

# 椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的影响因素

罗佳佳, 祁建华, 杨斐, 明洪, 陈日高

(成都中医药大学附属医院, 四川 成都 610075)

**摘要** 椎体成形术是治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折的有效方法, 但术后常发生新的椎体压缩性骨折。近年来, 虽然学者们围绕椎体成形术后新发椎体压缩性骨折进行了大量的研究, 但目前对其影响因素仍存争议。比较常见的观点是, 患者自身因素以及包括骨水泥的性能、注入量、分布在内的骨水泥相关因素和手术自身因素等是椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的重要影响因素。本文从这些方面进行了综述, 为临床降低椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的风险提供参考。

**关键词** 椎体成形术; 脊柱骨折; 骨质疏松性骨折; 骨折, 压缩性; 手术后并发症; 综述

椎体成形术能快速缓解疼痛, 维持脊柱稳定, 改善患者生活质量, 已成为治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折 (osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF) 的主要方法<sup>[1-2]</sup>。但随着此类手术在临床的广泛开展, 与其相关的并发症也越来越引起临床医生的关注, 其中术后新发椎体压缩性骨折已成为研究的热点<sup>[3-4]</sup>。目前学界对椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的影响因素尚存争议, 比较常见的观点是, 患者自身因素以及包括骨水泥的性能、注入量、分布在内的骨水泥相关因素和手术自身因素等是其重要影响因素。我们从这些方面进行了综述, 以期临床降低椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的风险提供参考。

## 1 患者自身因素

**1.1 年龄和性别** 患者的年龄、性别均与椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的发生有关<sup>[5-6]</sup>。张子龙等<sup>[7]</sup>对 2216 例椎体成形术后 OVCF 患者进行了 1 ~ 2 年的随访, 有 227 例患者术后邻近节段出现了新发骨折, 经多因素回归分析后发现, 高龄、女性、骨密度低是术后新发骨折的危险因素。宁磊等<sup>[8]</sup>研究也发现女性、骨密度低是椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的高危因素。Lindsay 等<sup>[9]</sup>研究发现, 发生椎体压缩性骨折的女性, 骨折后 1 年内出现其他节段椎体压缩性骨折的风险很高。

**1.2 骨密度** 骨密度 T 值  $\leq -3.0$  SD 的患者, 椎体成形术后出现新发椎体压缩性骨折的风险显著提高<sup>[10]</sup>。Cummings 等<sup>[11]</sup>研究发现, OVCF 患者骨密度

每增加 1%, 其新发椎体压缩性骨折的风险就能降低 3%。因此, 系统性抗骨质疏松治疗被认为是 OVCF 患者椎体成形术后邻近节段新发椎体压缩性骨折的保护因素<sup>[7]</sup>。椎体成形术前静脉滴注唑来膦酸可有效降低术后疼痛强度, 减少骨丢失, 增加骨密度, 降低再骨折风险, 改善患者生活质量<sup>[12]</sup>。甲状旁腺激素治疗也可明显改善老年胸腰椎 OVCF 患者椎体成形术后的骨密度, 防止伤椎塌陷并降低术后新发邻椎骨折的风险<sup>[13]</sup>。坚持适度的锻炼, 通过物理刺激的方式也能明显增强骨密度, 降低椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的风险<sup>[5]</sup>。长期应用激素<sup>[14]</sup>或吸烟<sup>[15]</sup>会导致骨密度降低, 也可能增加椎体成形术后新发椎体压缩性骨折风险。

**1.3 体质量指数** 体质量指数 (body mass index, BMI) 是椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的危险因素之一。BMI 与雌激素水平相关, BMI 降低可能会导致雌激素对衰老相关骨丢失的抑制作用减弱, 加速骨质疏松病程的进展<sup>[16]</sup>。以往的观点认为肥胖是骨折的保护因素<sup>[17]</sup>。对于糖脂代谢正常的健康人, 正常或轻度升高的 BMI 可以有效维持或增强骨密度, 降低骨质疏松性骨折发生的风险。但近年来的研究表明, 对于过度肥胖或腹型肥胖的高龄人群, 肥胖会成为骨质疏松发展的危险因素<sup>[18]</sup>。体内存在过多的脂肪有可能会增加肌肉和骨骼脂肪化, 增加骨折风险<sup>[19]</sup>。

