

# 骨质疏松性脊柱骨折的外科治疗策略及发展趋势

丁立祥, 宋继鹏

(首都医科大学附属北京世纪坛医院脊柱外科, 北京 100038)

关键词 脊柱骨折; 骨质疏松; 外科治疗

中图分类号: R68.2

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20250104

## Surgical treatment strategies and development trends for osteoporotic vertebral fractures

DING Li-xiang, SONG Ji-peng (Department of Spinal Surgery, Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038, China)

KEYWORDS Spine fractures; Osteoporosis; Surgical treatment



(丁立祥教授)

骨质疏松性脊柱骨折 (osteoporotic vertebral fracture, OVF) 是骨质疏松症最常见的并发症之一, 尤其好发于老年人群, 且随着年龄增长, 发病率显著上升。此类骨折不仅导致剧烈疼痛、脊柱畸形, 还可能引发神经功能障碍, 严重影响患者生活质量, 甚至增加死亡率。

手术治疗在缓解疼痛、恢复脊柱稳定性及预防再骨折方面具有显著优势, 已成为临床治疗的重要选择。近年来, 微创技术 (如椎体成形术、椎体后凸成形术) 及骨水泥强化技术的广泛应用, 显著提升了手术的安全性与疗效。然而, 骨水泥渗漏、邻近椎体再骨折等并发症仍是临床面临的挑战。随着 3D 打印、人工智能导航及生物活性材料的快速发展, 骨质疏松性脊柱骨折的治疗将朝着精准化、个体化与多学科协作的方向迈进, 为患者提供更优质的诊疗服务。

### 1 骨质疏松性脊柱骨折

骨质疏松性脊柱骨折是骨质疏松症最常见的并发症之一, 其流行病学数据显示, 全球 50 岁以上人群中, 约 20% 的女性和 10% 的男性曾经历至少 1 次脊柱骨折, 且发病率随年龄增长显著上升, 在 80 岁以上人群中, 脊柱骨折的患病率可高达 40%<sup>[1-2]</sup>。

#### 1.1 骨质疏松性脊柱骨折的临床与病理特点

骨质疏松性脊柱骨折不仅导致患者剧烈疼痛和

活动受限, 还可能引发脊柱后凸畸形、身高缩短及慢性功能障碍, 严重影响生活质量。研究表明, 脊柱骨折患者的致残率较高, 30%~40% 的患者因疼痛和功能障碍需要长期护理, 且骨折后 5 年内的死亡率显著增加, 尤其是伴有严重并发症的老年患者<sup>[2]</sup>。而从病理生理学角度来看, 骨质疏松性脊柱骨折的核心机制是骨量减少和骨微结构的破坏。骨质疏松症导致骨密度 (bone mineral density, BMD) 显著降低, 骨小梁变薄、断裂, 骨皮质变薄, 从而使骨的强度大幅下降。脊柱作为人体承重的主要部位, 在骨质疏松状态下极易发生骨折, 尤其是在胸腰段 (T<sub>12</sub>-L<sub>1</sub>) 这一应力集中区域。骨微结构的破坏不仅降低了椎体的抗压能力, 还影响了脊柱的整体稳定性, 导致骨折后椎体高度丢失、脊柱后凸畸形, 甚至继发神经压迫症状。此外, 骨质疏松性骨折的愈合能力较差, 常伴随骨重塑失衡, 进一步增加了再骨折的风险<sup>[3-4]</sup>。

#### 1.2 骨质疏松性脊柱骨折的治疗以手术治疗为主

保守治疗是骨质疏松性脊柱骨折的常规选择, 包括卧床休息、镇痛药物、支具固定及抗骨质疏松药物治疗<sup>[5]</sup>。然而, 保守治疗存在明显的局限性, 长期卧床可能导致肌肉萎缩、深静脉血栓、肺部感染等并发症, 进一步加重患者的功能障碍。此外, 保守治疗难以有效纠正脊柱后凸畸形, 可能导致畸形进展, 增加邻近椎体骨折的风险。对于伴有神经压迫症状或严重疼痛的患者, 保守治疗的效果往往不佳, 严重影响生活质量。手术治疗在骨质疏松性脊柱骨折的治疗中具有重要地位, 其核心目标是快速缓解疼痛、恢复脊柱稳定性并预防再骨折。通过微创技术 (如椎体成形术、椎体后凸成形术) 或开放性手术, 可以有效恢复椎体高度、矫正后凸畸形, 并通过骨水泥强化或内固定技术增强脊柱稳定性。手术治疗不仅能显著

