综　述

DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003666

骨质疏松性椎体压缩骨折的临床治疗进展

陈长军[1]，马清伟[1]，张　磊[1]，王秋入[2]，彭大勇[1]，陈　猛[1]，杨　允[1]，张凯宁[1]，曾伟南[2]，颜廷宾[3]
（1.山东第一医科大学第一附属医院/山东省千佛山医院骨外科，济南　250014；2.四川大学华西医院骨外科，成都　610041；
3.山东大学齐鲁医院骨外科，济南　250012）

【摘　要】骨质疏松性椎体压缩骨折（osteoporotic vertebral compression fractures，OVCFs）是常见的骨科疾病，可引起脊柱疼痛和畸形，严重影响患者生活质量。目前其治疗方式多样，但迄今为止尚无最佳治疗标准。因此，该文重点介绍了当前针对骨质疏松性椎体压缩骨折的流行病学特点和临床治疗策略，旨在加强临床医生对该问题的认识，并为选择更合适的治疗方案提供参考。支具制动、镇痛等保守治疗是OVCFs基础治疗措施；应用抗骨质疏松药物是治疗的关键；微创手术［如经皮穿刺椎体成形术（percutaneous vertebroplasty，PVP）、经皮穿刺椎体后凸椎体成形术（percutaneous balloon kyphoplasty，PKP）］仍然是主流手术方式；传统开放手术（如前路脊柱融合术、前后路联合脊柱融合术、后路脊柱融合术、后路脊柱融合联三柱截骨术以及后路脊柱融合联椎体成形术）也是治疗的重要组成部分。此外，在进行手术时，手术医师应高度重视积累相关手术技术和技巧，以应对手术治疗所带来的挑战和并发症的发生。最终，为患者选择科学而恰当的治疗方法，以改善长期治疗效果并提升患者满意度。

【关键词】骨质疏松；椎体压缩骨折；临床治疗；研究进展；流行病学
【中图分类号】R580　　【文献标志码】A　　【收稿日期】2024-08-02

Advances in the clinical treatment of osteoporotic vertebral compression fractures

Chen Changjun[1], Ma Qingwei[1], Zhang Lei[1], Wang Qiuru[2], Peng Dayong[1], Chen Meng[1], Yang Yun[1], Zhang Kaining[1], Zeng Weinan[2], Yan Tingbin[3]
(1. Department of Orthopedic Surgery, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University & Shandong Provincial Qianfoshan Hospital; 2. Department of Orthopedics Surgery, West China Hospital, Sichuan University; 3. Department of Orthopedic Surgery, Qilu Hospital of Shandong University)

【Abstract】Osteoporotic vertebral compression fractures (OVCFs) are common orthopedic conditions that can lead to spinal pain and deformity, which greatly affects the quality of life of patients. Currently, there are various treatment methods for OVCFs, but there is still a lack of standards for optimal treatment modalities. Therefore, this article introduces the current treatment methods and characteristics of epidemiology for OVCFs, in order to improve the awareness of this disease among clinicians and provide a reference for selecting more appropriate treatment regimens. Conservative treatment measures, such as bracing and analgesia, are the basic treatment measures for OVCFs, and anti-osteoporosis drugs play a crucial role in management. Minimally invasive procedures, including percutaneous vertebroplasty and percutaneous balloon kyphoplasty, remain the primary surgical interventions, and traditional open surgeries are also an important part of treatment, such as anterior spinal fusion, combined anterior and posterior spinal fusion, posterior spinal fusion with three-column osteotomy, and posterior spinal fusion with vertebroplasty. Furthermore, surgeons should focus on the accumulation of related surgical techniques and skills during surgery to effectively address the challenges and complications associated with surgical interventions. Finally, scientific and appropriate treatment methods should be selected for patients, in order to improve long-term treatment outcomes and increase the degree of satisfaction among patients.

【Key words】osteoporosis; vertebral compression fracture; clinical treatment; research advances; epidemiology

作者介绍：陈长军，Email：chenchangjun888@qq.com，研究方向：骨科基础与临床研究。
通信作者：颜廷宾，Email：yantb219@sdu.edu.cn。
基金项目：国家自然科学基金资助项目（编号：82272483）；山东省自然科学基金资助项目（编号：ZR2023QH517）；济南市临床医学科技创新资助计划（编号：202328059）；吴阶平医学基金会临床科研专项资助基金（编号：320.6750.2024-15-24）。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20241218.2003.002（2024-12-19）

