

· 综述 ·

经皮椎体成形术后再发骨折的研究进展[△]包志强^{1,2}, 陈扬^{2*}

(1. 广东医科大学研究生院, 广东东莞 523808; 2. 广东医科大学佛山市第一人民医院, 广东佛山 528000)

摘要: 骨质疏松症是骨科的常见疾病, 老年人群中发生率较高。发生骨质疏松后, 由于骨强度降低和骨脆性增加, 日常活动中即可导致椎体压缩骨折, 即骨质疏松性椎体压缩性骨折 (osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)。经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 是临床医生用于 OVCF 治疗的有效手段, 但经过临床研究发现, PVP 术后容易再发椎体骨折, 增加患者病痛和负担。其发展进程引起了骨科医生的重视, 越来越多的学者对其发生原因及机制进行了相关研究。本文对近年来国内外关于 OVCF 患者 PVP 术后再发骨折的流行病学、时间和空间性、相关危险因素的相关研究进行综述, 为临床工作提供参考, 以减少 PVP 术后再发骨折的概率。

关键词: 骨质疏松, 骨折, 椎体成形术, 再骨折

中图分类号: R683.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 02-0150-06

Research progress on refractures after percutaneous vertebroplasty // BAO Zhi-qiang^{1,2}, CHEN Yang². 1. Postgraduate School, Guangdong Medical University, Dongguan 523808, China; 2. The First People's Hospital of Foshan City, Guangdong Medical University, Foshan 528000, China

Abstract: Osteoporosis is a common orthopedic disease with a high incidence in the elderly population. The vertebral compression fracture, also known as osteoporotic vertebral compression fracture (OVCF), occurs in daily activities due to decreased bone strength and increased bone fragility after osteoporosis. Percutaneous vertebroplasty (PVP) is an effective method for OVCF, but clinical studies have found that recurrent vertebral fractures might happened secondary to PVP, with increasing the pain and burden of patients. These phenomena have attracted the attention of orthopedic clinicians, and more and more scholars have studied the causes and mechanisms of its occurrence. In this paper, the epidemiology, temporal and spatial characteristics, and related risk factors of recurrent fractures after PVP for OVCF in recent years were reviewed, so as to provide references for clinical workers to reduce the probability of recurrent fractures after PVP.

Key words: osteoporosis, fractures, percutaneous vertebroplasty, refracture

骨质疏松症是以低骨量、骨微组织结构受破坏引起骨脆性增加以及骨折易发生为特征的全身性骨疾病^[1]。随着老年人口的增加, 骨质疏松性椎体压缩性骨折 (osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF) 的患病率越来越高。通常, OVCF 会导致患者长期背痛, 影响活动能力, 降低生活质量^[2], 是危害老年人健康的疾病之一。经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 自从用于治疗椎管血管瘤以来, 因其对患者损伤小、手术效果佳等优点, 已广泛用于治疗伴有疼痛的 OVCF 患者, 但是 PVP 术后再发椎体压缩骨折 (secondary vertebral compression fracture, SVCF) 发生率较高^[3], 病情进展是与神经、内分泌、肌肉骨骼等多系统共同作用的结果, 其中邻近椎体压缩性骨折 (adjacent vertebral compression fracture, AVCF) 占有很大的比例^[4]。椎体再发骨折的发生是骨质疏松本身的原因还是椎体强化刚度和强度改变引起的, 是当前争议性话题。本文就椎体再发骨折的一般特点、危险因素及发生原因进行综述。

全世界每年发生 OVCF 患者已经超过 140 万

1 流行病学

全世界每年发生 OVCF 患者已经超过 140 万

DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2024.02.10

△基金项目: 广东省 3D 骨科仿生转化医学工程技术研究中心项目 (编号: 2019E016); 佛山市骨科 3D 数字化精准仿生转化医学工程技术研究中心项目 (编号: FS0AA-KJ819-4901-0077)

