

# 椎体强化术后邻椎再发骨折影响因素及预防研究进展

田保磊<sup>1</sup> 姚啸生<sup>2△</sup> 戚晓楠<sup>2</sup> 乔隆<sup>2</sup> 王禹<sup>2</sup>

【关键词】 再发骨折;经皮椎体成形术;经皮椎体后凸成形术;压缩骨折

【中图分类号】 R683.2 【文献标志码】 A 【文章编号】 1005-0205(2019)01-0082-04

经皮椎体成形术(Percutaneous Vertebroplasty, PVP)和经皮椎体后凸成形术(Percutaneous Kyphoplasty, PKP)统称椎体强化术。因创伤小、止痛快、操作简单、安全有效、术后可早期恢复活动等优点,被广泛应用于骨质疏松性椎体压缩骨折(Osteoporotic Vertebral Compression Fractures, OVCF)的治疗。术后椎体再发骨折作为常见严重并发症之一越来越引起重视<sup>[1]</sup>。PVP/PKP术后邻椎再发骨折的发生率约在12%~52%之间<sup>[2]</sup>,发生率远大于间隔椎和手术椎,且发生时间更早,大多发生在术后1年以内<sup>[3]</sup>。PVP/PKP术后邻椎骨折发生率的差异性在一定程度上说明了其相关因素的复杂性。引发邻椎再骨折的原因是多方面的,主要与患者自身、骨水泥、椎体、手术因素等有关。总结国内外相关文献,对PVP/PKP术后邻椎再发骨折影响因素及预防研究进展综述如下。

## 1 患者自身因素及预防

患者自身因素是邻椎再发骨折的主要原因。包括骨质疏松、性别、年龄、雌激素水平、体质量指数等,其中骨质疏松是PVP/PKP术后邻椎再发骨折的最主要原因。性别、年龄、体质量指数、雌激素通过影响骨密度对PVP/PKP术后邻椎再发骨折产生影响。李业成等<sup>[4]</sup>在探讨PVP治疗骨质疏松椎体压缩骨折术后相邻椎体再发骨折的危险因素中进行多因素Logistic回归分析,发现骨质疏松是PVP术后邻椎再发骨折的独立危险因素。Movrin等<sup>[5]</sup>认为保守治疗和椎体成形术治疗OVCF,椎体再发骨折率差异无统计学意义,术后邻椎椎骨折是骨质疏松的自然病程<sup>[6]</sup>。性别及年龄是影响原发性骨质疏松症重要因素<sup>[7]</sup>,60~69岁患有骨质疏松症(Osteoporosis, OP)的男性有30%,女性则高达70%<sup>[8]</sup>,研究表明高龄是PVP术后继发骨折的独立危险因素,且随着年龄的增加,肌肉力量和视力的下降,都会增加邻椎再发骨折的风险<sup>[9]</sup>。雌激素的

缺乏是绝经后妇女骨质疏松的主要原因<sup>[10]</sup>。Lee等<sup>[11]</sup>通过多因素分析,发现低体质量指数(BMI)是PVP术后发生邻椎骨折的高危因素。以上因素都通过影响骨密度,从而对邻椎再发骨折产生影响。骨密度较低的患者,骨量减少,骨小梁稀疏,骨皮质变薄,骨的脆性增加,骨水泥强化后,邻椎刚度和强度与手术椎差异较大,容易再发骨折<sup>[12]</sup>。

规范化、个体化长期抗骨质疏松治疗是预防邻椎再发骨折的主要措施。生活中应做好防跌倒,BMI较高者控制体质量,减轻椎体压力,均是避免邻椎再发骨折的有效措施。罗斌等<sup>[13]</sup>通过Meta分析椎体后凸成形术后邻近椎体再发骨折发生率及相关危险因素发现,规范化的抗骨质疏松治疗是降低这种并发症的有效手段。中医药通过提高骨密度预防椎体再骨折具有一定的优势。李颖等<sup>[14]</sup>在补肾健脾中药复方预防PVP术后再发骨折的随访研究中发现,补肾健脾中药复方能提高骨密度,降低邻椎再骨折的风险,而且能明显改善患者术后的功能和症状。王晓彤等<sup>[15]</sup>通过系统评价和Meta分析温针灸对比钙片防治绝经后骨质疏松患者的总有效率及骨代谢水平,发现温针灸可提高绝经后骨质疏松患者的骨密度及临床总有效率。