**1.4 肌肉状态** 全身肌力的减弱, 尤其是躯干肌力量减弱会改变脊柱的机械负荷、降低椎骨强度与脊柱的稳定性, 增加老年患者骨折的风险。Cangussu - Oliveira 等<sup>[20]</sup>研究发现, 伸肌的扭矩稳定性与 OVCF 直接相关。有效的躯干肌功能锻炼能增强躯干稳定

性,降低老年患者跌倒的风险,并能增加骨密度,降低骨折的发生率<sup>[21]</sup>。

**1.5 术前损伤情况** 椎体过度压缩会使得该节段脊柱后凸角明显增大,增大的后凸角导致脊柱前柱所受压力明显增加,脊柱矢状位失衡,致相邻椎体新发压缩性骨折<sup>[6]</sup>。Rohlmann 等<sup>[22]</sup>提出,椎体楔形压缩性骨折可使人体上半身重心向前移动,为对抗重心前移,竖脊肌张力升高可导致脊柱负荷增加,椎间盘内压力和终板应力增加,易致相邻椎体新发压缩性骨折。Morozumi 等<sup>[23]</sup>研究发现,患者椎体压缩程度及椎体成形术后椎体角度恢复与新发椎体压缩性骨折有关。初发骨折为双节段椎体骨折的患者脊柱后凸畸形更明显、前柱承受的应力更大,椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的概率更高。Frankel 等<sup>[24]</sup>研究发现, T<sub>11</sub> ~ L<sub>2</sub> 压缩性骨折患者,椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的发生率明显高于 L<sub>3</sub> ~ L<sub>5</sub> 压缩性骨折患者。Kim 等<sup>[25]</sup>对 212 例椎体成形术后患者随访 3 年,评估了 913 个椎体后发现,初发骨折节段至胸腰椎连接处的距离与术后新发椎体压缩性骨折的概率呈正相关。

## 2 手术相关因素

### 2.1 骨水泥相关因素

**2.1.1 骨水泥的性能** 聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethyl methacrylate, PMMA) 骨水泥因其刚度、强度出色,且价格低廉,是目前临床应用的主流。PMMA 骨水泥在体内主要起机械连接作用,其弹性模量为骨组织的 4 ~ 6 倍,但过高的弹性模量会导致手术节段刚度过高、应力集中,加速邻近节段椎体和终板的退变<sup>[26]</sup>。与 PMMA 骨水泥相比,低模量骨水泥对应力重分布的影响较小。Boger 等<sup>[27]</sup>研究发现,椎体成形术中应用低模量骨水泥较应用 PMMA 骨水泥术后并发邻近节段新发椎体压缩性骨折的风险低。Peng 等<sup>[28]</sup>根据一位女性患者的 CT 数据建立了 T<sub>11</sub> ~ L<sub>1</sub> 椎体骨折三维有限元模型,并在模型上模拟不同硬度的骨水泥填充效果,结果显示随着骨水泥弹性模量的升高,伤椎及邻近椎体所受应力明显增加。另外,由于骨细胞不能生长到具有生物惰性的 PMMA 骨水泥中,PMMA 骨水泥的生物相容性较差,骨水泥和宿主骨之间不能形成稳定的连接<sup>[29]</sup>,也会增加新发椎体压缩性骨折的风险。聚磷酸钙骨水泥具有生物相容性和骨传导性好、固化时放热低等优点,还可促进骨

矿化,抑制破骨细胞活性<sup>[30]</sup>,这些性能对促进伤椎愈合和预防新发椎体压缩性骨折均具有重大意义。

**2.1.2 骨水泥的注入量** 骨水泥注入量增加是否会增加邻近椎体发生骨折的风险目前尚存在争议。Liebschner 等<sup>[31]</sup>认为,椎体成形术中骨水泥的填充体积只需占到伤椎原体积的 14%,就可以将伤椎强度恢复到损伤前水平。Belkoff 等<sup>[32]</sup>在 144 个 T<sub>6</sub> ~ L<sub>5</sub> 离体椎骨中建立了椎体压缩性骨折模型,在确定初始强度和刚度后,分别经双侧椎弓根注入总量为 2 mL、4 mL、6 mL、8 mL 的骨水泥,发现注入 2 mL 骨水泥时,骨折椎体的强度即可恢复。研究<sup>[33-34]</sup>发现,在脊柱三维有限元模型上,椎体成形手术节段邻近椎体终板的应力水平随骨水泥体积的增加而增加。这些都意味着椎体成形术中并不是骨水泥填充的越多越好。