作者简介: 包志强, 在读研究生, 研究方向: 脊柱关节外科, (电话) 18487089227, (电子信箱) Drbaozhiqiang@163.com

***通信作者:** 陈扬, (电话) 18038866838, (电子信箱) drchenyang@163.com

人, 是骨质疏松症最常见的并发症。在 50 岁以上的人群中, 接近 1/4 的人在 10 年内会经历 1 次以上椎体骨折^[5], Lindsay 等^[6]发现首次椎体骨折后再发骨折的概率是普通人的 6 倍。2017—2018 年调查结果显示, 我国 40 岁及以上男性和女性的椎体骨折患病率为 10.5%、9.7%, 并且女性 OVCF 患者再骨折风险是一般男性的 4 倍^[7]。

2 时间和空间性

据报道, 发生 AVCF 的平均间隔时间为术后 9 个月, 其中一半以上的患者发生于术后 6 个月内^[3], 相较于非邻近椎体时间更短。可能是应力主要集中在胸腰段, 因此发生率较高。王梦然等^[8]研究显示, 超过 81% 的 OVCF 发生节段为胸腰段。而王清泽等^[9]研究发现, 初次骨折位于胸腰段的患者, 术后再发相邻椎体骨折的风险是初次骨折位于其他节段患者的 2.9 倍。可能与胸腰段处于生理弯曲的过渡衔接处、Cobb 角 $<10^\circ$ 及椎体小关节角度发生变化等有关。以上两种特性体现了 OVCF 患者术后再发椎体骨折时间早且集中在胸腰段, 因此, 对相关患者应早期提供有效的干预措施: 包括制动、休息、佩戴支具等。

3 相关危险因素

影响 OVCF 患者术后再发骨折的机理及原因较多, 作者整理归纳了近年来相关的文献研究, 将其危险因素划分为内在因素和外在因素。内在因素包括患者的一般情况(年龄和性别)、生活方式(吸烟、饮酒、糖尿病)、骨质疏松和骨密度(bone mineral density, BMD)、椎体生物力学改变等, 外在因素主要包括手术方式、骨水泥类型及黏度、骨水泥注射量(率)、分布情况及渗漏情况、术后锻炼及骨质疏松治疗等。

3.1 年龄和性别

骨质疏松程度与年龄有着密不可分的联系, 年龄越大, 骨质骨量越少。Warden 等^[10]认为, 保持钙摄入与排泄的动态平衡, 才能避免骨质流失, 一旦平衡被打破, 会使血清钙减少而甲状旁腺激素增多, 导致成骨减少。研究发现, 80 岁以下患者椎体新发骨折的发生率为 9%, 而 80 岁以上患者为 33%^[11]。女性也是骨质疏松的危险因素, 主要与女性独特的生理机能有关, 绝经后妇女丧失了雌激素, 增加破骨细胞活

性, 改变骨代谢的功能, 导致骨吸收大于骨形成, 这种骨稳态失衡会增加骨脆性^[12], 与男性相比, 女性绝经后骨质疏松症的风险增加了 3~4 倍。临床医生应当告知老年患者, 尤其是女性患者手术后再发骨折的风险, 并提高警惕, 延长随访期, 及时评估任何新的术后腰背痛。

3.2 生活方式

烟草中的尼古丁通过干扰血供与骨组织的再生来影响骨骼的强度。Costa-Rodrigues 等^[13]研究表明, 尼古丁可以通过血液循环作用于吸烟者的破骨细胞, 诱导骨质疏松的分化和恶化。Joehanes 等^[14]通过基因检测技术对上万份样本进行检测, 结果表明烟草会使 DNA 甲基化, 从而阻滞骨组织的形成和再生, 使骨质疏松症进一步加重。尽管很少有女性吸烟, 但二手烟对她们也有显著的影响。Kiyota 等^[15]证实, 戒烟可以使骨环境的稳态得到修复。因此, 戒烟有助于预防骨质疏松及新发骨折的发生。

酒精代谢为乙醛后抑制成骨细胞, 从而影响骨质疏松症的发展。Zhang 等^[16]在单变量分析中发现, 骨折组中饮酒者显著高于非骨折组, 可能因为他们没有测量饮酒量, 在多变量分析中并不显著。以往的研究表明, 乙醇对骨重建具有剂量依赖性作用^[17], 且个体对酒精的耐受程度不同。对于饮酒的患者, 也应劝告术后戒酒, 避免骨质的流失。

