

· 临床论著 ·

## 两种推杆椎弓钉道骨水泥强化后路椎体间融合比较<sup>△</sup>

魏永存<sup>1</sup>, 谢雁春<sup>2</sup>, 王洪伟<sup>2</sup>, 轩安武<sup>2</sup>, 顾洪闻<sup>2</sup>, 于海龙<sup>2\*</sup>

(1. 大连医科大学研究生院, 辽宁大连 116051; 2. 中国人民解放军北部战区总医院脊柱外科, 辽宁沈阳 110016)

**摘要:** [目的] 探究刻度推杆与无刻度推杆在骨水泥钉道强化术治疗骨质疏松性腰椎退变性疾病中的临床效果。[方法] 回顾性分析 2021 年 10 月—2022 年 10 月本科采用骨水泥增强椎弓钉后路腰椎体间融合治疗骨质疏松性腰椎退变性疾病 42 例患者的临床资料, 依据医患沟通结果, 22 例手术过程中使用刻度骨水泥推杆 (刻度组), 另外 20 例不使用刻度骨水泥推杆 (无刻度组)。比较两组围术期情况、随访与影像学资料。[结果] 刻度组手术时间 [(142.7±53.4) min vs (164.3±58.6) min,  $P<0.05$ ]、术中 X 线透视次数 [(10.2±2.3) 次 vs (15.3±1.8) 次,  $P<0.05$ ]、术中出血量 [(246.6±123.8) ml vs (324.1±113.8) ml,  $P<0.05$ ] 均显著优于无刻度组, 两组切口总长度、切口愈合等级、下地行走时间和住院时间的差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。但是, 刻度组的骨水泥渗漏率显著低于无刻度组 (4.5% vs 11.3%,  $P<0.05$ )。随访时间平均 (13.9±3.2) 个月, 两组恢复完全负重活动时间的差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。随着时间推移, 两组 VAS 和 ODI 评分显著减少 ( $P<0.05$ ), 相应时间点, 两组间 VAS 和 ODI 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 3 个月和末次随访时两组患者腰椎前凸角均显著改善 ( $P<0.05$ )。相应时间点两组间腰椎前凸角 Cobb 角、Bridwell 融合分级的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。[结论] 骨质疏松性腰椎退变性疾病行椎间融合术时选择骨水泥钉道强化术应用刻度骨水泥推杆, 可以减少透视次数、缩短手术时间、降低骨水泥渗漏。

**关键词:** 骨质疏松症, 腰椎退变性疾病, 骨水泥钉道强化, 刻度骨水泥推杆

中图分类号: R687 文献标志码: A 文章编号: 1005-8478 (2024) 01-0005-06

**Comparison of two kinds of pushrod in bone cement augmented pedicle screw in posterior lumbar interbody fusion // WEI Yong-cun<sup>1</sup>, XIE Yan-chun<sup>2</sup>, WANG Hong-wei<sup>2</sup>, XUAN An-wu<sup>2</sup>, GU Hong-wen<sup>2</sup>, YU Hai-long<sup>2</sup>. 1. Postgraduate School, Dalian Medical University, Dalian 116051, China; 2. Department of Spine Surgery, General Hospital of Northern Theater Command of PLA, Shenyang 110016, China**

**Abstract: [Objective]** To explore the clinical outcomes of posterior lumbar interbody fusion (PLIF) with bone cement augmented pedicle screw by graduated or non-graduated pushrods for osteoporotic lumbar degenerative diseases. **[Methods]** A retrospective study was performed on 42 patients who underwent PLIF with bone cement augmented pedicle screw for osteoporotic lumbar degenerative diseases from October 2021 to October 2022. According to doctor-patient communication, 22 patients had the graduated pushrod used for bone cement augmentation of the pedicle screws, while the other 20 patients had the ungraduated rod used. The perioperative, follow-up and imaging data of the two groups were compared. **[Results]** The graduated group proved significantly superior to the ungraduated group in terms of operation time [(142.7±53.4) min vs (164.3±58.6) min,  $P<0.05$ ], intraoperative fluoroscopy times [(10.2±2.3) times vs (15.3±1.8) times,  $P<0.05$ ], intraoperative blood loss [(246.6±123.8) ml vs (324.1±113.8) ml,  $P<0.05$ ], despite of insignificant differences in total incision length, incision healing grade, walking time and hospital stay between the two groups ( $P>0.05$ ). In addition, the graduated group got significantly lower bone cement leakage rate than the ungraduated group (4.5% vs 11.3%,  $P<0.05$ ). The follow-up period lasted for (13.9±3.2) months in a mean, and there was no significant difference in time to resume full weight-bearing activities between the two groups ( $P>0.05$ ). The VASs and ODI scores decreased significantly over time in both groups ( $P<0.05$ ), which were not statistically significant between the two groups at any time points accordingly ( $P>0.05$ ). Regarding imaging, the lumbar lordosis (LL) significantly improved in both groups 3 months after surgery and at the last follow-up compared with those preoperatively ( $P<0.05$ ). However, there were no significant differences in terms of LL angle and Bridwell fusion grade between the two groups at any time points accordingly ( $P>0.05$ ). **[Conclusion]** In the case of lumbar interbody fusion for osteoporotic lumbar degenerative diseases, the bone cement augmented pedicle screw with the graduated pushrod does reduce the number of fluoroscopy, shorten the operation time and reduce the risk of leakage of bone cement.