**2.1.3 骨水泥的分布** 理想的骨水泥分布状态是海绵状的。呈海绵状分布时,骨水泥和松质骨充分接触,两者可达到同质化以增加椎体的强度和刚度<sup>[35]</sup>。骨水泥呈团块状分布时,与松质骨的接触面积大大减小,应力集中而产生明显的应力阶梯,会影响上下椎体的应力传递方式,加速邻近节段的退变。采用单侧入路还是双侧入路进行椎体成形术,短期疗效并无明显差异<sup>[36]</sup>。但采用双侧入路注入骨水泥使其呈“H”形分布,可增大骨水泥与松质骨之间的接触面积并减少骨水泥渗漏,降低因骨水泥分布不均和渗漏引起新发椎体压缩性骨折的风险<sup>[37-38]</sup>。当骨水泥弥散充分并与上下终板均接触,就会充满整个椎体,对松质骨和终板起到充分的“粘结”作用,可以更好地恢复椎体的强度<sup>[39-40]</sup>;应力传递会依照上终板、骨水泥、下终板的顺序均匀有效地传递,显著减轻松质骨所受应力<sup>[41]</sup>。因此,骨水泥均匀分布对于防止椎体成形术后新发椎体压缩性骨折具有重大意义。影响骨水泥分布的因素主要有椎体骨质疏松程度、骨折类型和时间,以及骨水泥注入的时机、压力和黏度<sup>[42]</sup>。在手术中通过选择恰当的注入时机、降低注入压力、使用低黏度骨水泥可以达到更好的弥散效果。

椎间盘内骨水泥渗漏是否会增加新发椎体压缩性骨折的风险目前仍存在争议。有研究<sup>[6,43-44]</sup>认为,椎间盘内骨水泥渗漏是新发椎体骨折的影响因素。Polikeit 等<sup>[45]</sup>的研究显示,骨水泥注入椎间盘会导致邻近椎体终板的压力增加和结构改变,增加新发椎体骨折的风险。蔡金辉等<sup>[46]</sup>对 151 例椎体成形术后患

者进行骨水泥渗漏定量研究后,认为渗漏至椎间盘的骨水泥量与邻近椎体发生骨折的风险呈正相关,骨水泥-椎间盘相对面积比对预测邻椎骨折具有较好的效果。骨水泥渗漏至椎间盘会改变椎间盘内的应力分布,渗漏的骨水泥在椎体间形成“支柱效应”,使椎体间连接变为刚性,并减少了椎间关节的活动,导致相邻椎体的应力分布变化。且椎间盘内骨水泥渗漏减弱了椎间盘的缓冲避震作用,可影响脊柱稳定性。这些均可能是椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的影响因素。骨水泥在椎间盘内的渗漏部位也是新发椎体压缩性骨折的影响因素。Jesse 等<sup>[47]</sup>研究发现,椎体成形术中骨水泥渗漏至椎间盘的前 1/3 部,术后新发椎体压缩性骨折的概率显著增加。

**2.2 手术自身因素** 从理论上讲,将压缩骨折椎体的高度恢复到原来的状态是一个理想的状态。恢复被压缩椎体的高度有许多益处,如减轻后凸并发症、恢复脊柱的稳定性等。然而,对压缩性骨折椎体高度的恢复和脊柱后凸畸形的矫正,可能是椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的重要危险因素<sup>[25,48-49]</sup>。完全恢复压缩性骨折椎体的高度需要注入大剂量的骨水泥,而大量骨水泥的填充意味着更高的应力集中和更高的骨水泥椎间盘内渗漏的风险。椎体成形术后相邻椎体间的连接是刚性的,过度的负荷在相邻节段并不突出,而相对可移动的远节段与刚性相邻节段之间的移动性梯度可能导致新椎体骨折<sup>[50]</sup>。OVCF 患者多为老年人,多数患者存在严重的脊椎退变,脊柱往往有多个节段发生楔形变,单一节段后凸角的矫正并不能改善脊柱整体矢状面失衡的状况,反而导致矫正椎体邻近节段的应力更加集中,引发新的椎体骨折。