糖尿病对骨骼的损害也不容小觑, 是继血管神经后的又一累积部位。Botolin 等^[18]发现, I、II 型糖尿病患者的 BMD 及骨结构有所改变, 其原因可能是糖尿病可以抑制骨再生及干细胞分化。Schwartz 等^[19]的一项前瞻性研究表明, 一旦胰岛素不足造成血糖水平升高, 就会使成骨细胞中骨钙素的合成作用下降, 骨质疏松症加重。Zhang 等^[16]研究也表明, 糖尿病患者术后新发椎体骨折的概率高于普通患者。因此, PVP 术后患者应控制血糖, 以延缓或预防骨质疏松的进展, 防止椎体再发骨折。

3.3 骨质疏松和 BMD

骨质疏松椎体外表单位体积没有明显变化, 但相对质量下降, 负载能力降低, 稍微受力就会发生骨折。有研究报道, 骨质疏松会改变皮质骨和松质骨之间的生物力学, 椎体所受的应力随之增加, 易于骨折^[9]。Klazen 等^[20]的统计学分析显示, PVP 术后 AVCF 与骨质疏松程度密切相关, 因为骨质疏松症椎体和注入的骨水泥存在强度和刚度差, 可增加 AVCF 的发生。王清泽等^[9]研究结果显示, 椎体骨质疏松确实会增加 AVCF 的风险。

BMD 是骨骼强度和骨质疏松程度的量化指标, BMD 下降 1 个标准差, 对应部位的骨折风险就会增加 1.5~3.0 倍^[1]。据报道, BMD 受人种、生活习惯等多重因素影响, 其中钙摄入量与脊柱 BMD 呈正相关^[21], 随着年龄的增加, BMD 逐渐降低, 骨质脆性增加, 咳嗽、打喷嚏即可发生椎体骨折。Kaufman 等^[22] 研究认为, 随着患者 BMD 的增加, 再骨折的风险相应降低。特别的是, 胸腰段 (T₁₁~L₂) 的 BMD 很高, 但是发生椎体的再发骨折比例也不低。

3.4 椎体生物力学改变

正常人的椎体分布着密集而规则的小梁骨, 小梁骨由椎体终板传导而来, 当应力超过小梁骨承受范围, 椎体便会产生局部裂隙, 进一步加重形成骨折^[23]。OVCF 患者小梁骨骨密度下降, 结构发生形变, 脊柱力线前移, 脊柱失去了稳定性, 椎骨承受及传递力的方式随之发生变化。生物力学试验表明, 椎体注入骨水泥后强度和刚度增加, 产生应力梯度, 椎间盘及椎体内压力增加, 导致非手术椎体骨折可能。PVP 注入骨水泥后可以填充骨折裂隙、接触骨质界面, 使椎体的强度、刚度和稳定性得到一定恢复, 但脊柱生理水平和后凸畸形无法纠正, 病椎和邻椎的受力发生偏移, 容易再骨折^[24]。Baroud 等^[25] 通过生物力学研究证明了骨水泥硬化后椎体硬度和强度分别是原来的 12、35 倍。

3.5 手术方式

PVP 可采用单侧或双侧入路, 单侧经椎弓根入路因生理解剖的局限, 无法外展使穿刺针只能在伤椎同侧, 导致骨水泥集中在椎体的穿刺侧, 穿刺侧的椎体刚性强于对侧, 两侧产生应力差, 术后再骨折的风险增加^[26]。因此, 有学者提出了单侧经椎弓根外入路, 此入路巧妙地通过椎弓根结构, 使穿刺针能够达到椎体对侧, 使骨水泥在椎体均匀分布^[27]。另外, 单侧经椎弓根外入路具有降低手术费用、缩短手术时间及减少术中射线暴露等优点。双侧经椎弓根入路虽然可以弥补单侧注入骨水泥弥散不均的劣势, 保持椎体的力学状态, 但其增加手术时间、透视次数及手术风险。无论术者采用单侧穿刺还是双侧穿刺, 术前均应对伤椎进行 CT 或 MRI 检查, 术前规划穿刺路径, 评估穿刺角度。一方面可以减少手术时间及透视次数, 另一方面可以使骨水泥均匀分布, 减少应力集中骨折的发生。

3.6 骨水泥类型及黏度

骨水泥主要包括聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethyl methacrylate, PMMA) 骨水泥、Cortoss 骨水泥、硫酸