## 2 骨水泥因素及预防

### 2.1 骨水泥渗漏至椎间盘

骨水泥渗漏至椎间盘会增加邻椎再发骨折风险。骨水泥渗漏到椎间盘代表椎体终板本身有破裂,说明椎体压缩程度较重或骨质疏松程度比较重。一方面,二者都是邻椎再发骨折的重要因素。另一方面,骨水泥渗漏到椎间盘使其刚度增加,缓冲作用降低,“柱墩效应”加速邻近椎体骨折的发生。陈涛等<sup>[16]</sup>回顾性研究OVCF患者200例(263椎),采用多因素Logistic回归分析得出骨水泥的渗漏是影响椎体强化术后发生邻近椎体骨折的高危因素。同时国外研究者也发现骨水泥渗漏至椎间盘会增加邻椎再发骨折风险<sup>[17]</sup>。

杨惠林等<sup>[18]</sup>采用温度梯度灌注技术和二次调制灌注封堵技术可有效减少骨水泥的渗漏。术中注入适量的骨水泥也是减少骨水泥渗漏的有效方法。徐林飞等<sup>[19]</sup>通过明胶海绵预注射的方式有效降低骨水泥的渗漏率和渗漏量。

基金项目:国家中医药管理局项目(JDZX2015029)

<sup>1</sup> 辽宁中医药大学研究生院(沈阳,110079)

<sup>2</sup> 辽宁中医药大学附属医院

△通信作者 E-mail:18102456769@163.com

## 2.2 骨水泥注入的量

多数专家倾向于骨水泥的注入量和邻椎再发骨折相关,临床研究表明骨水泥注入量的多少与临床效果并不呈正比,但与渗漏发生率呈正比<sup>[20]</sup>。骨水泥注入椎体量越多,渗漏的几率会增加,邻椎再发骨折的风险也会随之增加。Belkoff 等<sup>[21]</sup>通过力学试验证明注入 2 ml 骨水泥即可恢复椎体强度并减轻患者疼痛,达到手术目的。苟永胜等<sup>[22]</sup>按照骨折椎体体积的 15% 注射骨水泥治疗 OVCF 在临床取得满意效果,这与国外研究者的研究结果基本相同<sup>[23]</sup>。Rotter 等<sup>[24]</sup>通过生物力学测试证实,PVP 术后椎体硬度增加使邻椎的极限载荷减少 8%~30%,邻椎再发骨折风险增高。

因此,术前完善的影像学检查,正确评估椎体骨折的类型和压缩程度、椎体的大小等,术中严格把握骨水泥注入的量不仅可以减少骨水泥的渗漏风险,还可以减少邻椎骨折的再发。

## 2.3 骨水泥在椎体内的分布

骨水泥在椎体内的弥散程度与邻椎再发骨折率成负相关。骨水泥在椎体内分布不均,使椎体间应力传导不均衡,这种不均匀的力传导加速椎间盘的退变,改变脊柱的生物力学,极大地增加邻椎发生骨折的风险<sup>[25,26]</sup>。Tanigawa 等<sup>[27]</sup>认为团块状分布骨水泥比海绵状分布骨水泥更易导致相邻椎体再发骨折。有国外研究者发现骨水泥同时接触椎体上下终板时椎体强度是不接触时 11 倍,骨水泥只接触一侧终板时是不接触时 2 倍,并认为骨水泥在椎体间充分弥散有利于减少椎体再发骨折<sup>[28]</sup>。

骨水泥注入的时间对于其在椎体内的分布有一定影响。骨水泥刚好不沾手套时(骨水泥拉丝期后期)作为骨水泥初始注入的时间点,此时的骨水泥能够在椎体内充分弥散<sup>[18]</sup>。