改善患者的生活质量,还能降低长期并发症的发生率,为患者提供更为积极的治疗选择<sup>[6-8]</sup>。

## 2 骨质疏松性脊柱骨折手术的特点与优势

骨质疏松性脊柱骨折手术在微创化、材料革新和适应证扩展方面取得了显著进展,为患者提供了更安全、有效的治疗选择。

### 2.1 微创化趋势

经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)与椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)是骨质疏松性脊柱骨折微创治疗的典型技术。PVP 通过向骨折椎体内注入骨水泥,迅速实现骨折稳定并缓解疼痛;而 PKP 在此基础上增加了球囊扩张步骤,能够部分恢复椎体高度并矫正后凸畸形。这两种技术具有创伤小、手术时间短、恢复快的优点,患者术后即可下床活动,显著缩短住院时间<sup>[9-10]</sup>。近年来,导航与机器人辅助技术的应用进一步提高了手术的精准性与安全性,减少了骨水泥渗漏等并发症的发生<sup>[11]</sup>。

### 2.2 骨水泥强化技术的革新

骨水泥是 PVP 和 PKP 的关键材料,其性能直接影响手术效果。低黏度骨水泥的研发改善了骨水泥的注射性能,降低了渗漏风险,生物活性材料则具有良好的生物相容性和骨传导性,有望替代传统聚甲基丙烯酸甲酯(polymethyl methacrylate, PMMA)骨水泥<sup>[12]</sup>。此外,关于骨水泥注射量与分布的研究表明,适量且均匀的骨水泥分布能够有效增强椎体强度,同时避免过度注射导致的并发症<sup>[13]</sup>。

### 2.3 开放性手术适应证的扩展

对于复杂骨折或伴有严重脊柱畸形的患者,开放性手术仍是不可替代的选择。长节段固定结合骨水泥强化技术可有效恢复脊柱序列,增强内固定的稳定性,适用于多节段骨折或严重后凸畸形的患者。椎弓根螺钉骨水泥强化技术(cement augmented pedicle screw, CPS)在螺钉置入时注入骨水泥,皮质骨螺钉技术全称为皮质骨轨迹(cortical bone trajectory, CBT)置钉法,可优化螺钉轨迹,两种方法均显著提高螺钉的把持力,降低了内固定失败的风险,为骨质疏松患者提供了更可靠的手术方案<sup>[14]</sup>。

## 3 手术方法的选择策略

手术方法的选择需结合患者具体情况,通过微创与开放手术的优势互补,并依托多学科协作实现最佳疗效。

### 3.1 个体化决策的关键因素

骨质疏松性脊柱骨折的手术方案需根据骨折类型、骨密度、患者年龄及合并症等因素进行个体化选择。压缩性骨折适合微创手术,而爆裂性骨折或伴有

神经损伤的骨折可能需要开放性手术。骨密度 T 值是评估内固定稳定性的重要指标, T 值  $\leq -2.5$  的患者则需要仔细的术前评估及术后严格的抗骨质疏松治疗。高龄患者或合并心肺功能不全者,优先选择创伤小、恢复快的微创术式。

### 3.2 不同术式的适应证与禁忌证

PVP 和(或)PKP,适用于单纯压缩性骨折且无神经压迫症状的患者。PVP 通过骨水泥注射快速稳定骨折;PKP 则通过球囊扩张部分恢复椎体高度,适用于轻度后凸畸形。禁忌证包括严重椎体塌陷、椎体后壁不完整及凝血功能障碍。

短节段固定加骨水泥强化,适用于轻度椎管占位或后凸畸形的患者。该术式通过短节段固定结合骨水泥强化,恢复脊柱稳定性,避免长节段固定的创伤。禁忌证包括严重骨质疏松及多节段骨折。

开放减压长节段固定,适用于严重椎管狭窄、神经功能损伤或多节段骨折的患者。通过开放性减压解除神经压迫,并结合长节段固定恢复脊柱序列。禁忌证包括无法耐受开放手术的高龄患者及严重心肺功能不全者。