钙骨水泥 (calcium sulfate bone cement, CSC)、磷酸钙骨水泥 (calcium phosphate bone cement, CPC) 和复合材料等。PMMP 操作方便、生物力学性能好、价格相对便宜, 是最常用的椎体填充材料。但 Heo 等^[28] 认为 PMMA 的刚度、强度均高于正常松质骨, 导致椎体生物力学改变, 椎体再发骨折的可能性增加。张伟等^[29] 发现, 使用 Cortoss 骨水泥的人群继发邻近椎体骨折的发生率低于使用 PMMA 的人群, 可能与 Cortoss 骨水泥接近人体骨质生物活性的特质有关。CSC 骨水泥虽然注射性好、骨传导优良、产热少, 但是 CSC 骨水泥吸收迅速, 椎体稳定性差。CPC 可以降低、生物相容性及可塑性良好、具备优异的骨传导和骨诱导性, 但抗压及抗扭转强度、抗水溶性差^[30], 因此临床应用受限。复合材料综合以上材料的性能, 按一定的比例混合, 大多仍处于实验研究阶段, 是未来椎体填充材料的研究热点。

高黏度骨水泥具有短时间黏度高、聚合反应温度低、可调控时间长等优点, 是对 PMMA 低黏度骨水泥性能改进后的一种新型骨水泥灌注材料。术者可在透视下较精确控制骨水泥的注入量及其在伤椎内的流动, 降低手术风险, 而低黏度骨水泥则不然, Georgy 等^[31] 研究发现, 临床效果相似的情况下, 高黏度骨水泥降低了渗漏率, 减少术后椎体再骨折风险。高黏度骨水泥是目前较多使用的注射材料, 即使选用低黏度骨水泥也是在牙膏状时注入。

3.7 骨水泥注射量 (率)、分布情况及渗漏情况

骨水泥的注入可恢复脊柱的生物力学性能, 减小椎体前缘塌陷程度, 减少后凸畸形及应力集中导致的椎体再发骨折^[8]。在进行手术时, 为了恢复椎体应力、使术椎得以最大量的填充, 往往以骨水泥弥散至整个椎体且椎体高度得以恢复后才结束注射。Kwon 等^[32] 认为, OVCF 患者注入椎体体积 27.8% 以上的骨水泥效果最佳, 但与此同时手术椎体刚度随之增加, 邻椎骨折概率上升。Nieuwenhuijse 等^[33] 研究显示, 骨水泥体积分数超过 24% 时, 骨水泥渗漏的风险随之增加, 造成邻近椎体骨折。Zhu 等^[34] 研究表明, 胸腰椎注入骨水泥的安全剂量分别为 <3.5、4 ml。总的来看, 以上研究忽视了个体差别, 患者不同部位椎体体积不同, 受压的程度也一样, 骨水泥的需要量也不相同, 骨水泥的注射量应做到个性化, 以减少椎体再骨折的发生。

椎体强度和刚度随着骨水泥的分布不同, 也随之而改变。骨水泥分布是骨水泥形状和位置的分布, 分布形状包括团块状和海绵状, 团块状骨水泥应力分布

集中, 椎体刚度恢复不均匀, 造成力学分布差异, 发生再骨折的概率增加^[35]。海绵状骨水泥椎体应力分布均匀, 对终板的影响很小, 继发骨折概率较低。对于相对位置, 当骨水泥局限于单侧椎体时, 椎体内应力分布不均容易发生椎体的继发骨折^[21]。吴登将等^[35]将椎体分为 12 个区域, 结果显示 PMMA 的空间分布越均匀, 再次骨折的发生率越低。

由于脊柱解剖结构的复杂性, 骨水泥渗漏不可避免。Sun 等^[36]从骨水泥渗漏的类型中发现: 44% 的患者术后 AVCF 可能与骨水泥渗漏至椎间盘存在一定的联系, 并有研究指出, 患者发生椎间盘渗漏会导致 AVCF 的发生率增加 4.9 倍^[37]。但 Klazen 等^[20]通过回归分析认为, 骨水泥渗漏与椎体再发骨折并无相关性。椎体继发骨折与骨水泥渗漏至椎间盘的关系仍在探索阶段。Kim 等^[38]的研究认为, 椎间盘内填充骨水泥后, 可能引起椎间盘缓冲作用减弱、应力失衡, 导致 SVCF 发生, 其中 AVCF 高达 44%。李春涛等^[21]指出, AVCF 的发生是因为伤椎与邻椎的刚性梯度增加, 产生支柱效应造成的。因此, 做好术前规划, 术中运用 C 形臂 X 线机透视密切监测等是避免骨水泥渗漏的关键。