骨质疏松症（osteoporosis，OP）是一种骨科常见的全身性骨代谢疾病，其特征是骨密度（bone mineral density，BMD）下降、骨微结构破坏和骨折风险增加[1-2]。骨质疏松性骨折作为骨质疏松症的严重后果，可对患者造成巨大危害，具有较高的致残率和致死率。骨质疏松性骨折是指在低能量创伤（例如老年人站立时跌倒）下发生的骨折，包括桡骨远端、髋部和脊柱等部位的骨折[3]。其中，髋部骨折的后果最严重、预后最差，1 项针对 3 992 例患者进行回顾性队列研究发现，在 12 个月内，髋部骨折患者的累计死亡率为 33%，年死亡率为每 1 000 例患者每年 144.9 例，并且总体生存期的中位数为 886 d[4]。但是，椎体压缩性骨折（vertebral compression fractures，VCF）是最常见的骨质疏松性骨折类型。其中，症状性 VCF 可导致严重脊柱疼痛和畸形，明显降低患者日常活动能力并限制肺功能，进而增加与年龄相关的死亡风险[5]。因此，对于骨质疏松性骨折患者而言，选择适宜的临床治疗手段以最大限度改善预后显得至关重要。

目前，针对骨质疏松性椎体骨折（osteoporotic vertebral compression fractures，OVCF）的治疗方式众多，包括保守治疗、药物治疗和手术治疗。然而，如何选择合适的治疗策略缺乏统一标准且其疗效各异。随着科学研究和技术进步，对于 OVCF 的治疗策略也取得了一定发展。因此，本文就目前国内外关于 OVCF 的流行病学特点、临床治疗方式进行综述，并为进一步提高临床医师对骨质疏松性椎体压缩骨折的认识以及为患者选择更为合适的治疗方法提供参考。

1 流行病学特点

据报道，老年人群中骨质疏松性骨折的发病率较高。超过 50 岁的人群中，约有三分之一的女性和五分之一的男性存在患骨质疏松性骨折风险，并且 61% 的骨质疏松性骨折发生在女性身上[6]。根据统计数据显示，全球每年发生近 900 万例骨质疏松性骨折，其中髋部、前臂和椎体是最常见的受损部位[7]。根据研究发现，50 岁以上女性骨质疏松症的患病率是男性的 3~4 倍；据对欧盟 27 个国家的估算，约有 2 200 万女性和 550 万男性罹患骨质疏松症；此外，每年还会出现 350 万例新发生的骨质疏松性骨折，其中 61 万例为髋部骨折、52 万例为脊柱骨折、56 万例为前臂骨折，并且还有 180 万其他类型的骨折（如盆骨、肋骨、肱骨、胫腓骨、锁骨和肩胛等）。值得注意的是，在男性和女性中，都存在较高比例的人群罹患髋部骨折，但与女性相比，男性髋部骨折的发生率约为女性的一半[8]。根据 1 项针对过去 17 年的单中心回顾性研究结果显示，骨质疏松性髋部骨折患者中女性占 77.9%，平均年龄为 84.47 岁；而男性占 22.1%，平均年龄为 81.64 岁。此外，该研究还发现髋部骨折患者的死亡率呈持续上升趋势，并且男性的死亡率高于女性[4]。根据我国 1 项最新的多中心横断面研究，60 岁以上人群中骨质疏松性骨折的总患病率为 24.7%，且随着年龄增长，骨折发生率呈递增趋势。其中，脊柱骨折占 96.8% 的比例居多；而 T_{11}、T_{12} 和 L_1 节段是主要受累部位；高龄（≥80 岁）、视力下降、严重听力障碍、慢性肾病、骨关节炎及外伤等因素被认定为其主要危险因素[9]。

2 临床治疗策略

最新的骨质疏松性骨折诊疗指南建议将复位、固定、康复和抗骨质疏松治疗视为处理骨质疏松性骨折的基本治疗原则；对于有骨质疏松性椎体骨折的患者，应根据骨折的程度、症状、全身情况及患者需求等因素来选择保守治疗、微创手术或开放手术，以提高预后效果[10]。针对骨质疏松性椎体骨折的治疗，指南推荐在保守治疗无效、急性期（伤后 6 周）仍然存在剧烈疼痛且活动能力受限、出现不稳定的椎体压缩性骨折或椎体骨折不愈合、椎体内部囊性变或 Kummell 病以及需要避免长时间卧床的患者中进行椎体强化手术（包括 PVP 和 PKP），但是对于有神经脊髓压迫症状和体征、严重后凸畸形、需行截骨矫形以及不适合微创手术的不稳定椎体骨折的患者则推荐选择开放手术[10]。对于症状性陈旧性胸腰椎骨质疏松性骨折（symptomatic chronic thoracic and lumbar osteoporotic vertebral fracture，SCOVF），相关指南建议采用不同手术方法进行治疗[11]。单纯伤椎不愈合的 SCOVF 可考虑椎体强化术，而合并节段间失稳的 SCOVF 可选择后路短节段固定融合、联合伤椎椎体强化术。对于伴有神经症状的 SCOVF 患者，推荐采用后路短节段钉道强化、后路减压、联合伤椎椎体强化术进行治疗。侧后凸畸形是一种常见并发情况，在此情况下，可以考虑使用后路截骨矫形术或前路或后路减压重建手术来治疗。严重骨质疏松和（或）多节段塌陷的 SCOVF 患者通常需要通过后路手术来解决。下面结合指南，对相关治疗进展进行阐述。