### 3.3 多学科联合治疗模式

骨质疏松性脊柱骨折的治疗需多学科协作。围手术期使用双膦酸盐或地舒单抗等抗骨质疏松药物可抑制骨吸收、提高骨密度,降低再骨折风险。术后早期康复训练预防肌肉萎缩,疼痛管理则通过多模式镇痛(如非甾体抗炎药、神经阻滞)及心理干预,缓解患者焦虑,提高治疗依从性<sup>[15]</sup>。

## 4 手术难点与关键技术要点

骨质疏松性脊柱骨折手术的难点涉及术中技术操作、术后并发症管理及特殊人群的个体化治疗。通过优化手术策略、加强围手术期管理及多学科协作,可显著提高手术安全性与疗效。

### 4.1 术中挑战

骨质疏松性脊柱骨折手术的术中难点主要包括骨水泥渗漏、螺钉松动及椎体高度恢复等问题。首先,骨水泥渗漏是 PVP 和(或)PKP 手术最常见的并发症,可能导致神经损伤或肺栓塞。预防策略包括优化穿刺路径(如经椎弓根入路)、控制骨水泥黏度(使用低黏度骨水泥)及实时影像监测<sup>[16-17]</sup>。此外,分次注射骨水泥并控制注射量可有效降低渗漏风险。其次,骨质疏松患者骨质量差,内固定螺钉易发生松动。目前常规解决方法如下,CPS 技术通过螺钉置入时注入骨水泥,显著提高了螺钉的把持力,生物力学研究表明,CPS 可增加螺钉抗拔出出力达 200%以上<sup>[18-21]</sup>。其次,近年来临床应用较广泛的 CBT 螺钉技术,是通过优化螺钉轨迹,从而具有明显的生物力学

及临床优势<sup>[22]</sup>,均可为骨质疏松患者提供更可靠的内固定方案。最后的挑战是椎体高度恢复与后凸矫正的问题,球囊扩张技术 PKP 虽可部分恢复椎体高度,但其矫正能力有限,尤其在严重椎体塌陷或陈旧性骨折中效果不佳,补救措施包括结合术中手法复位、开放性手术(如截骨矫形)或使用可扩张椎体支架等<sup>[23]</sup>。

#### 4.2 术后并发症管理

术后并发症的管理是确保手术成功的关键环节。邻近椎体再骨折是骨质疏松性脊柱骨折术后的常见问题,发生率为 10%~20%,预防措施包括术后规律使用抗骨质疏松药物(如双膦酸盐、地舒单抗)及定期监测 BMD<sup>[24]</sup>。此外,避免过度矫正后凸畸形可减少邻近椎体的应力集中。其次是对深静脉血栓(deep vein thrombosis, DVT)与感染的重视,严格的无菌操作、术前预防性抗生素使用及术后切口护理可有效降低感染风险, DVT 更是术后严重并发症,围手术期需采取多模式预防措施,如早期下床活动、机械加压装置及抗凝药物(如低分子肝素)均可防止栓塞的发生<sup>[25]</sup>。

#### 4.3 特殊人群的考量

骨质疏松性脊柱骨折患者中,高龄及合并多器官疾病者需特别关注。首先需要考虑高龄患者是否能耐受手术的问题,高龄患者常伴有心肺功能不全、糖尿病等基础疾病,术前需进行全面评估(如心肺功能测试、营养状态评估)。对于高风险患者,优先选择微创手术以减少手术创伤和麻醉时间。而对于合并多器官疾病(如慢性阻塞性肺疾病、肾功能不全)的患者需制定个体化麻醉方案,局部麻醉或硬膜外麻醉可减少全身麻醉的风险,术中密切监测生命体征及液体管理是确保手术安全的重要措施。

### 5 学科发展趋势与未来方向

骨质疏松性脊柱骨折的治疗正朝着材料革新、智能化、多学科协作和数据驱动的方向发展。这些趋势不仅推动了技术的进步,也为患者提供了更精准、个性化的治疗方案。未来,随着研究的深入和技术的普及,骨质疏松性脊柱骨折的诊疗水平将进一步提升。