3.8 术后锻炼及抗骨质疏松治疗

在可承受范围内的体力活动能有效改善骨骼肌的强度, 增加肌肉力量, 提高应变能力, 保持稳定性和协调性, 降低跌倒的风险。每周进行不少于 3 h 的体力活动能有效提高 BMD^[16]。Sherrington 等^[39]对近 19 500 名骨质疏松的参与者进行分析, 发现术后积极活动的患者跌倒的可能性明显降低。Deng 等^[40]对椎体压缩性骨折患者的研究表明, PVP 术后进行功能锻炼的患者机体功能明显改善、疼痛得到有效缓解、骨质疏松程度得到调节, 再发骨折的风险显著降低。

OVCF 患者进行积极手术治疗的同时, 最重要的是骨质疏松症的治疗。外科医师往往更重视手术, 从而忽略了骨质疏松症本身的治疗, 导致患者术后疗效不佳。骨质疏松治疗可以促进骨折愈合, 防止骨质进一步恶化, 降低再发骨折风险^[41]。Hoff 等^[42]通过筛选 28 461 名志愿者分析发现, 骨质疏松药物可以降低骨折的发生率, 突出了医学干预对骨质流失的重要性。Saag 等^[43]研究也表明, 双膦酸盐治疗后的患者骨质流失率降低。因此, 临床医生应对骨质疏松症进行宣讲, 让患者认识到骨质疏松的危害, 积极参与到骨质疏松症的治疗, 预防术后再骨折的发生。

4 小结

OVCF 患者 PVP 术后椎体再发骨折的影响因素较为复杂, 其发生机制尚不清楚。近年来随着 PVP 手术后椎体再发骨折的病例增多, 临床医生也对其发生发展及防治进行了大量的研究及探索, 虽然发生机制尚存在争议, 但大多学者对其影响因素: 年龄和性别、生活方式、椎体力学、BMD 及骨水泥的黏度、剂量、分布、渗漏等意见比较统一。另外, 提高对 OVCF 患者术后再发骨折的认识, 可以减少术后椎体再发骨折的发生率, 减少患者的病痛及费用, 提高治疗水平。

参考文献

- [1] 中华医学会骨科学分会. 骨质疏松性骨折诊疗指南 (2022 年版) [J]. 中华骨科杂志, 2022, 42 (22): 1473-1491. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220704-00377.
Chinese Orthopaedic Association. Guidelines for the diagnosis and treatment of osteoporotic fractures (2022 edition) [J]. Chinese Journal of Orthopaedics, 2022, 42 (22): 1473-1491. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220704-00377.
- [2] Nishimura A, Akeda K, Kato K, et al. Osteoporosis, vertebral fractures and mortality in a Japanese rural community [J]. Mod Rheumatol, 2014, 24 (5): 840-843. DOI: 10.3109/14397595.2013.866921.
- [3] 孙鹏, 吴东, 陈晓钢, 等. 甲状旁腺素对经皮椎体成形术早期疗效的影响 [J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28 (20): 1866-1869. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.20.10.
Sun P, Fei HD, Chen XG, et al. Effects of parathyroid hormone on early outcomes of percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2020, 28 (20): 1866-1869. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.20.10.
- [4] 张树宝, 王善金, 徐浩伟, 等. 椎体增强术后再发骨折的风险因素研究进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28 (18): 1682-1685. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.18.13.
Zhang SB, Wang SJ, Xu HW, et al. Research progress on risk factors related to refracture secondary to percutaneous vertebral augmentation [J]. Orthopedic Journal of China, 2020, 28 (18): 1682-1685. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.18.13.
- [5] Mattie R, Laimi K, Yu S, et al. Comparing percutaneous vertebroplasty and conservative therapy for treating osteoporotic compression fractures in the thoracic and lumbar spine: a systematic review and meta-analysis [J]. J Bone Joint Surg Am, 2016, 98 (12): 1041-1051. DOI: 10.2106/JBJS.15.00425.
- [6] Lindsay R, Silverman SL, Cooper C, et al. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture [J]. JAMA, 2001, 285 (3): 320-323. DOI: 10.1001/jama.285.3.320.
- [7] Nuti R, Brandi ML, Checchia G, et al. Guidelines for the management of osteoporosis and fragility fractures [J]. Intern Emerg Med, 2019, 14 (1): 85-102. DOI: 10.1007/S11739-018-1874-2.