### 3 小结

椎体成形术后出现新发椎体压缩性骨折的影响因素至今仍存争议。部分学者认为 OVCF 患者椎体成形术后邻近椎体新发压缩性骨折,可能与潜在的病因有关,与手术干预无关<sup>[51]</sup>。而更多学者认为对初始骨折节段行椎体成形术是术后新发椎体压缩性骨折的重要影响因素<sup>[52]</sup>。新发椎体压缩性骨折既是患者自身骨质疏松病程的进展,也受到骨水泥、手术等相关因素的影响,各种影响因素交织在一起,共同促进了椎体成形术后新的椎体压缩性骨折的发生。进一步的研究需要寻找更高级别的证据,以证实仍存争议的影响因素,并可尝试通过优化填充材料、改良手

术方式及制定个性化治疗方案,进一步降低椎体成形术后新发椎体压缩性骨折的风险。

### 参考文献

- [1] WARDLAW D, CUMMINGS S R, VAN MEIRHAEGHE J, et al. Efficacy and safety of balloon kyphoplasty compared with non-surgical care for vertebral compression fracture (FREE): a randomised controlled trial [J]. Lancet, 2009, 373(9668): 1016-1024.
- [2] MA X, XIA H, WANG J, et al. Re-fracture and correlated risk factors in patients with osteoporotic vertebral fractures [J]. J Bone Miner Metab, 2019, 37(4): 722-728.
- [3] LI H, YANG D L, MA L, et al. Risk factors associated with adjacent vertebral compression fracture following percutaneous vertebroplasty after menopause: a retrospective study [J]. Med Sci Monit, 2017, 23: 5271-5276.
- [4] TAKAHARA K, KAMIMURA M, MORIYA H, et al. Risk factors of adjacent vertebral collapse after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral fracture in postmenopausal women [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2016, 17: 12.
- [5] ZHANG Z L, YANG J S, HAO D J, et al. Risk factors for new vertebral fracture after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Clin Interv Aging, 2021, 16: 1193-1200.
- [6] LEE H J, PARK J, LEE I W, 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: e146-e157.
- [7] 张子龙, 井齐明, 乔瑞, 等. 骨质疏松性椎体压缩骨折经皮椎体成形术后邻近椎体新发骨折的危险因素分析 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(1): 20-25.
- [8] 宁磊, 万双林, 杨明, 等. 经皮椎体后凸成形术后非骨折椎体骨折的原因分析 [J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(10): 990-996.
- [9] LINDSAY R, SILVERMAN S L, COOPER C, et al. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture [J]. JAMA, 2001, 285(3): 320-323.
- [10] 叶向阳, 汤立新, 程省, 等. 骨密度对骨质疏松性椎体压缩性骨折 PKP 术后骨折再发风险的评估价值 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2017, 23(2): 154-158.
- [11] CUMMINGS S R, KARP D B, HARRIS F, et al. Improvement in spine bone density and reduction in risk of vertebral fractures during treatment with antiresorptive drugs [J]. Am