**Key words:** osteoporosis, lumbar degenerative disease, bone cement augmented pedicle screw, graduated pushrod

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2024.01.01

<sup>△</sup>基金项目: 辽宁省重点研发计划联合计划项目 (编号: 2020JH2/10300157); 辽宁省应用基础研究计划项目 (编号: 2022JH2/101300024)

作者简介: 魏永存, 硕士研究生在读, 研究方向: 脊柱外科, (电话) 15940427679, (电子信箱) weiyongcun1012@163.com

\* 通信作者: 于海龙, (电话) 15309888222, (电子信箱) yuhailong118@aliyun.com

随着社会人口老龄化的加剧，脊柱外科医生发现越来越多的腰椎退行性疾病患者需要内固定器械进行脊柱融合<sup>[1-3]</sup>，但骨质疏松所造成的骨-钉界面不稳定一直是椎弓根螺钉内固定术后螺钉松动的主要原因之一，严重影响骨质疏松患者脊柱内固定术后的疗效<sup>[4, 5]</sup>。目前，提高椎弓根螺钉稳定性的传统方法主要有：增加螺钉的长度和直径<sup>[6]</sup>，改进螺钉设计，如膨胀螺钉以及使用骨水泥钉道强化技术（cement-augmented pedicle screw instrumentation, CAPSI）<sup>[7, 8]</sup>，现有研究表明，聚甲基丙烯酸甲酯（polymethylmethacrylate, PMMA）具有即时可用性、成本低廉及制备技术简单快速等优点<sup>[9]</sup>，PMMA 钉道强化术已被证明是加固椎弓根螺钉和实现稳定固定的最有效系统<sup>[8, 10-12]</sup>。

然而，传统 CAPSI 是一个复杂的操作过程，可增加手术时间、出血量和骨水泥泄漏的风险<sup>[13]</sup>。针对上述钉道强化术所面临的问题，作者做了如下改进：（1）设计一种头端标有刻度的骨水泥推杆；（2）术前根据患者三维 CT 数据测量骨水泥钉道强化的精准路径。将上述两个点进行有机结合：（1）根据术前测量的骨水泥强化钉道长度选择合适刻度的骨水泥推杆，旨在避免术中因观察骨水泥推杆深度所需的侧位透视；（2）根据术前规划的骨水泥通道路径选择合适的角度，旨在降低术中观察骨水泥推杆角度所需正位透视。本文通过回顾腰椎退行性疾病患者使用刻度骨水泥推杆进行钉道强化术的术中及术后资料，探讨刻度骨水泥推杆在骨水泥钉道强化术中的应用价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 纳入与排除标准

纳入标准：（1）年龄 $\geq 60$ 岁，诊断为腰椎管狭窄症、腰椎滑脱症、退变性脊柱侧弯等腰椎退变性疾病且经 3 个月以上保守治疗无效者（图 1a~1c）；（2）存在骨质疏松（DXA 法测定腰椎骨密度， $T \leq -2.5$  SD）；（3）手术方式为腰椎后路减压植骨融合内固定术且融合节段数 $\geq 2$ 个。