2.1 保守治疗

保守治疗主要包括卧床、佩戴背部支具（3 个月）制动、镇痛及应用抗骨质疏松药物等；尽管保守治疗可以促进骨折愈合，但该方法仅适用于椎体压缩性骨折后凸角度小于 25 度并且高度损失不超过 25% 的情况[10,12]。此外，补充钙剂和维生素 D 都应该作为治疗骨质疏松症的基础和一线药物[13]。同时，应用抗骨质疏松药物也是保守治疗的重要组成部分，其使用有助于减轻骨折疼痛并促进骨折愈合。

2.2 药物治疗

2.2.1 降低血钙类药物 降钙素是由甲状腺 C 细胞产生的一种肽类激素，在维持人体内钙平衡方面发挥着重要作用；降钙素曾被用于治疗各种代谢性骨病引起的急性和慢性疼痛，如骨质疏松症及其继发性骨折[13]。最新研究发现，与非

甾体抗炎药相比，每周注射1次的鳗鱼降钙素可以更有效地缓解OVCF引起的急性腰背痛并提高患者的活动能力[14]。但是降钙素改善患者骨密度的能力有限。有研究表明，短期（6个月）应用鲑鱼降钙素无法有效改善患者腰椎、股骨颈和髋关节的骨密度[7]。

2.2.2 抑制破骨吸收类药物 双膦酸盐类药物（如阿仑膦酸钠、伊班膦酸和唑来膦酸等）均是骨质疏松症治疗的常用药物，目前广泛应用于椎体压缩性骨折患者的骨痛、与恶性转移相关的骨痛以及复杂区域性疼痛综合征等的治疗[15]。在骨折治疗方面，最新研究发现，为预防一次临床椎体压缩骨折，每200个患有绝经后骨质疏松症的妇女需要接受双磷酸盐类药物治疗12.1个月，为预防1次临床非椎体压缩骨折，每200个患有绝经后骨质疏松症的妇女需要接受双磷酸盐类药物治疗20.3个月[16]。

地舒单抗是一种抗骨吸收药物，作为人RANK配体（Receptor activator of NF-kappaB ligand，RANK-L）受体特异性IgG2单克隆抗体，其功能在于阻断RANKL与核因子κB受体激活因子（receptor activator of NF-kappaB，RANK）之间的结合，从而有效抑制破骨细胞的生成以及其介导的骨吸收过程；目前该药物已被广泛应用于预防绝经后妇女的骨质疏松引性骨折[17]。此外，地舒单抗在缓解骨质疏松性骨痛方面疗效显著。有研究发现，与阿仑膦酸钠相比，使用地舒单抗治疗6个月可更早（3.3周 vs. 5.4周）地缓解骨质疏松性脊柱骨折患者的疼痛，并且能够更显著地改善患者的骨密度（6.1% vs. 0.8%）。此外，据1项前瞻性研究报道，地舒单抗（每6个月皮下注射60 mg，连续12个月）可以明显降低了患有和未患有糖皮质激素相关性OP的患者的骨痛（平均疼痛减少百分比分别为53.6%和56.2%）[18]。根据1项Meta分析结果显示，与双磷酸盐治疗相比，地舒单抗在治疗12个月和24个月时明显增加了腰椎、髋关节和股骨颈的骨密度；在治疗12个月时，2种药物对于骨质疏松性骨折终点没有差异，然而，在治疗24个月时，使用地舒单抗的患者发生率低于阿仑膦酸钠[19]。根据1项最新的随机对照实验结果显示，唑来膦酸钠（每年1次静脉注射，持续1年）或地舒单抗（每年2次皮下注射，持续1年）治疗骨质疏松性椎体压缩骨折时，在预防新发骨质疏松骨折方面，唑来膦酸钠与地舒单抗的疗效相似（12.79% vs. 8.89%），且二者在疼痛评分及影像学表现上无明显差异[20]。