#### 5.1 材料与技术的革新

3D 打印技术为个性化椎体支架的设计与制造提供了可能,通过精确匹配患者的解剖结构,可显著提高植入物的稳定性和生物相容性。此外,可降解骨水泥(如磷酸钙骨水泥)和生物活性涂层的研发进展,为骨修复提供了新的解决方案。这些材料不仅具有良好的骨传导性和骨诱导性,还能在体内逐渐降解并被新生骨组织替代,避免了传统骨水泥的长期

存留问题<sup>[26]</sup>。

#### 5.2 智能化与精准化

人工智能(artificial intelligence, AI)和机器人技术的应用正在改变脊柱外科的诊疗模式。AI 术前规划系统可通过分析影像数据,自动完成骨折分型、手术方案推荐及风险预测,为医生提供科学决策参考<sup>[27-28]</sup>。相较于传统的徒手置钉,术中实时影像导航与机器人系统的普及,则进一步提高了手术的精准性和安全性,减少了人为误差,例如,机器人辅助下的螺钉置入可达到亚毫米级的精度,显著降低了神经血管损伤的风险<sup>[29-30]</sup>。

#### 5.3 多学科融合与全程管理

骨质疏松性脊柱骨折的治疗逐渐从单一手术干预转向多学科协作的全程管理模式,骨质疏松症“防-治-康”一体化模式强调预防、治疗与康复的有机结合,通过骨科、内分泌科、康复科等多学科协作,实现患者从诊断到康复的全流程管理<sup>[31]</sup>。远程医疗技术、上门护理及自媒体视频指导的应用和普及也为术后随访和康复指导提供了便利,能够及时调整治疗方案,进而提高治疗依从性以及患者对疾病的认知度。

#### 5.4 临床研究的热点方向

未来临床研究的热点方向包括生物力学研究和大数据应用,生物力学研究聚焦于骨-内固定界面的优化,旨在开发新型材料(如纳米涂层、复合材料)以提高内固定的稳定性和耐久性。大数据与真实世界研究(real world research, RWS)则为手术长期疗效的评估提供了新的方法,通过分析大规模临床数据,可以更准确地评估不同手术技术的远期效果,为临床实践提供循证依据。

### 6 总结

近年来,骨质疏松性脊柱骨折的外科治疗在取得了显著进展,微创技术、骨水泥强化材料及智能化手术系统的应用,极大地提高了手术的安全性和疗效。然而,面对高龄患者增多、合并症复杂等挑战,仍需进一步加强多学科协作,整合骨科、内分泌科、康复科及麻醉科等多领域资源,实现“防-治-康”一体化管理。技术创新与个体化治疗是未来发展的核心方向,3D 打印、AI 及生物活性材料的研究为精准治疗提供了新的可能。同时,加强基础研究与临床转化,推动诊疗标准化,通过大数据与真实世界研究优化手术策略,为患者提供更优质、高效的医疗服务。未来,随着技术的不断突破和多学科协作的深化,骨质疏松性脊柱骨折的诊疗水平将迈向新的高度。随着技术的不断突破和多学科协作的深化,骨质疏松性脊柱骨折的诊疗水平将迈向新的高度。