排除标准：（1）患有脊柱骨折、感染、肿瘤等疾病；（2）已采用骨水泥钉道强化技术；（3）行脊柱翻修手术；（4）内科合并症严重，不能耐受手术者。

### 1.2 一般资料

回顾性分析 2021 年 10 月—2022 年 10 月本科收治的骨质疏松性腰椎退行性疾病患者的临床资料，42 例患者符合上述标准，纳入本研究。依据术前医患沟

通结果，22 例手术过程中使用刻度骨水泥推杆（刻度组），另外 20 例不使用刻度骨水泥推杆（无刻度组）。两组患者一般资料见表 1，两组患者、年龄、性别、BMI、骨密度、病程、节段数、诊断的差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。本研究经中国人民解放军北部战区总医院伦理委员会批准，患者签署知情同意后均由同一名高年资术者完成手术。

表 1 两组患者术前一般资料与比较  
Table 1 Comparison of preoperative general data between the two groups

指标	刻度组 (n=22)	无刻度组 (n=20)	P 值
性别 (例, 男/女)	6/16	4/16	0.845
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	68.3 $\pm$ 3.3	69.5 $\pm$ 2.1	0.092
BMI (kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	23.6 $\pm$ 2.3	23.8 $\pm$ 3.1	0.518
BMD 的 T 值 ( $\bar{x} \pm s$ )	-3.1 $\pm$ 0.4	-2.9 $\pm$ 0.5	0.069
病程 (月, $\bar{x} \pm s$ )	6.3 $\pm$ 1.2	6.4 $\pm$ 1.6	0.108
节段数 (节, 双/三/四)	10/10/2	9/10/1	0.312
诊断 (例, SS/DS/DS)	16/4/2	14/3/3	0.158

注，诊断，SS: spinal stenosis, 椎管狭窄；DS: degenerative spondylolisthesis, 退行性滑脱；DS: degenerative scoliosis, 退行性侧弯。

### 1.3 手术方法

麻醉成功后，患者取俯卧位，腹部悬空。透视确认手术节段行后正中入路切口，显露计划手术节段，双侧椎板及进针点，依次用开口器、开路锥、球探、攻丝制备钉道。切除相应的椎板或小关节，完成减压。仔细处理椎间隙，向椎间植入部分自体骨粒及单枚带有自体骨粒的椎间融合器。

刻度组：按术前行在腰椎三维 CT 上测得进钉点至椎体前 1/3 处的角度及距离，用刻度骨水泥推杆（常州百隆微创医疗器械科技有限公司生产），在常规骨水泥推杆的出口处设计了刻度，总长度 5 cm。刻度骨水泥推杆按所测数据置于制备好的钉道内。采用上海凯利泰医疗科技股份有限公司生产的不透射线丙烯酸骨水泥，待搅拌好的水泥进入拉丝后期时，将 1.5 ml 高黏度骨水泥注入钉道，如发现渗漏迹象即刻停止注射，同法处理其他钉道。

无刻度组：将填满骨水泥的骨水泥推杆置入钉道后，通过正侧位透视确认骨水泥推杆的角度及置入深度，选择最佳位置后将 1.5 ml 骨水泥推入钉道。

注入骨水泥后，随即拧入相应大小的椎弓钉，待骨水泥固化后，安放双侧棒，调整紧固钉-棒系统，术中透视见椎弓钉钉尖骨水泥包绕良好（图 1d）。冲洗切口，放置引流管，逐层缝合切口。

患者日引流量 $< 50$  ml 时可拔除引流管，术后 3~

4 d 根据患者具体情况可佩戴支具下床活动, 佩戴支具活动 3 个月, 所有患者均行个性化抗骨质疏松治疗, 并定期门诊随访调整用药。

#### 1.4 评价指标

记录围手术期资料, 包括手术时间、切口总长度、术中失血量、术中透视次数、骨水泥渗漏、下地行走时间、切口愈合等级及住院时间。采用完全负重时间、疼痛视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS) 及 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 评价临床效果。行影像学检查, 测量腰

椎前凸角 (矢状位  $L_{1-5}$  Cobb 角), 采用 Bridwell 融合评价分级标准评价椎间融合程度<sup>[14]</sup>。

#### 1.5 统计学方法

采用 SPSS 24.0 软件进行统计学分析。计量数据以  $\bar{x} \pm s$  表示, 资料呈正态分布时, 两组间比较采用独立样本  $t$  检验; 组内时间点比较采用单因素方差分析; 资料呈非正态分布时, 采用秩和检验。计数资料采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。等级资料两组比较采用 Mann-whitney  $U$  检验, 组内比较采用多个相关资料的 Friedman 检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。