## 2.4 骨水泥材料

当今医学技术虽然发达,但尚未找到一种生物力学特点与生物相容性可完全替代人体椎体的材料,研究者一直在为寻找完美填充材料而努力。目前应用于椎体成形术的填充材料主要是聚甲基丙烯酸(PMMA),它具有强度高、止痛快等优势,但也有硬度大、不可降解、产热大、缺乏骨传导和骨诱导性、有毒性等缺陷<sup>[29]</sup>。PMMA 和松质骨过高的硬度差使椎体失去了“蛋壳样”应力分散系统,这也是邻椎再发骨折的危险因素之一。PMMA 所引起纤维化和热坏死,可能加重骨坏死,最后导致邻椎的再发骨折<sup>[30]</sup>。Gilula 等<sup>[31]</sup>采用实验组 Cortoss(低模量骨水泥)与对照组 PMMA 治疗 OVCF,术后随访发现实验组比对照组新发椎体骨折少 12.9%。磷酸钙骨水泥(CPC)具有良好的自固化性、可塑性、生物相容性、骨传导性、可降解性、利于材料载入药物等优势<sup>[32]</sup>,但 CPC 骨水泥在显影和材料降解方面不理想。因此寻找一种生物力学特点与生物相容性更接近人体椎体的骨水泥材料成为迫切需要解决的问题。

## 3 椎体因素及预防

### 3.1 椎体骨折发生的部位

胸腰段位于脊柱生理弯曲转折点,应力相对集中,特别是中胸段 T<sub>7</sub>~T<sub>9</sub> 和胸腰段 T<sub>11</sub>~L<sub>2</sub> 形成邻近椎体骨折空间丛集现象,更容易发生相邻椎体再发骨折。Kim 等<sup>[33]</sup>对 526 个胸椎和 387 个腰椎进行分析发现,胸腰段行椎体成形术后相邻椎体发生骨折的概率是其他节段发生骨折的 2.7 倍。黄天霖等<sup>[34]</sup>在骨水泥灌注椎体强化后相邻阶段再发骨折的预测因素中得出初次骨折为胸腰段是强化椎体相邻阶段再发骨折的独立预测因素。

### 3.2 椎体骨折发生数量或椎体强化数量

邻椎再发骨折率与椎体骨折发生数量或椎体强化数量成正相关。椎体骨折发生数量越多,一定程度也反映出患者骨质疏松程度越重。欧阳超等<sup>[35]</sup>发现手术强化椎体数量是邻椎再发骨折高危因素,椎体融合阶段越多,缓冲作用越弱,相邻椎体所受的压力负荷增加越多,再发骨折的风险也增加越多。Voormolen 等<sup>[36]</sup>单因素分析认为术前存在的骨折数量越多邻椎再发骨折可能性就越大。Klazen 等<sup>[37]</sup>发现基础骨折数多是 PVP 术后再发骨折的唯一高危因素。

### 3.3 椎体骨折压缩程度

邻椎再发骨折率与椎体骨折压缩程度成正相关。椎体骨折压缩程度越重说明受伤时椎体所受的力越大或者骨质疏松程度越重。席新华等<sup>[38]</sup>发现弥散系数(弥散系数=骨水泥弥散体积/骨水泥注射量)随着骨折压缩程度的增高而降低,骨水泥在椎体内的弥散不均增加椎体再发骨折风险。

### 3.4 椎体骨折发生的类型

椎体骨折不愈合由于需要灌注更多骨水泥及不易充分弥散,会增加邻椎再发骨折风险,作为一种特殊类型的椎体压缩性骨折,椎体骨折不愈合患者更容易发生邻椎再骨折。其中,椎体内裂隙征(IVC 征)的存在,使术中应灌注足量骨水泥填充裂隙以保证病椎的锚合稳定。临床统计 PVP 治疗椎体骨折不愈合的骨水泥平均用量为大于一般 OVCF 的 2.5~5.0 mL,椎体骨折不愈合骨水泥平均用量为 5.9~7.4 mL<sup>[39]</sup>。但是过多的骨水泥不仅增加了骨水泥渗漏的风险,也增加了邻椎再发骨折的风险。对于伴有 IVC 征的椎体,在骨水泥注入后由于空腔裂隙周缘常有瘢痕覆盖且伴骨质硬化,使骨水泥不容易弥散而成团状分布,经过长期的应力作用容易出现邻椎再发骨折<sup>[40]</sup>。

术前需完善影像学检查,明确诊断是单纯的压缩性骨折还是椎体骨折不愈合,是否伴有 IVC 征的存在,不同的疾病需要不同量的骨水泥。对于此类疾病,行骨水泥一骨锚合技术和骨水泥二次调制灌注封堵技术可有效防止骨水泥渗漏,同时也可以使骨水泥在椎体内均匀分布<sup>[18]</sup>。