## 参考文献

- [1] 2019 FRACTURE COLLABORATORS G B D. Global, regional, and national burden of bone fractures in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019[J]. *Lancet Healthy Longev*, 2021, 2(9): e580–e592.
- [2] 工作组中国老年骨质疏松症诊疗指南, 中国老年学和老年医学学会骨质疏松分会, 中国医疗保健国际交流促进会骨质疏松病学分会, 等. 中国老年骨质疏松症诊疗指南(2023)[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2023, 16(10): 865–885.
- WORKGROUP OF CHINESE GUIDELINE FOR THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF SENILE OSTEOPOROSIS (2023), OSTEOPOROSIS SOCIETY OF CHINA ASSOCIATION OF GERONTOLOGY AND GERIATRICS, OSTEOPOROSIS SOCIETY OF CHINA INTERNATIONAL EXCHANGE AND PROMOTIVE ASSOCIATION FOR MEDICAL AND HEALTH CARE, et al. China guideline for diagnosis and treatment of senile osteoporosis (2023)[J]. *Chin J Bone Joint Surg*, 2023, 16(10): 865–885.
- [3] ALIMY A R, ANASTASILAKIS A D, CAREY J J, et al. Conservative treatments in the management of acute painful vertebral compression fractures: a systematic review and network meta-analysis[J]. *JAMA Netw Open*, 2024, 7(9): e2432041.
- [4] ALSOOF D, ANDERSON G, MCDONALD C L, et al. Diagnosis and management of vertebral compression fracture[J]. *Am J Med*, 2022, 135(7): 815–821.
- [5] 李庆庆, 张军, 竺军高, 等. 老年女性骨质疏松性椎体压缩骨折保守治疗邻近椎体骨折危险因素分析[J]. *中国骨伤*, 2025, 38(2): 147–151.
- LI Q Q, ZHANG J, ZHU J G, et al. Analysis of risk factors for adjacent vertebral fractures after conservative treatment of osteoporotic vertebral compression fractures in elderly women[J]. *China J Orthop Traumatol*, 2025, 38(2): 147–151. Chinese.
- [6] GOLDSTEIN C L, CHUTKAN N B, CHOMA T J, et al. Management of the elderly with vertebral compression fractures[J]. *Neurosurgery*, 2015, 77(Suppl 4): S33–S45.
- [7] NAJJAR E, PASKU D, MARDASHTI A, et al. The influence of osteoporotic vertebral fractures on global sagittal alignment in elderly patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(7): 2580–2587.
- [8] RODRIGUEZ A J, FINK H A, MIRIGIAN L, et al. Pain, quality of life, and safety outcomes of kyphoplasty for vertebral compression fractures: report of a task force of the American society for bone and mineral research[J]. *J Bone Miner Res*, 2017, 32(9): 1935–1944.
- [9] SKJODT M K, ABRAHAMSEN B. New insights in the pathophysiology, epidemiology, and response to treatment of osteoporotic vertebral fractures[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2023, 108(11): e1175–e1185.
- [10] PRON G, HWANG M, SMITH R, et al. Cost-effectiveness studies of vertebral augmentation for osteoporotic vertebral fractures: a systematic review[J]. *Spine J*, 2022, 22(8): 1356–1371.
- [11] CHEN H, LI J, WANG X, et al. Effects of robot-assisted minimally invasive surgery on osteoporotic vertebral compression fracture: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression of retrospective study[J]. *Arch Osteoporos*, 2023, 18(1): 46.
- [12] WILLIAMS T D, ADLER T, SMOKOFF L, et al. Bone cements used in vertebral augmentation: a state-of-the-art narrative review[J]. *J Pain Res*, 2024, 17: 1029–1040.
- [13] PAN Z, ZHOU Q, YANG M, et al. Effects of distribution of bone cement on clinical efficacy and secondary fracture after percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Front Surg*, 2022, 9: 1054995.
- [14] GAZZERI R, PANAGIOTOPOULOS K, GALARZA M, et al. Minimally invasive spinal fixation in an aging population with osteoporosis: clinical and radiological outcomes and safety of expandable screws versus fenestrated screws augmented with polymethylmethacrylate[J]. *Neurosurg Focus*, 2020, 49(2): E14.
- [15] THOMASIU F, KURTH A, BAUM E, et al. Clinical practice guideline: the diagnosis and treatment of osteoporosis[J]. *Dtsch Arztebl Int*, 2025(Forthcoming): arztebl.m2024.0222.
- [16] 董伟鑫, 储振涛, 胡勇, 等. 侧方开口与前方开口骨水泥注射器经皮椎体后凸成形术治疗胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折比较[J]. *中国骨伤*, 2025, 38(2): 128–133.
- DONG W X, CHU Z T, HU Y, et al. Comparison of side-opening and front-opening approach bone cement injectors in percutaneous kyphoplasty for thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *China J Orthop Traumatol*, 2025, 38(2): 128–133. Chinese.
- [17] 楼宇梁, 陈国英, 王灿锋, 等. 伤椎单侧置钉结合骨水泥强化与伤椎双侧置钉治疗骨质疏松性胸腰椎骨折的疗效比较[J]. *中国骨伤*, 2025, 38(2): 134–140.
- LOU Y L, CHEN G Y, WANG C F, et al. Comparison of the efficacy of unilateral nailing combined with bonecement reinforcement and bilateral nailing in the treatment of osteoporotic thoracolumbar fractures[J]. *China J Orthop Traumatol*, 2025, 38(2): 134–140. Chinese.
- [18] 李玉伟, 李修智, 王海蛟, 等. 应用钉道骨水泥强化椎弓根螺钉技术治疗胸腰椎骨质疏松压缩性骨折伴后凸畸形的中远期疗效[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2024, 34(8): 812–818.
- LI Y W, LI X Z, WANG H J, et al. The mid-term and long-term efficacy of cement augmentation of pedicle screws in the treatment of thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fractures complicated with spinal kyphosis deformity[J]. *Chin J Spine Spinal Cord*, 2024, 34(8): 812–818. Chinese.
- [19] HAN F, CHEN H D, ZHAO H W. Comparing percutaneous kyphoplasty with bone cement augmented pedicle screw fixation in severe thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fracture[J]. *Asian J Surg*, 2024, 47(1): 558–559.
- [20] JIA C, ZHANG R, WANG J, et al. Biomechanical study of 3 osteoconductive materials applied in pedicle augmentation and revision for osteoporotic vertebrae: allograft bone particles, calcium phosphate cement, demineralized bone matrix[J]. *Neurospine*, 2023, 20(4): 1407–1420.
- [21] ELDER B D, LO S L, HOLMES C, et al. The biomechanics of pedicle screw augmentation with cement[J]. *Spine J*, 2015, 15(6): 1432–1445.
- [22] 宋继鹏, 林万程, 姚思远, 等. 腰椎后路短节段减压融合术中应用机器人辅助下皮质骨螺钉与椎弓根螺钉固定的临床疗效比较[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2023, 33(12): 1098–1106.
- SONG J P, LIN W C, YAO S Y, et al. Comparison of clinical efficacies between cortical bone trajectory screw and pedicle screw fixation techniques under robot-assisted technology in posterior lumbar short-segment decompression and fusion[J]. *Chin J Spine*