图 1 患者, 女, 70 岁, 椎间盘突出及椎管狭窄行刻度推杆推弓钉道骨水泥增强腰椎融合术, BMD 的 T 值为  $-3.0$ 。1a~1c: 术前正侧位 X 线片及 MRI T2 相矢状位, 提示  $L_{3/4}$ 、 $L_{4/5}$ 、 $L_5S_1$  椎间盘突出及椎管狭窄; 1d: 术中 CAPSI 侧位 X 线片可见螺钉尖端被骨水泥环绕; 1e, 1f: 术后 3 个月正侧位 X 线片未见螺钉松动; 1g, 1h: 术后 1 年正侧位 X 线片未见螺钉松动, 且椎间融合良好。

Figure 1. A 70-year-old male underwent posterior lumbar interbody fusion with bone cement enhancement of the pedicle screw track by the graduated pushrod, and his T value BMD of  $-3.0$  SD. 1a~1c: Preoperative X-ray anteroposterior and lateral views and MRI T2 sagittal view revealed  $L_{3/4}$ ,  $L_{4/5}$ , and  $L_5S_1$  discs herniation with spinal canal stenosis; 1d: Intraoperative lateral radiographs after CAPSI showed that the tip of the pedicle screw was well surrounded by bone cement; 1e, 1f: The anteroposterior and lateral radiographs at 3 months after operation showed no pedicle screw loosening; 1g, 1h: Radiographs 1 year after operation showed no pedicle screw loosening, and the interbody fusion was good.

## 2 结果

### 2.1 围手术期资料

围手术期资料见表 2, 患者均顺利完成手术, 两

组术中无大出血等严重并发症。刻度组手术时间、术中出血量及术中 X 线透视次数均显著少于无刻度组 ( $P < 0.05$ ), 两组患者切口总长度、下地行走时间及住院时间的差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 刻度组骨水泥渗漏率显著低于无刻度 ( $P < 0.05$ ), 两组均为无症

状渗漏。

刻度组中 3 例下肢症状侧轻度根性疼痛，予以甲强龙、甘露醇等治疗后 1~2 d 恢复，1 例硬膜撕裂脑脊液漏，行明胶海绵填塞。无刻度组 2 例切口愈合欠佳，存在血性渗出液，加压包扎后缓解，1 例硬膜撕裂，给予修补缝合，明胶海绵填塞。早期并发症发生率刻度组为 18.1%，无刻度组为 15.0%，差异无统计学意义 ( $P=0.643$ )。两组均无切口感染、深静脉血栓及肺栓塞发生。

### 2.2 随访结果

两组患者均获随访 12~15 个月，平均 ( $13.9 \pm 3.2$ ) 个月。随访过程中，两组各 3 例腰骶部疼痛，给予封闭、理疗及加强腰背肌锻炼后明显缓解。两组均无神经根症状加重及翻修手术者。

随访资料见表 3，两组恢复完全负重活动时间的差

异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。随着时间推移，两组 VAS 和 ODI 评分显著减少 ( $P<0.05$ ) 相应时间点，两组间 VAS 和 ODI 评分的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。

表 2 两组患者围手术期资料与比较  
Table 2 Comparison of perioperative data between the two groups

指标	刻度组 (n=22)	无刻度组 (n=20)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$ )	147.2 $\pm$ 53.4	164.3 $\pm$ 58.6	0.027
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$ )	9.1 $\pm$ 2.7	9.5 $\pm$ 3.1	0.274
术中失血量 (ml, $\bar{x} \pm s$ )	246.6 $\pm$ 123.8	324.1 $\pm$ 113.8	<0.001
术中透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$ )	10.2 $\pm$ 2.3	15.3 $\pm$ 1.8	<0.001
骨水泥渗漏 [枚 (%)]	4/88 (4.5)	9/80 (11.3)	0.014
下地行走时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	5.3 $\pm$ 1.6	5.8 $\pm$ 2.1	0.492
切口愈合 (例, 甲/乙)	21/1	18/2	0.981
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	12.1 $\pm$ 2.2	13.7 $\pm$ 1.9	0.084

表 3 两组患者随访资料 ( $\bar{x} \pm s$ ) 与比较  
Table 3 Comparison of follow-up data between the two groups ( $\bar{x} \pm s$ )