### 3.5 椎体生物力学改变

椎体成形术后应力集中会增加椎体再发骨折风

险。椎体在受力过程中,应力由椎间盘传至终板分散到骨小梁,上下终板在受力时向中央凹陷。PVP/PKP后骨小梁应力分散作用降低,上下终板内陷受阻,导致应力集中在邻椎。Baroud等<sup>[41]</sup>通过实验得出,PVP/ PKP后受力状态下终板中心凹陷减少了7%,椎间压力增加了19%,邻椎终板中心凹陷增加了17%。彭国庆等<sup>[42]</sup>在经皮椎体后凸成形术后骨水泥用量对骨质疏松性五联椎体模型生物力学的影响研究中发现,强化椎邻椎的应力在PKP术后较术前有明显增加。

### 3.6 术后椎体恢复高度

术后椎体恢复高度过大会增加邻椎再发骨折率。椎体不同程度骨折造成了脊柱的后凸畸形,使椎体重心前移,前方应力集中,理论上要尽可能地恢复椎体前柱的高度,矫正脊柱后凸畸形。但大多数压缩骨折为楔形,椎体高度的过度恢复必然使骨水泥过多集中在椎体的前缘,会增加邻椎再发骨折的风险<sup>[43]</sup>。Kang等<sup>[44]</sup>回顾分析了60例行PVP术患者发现,后凸角度过大增加了PVP术后邻椎再发骨折的发生率。矢状位后凸角纠正增加1°,术后邻椎再发骨折的风险提高9%<sup>[45]</sup>。这就需要把脊柱后凸畸形恢复到一个合适高度,具体恢复到骨折前椎体高度的多少,文献中鲜有描述,需要进一步探讨。

## 4 手术方式

PKP/PVP不同手术方式是否和术后邻椎再发骨折有关,研究者意见并不统一。Michael等<sup>[46]</sup>对OVCF进行了Meta分析,认为在PKP/PVP术后邻椎再发骨折的概率差异无统计学意义(分别为17.5%与18%)。但仇志学等<sup>[47]</sup>在28例PKP术后邻椎骨折的治疗观察中发现,邻近椎体骨折行PKP再次发生邻近椎体骨折的概率比PVP低。PVP或PKP哪种术式使相邻椎体再发骨折率更小尚需进一步研究。

## 5 其他因素及预防

PVP/ PKP术后邻椎再发骨折影响因素还有激素、体质量、术后活动、支具佩戴等。Sun等<sup>[48]</sup>研究发现长期服用激素可增加术后邻椎再发骨折风险,长期服用激素组椎体再发骨折的发生率为23.8%远大于对照组6.0%,他们观察到长期服用激素患者骨折发生率与骨密度并不平行,PVP术后相邻椎体再发骨折比例明显高于原发性骨质疏松患者,在未出现严重骨质疏松时即可发生骨折。体质量的增加、术后活动量过大都会加重脊柱负荷,也会增加邻椎再发骨折的风险。唐政杰等<sup>[49]</sup>发现术后支具佩戴时间短也可导致邻椎再发骨折。因此,避免长期服用激素、控制体质量、适度运动、术后在脊柱应力处佩戴支具加强保护,是降低术后相邻椎体再发骨折的有效手段。

总之,PVP/ PKP术后邻椎再发骨折是多因素所致,其发生机理较为复杂。PVP/ PKP术后邻椎再发骨折的解决需多方共同努力,这就需要医生术前准确评估,制定合理的手术方案,术中认真操作;患者规范化抗骨质疏松治疗,加强自身保护;科研工作者