- [8] 王梦然, 傅智轶, 王惠东, 等. 不同骨水泥剂量经皮椎体成形术治疗骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折 [J]. 脊柱外科杂志, 2020, 18 (4) : 217-221, 236. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2020.04.01.
Wang MR, Fu ZY, Wang HD, et al. Percutaneous vertebroplasty with different doses of bone cement for osteoporotic thoracolumbar vertebral compression fractures [J]. Journal of Spinal Surgery, 2020, 18 (4) : 217-221, 236. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2020.04.001.
- [9] 王清泽, 袁欣华, 王相利, 等. 单节段经皮椎体成形术后继发相邻椎体骨折的危险因素 [J]. 脊柱外科杂志, 2019, 17 (1) : 6-10. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.01.002.
Wang QZ, Yuan XH, Wang XL, et al. Risk factors for adjacent vertebral fractures after single-segment percutaneous vertebroplasty [J]. Journal of Spinal Surgery, 2019, 17 (1) : 6-10. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.01.002.
- [10] Warden SJ, Carballido-Gamio J, Avin KG, et al. Adaptation of the proximal humerus to physical activity: A within-subject controlled study in baseball players [J]. Bone, 2019, 121: 107-115. DOI: 10.1016/j.bone.2019.01.008.
- [11] Feng L, Feng C, Chen J, et al. The risk factors of vertebral refracture after kyphoplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fractures: a study protocol for a prospective cohort study [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19 (1) : 195. DOI: 10.1186/s12891-018-2123-6.
- [12] Almeida M, Laurent MR, Dubois V, et al. Estrogens and androgens in skeletal physiology and pathophysiology [J]. Physiol Rev, 2017, 97 (1) : 135-187. DOI: 10.1152/physrev.00033.2015.
- [13] Costa-Rodrigues J, Rocha I, Fernandes MH. Complex osteoclastogenic inductive effects of nicotine over hydroxyapatite [J]. J Cell Physiol, 2018, 233 (2) : 1029-1040. DOI: 10.1002/jcp.25956.
- [14] Joehanes R, Just AC, Marioni RE, et al. Epigenetic signatures of cigarette smoking [J]. Circ Cardiovasc Genet, 2016, 9 (5) : 436-447. DOI: 10.1161/CIRCGENETICS.116.001506.
- [15] Kiyota Y, Muramatsu H, Sato Y, et al. Smoking cessation increases levels of osteocalcin and uncarboxylated osteocalcin in human sera [J]. Sci Rep, 2020, 10 (1) : 16845. DOI: 10.1038/s41598-020-73789-4.
- [16] Zhang ZL, Yang JS, Hao DJ, et al. Risk factors for new vertebral fracture after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Clin Interv Aging, 2021, 22 (16) : 1193-1200. DOI: 10.2147/CIA.S312623.
- [17] Maurel DB, Boisseau N, Benhamou CL, et al. Alcohol and bone: review of dose effects and mechanisms [J]. Osteoporos Int, 2012, 23 (1) : 1-16. DOI: 10.1007/s00198-011-1787-7.
- [18] Botolin S, Faugere MC, Malluche H, et al. Increased bone adiposity and peroxisomal proliferator-activated receptor-gamma2 expression in type I diabetic mice [J]. Endocrinology, 2005, 146 (8) : 3622-3631. DOI: 10.1210/en.2004-1677.
- [19] Schwartz AV, Sellmeyer DE, Ensrud KE, et al. Older women with diabetes have an increased risk of fracture: a prospective study [J]. J Clin Endocrinol Metab, 2001, 86 (1) : 32-38. DOI: 10.2337/diabetes.25.10.1749.