- Spinal Cord, 2023, 33(12):1098–1106. Chinese.
- [23] 吴浙, 陈建良, 李英周, 等. 体位复位和靶点穿刺技术在老年性脊柱骨质疏松性骨折经皮椎体成形术中的应用比较[J]. 中国骨伤, 2025, 38(2):119–127.
- WU Z, CHEN J L, LI Y Z, et al. Clinical research of traditional bone-setting and target puncture techniques in percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures [J]. China J Orthop Traumatol, 2025, 38(2):119–127. Chinese.
- [24] WELLS G A, CRANNEY A, PETERSON J, et al. Alendronate for the primary and secondary prevention of osteoporotic fractures in postmenopausal women[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2008(1):CD001155.
- [25] PEARCE K, GIBB J, SHETTY S. VTE in trauma and orthopaedics [J]. Surg Oxf, 2024, 42(6):397–402.
- [26] BAI Y X, WANG Z J, HE X L, et al. Application of bioactive materials for osteogenic function in bone tissue engineering[J]. Small Methods, 2024, 8(8):e2301283.
- [27] HONG N, WHITTIER D E, GLUER C C, et al. The potential role for artificial intelligence in fracture risk prediction[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2024, 12(8):596–600.
- [28] 陈琛, 李大伟, 马壮田, 等. 医学影像信息系统术前规划个性化穿刺方案在经皮椎体成形术治疗老年骨质疏松性椎体压缩骨折中的应用[J]. 中国骨伤, 2025, 38(2):114–118.
- CHEN C, LI D W, MA Z T, et al. Clinical efficacy analysis of PACS preoperative planning in percutaneous vertebroplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures in the elderly[J]. China J Orthop Traumatol, 2025, 38(2):114–118. Chinese.
- [29] MATUR A V, PALMISCIANO P, DUAH H O, et al. Robotic and navigated pedicle screws are safer and more accurate than fluoroscopic freehand screws: a systematic review and meta-analysis [J]. Spine J, 2023, 23(2):197–208.
- [30] KURIS E O, ANDERSON G M, OSORIO C, et al. Development of a robotic spine surgery program: rationale, strategy, challenges, and monitoring of outcomes after implementation[J]. J Bone Joint Surg Am, 2022, 104(19):e8.
- [31] YU F, XIA W B. The epidemiology of osteoporosis, associated fragility fractures, and management gap in China [J]. Arch Osteoporos, 2019, 14(1):32.
- (收稿日期:2025-02-04 本文编辑:王玉蔓)