2.2.3 选择性雌激素受体调节药物 选择性雌激素受体调节剂（selective oestrogen receptor modulators，SERMs）（如雷洛昔芬和巴多昔芬）常用于骨质疏松症的治疗。研究发现，患有绝经后骨质疏松症的妇女接受雷洛昔芬治疗后，骨与关节疼痛明显减轻，止痛药使用量减少，主观睡眠质量得到改善[21-22]。此外，还有研究发现，对于患有骨质疏松症或骨量减少绝经后妇女，使用雷洛昔芬有助于提高骨密度并降低骨转换率，进而减少椎体骨折的风险[23]。

2.2.4 增加成骨活性类药物 作为重要的骨生长因子，甲状旁腺（parathyroid hormone，PTH）在骨代谢过程中扮演着关键角色。特立帕肽，即重组人甲状旁腺素（1-34），是一种合成代谢药物，被广泛应用于骨质疏松症的治疗[24]。作为PTH受体（PTH receptor，PTHR）激动剂，特立帕肽可通过激活成骨细胞上的PTH受体来增加骨形成、BMD和骨强度[25]。对于绝经后骨质疏松的患者，应用特立帕肽20 μg/d可明显改善腰椎骨密度，降低椎体骨折发生率和减轻骨痛，并且应用特立帕肽对于新近（24个月内）发生骨质疏松性骨折或骨质疏松性多发骨折、抗骨质疏松治疗期间仍发生骨折以及骨密度极低的骨质疏松性骨折等骨折极高危风险患者均大有裨益[26-27]。此外，相关Meta分析发现，对于因严重不良反应（如高钙血症、恶心和直立性低血压）而无法耐受全疗程特立帕肽治疗的患者而言，至少应使用6个月特立帕肽治疗以提高腰椎骨密度是必要的[13]。但是值得注意的是，PTHR激动剂获得的BMD增益在停药后会迅速丧失，除非患者开始其他抗骨质疏松治疗，阿仑膦酸钠（口服双膦酸盐）、唑来膦酸（静脉注射用双膦酸盐）或地舒单抗[25]。此外，相关研究发现双磷酸盐和特立帕肽在缓解骨质疏松相关的疼痛方面均有效，但是与双磷酸盐相比，特立帕肽可以更明显地促进骨质疏松性椎体压缩骨折在前6个月的骨折愈合并减少后凸进展，但是在用药1年后双磷酸盐和特立帕肽促进骨折愈合的效果无明显差异[28]。此外，相关研究发现，在预防新发骨折方面，特立帕肽的连续使用24个月相较于利塞膦酸钠的连续应用24个月更明显地降低了新发椎体骨折风险（5.4% vs. 12%），临床骨折风险（4.8% vs. 9.8%）以及非椎体骨折风险（4% vs. 6.1%）[29]。

研究表明，骨硬化蛋白（sclerostin，SOST）能够明显抑制Wnt/β-catenin信号通路而干扰骨形成进而促进骨质疏松症的发生发展[24]。罗莫单抗是首个上市的SOST抑制剂，它通过每月皮下注射2次的方式给药治疗12个月，同时也是目前OP治疗中合成代谢药物之一[24-25]。罗莫单抗被推荐用于治疗绝经后骨质疏松并具有高骨折风险的女性，或对现有其他抗骨质疏松治疗方法无效或不耐受的女性。然而，目前尚未批准将罗莫单抗用于男性骨质疏松患者的治疗。1项针对绝经后高骨折风险女性的研究显示，罗莫单抗可较安慰剂更明显降低其临床骨折、骨质疏松性骨折和重大骨质疏松性骨折的风险[30]。研究发现，罗莫单抗能够明显但短暂地促进骨形成并持续减少骨吸收；与特立帕肽相比，罗莫单抗在增加全股骨和腰椎的骨密度方面表现更为明显，并且能够更有效地缓解背部疼痛[31]。此外，在使用罗莫单抗治疗1年后再转用唑来膦酸治疗1年时，其在降低脊柱、临床、非脊柱和髋部骨折风险方面效果更好于直接使用唑来膦酸治疗2年[32]。与PTHR激动剂相似，除非在停用罗莫单抗后序贯应用抗骨