- [20] Klazen CA, Venmans A, de Vries J, et al. Percutaneous vertebroplasty is not a risk factor for new osteoporotic compression fractures: results from VERTOS II [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2010, 31 (8) : 1447-1450. DOI: 10.3174/ajnr.A2148.
- [21] 李春涛, 李文毅, 高尚聚, 等. 中国人群椎体成形术后发生邻近椎体压缩性骨折危险因素 Meta 分析 [J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2021, 14 (6) : 638-646. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2591.2021.06.008.
Li CT, Li WY, Gao SJ, et al. Risk factors of adjacent vertebral compression fracture after vertebroplasty in Chinese: a Meta-analysis [J]. Chinese Journal of Osteoporosis and Bone Mineral Research, 2021, 14 (6) : 638-646. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2591.2021.06.008.
- [22] Kaufman JM, Palacios S, Silverman S, et al. An evaluation of the Fracture Risk Assessment Tool (FRAX[®]) as an indicator of treatment efficacy: the effects of bazedoxifene and raloxifene on vertebral, nonvertebral, and all clinical fractures as a function of baseline fracture risk assessed by FRAX[®] [J]. Osteoporos Int, 2013, 24 (10) : 2561-2569. DOI: 10.1007/s00198-013-2341-6.
- [23] Frotzler A, Cheikh-Sarraf B, Pourtehrani M, et al. Long-bone fractures in persons with spinal cord injury [J]. Spinal Cord, 2015, 53 (9) : 701-704. DOI: 10.1038/sc.2015.74.
- [24] Yan J, Liao Z, Yu Y. Finite element analysis of dynamic changes in spinal mechanics of osteoporotic lumbar fracture [J]. Eur J Med Res, 2022, 27 (1) : 142. DOI: 10.1186/s40001-022-00769-x.
- [25] Baroud G, Vant C, Wilcox R. Long-term effects of vertebroplasty: adjacent vertebral fractures [J]. J Long Term Eff Med Implants, 2006, 16 (4) : 265-280. DOI: 10.1615/JLongTermEffMedImplants.v16.i4.10.
- [26] 钟远鸣, 付拴虎, 张家立, 等. 骨质疏松脊柱压缩性骨折经皮穿刺椎体成形术后再骨折因素的临床研究 [J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21 (18) : 1829-1832. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2013.18.06.
Zhong YM, Fu SH, Zhang JL, et al. Clinical study of refractures factors of osteoporotic vertebral compression fractures treated by percutaneous vertebroplasty [J]. Orthopedic Journal of China, 2013, 21 (18) : 1829-1832. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2013.18.06.
- [27] 冯立卫, 赵树勇, 杨金丰, 等. 单侧经椎弓根外入路经皮椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折 [J]. 临床骨科杂志, 2022, 25 (1) : 16-19. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2022.01.005.
Feng LW, Zhao SY, Yang JF, et al. Percutaneous vertebroplasty with uni-extrapedicular approach for treatment of osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Journal of Clinical Orthopaedics, 2022, 25 (1) : 16-19. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2022.01.005.
- [28] Heo DH, Chin DK, Yoon YS, et al. Recollapse of previous vertebral compression fracture after percutaneous vertebroplasty [J]. Osteoporos Int, 2009, 20 (3) : 473-480. DOI: 10.1007/s00198-008-0682-3.