则要发明更加适合的填充材料。

## 参考文献

- [1] LIANG L, CHEN X, JIANG W, et al. Balloon kyphoplasty or percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fracture? An updated systematic review and meta analysis[J]. Ann Saudi Med, 2016, 36(3): 165-174.
- [2] MUDANO A S, BIAN J, COPE J U, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty are associated with an increased risk of secondary vertebral compression fractures: a population-based cohort study[J]. Osteoporos Int, 2009, 5: 819-826.
- [3] 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.
- [4] 李业成, 张巍, 张成亮, 等. PVP术后相邻椎体新发骨折的危险因素分析[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2017, 32(1): 25-27.
- [5] MOVIRIN I, VENGUST R, KOMADINA R. Adjacent vertebral fractures after percutaneous vertebral augmentation of osteoporotic vertebral compression fracture: a comparison of balloon kyphoplasty and vertebroplasty [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2010, 130(9): 1157-1166.
- [6] 黄天霖, 寇玉辉, 殷晓峰, 等. 椎体强化术后再发椎体骨折的临床特点和危险因素[J]. 北京大学学报: 医学版, 2015, 47(2): 237-241.
- [7] 宋红, 黄华, 王伟, 等. 不同性别及年龄因素对原发性骨质疏松症骨代谢指标、血清骨保护素及骨密度影响的研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2015, 21(10): 1161-1164.
- [8] 史光华, 李鹏翠, 卫小春. 骨质疏松椎体压缩骨折的治疗进展[J]. 中国骨伤, 2013, 26(10): 878-882.
- [9] HUANG T J, KOU Y H, YIN X F, et al. Clinical characteristics and risk factors of newly developed vertebral fractures after vertebral augmentation[J]. J Peking Univ: Healty Sci, 2015, 47(2): 237-241.
- [10] 孙伟明, 刘爽. 雌激素影响绝经后骨质疏松分子机制研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(2): 499-502.
- [11] LEE D G, PARK C K, PARK C J, et al. Analysis of risk factors causing new symptomatic vertebral compression fractures after percutaneous vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral compression fractures: a 4-year follow-up[J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(10): 578-583.
- [12] 张磊, 荆波, 何秀明, 等. 骨质疏松性骨折椎体成形术后其他椎体再骨折的临床分析[J]. 基层医学论坛, 2016, 20(34): 4915-4916.
- [13] 罗斌, 吴星火, 邸方. 椎体后凸成形术后邻近椎体再发骨折发生率及相关危险因素的分析研究[J]. 创伤外科杂志, 2013, 15(1): 23-27.
- [14] 李颖, 姜志强, 黄宏兴. 补肾健脾中药复方预防椎体成形术后再骨折的随访研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2017, 23(5): 667-671.
- [15] 王晓彤, 林海雄, 陈梓轩, 等. 系统评价温针灸防治绝经后骨质疏松的临床疗效及对骨代谢的影响[J]. 辽宁中医杂志, 2018, 45(3): 479-483.
- [16] 陈涛, 杨建东, 张亮, 等. 骨质疏松性胸腰椎骨折椎体强化术后发生邻近椎体骨折的危险因素分析[J]. 骨科, 2017, 8(3): 190-193.