- J Med, 2002, 112(4): 281 – 289.
- [12] HU W, WANG H, SHI X, et al. Effect of preoperative zoledronic acid administration on pain intensity after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures[J/OL]. Pain Res Manag, 2020, 8[2021 – 11 – 01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32831984>.
- [13] 李强, 陈晨, 马迅, 等. 甲状旁腺激素(1 – 34)在治疗胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折经皮椎体后凸成形术后邻近椎体再骨折中的应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2020, 22(4): 355 – 359.
- [14] HARROP J S, PRPA B, REINHARDT M K, et al. Primary and secondary osteoporosis' incidence of subsequent vertebral compression fractures after kyphoplasty[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(19): 2120 – 2125.
- [15] MA X, XIA H, WANG J, et al. Re-fracture and correlated risk factors in patients with osteoporotic vertebral fractures[J]. J Bone Miner Metab, 2019, 37(4): 722 – 728.
- [16] REID I R. Relationships among body mass, its components, and bone[J]. Bone, 2002, 31(5): 547 – 555.
- [17] SCOTT D, CHANDRASEKARA S D, LASLETT L L, et al. Associations of sarcopenic obesity and dynapenic obesity with bone mineral density and incident fractures over 5 – 10 years in community – dwelling older adults[J]. Calcif Tissue Int, 2016, 99(1): 30 – 42.
- [18] HOU J, HE C, HE W, et al. Obesity and bone health: a complex link[J]. Front Cell Dev Biol, 2020, 8: 600181.
- [19] ILICH J Z, KELLY O J, INGLIS J E, et al. Interrelationship among muscle, fat, and bone; connecting the dots on cellular, hormonal, and whole body levels[J]. Ageing Res Rev, 2014, 15: 51 – 60.
- [20] CANGUSSU – OLIVEIRA L M, PORTO J M, JUNIOR F J R, et al. Association between the trunk muscle function performance and the presence of vertebral fracture in older women with low bone mass[J]. Aging Clin Exp Res, 2020, 32(6): 1067 – 1076.
- [21] GADELHA A B, NERI S G R, DE OLIVEIRA R J, et al. Severity of sarcopenia is associated with postural balance and risk of falls in community – dwelling older women[J]. Exp Aging Res, 2018, 44(3): 258 – 269.
- [22] ROHLMANN A, ZANDER T, BERGMANN G. Spinal loads after osteoporotic vertebral fractures treated by vertebroplasty or kyphoplasty[J]. Eur Spine J, 2006, 15(8): 1255 – 1264.
- [23] MOROZUMI M, MATSUBARA Y, MURAMOTO A, et al. A study of risk factors for early – onset adjacent vertebral fractures after kyphoplasty[J]. Global Spine J, 2020, 10(1): 13 – 20.
- [24] FRANKEL B, KRISHNA V, VANDERGRIFT A, et al. Natural history and risk factors for adjacent vertebral fractures in the fracture intervention trial[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(25): 2201 – 2207.
- [25] KIM S H, KANG H S, CHOI J A, et al. Risk factors of new compression fractures in adjacent vertebrae after percutaneous vertebroplasty[J]. Acta Radiol, 2004, 45(4): 440 – 445.
- [26] WU T Y, YANG M C, HSU Y C. Improvement of cytocompatibility of polylactide by filling with marine algae powder[J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2015, 50: 309 – 316.
- [27] BOGER A, HEINI P, WINDOLF M, et al. Adjacent vertebral failure after vertebroplasty: a biomechanical study of low – modulus PMMA cement[J]. Eur Spine J, 2007, 16(12): 2118 – 2125.
- [28] PENG Y, DU X, HUANG L, et al. Optimizing bone cement stiffness for vertebroplasty through biomechanical effects analysis based on patient – specific three – dimensional finite element modeling[J]. Med Biol Eng Comput, 2018, 56(11): 2137 – 2150.
- [29] JANSSEN D, MANN K A, VERDONSCHOT N. Finite element simulation of cement – bone interface micromechanics: a comparison to experimental results[J]. J Orthop Res, 2009, 27(10): 1312 – 1318.
- [30] 王智强, 林路, 陈萧霖, 等. 经皮椎体强化治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折: 导航定位、骨折复位系统、骨水泥渗漏及材料的改良[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(4): 631 – 636.
- [31] LIEBSCHNER M A, ROSENBERG W S, KEAVENY T M. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(14): 1547 – 1554.
- [32] BELKOFF S M, MATHIS J M, JASPER L E, et al. The biomechanics of vertebroplasty. The effect of cement volume on mechanical behavior[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(14): 1537 – 1541.
- [33] YAN L, CHANG Z, XU Z, et al. Biomechanical effects of bone cement volume on the endplates of augmented vertebral body: a three – dimensional finite element analysis[J]. Chin Med J (Engl), 2014, 127(1): 79 – 84.
- [34] 王德国, 李洋, 尹红灵, 等. 椎体成形术填充剂最优分布模式三维有限元分析[J]. 中国骨伤, 2021, 34(1): 26 – 33.