吸收药物，否则其骨密度的增加也是可逆的[25]。

2.3 手术治疗

尽管保守治疗是一种更易于患者接受的治疗选择，然而长期卧床和日常活动限制往往会增加患者死亡风险[12,33]。此外，许多老年患者难以耐受支具治疗，并且保守治疗的患者还需定期进行影像学检查，以及时发现残余疼痛的根源，如骨折移位、骨折畸形愈合或骨折不愈合。因此，这些限制因素迫使大多数患者只能选择手术治疗。

2.3.1 微创手术 椎体骨水泥成形术最初多用于椎体血管瘤的治疗，现已经广泛被用于治疗骨质疏松性椎体压缩骨折。因此，对于经保守治疗疼痛无法缓解的患者，可以考虑行椎体成形术。目前椎体成形技术主要包括：①骨折椎体内简单注射骨水泥，即PVP；②骨折椎体内使用减压球囊纠正脊柱后凸同时允许低压注入骨水泥，即PKP；③骨折椎体内植入支架支撑椎体同时为骨水泥注射提供低压环境，即椎体支架成形术（vertebral body stenting，VBS）[34]。这类技术优点突出，如手术可在局部麻醉下进行、镇痛效果快速而明显、手术花费较低等，同时，该类技术也适用身体条件较差的患者，骨水泥聚合后患者便可在无支具辅助的情况下早期下地活动[12]。Liu DH 等[35]通过 Meta 分析对比了 PVP 和 PKP 治疗 OVCF 的疗效后发现，二者均能够有效治疗 OVCF，可以明显缓解疼痛并改善患者功能，但与 PVP 相比，PKP 的骨水泥泄漏发生率更低。此外，相关研究还发现，与双侧 PVP 治疗 OVCF 相比，单侧 PVP 应作为首选手术方法，因为它能减少骨水泥的注入量并缩短手术时间[36]。同样，吴卓檀等[34]通过 Meta 分析对比了 VBS 和 PKP 治疗 OVCFs 的疗效后发现，与 PKP 相比，VBS 技术的骨水泥填充量更多，在恢复和维持伤椎正常形态方面更有优势，但是手术时间较长。尽管椎体成形术治疗 OVCF 的疗效明显，但是手术治疗的时机选择也很重要。研究发现，PVP 可以安全和有效地用于治疗急性且伴有持续和严重疼痛的 OVCF，但是 PVP 无法使患有陈旧性骨折或疼痛症状不严重的患者获益[37]。此外，相关研究也发现，PKP 对于发病 4 周以内以及 4 周以上的 OVCF 治疗效果均较好，均能够缓解患者疼痛症状并改善患者功能，但是发病 4 周以内行 PKP 术可以更好地恢复椎体高度、减轻局部后凸畸形并减少继发骨折的发生率[38]。

2.3.2 传统开放手术 由于椎体成形技术的进展，开放手术在治疗 OVCF 方面已经较少使用。然而，在合并神经功能障碍且身体一般情况允许时，仍可考虑采取紧急行后路减压固定手术进行治疗。此外，根据椎体粉碎程度的不同，可以酌情选择额外的前路手术或椎体成形术以稳定脊柱前柱；或通过后路解除压迫、短缩椎体来避免前路重建，并同时进行后路固定以纠正多节段椎体压缩骨折引起的脊柱后凸畸形或固定畸形[12]。相关研究证实，常见的开放手术方式，如单纯前路脊柱融合术、前后路联合脊柱融合术、单纯后路脊柱融合术、后路脊柱融合术联合三柱截骨术以及后路脊柱融合术联合椎体成形术，均能有效改善神经功能并提升患者行动能力。此外，在手术并发症发生率、内固定失效率和继发性椎体骨折发生率方面，上述方法的治疗效果相似[39]。

2.3.2.1 前路脊柱融合术 前路脊柱融合术的优势在于可以直接对侵入椎管的骨折碎片进行减压，并在重建脊柱前柱稳定性的同时并保持后柱结构的完整[40]。但是研究发现，对于因 OVCF 接受单纯前路脊柱融合术的患者，20%~30% 的患者因严重的 OP、后凸畸形的进展或螺钉松动而不得不接受额外的后路固定，并且较其他手术治疗方式相比，接受单纯前路脊柱融合术的患者 JOA 评分改善率较低（仅约 40%）且内固定失效发生率较高（高达 26.3%）[39]。因此，对于骨质疏松程度严重或需要进行多节段骨质疏松骨折修复的患者，在考虑行单纯前路脊柱融合术时应谨慎选择。