指标	时间点	刻度组 (n=22)	无刻度组 (n=20)	P 值
完全负重活动时间 (周)		12.8 $\pm$ 1.4	13.2 $\pm$ 1.6	0.423
腰痛 VAS 评分 (分)	术前	8.3 $\pm$ 0.8	8.1 $\pm$ 0.7	0.368
	术后 7 d	4.2 $\pm$ 1.4	4.3 $\pm$ 1.1	0.087
	术后 3 个月	3.4 $\pm$ 1.8	3.5 $\pm$ 1.3	0.261
	末次随访	2.3 $\pm$ 1.6	2.7 $\pm$ 1.5	0.153
	P 值	<0.001	<0.001	
腿痛 VAS 评分 (分)	术前	8.7 $\pm$ 1.3	8.5 $\pm$ 1.7	0.931
	术后 7 d	2.3 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.3	0.845
	术后 3 个月	1.8 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.3	0.694
	末次随访	1.7 $\pm$ 0.4	1.6 $\pm$ 0.3	0.786
	P 值	<0.001	<0.001	
ODI 评分 (%)	术前	78.1 $\pm$ 6.5	74.1 $\pm$ 7.4	0.784
	术后 7 d	38.3 $\pm$ 5.3	39.2 $\pm$ 6.1	0.594
	术后 3 个月	29.1 $\pm$ 3.1	30.8 $\pm$ 5.7	0.904
	末次随访	21.2 $\pm$ 4.8	22.1 $\pm$ 4.3	0.645
	P 值	<0.001	<0.001	

### 2.3 影像评估

两组患者影像评估资料见表 4，与术前相比，术后 3 个月和末次随访时两组腰椎前凸角 Cobb 角均显著改善 ( $P<0.05$ )，两组术后 6 个月多数椎间隙已达到椎间融合，末次随访时两组 Bridwell 融合分级与术后 6 个月相比均无显著变化 ( $P>0.05$ )；相应时间点两组间腰椎前凸角 Cobb 角、Bridwell 融合分级的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。两组患者末次随访时均未出现螺钉松动及椎间融合器移位等不良影像表

现，典型影像见图 1e~1h。

## 3 讨论

传统 CAPSI 需要反复正侧位透视确定导向器的深度、角度，一旦骨水泥推杆的位置不佳，就会影响骨水泥的弥散、增加骨水泥渗漏的风险，同时降低骨水泥钉道强化的作用，这极大限制了这一技术的广泛应用<sup>[15]</sup>；本研究设计的刻度骨水泥推杆通过

术前规划路径，减少术中的正侧位透视，使骨水泥推杆远离椎体皮质、重叠椎弓根螺钉走行路径，旨

在简化传统 CAPSI 操作步骤，并降低骨水泥渗漏的发生率。

表 4 两组患者影像资料与比较

Table 4 Comparison of imaging data between the two groups

指标	时间点	刻度组 (n=22)	无刻度组 (n=20)	P 值
腰椎前凸 Cobb 角 (°, $\bar{x} \pm s$ )	术前	30.4±5.6	31.2±5.2	0.734
	术后 3 个月	39.8±6.2	40.2±6.4	0.879
	末次随访	40.6±7.1	41.3±7.6	0.894
	P 值	<0.001	<0.001	
Bridwell 融合分级 (例, I/II/III/IV)	术后 6 个月	18/2/2/0	17/1/2/0	0.665
	末次随访	21/1/0/0	18/2/0/0	0.269
	P 值	0.086	0.148	

本研究中，刻度组的骨水泥渗漏率显著低于无刻度组，主要原因：(1) 骨水泥注入量少，2019 年老年骨质疏松脊柱内固定术中国专家共识中指出：每个钉道注入 1~3 ml 骨水泥较为合适<sup>[16]</sup>，本研究中每个钉道注入的骨水泥量为 1.5 ml，即一支推杆所含骨水泥量；(2) 注入高黏度（拉丝后期）骨水泥<sup>[17]</sup>：刻度骨水泥推杆可节约术中调整骨水泥推杆位置所需的透视时间，术者有充足的时间可以对刻度骨水泥推杆进行微调并将高黏度骨水泥注入钉道；(3) 术前精准规划减少骨皮质破坏，尽可能避免因术中操作导致骨皮质破坏，从而降低骨水泥渗漏的发生。

