative management of stable thoracolumbar burst fractures with early ambulation and bracing [J]. Spine, 1993, 18 (8): 971-976. DOI: 10.1097/00007632-199306150-00004.

[4] 邓红敏, 廖勇, 刘志诚. 经皮椎体成形术与保守治疗胸腰椎压缩骨折的比较 [J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29 (18): 1695-1697. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.18.15.

Deng HM, Liao Y, Liu ZC. Percutaneous vertebroplasty versus conservative treatment for thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2021, 29 (18): 1695-1697. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.18.15.

[5] 丁江平, 郑国权, 唐国柱, 等. 后路截骨矫正陈旧性胸腰椎骨折后凸畸形 [J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30 (22): 2097-2099, 2103. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.22.17.

Ding JP, Zheng GQ, Tang GZ, et al. Posterior osteotomy for the correction of kyphosis secondary to old thoracolumbar fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30 (22): 2097-2099, 2103. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.22.17.

[6] Melline G. Correlations of spinal mobility with degree of chronic low back pain after correction for age and anthropometric factors [J]. Spine, 1987, 12 (5): 464-468. DOI: 10.1097/00007632-

- 198706000-00008.
- [7] Goh TS, Shin JK, Youn MS, et al. Surgical versus nonsurgical treatment of lumbar degenerative kyphosis [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26 (8): 2153-2159. DOI: 10.1007/s00586-017-5008-8.
- [8] Wiedl A, Forrch S, Fenwick A, et al. Importance of surgical treatment of thoracolumbar vertebral fractures for the survival probability of orthogeriatric patients [J]. *Der Unfallchirurg*, 2021, 124 (4): 303-310. DOI: 10.1007/s00113-020-00864-w.
- [9] Gnanenthiran SR, Adie S, Harris IA. Nonoperative versus operative treatment for thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit: a meta-analysis [J]. *Clin Orthop Rel Res*, 2012, 470 (2): 567-577. DOI: 10.1007/s11999-011-2157-7.
- [10] Wang L, Li J, Wang H, et al. Posterior short segment pedicle screw fixation and TLIF for the treatment of unstable thoracolumbar/lumbar fracture [J]. *BMC Musculoskel Disord*, 2014, 15: 40. DOI: 10.1186/1471-2474-15-40.
- [11] Su Y, Ren D, Zou Y, et al. A retrospective study evaluating the correlation between the severity of intervertebral disc injury and the anteroposterior type of thoracolumbar vertebral fractures [J]. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*, 2016, 71 (6): 297-301. DOI: 10.6061/clinics/2016(06)02.
- [12] 樊毅. 腰椎骨折患者伤椎置钉短节段内固定术后发生后凸畸形的影响因素 [J]. *哈尔滨医药*, 2022, 42 (5): 70-71. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8131.2022.05.031.
- Fan Y. Influencing factors of kyphosis after short segment internal fixation of injured vertebrae in patients with lumbar fracture [J]. *Harbin Medicine*, 2022, 42 (5): 70-71. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8131.2022.05.031.
- [13] Jun DS, Shin WJ, An BK, et al. The relationship between the progression of kyphosis in stable thoracolumbar fractures and magnetic resonance imaging findings [J]. *Asian Spine J*, 2015, 9 (2): 170-177. DOI: 10.4184/asj.2015.9.2.170.
- [14] 康辉, 徐峰, 席金涛, 等. 经皮伤椎置入万向椎弓根螺钉治疗胸腰椎骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27 (20): 1831-1835. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.20.02.
- Kang H, Xu F, Xi JT, et al. Percutaneous polyaxial pedicle screw internal fixation via injured vertebra for thoracolumbar fracture [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2019, 27 (20): 1831-1835. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.20.02.
- [15] Klaraal E, Ciloglu O, Duramaz A, et al. Management of thoracolumbar injury classification and severity score of 4 (TLICS=4) thoracolumbar vertebral fractures: Surgery versus conservative treatment [J]. *Turk J Trauma Emerg Surg*, 2020, 26 (5): 805-810. DOI: 10.1016/j.spinee.2012.10.041.
- [16] 崔志杰. 胸腰段单椎体骨折患者内固定术后发生后凸畸形的影响因素 [J]. *临床研究*, 2023, 31 (2): 31-34. DOI: 10.12385/j.issn.2096-1278 (2023)02-0031-04.
- Cui ZJ. Influencing factors of kyphosis after internal fixation in patients with thoracolumbar single vertebral fracture [J]. *Clinical Research*, 2023, 31 (2): 31-34. DOI: 10.12385/j.issn.2096-1278 (2023)02-0031-04.
- [17] Li Q, Xiao L, Zhang J, et al. The impact of endplate fracture on postoperative vertebral height loss and kyphotic deformity during treatment of osteoporotic vertebral compression fractures with balloon kyphoplasty [J]. *J Biomed Res*, 2016, 30 (5): 419-426. DOI: 10.7555/JBR.30.20150071.
- [18] Nakamae T, Kamei N, Fujimoto Y, et al. Quantifying bone marrow edema adjacent to the lumbar vertebral endplate on magnetic resonance imaging: a cross-sectional study of patients with degenerative lumbar disease [J]. *Asian Spine J*, 2022, 16 (2): 254-260. DOI: 10.31616/ASJ.2020.0648.
- [19] 张译徽, 刘云涛, 刘波, 等. 急性骨质疏松性椎体压缩性骨折患者早期骨髓水肿磁共振形态特征与经皮椎体成形术后骨水泥分布的关系 [J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2022, 36 (2): 196-199. DOI: 10.13507/j.issn.1674-3474.2022.02.021.
- Zhang YH, Liu YT, Liu B, et al. Relationship between MRI features of early bone marrow edema and the bone cement distribution after percutaneous vertebroplasty in patients with acute osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *Journal of Chinese Practical Diagnosis and Therapy*, 2022, 36 (2): 196-199. DOI: 10.13507/j.issn.1674-3474.2022.02.021.
- [20] Lee KY, Kim MW, Seok SY, et al. The relationship between superior disc-endplate complex injury and correction loss in young adult patients with thoracolumbar stable burst fracture [J]. *Clin Orthop Surg*, 2017, 9 (4): 465-471. DOI: 10.4055/CIOS.2017.9.4.465.
- [21] Omar PT, Ghamesi A, Omar M, et al. Possible correlation between kyphosis of lumbar osteoporosis fractures and the spinal signal intensity ratio (SSIR) [J]. *Int J Spine Surg*, 2021, 15 (3): 478-484. DOI: 10.14444/8069.
- [22] Chou KN, Lin BJ, Wu YC, et al. Progressive kyphosis after vertebroplasty in osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *Spine*, 2014, 39 (1): 68-73. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000042.
- [23] Spiegl UJ, Fischer K, Schmidt J, et al. The conservative treatment of traumatic thoracolumbar vertebral fractures [J]. *Deutsches Arzteblatt Int*, 2018, 115 (42): 697-704. DOI: 10.3238/arztebl.2018.0697.
- [24] Zhang Y, Qi H, Zhang Y, et al. Vertebral bone marrow edema in magnetic resonance imaging correlates with bone healing histomorphometry in (sub)acute osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *Eur Spine J*, 2021, 30 (9): 2708-2717. DOI: 10.1007/s00586-021-06814-3.
- [25] Sathyendra V, Darowish M. Basic science of bone healing [J]. *Hand Clin*, 2013, 29 (4): 473-481. DOI: 10.1016/j.hcl.2013.08.002.

(收稿:2023-08-30 修回:2024-05-21)
(同行评议专家:王丹,官正茂,麻彬)
(本文编辑:郭秀婷)