2.3.2.2 前后路联合脊柱融合术 前后路联合脊柱融合术结合了前路支撑性的植骨融合以及后路螺钉内固定的优点，在对骨折部位进行直接减压同时，提供最佳的生物力学结构，该手术方式在矫正后凸畸形方面优势明显，但是手术时间较长、术中出血较多[41]。另 1 项研究也表明，前后路联合脊柱融合术中位手术时间为 380 min，中位术中出血 630 mL，但是该术式围术期并发症的发生率较低（7.4%）并且矫正后凸畸形的效果与后路脊柱融合术联合三柱截骨术类似（15% vs. 18.5%）[39]。此外，由于前路手术通常需要进行开胸术分离膈肌或者采用胸膜外/腹膜后入路进行手术，从而影响肺功能或损伤内脏并增加围术期呼吸并发症的发生风险，因此，对于体质较弱或合并症较多的老年患者来说，前后路联合脊柱融合术增加了手术创伤并加剧了手术风险[42-44]。因此，尽管前后路联合脊柱融合术在后凸矫形方面表现出良好效果，然而手术带来的巨大创伤需要手术医生予以重视。对于体质较弱或存在多种并发症的老年患者，应谨慎选择这种手术方式。

2.3.2.3 后路脊柱融合术 研究发现，即使在不进行神经减压的情况下，短节段后路脊柱植骨融合也能有效治疗 OVCF 引起的神经功能障碍和背部疼痛，并促进患者神经功能恢复和背部疼痛缓解；这一发现表明 OVCF 椎体塌陷导致的神经功能障碍与骨折部位的不稳定性相关，而非神经压迫所致[45-46]。然而，缺乏前方支撑的单纯后路脊柱融合术在站立或坐位时可能对后方内固定装置施加向后的力，因此通常需要延长融合节段，并增加内固定失效风险[39]。同时，一些学者还发现，在不进行神经减压的情况下，通过短节段的单纯后路脊柱融合结合棘突内固定装置可以有效缓解患者背部疼痛，并实现对 OVCF 相关神经功能障碍的治疗[45]。并且，后路手术还可在术中一并去除 OVCF 相关的后方压迫，如骨化或肥厚的黄韧带，以实现神经减压[47]。然而，现有研究结果也证实了单纯采用后路脊柱融合术对于矫正后凸畸形的

效果存在一定限制，后凸中位矫正量仅为4%[39]。因此，对于合并严重OP、突出骨折碎片压迫神经严重以及明显胸腰椎后凸畸形的患者而言，单纯采用后路脊柱融合术在治疗OVCF方面存在一定局限性。因此，在选择治疗方式时，应谨慎考虑该种方法的适用性。

2.3.2.4 后路脊柱融合术联合三柱截骨术 手术截骨矫形是治疗脊柱畸形的重要方法。临床上常用的后入路脊柱三柱截骨术主要包括经椎间关节楔形截骨（Smith-Peterson osteotomy，SPO）、经椎弓根截骨（pedicle subtraction osteotomy，PSO）以及全椎体切除术（vertebral column osteotomy，VCR），并结合钛笼或人工椎体进行前柱重建等操作[43]。对于伴有进行性脊柱后凸和矢状面不平衡的OVCF患者而言，三柱截骨术是一种被广泛接受的手术治疗方式。该术式能够直接减压骨折并实现后凸畸形的矫正，然而其手术时间较长、出血量较大以及神经损伤风险较高等缺点仍然无法被忽视[39,43]。研究发现，相较于单纯前路脊柱融合术等其他手术方式，后路脊柱融合术联合三柱截骨术以及前后路联合脊柱融合术均展现出优异的脊柱后凸畸形矫正效果（后凸中位矫正量可达到18.5），但是术中出血量较多，其术中中位出血量与前后路联合脊柱融合术类似（650 mL vs. 630 mL）[39]。此外，研究证实，对于伴有脊柱不稳定和脊髓压迫导致神经功能障碍的OVCF患者，后凸Cobb角<30°时，可以考虑采用SPO技术；而在类似情况下，当后凸Cobb角>30°时，则更适合采用PSO技术。此外，在因椎板骨折引起神经功能障碍和椎间不稳定的患者中，VCR技术是可行的选择[37,39-40,48]。因此，针对不同程度的后凸畸形，需要规划合理的手术方法以取得满意的临床疗效。然而，这类手术存在手术时间长、出血量大和神经损伤风险高等缺点值得重视。