- [29] 张伟, 刘峰, 范新成. 椎体压缩骨折经皮椎体成形术后邻近节段再骨折的研究现状 [J]. 中国矫形外科杂志, 2014, 22 (6) : 516-519. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2014.06.08.
Zhang W, Liu F, Fan XC. Current research status of adjacent segment re fracture after percutaneous vertebroplasty for vertebral compression fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2014, 22 (6) : 516-519. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2014.06.08.
- [30] 赵国权, 杨圣, 罗春山. PVP 治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的研究进展 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2015, 30 (1) : 106-109. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2015.01.039.
Zhao GQ, Yang S, Luo CS. Research progress in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures with PVP [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Injury, 2015, 30 (1) : 106-109. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2015.01.039.
- [31] Georgy BA. Clinical experience with high-viscosity cements for percutaneous vertebral body augmentation: occurrence, degree, and location of cement leakage compared with kyphoplasty [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2010, 31 (3) : 504-508. DOI: 10.3174/ajnr.A1861.
- [32] Kwon HM, Lee SP, Baek JW, et al. Appropriate cement volume in vertebroplasty: a multivariate analysis with short-term follow-up [J]. Kor J Neurotrauma, 2016, 12 (2) : 128-134. DOI: 10.13004/kjnt.2016.12.2.128.
- [33] Nieuwenhuijse MJ, Bollen L, van Erkel AR, et al. Optimal intravertebral cement volume in percutaneous vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37 (20) : 1747-1755. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318254871c.
- [34] Zhu SY, Zhong ZM, Wu Q, et al. Risk factors for bone cement leakage in percutaneous vertebroplasty: a retrospective study of four hundred and eighty five patients [J]. Int Orthop, 2016, 40 (6) : 1205-1210. DOI: 10.1007/s00264-015-3102-2.
- [35] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2022.06.034.
Wu DJ, Chen WJ, Zhang YH, et al. The effect of bone cement distribution index on recurrent fractures of the vertebral body and adjacent vertebral bodies after vertebral augmentation surgery [J]. Chinese Journal of Gerontology, 2022, 42 (6) : 1392-1395. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2022.06.034.
- [36] Sun YC, Teng MM, Yuan WS, et al. Risk of post-vertebroplasty fracture in adjacent vertebral bodies appears correlated with the morphologic extent of bone cement [J]. J Chin Med Assoc, 2011, 74 (8) : 357-362. DOI: 10.1016/j.jcma.2011.06.008.
- [37] 李亚军, 王业华, 方贻铃, 等. 椎体强化术后骨水泥相对终板的位置对邻椎再骨折的影响 [J]. 实用骨科杂志, 2019, 25 (9) : 769-772, 780. DOI: 10.13795/j.cnki.sgkz.2019.09.001.
Li YJ, Wang YH, Fang YL, et al. Effect of bone-cement position relative to endplate after vertebral augmentation on adjacent vertebrae fracture [J]. Journal of Practical Orthopaedics, 2019, 25 (9) : 769-772, 780. DOI: 10.13795/j.cnki.sgkz.2019.09.001.
- [38] Kim MH, Lee AS, Min SH, et al. Risk factors of new compression fractures in adjacent vertebrae after percutaneous vertebroplasty [J]. Asian Spine J, 2011, 5 (3) : 180-187. DOI: 10.12671/jkfs.2007.20.3.260.
- [39] Sherrington C, Michaleff ZA, Fairhall N, et al. Exercise to prevent falls in older adults: an updated systematic review and meta-analysis [J]. Br J Sports Med, 2017, 51 (24) : 1750-1758. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096547.
- [40] Deng D, Lian Z, Cui W, et al. Function of low back muscle exercise: Preventive effect of refracture analysis of postoperative vertebral fractures [J]. Orthopade, 2019, 48 (4) : 337-342. DOI: 10.1007/s00132-018-3577-9.
- [41] 居正辉, 陈圣宝, 张长青. 骨质疏松性椎体压缩性骨折研究进展 [J]. 国际骨科学杂志, 2018, 39 (1) : 33-36. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2018.01.009.
Ju ZY, Chen SB, Zhang CQ. Research progress on osteoporotic vertebral compression fractures [J]. International Journal of Orthopaedics, 2018, 39 (1) : 33-36. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2018.01.009.
- [42] Hoff M, Skurtveit S, Meyer HE, et al. Anti-osteoporosis drug use: too little, too much, or just right? The HUNT study, Norway [J]. Osteoporos Int, 2018, 29 (8) : 1875-1885. DOI: 10.1007/s00198-018-4560-3.
- [43] Saag K, Cosman F, De Villiers T, et al. Early changes in bone turnover and bone mineral density after discontinuation of long-term oral bisphosphonates: a post hoc analysis [J]. Osteoporos Int, 2021, 32 (9) : 1879-1888. DOI: 10.1007/s00198-020-05785-3.

(收稿:2023-02-28 修回:2023-08-18)

(同行评议专家: 黄勇, 王会旺)

(本文编辑: 宁桦)