- [17] 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.
- [18] 杨惠林, 刘强, 唐海. 经皮椎体后凸成形术的规范化操作及相关问题的专家共识[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(11): 808-812.
- [19] 徐林飞, 胡侦明, 江维, 等. 明胶海绵预注射在椎体成形术中预防骨水泥渗漏的体外研究[J]. *重庆医科大学学报*, 2015, 40(2): 207-211.
- [20] KAUFMANN T J, TROUT A T, KALLMES D F. The effects of cement volume on clinical outcomes of percutaneous vertebroplasty[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2006, 27(9): 1933-1937.
- [21] 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*, 2001, 26(14): 1537-1541.
- [22] 苟永胜, 李海波, 何小翠, 等. 骨水泥注射量与经皮椎体后凸成形术后疗效的临床随机对照研究[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2015, 30(5): 473-476.
- [23] LIEBSCHNER M A, ROSENBERG W S, KEAVENY T M. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty[J]. *Spine*, 2001, 26(14): 1547-1554.
- [24] ROTTER P, FLUGMACHER D, KANDZIOR A, et al. Biomechanical in vitro testing of human osteoporotic lumbar vertebrae following prophylactic kyphoplasty with different candidate materials[J]. *Spine*, 2007, 32(13): 1400-1405.
- [25] BAROUD G, BOHNER M. Biomechanical impact of vertebroplasty: Postoperative biomechanics of vertebroplasty[J]. *Joint Bone Spine*, 2006, 73(2): 144-150.
- [26] MARTINEZ-FERRER A, BLASCO J, CARRASCO J L, et al. Risk factors for the development of vertebral fractures after percutaneous vertebroplasty[J]. *J Bone Miner Res*, 2013, 28: 1821-1829.
- [27] TANIGAWA N, KOMEMUSHI A, KARIYA S, et al. Relationship between cement distribution pattern and new compression fracture after percutaneous vertebroplasty[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2007, 189(6): 348-352.
- [28] 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*, 2008, 33(16): 1722-1730.
- [29] 张福恒, 陈德喜, 郎继孝, 等. 聚甲基丙烯酸甲酯与磷酸骨水泥在骨质疏松性胸腰椎压缩骨折中的临床疗效分析[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2015, 30(1): 21-23.
- [30] HEO D H, CHIN D K, YOON Y S, et al. Recollapse of previous vertebral compression fracture after percutaneous vertebroplasty[J]. *Osteoporos Int*, 2009, 20(3): 473-480.
- [31] GILULA L, PERSENAIRE M. Subsequent fractures post-vertebral augmentation: analysis of a prospective randomized trial in osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Am J Neuroradiol*, 2013, 34(1): 221-227.
- [32] LEE SH, SHIN H. Matrices and scaffolds for delivery of bioactive molecules in bone and cartilage tissue engineering[J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2007, 59(45): 339-359.
- [33] KIM M H, LEE A S, MIN S H, et al. Risk factors of new compression fractures in adjacent vertebrae after percutaneous vertebroplasty[J]. *Asian Spine J*, 2011, 5(3): 180-187.
- [34] 黄天霖, 张施洋, 鲁超. 骨水泥灌注椎体强化后相邻节段再发骨折的预测因素[J]. *中国组织工程研究*, 2012(27): 1-6.
- [35] 欧阳超, 陈志明, 马华松, 等. 椎体后凸成形术治疗骨质疏松椎体压缩骨折术后非手术椎体新发骨折的相关因素分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2013, 23(3): 222-227.
- [36] VOORMOLEN M H, LOHLE P N, JUTTMANN J R, et al. The risk of new osteoporotic vertebral compression fractures in the year after percutaneous vertebroplasty[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2006, 17(1): 71-76.
- [37] KLAZEN C A. Percutaneous vertebroplasty is not a risk factor for new osteoporotic compression fractures: results from VERTOS II[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2010, 8: 1447-1450.
- [38] 席新华, 吴强, 包拥政, 等. 骨质疏松性椎体压缩性骨折程度及骨水泥黏度对骨水泥在椎体内弥散的影响[J]. *河南医学研究*, 2016, 25(8): 1425-1426.
- [39] LANE J I, MAUS T P, WAILD J T, et al. Intravertebral clefts opacified during vertebroplasty: pathogenesis, technical implications, and prognostic significance[J]. *Am J Neuroradiol*, 2002, 23(10): 1642-1646.
- [40] WIGGINS M C, SEHIZADEH M, PILGRAM T K, et al. Importance of intravertebral fracture clefts in vertebroplasty outcome[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2007, 188(3): 634-640.
- [41] BAROUD G, NEMES J, HEINI P, et al. Load shift of the intervertebral disc after a vertebroplasty: a finite element study[J]. *Eur Spine J*, 2003, 12(4): 421-426.
- [42] 彭国庆, 范新成, 王震, 等. 经皮椎体后凸成形术后骨水泥用量对骨质疏松性五联椎体模型生物力学的影响[J]. *脊柱外科杂志*, 2017, 15(6): 361-365.
- [43] LIU W G, HE S C, DENG G, et al. Risk factors for new vertebral fractures after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporosis: a prospective study[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2012, 23: 1143-1149.
- [44] KANG S K, WOO L C, KYOUNG P N, et al. Predictive risk factors for re-fracture after percutaneous vertebroplasty[J]. *Ann Rehabilitation Med*, 2011, 35(6): 844-851.
- [45] LIN W C, LEE Y C, LEE C H. Refractures in cemented vertebrae after percutaneous vertebroplasty: a retrospective analysis[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(4): 592-599.
- [46] MICHAEL J L, MARK D, PATRICK C, et al. Percutaneous treatment of vertebral compression fractures, a metaanalysis of complication[J]. *Spine*, 2009, 32: 1228-1232.
- [47] 仇志学, 单中书. 28 例椎体后凸成形术后邻近椎体骨折的治疗观察[J]. *创伤外科杂志*, 2017, 19(3): 203-206.
- [48] SUN H L, LI C D, ZHU J L, et al. Clinical research of percutaneous vertebroplasty or percutaneous kyphoplasty for treating osteoporotic vertebral compression fractures induced by glucocorticosteroid[J]. *J Peking Univ: Health Sci*, 2015, 47(2): 242-247.
- [49] 唐政杰, 侯宇, 张亘瑗, 等. 椎体后凸成形术后再发骨折的相关危险因素分析[J]. *中国矫形外科杂志*, 2015, 23(2): 124-131.