2.3.2.5 后路脊柱融合术联合椎体成形术 后路脊柱融合联合椎体成形术是一种创伤较小的手术，其手术时间短（中位手术时间为185.5 min）、出血量少（中位出血量为336 mL），且围术期并发症发生率较低；该技术能够提供脊柱稳定性和纠正后凸畸形，在治疗伴有或不伴有神经症状OVCF方面具有广泛应用[39,49]。根据1项多中心研究结果显示，无论是椎体成形术联合长节段（融合4~6个脊柱节段）的后路脊柱融合还是短节段（融合2~3个脊柱节段）的后路脊柱融合均能够有效缓解患者疼痛并改善神经功能障碍；然而，相较于长节段手术，短节段手术具有手术时间更短、出血量更少以及创伤程度更小等优势。此外，长节段手术能够更好地避免局部后凸角的损失[50-51]。为了进一步降低手术创伤，研究人员采用计算机辅助下经皮椎弓根螺钉植入联合椎体成形术治疗骨质疏松性压缩性骨折并取得了显著的手术效果[52]。目前有多种材料可用于椎体成形，例如聚甲基丙烯酸甲酯（polymethyl methacrylate，PMMA）骨水泥和自体骨等；然而，使用水泥进行椎体成形存在栓塞和神经损伤的风险；同时，由于注射骨水泥会导致椎体刚度增加，这可进一步引发相邻椎体的骨折；此外，自体骨移植也存在一些缺点，如供体部位疼痛、感染以及手术时间长等问题[49,53]。为了弥补上述不足，研究人员通过1项回顾性分析表明，后颅内固定融合结合同种异体骨植入骨折椎体用于椎体成形能够有效治疗骨质疏松性脊柱骨折，该技术能够有效改善局部后凸畸形和神经功能障碍[53]。此外，为了克服单纯后路手术在后凸畸形矫正上的不足，Chen CJ等[44]报道了一种新型手术方法，可用于治疗Cobb角>30°的OVCF相关Ⅲ期Kummell病。该术式通过经椎弓根椎体内植骨和经椎弓根椎体内植入椎间融合器结合后入路固定，有效改善了患者的背部疼痛，恢复了脊柱前柱高度并纠正了脊柱后凸角[44,54]。因此，后路脊柱融合术联合椎体成形术是一种治疗伴有或不伴有神经症状OVCF的有效方法。此外，通过改进椎体成形材料，还可以实现对脊柱后凸矫正，并克服了单纯后路脊柱融合术在后凸矫正方面的限制性。

3 骨质疏松性椎体压缩骨折的手术治疗挑战与并发症

在需要进行脊柱固定时，如何提高“骨/螺钉”界面与骨质疏松椎体之间的把持力变得至关重要。其中一种策略是采用双皮质固定方法，即增加椎体前方皮质对螺钉的支撑力。然而，这种手术方式可能会增加椎体前方结构损伤的风险，在胸腰段尤其危险，因此更适用于骶骨固定。另一种方法是使用多个锚固点将应力分散到内固定物上，即在脊柱畸形两侧进行长节段的固定。此外，在椎体中使用骨水泥强化椎弓根螺钉也是一个重要方法，通过向椎体注射骨水泥来增加螺钉在椎体内的把持力[12]。同时，相关研究还指出，在周期性负荷条件下，高体积（4 cm^3）骨水泥强化的椎弓根螺钉的锚定稳定性较中等体积（1.5 cm^3）骨水泥强化的椎弓根螺钉差[55]。因此，每个螺钉只需注入少量骨水泥（1.5 cm^3），以避免使用高体积的骨水泥来加固椎弓根螺钉。然而，使用骨水泥加固椎弓根螺钉可能存在渗漏至椎体前方、椎管及椎间孔甚至导致肺栓塞的风险，这取决于螺钉长度是否合适[12]。

骨折后合并骨质疏松是邻近椎体骨折（adjacent vertebral body fracture）的主要危险因素，尤其在椎体成形术后发生。报道显示，该并发症的发病率在10%~38%不等[12,39]。脊柱融合后，即使在融合节段周围增加了应力，仍会导致BMD值较高的椎体发生骨折[56]。但是，最新的随机对照研究发现，与其自然病程相比，OVCF发生后使用PVP或PKP干预并不会增加邻近椎体骨折的风险。因此，可以推测在邻近椎体骨折发展中，OVCFs后生物力学改变和骨质量下降均可能起到关键作用。因此，为了预防邻近椎体骨折，提高骨质量对于OVCFs患者也是一个紧迫的问题。此外，研究