- [35] HE S, ZHANG Y, LV N, et al. The effect of bone cement distribution on clinical efficacy after percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(50): e18217.
- [36] REBOLLEDO B J, GLADNICK B P, UNNANUNTANA A, et al. Comparison of unipedicular and bipedicular balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: a prospective randomised study[J]. *Bone Joint J*, 2013, 95-B(3): 401-406.
- [37] ZHANG Z, JIAO F, HUANG H, et al. A second puncture and injection technique for treating osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1): 413.
- [38] 苟永胜, 李海波, 付柏林, 等. 单双侧入路经皮椎体后凸成形术治疗伴伤椎后壁破损的骨质疏松性椎体压缩骨折近期疗效比较[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34(10): 1281-1287.
- [39] CHEVALIER Y, PAHR D, CHARLEBOIS M, et al. Cement distribution, volume, and compliance in vertebroplasty: some answers from an anatomy-based nonlinear finite element study[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(16): 1722-1730.
- [40] XU K, LI Y L, SONG F, et al. Influence of the distribution of bone cement along the fracture line on the curative effect of vertebral augmentation[J]. *J Int Med Res*, 2019, 47(9): 4505-4513.
- [41] SUN H B, JING X S, LIU Y Z, et al. The optimal volume fraction in percutaneous vertebroplasty evaluated by pain relief, cement dispersion, and cement leakage: a prospective cohort study of 130 patients with painful osteoporotic vertebral compression fracture in the thoracolumbar vertebra[J]. *World Neurosurg*, 2018, 114: e677-e688.
- [42] 马建华, 王庆雷, 杨兆义, 等. 不同粘度骨水泥椎体成形术治疗骨质疏松椎体压缩骨折的弥散程度分析[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2017, 37(12): 1605-1607.
- [43] MOUSAVI P, ROTH S, FINKELSTEIN J, et al. Volumetric quantification of cement leakage following percutaneous vertebroplasty in metastatic and osteoporotic vertebrae[J]. *J Neurosurg*, 2003, 99(1 Suppl): 56-59.
- [44] YANG S, LIU Y, YANG H, et al. Risk factors and correlation of secondary adjacent vertebral compression fracture in percutaneous kyphoplasty[J]. *Int J Surg*, 2016, 36(Pt A): 138-142.
- [45] POLIKEIT A, NOLTE L P, FERGUSON S J. The effect of cement augmentation on the load transfer in an osteoporotic functional spinal unit: finite-element analysis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(10): 991-996.
- [46] 蔡金辉, 刘庆余, 阮耀钦, 等. 经皮椎体强化术后骨水泥椎间盘渗漏与邻近椎体骨折的相关性分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(8): 713-719.
- [47] JESSE M K, PETERSEN B, GLUECK D, et al. Effect of the location of endplate cement extravasation on adjacent level fracture in osteoporotic patients undergoing vertebroplasty and kyphoplasty[J]. *Pain Physician*, 2015, 18(5): E805-E814.
- [48] HIDA K, KUMAMARU H, SAITO T, et al. Overcorrection of fractured vertebrae increases the incidence of adjacent fractures after balloon kyphoplasty: a retrospective study[J]. *J Orthop*, 2021, 24: 194-200.
- [49] 韩晓东, 孟纯阳. 椎体成形术后椎体前缘高度恢复率与邻近椎体骨折的相关性研究[J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27(10): 885-889.
- [50] AHN Y, LEE J H, LEE H Y, et al. Predictive factors for subsequent vertebral fracture after percutaneous vertebroplasty[J]. *J Neurosurg Spine*, 2008, 9(2): 129-136.
- [51] YANG W, SONG J, LIANG M, et al. Functional outcomes and new vertebral fractures in percutaneous vertebroplasty and conservative treatment of acute symptomatic osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *World Neurosurg*, 2019, 131: e346-e352.
- [52] YI X, LU H, TIAN F, et al. Recompression in new levels after percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty compared with conservative treatment[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2014, 134(1): 21-30.

(收稿日期: 2021-11-30 本文编辑: 杨雅)