本研究选择双节段及多节段融合的患者进行头尾端 CAPSI，源于以下研究成果：唐永超等<sup>[18]</sup>通过回顾性研究发现，对于伴骨质疏松的单节段腰椎退行性疾病行融合术时，骨水泥螺钉强化与非强化均可获得相似的临床疗效和融合率，因存在骨水泥渗漏等风险，不推荐腰椎单节段融合术使用骨水泥钉道强化；莫国业等<sup>[19]</sup>在随访时间至少 2 年的回顾性研究中发现，在单节段患者中，强化与否对椎间融合率和螺钉松动率并无差异，而在双节段或多节段融合术的患者，骨水泥钉道强化术的融合率更好，椎弓根螺钉松动率更低；郭惠智等<sup>[20]</sup>通过对骨质疏松患者腰骶部双节段和三节段融合术进行生物力学分析发现，选择性头尾端钉道强化与全部钉道进行强化相比，可提供相同的稳定性，并且可以减少与 CAPSI 相关并发症。

临床工作中，CAPSI 术中透视需要铺巾，挪动 C 形臂或 O 形臂 X 线机，调整透视位置，这无疑增加了手术时间，刻度骨水泥推杆的应用可以减少患者术中正侧位透视所需要的时间，以达到减少手术时间，降低出血量的目的。在本研究中，刻度组患者手术时间、术中出血量及术中 X 线透视次数均明显低于无

刻度组，充分证明了刻度骨水泥推杆在简化传统 CAPSI 操作步骤方面的作用，尽管两组患者在早期并发症、随访资料及影像学资料方面相比较，并无显著差异，但我们相信，随着刻度骨水泥推杆在 CAPSI 中的持续应用、大样本量的纳入以及长时间的随访，将进一步凸显出这一技术的优势。本研究的局限性在于，样本量较少可能会导致统计学分析存在误差；术前测量与术中操作所选择的进钉点、置入角度及深度不可避免地存在偏倚。

综上所述，如在骨质疏松性腰椎退变性疾病行椎间融合时选择骨水泥钉道强化术，应用刻度骨水泥推杆，通过术前精准规划路径，在不影响腰椎融合疗效的情况下可以达到减少透视次数和出血量、缩短手术时间、降低骨水泥渗漏的目的，进一步弥补了传统 CAPSI 的不足。

#### 参考文献

- [1] Shamji MF, Mroz T, Hsu W, et al. Management of degenerative lumbar spinal stenosis in the elderly [J]. *Neurosurgery*, 2015, 77 (Suppl 4): S68-S74. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000943.
- [2] Sobotke R, Herren C, Siewe J, et al. Predictors of improvement in quality of life and pain relief in lumbar spinal stenosis relative to patient age: a study based on the Spine Tango registry [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26 (2): 462-472. DOI: 10.1007/s00586-015-4078-8.
- [3] 李晖, 彭丹. 骨水泥强化椎弓钉治疗骨质疏松胸腰椎退行性疾病 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (23): 2150-2154. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.23.09.
- [4] Li H, Peng D. Pedicle screws with cement augmentation for osteoporotic thoracolumbar degenerative disease [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (23): 2150-2154. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.23.09.
- [4] Weiser L, Huber G, Sellenschloh K, et al. Insufficient stability of

- pedicle screws in osteoporotic vertebrae: biomechanical correlation of bone mineral density and pedicle screw fixation strength [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26 (11) : 2891-2897. DOI: 10.1007/s00586-017-5091-x.
- [5] Bjerke BT, Zarrabian M, Aleem IS, et al. Incidence of osteoporosis-related complications following posterior lumbar fusion [J]. *Global Spine J*, 2018, 8 (6) : 563-569. DOI: 10.1177/2192568217743727.
- [6] Karami KJ, Buckenmeyer LE, Kiapour AM, et al. Biomechanical evaluation of the pedicle screw insertion depth effect on screw stability under cyclic loading and subsequent pullout [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28 (3) : E133-E139. DOI: 10.1097/BSD.000000000000178.
- [7] 赵刚, 周英杰, 宋仁谦. 骨水泥螺钉与可膨胀椎弓根螺钉治疗严重骨质疏松腰椎病手术的比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2018, 26 (7) : 599-603. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.07.05.
- Zhao G, Zhou YJ, Song RQ. Percutaneous cemented screws versus expandable screws in MIS-TLIF for lumbar degenerative disease accompanied with serious osteoporosis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2018, 26 (7) : 599-603. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.07.05.
- [8] Chao KH, Lai YS, Chen WC, et al. Biomechanical analysis of different types of pedicle screw augmentation: a cadaveric and synthetic bone sample study of instrumented vertebral specimens [J]. *Med Eng Phy*, 2013, 35 (10) : 1506-1512. DOI: 10.1016/j.medengphy.2013.04.007.
- [9] Girardo M, Cinnella P, Gargiulo G, et al. Surgical treatment of osteoporotic thoraco-lumbar compressive fractures: the use of pedicle screw with augmentation PMMA [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26 (Suppl 4) : 546-551. DOI: 10.1007/s00586-017-5037-3.
- [10] Bostelmann R, Keiler A, Steiger HJ, et al. Effect of augmentation techniques on the failure of pedicle screws under cranio-caudal cyclic loading [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26 (1) : 181-188. DOI: 10.1007/s00586-015-3904-3.
- [11] Elder BD, Lo SF, Holmes C, et al. The biomechanics of pedicle screw augmentation with cement [J]. *Spine J*, 2015, 15 (6) : 1432-1445. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.03.016.
- [12] Hamasaki T, Tanaka N, Kim J, et al. Pedicle screw augmentation with polyethylene tape: a biomechanical study in the osteoporotic thoracolumbar spine [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2010, 23 (2) : 127-132. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31819942cd.
- [13] Piñera AR, Duran C, Lopez B, et al. Instrumented lumbar arthrodesis in elderly patients: prospective study using cannulated cemented pedicle screw instrumentation [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20 (Suppl 3) : 408-414. DOI: 10.1007/s00586-011-1907-2.
- [14] Bridwell KH, Lenke LG, Mcenery KW, et al. Anterior fresh frozen structural allografts in the thoracic and lumbar spine. Do they work if combined with posterior fusion and instrumentation in adult patients with kyphosis or anterior column defects [J]. *Spine*, 1995, 20 (12) : 1410-1418.
- [15] Zhang J, Wang G, Zhang N. A meta-analysis of complications associated with the use of cement-augmented pedicle screws in osteoporosis of spine [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2021, 107 (7) : 102791. DOI: 10.1016/j.otsr.2020.102791.
- [16] 中华医学会骨科学分会. 老年骨质疏松脊柱内固定术中国专家共识 [J]. *中华医学杂志*, 2019, 99 (15) : 1138-1141. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2019.15.004.
- Chinese Orthopaedic Association. Chinese expert consensus on spinal internal fixation in senile osteoporosis [J]. *National Medical Journal of China*, 2019, 99 (15) : 1138-1141. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2019.15.004.
- [17] 杨国辉, 张弛, 王楠, 等. 高粘度骨水泥后凸成形术治疗骨质疏松性胸腰椎骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (8) : 707-711. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.08.08.
- Yang GH, Zhang C, Wang N, et al. High-viscosity bone cement used in percutaneous kyphoplasty for osteoporotic thoracolumbar fractures [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (8) : 707-711. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.08.08.
- [18] 唐永超, 梁德, 陈博来, 等. 骨水泥钉道强化与否治疗伴骨质疏松的节段腰椎退行性疾病的临床对照研究 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27 (12) : 1092-1098. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.12.06.
- Tang YC, Liang D, Chen BL, et al. Comparison of pedicle screw fixation with or without cement augmentation in osteoporotic spine combined with single-segment lumbar degenerative disease [J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2017, 27 (12) : 1092-1098. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.12.06.
- [19] Mo GY, Guo HZ, Guo DQ, et al. Augmented pedicle trajectory applied on the osteoporotic spine with lumbar degenerative disease: mid-term outcome [J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14 (1) : 170. DOI: 10.1186/s13018-019-1213-y.
- [20] Guo HZ, Guo DQ, Tang YC, et al. Selective cement augmentation of cranial and caudal pedicle screws provides comparable stability to augmentation on all segments in the osteoporotic spine: a finite element analysis [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8 (21) : 1384. DOI: 10.21037/atm-20-2246.

(收稿:2023-04-09 修回:2023-08-04)

(同行评议专家:毛路,刘鹏,巴根)

(本文编辑:郭秀婷)