发现，在PVP中应用骨水泥桥接能够在随访2年内更有效地维持局部后凸角度以及椎体前柱的高度[57]。

除了邻近椎体骨折的风险之外，进行后入路脊柱固定的OVCFs患者还面临着多发生在邻近内固定上方的近端交界性后凸（proximal junctional kyphosis，PJK）的风险。据统计，在手术后4年内有16%的病例出现该并发症，并且严重骨质疏松和延伸至骶骨的脊柱融合是其独立危险因素。因此，对于接受脊柱融合术的OVCF患者，手术医生应高度重视辅助治疗措施，包括抗骨质疏松治疗[58]。1项Meta分析发现，在脊柱融合术后前6个月内使用双磷酸盐和特立帕肽治疗可加速患者的脊柱融合过程，并降低术后椎体压缩骨折风险以及减轻相关疼痛；但是长期来看，特立帕肽能够更好地促进脊柱融合，而双磷酸盐则可在减轻术后疼痛的同时更好地预防术后椎体压缩骨折[59]。此外，其他研究发现，在为期2年的随访期内，进行后路脊柱融合术联合椎体成形术后应用特立帕肽能够更有效地维持局部后凸角度的矫正效果；然而，与双磷酸盐类药物相比，二者在矢状位平衡的维持、继发性椎体骨折、椎弓根螺钉松动以及临床结果的治疗有效率方面疗效类似[60]。此外，为了降低PJK的风险，有学者提出在后入路脊柱融合术中增加聚酯纤维成分的椎体栓系系统（posterior polyester tethers）的使用数量，以实现内固定区域和非内固定区域金属内固定负荷更平缓过渡，并减小近端椎间盘内压力、椎弓根螺钉负荷以及后方韧带复合体力量[61]。

综上所述，对于骨质疏松性椎体压缩骨折而言，保守治疗、药物治疗和手术治疗均是重要的治疗方法，而药物治疗更是贯穿保守治疗及手术治疗始终。临床医生应根据患者不同的病情选择适当的治疗方式。对于计划进行手术的患者来说，在充分规划和执行手术的同时，也应注重围手术期和术后的抗骨质疏松治疗，以促进骨折愈合并降低再发骨折风险，通过综合治疗在克服手术挑战的同时并尽量减少手术并发症发生率，进而改善的长期治疗效果，并提高患者满意度。

参 考 文 献

[1] Du JZ, Wang YC, Wu CL, et al. Targeting bone homeostasis regulation: potential of traditional Chinese medicine flavonoids in the treatment of osteoporosis[J]. Front Pharmacol, 2024, 15: 1361864.

[2] 陈长军，赵 鑫，陈李毅乐，等. 外泌体在骨代谢及骨、关节疾病诊治中的研究进展[J]. 重庆医科大学学报，2021，46(5)：610-617.
Chen CJ, Zhao X, Chen LYL, et al. Progress of exosomes in bone metabolism, and diagnosis and treatment of bone and joint diseases[J]. J Chongqing Med Univ, 2021, 46(5): 610-617.

[3] Shoji MM, Ingall EM, Rozental TD. Upper extremity fragility fractures[J]. J Hand Surg Am, 2021, 46(2): 126-132.

[4] Guzon-Illescas O, Perez Fernandez E, Crespí Villarias N, et al. Mortality after osteoporotic hip fracture: incidence, trends, and associated factors[J]. J Orthop Surg Res, 2019, 14(1): 203.

[5] Parreira PCS, Maher CG, Megale RZ, et al. An overview of clinical guidelines for the management of vertebral compression fracture: a systematic review[J]. Spine J, 2017, 17(12): 1932-1938.

[6] Matzkin EG, DeMaio M, Charles JF, et al. Diagnosis and treatment of osteoporosis: what orthopaedic surgeons need to know[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2019, 27(20): 902-912.

[7] Khan AZ, Rames RD, Miller AN. Clinical management of osteoporotic fractures[J]. Curr Osteoporos Rep, 2018, 16(3): 299-311.

[8] Hernlund E, Svedbom A, Ivergård M, et al. Osteoporosis in the European union: medical management, epidemiology and economic burden. A report prepared in collaboration with the international osteoporosis foundation (IOF) and the European federation of pharmaceutical industry associations (EFPIA)[J]. Arch Osteoporos, 2013, 8(1): 136.

[9] Li QH, Yang ZY, Zhu ML, et al. Prevalence and risk factors of osteoporotic fracture among the elderly population in China: a multicenter cross-sectional study[J]. Int Orthop, 2024, 48(5): 1323-1330.

[10] 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.
Chinese Orthopaedic Association. Guidelines for the diagnosis and treatment of osteoporotic fractures(2022 edition)[J]. Chin J Orthop, 2022, 42(22): 1473-1491.

[11] 陈伯华，陈其昕，程黎明，等. 症状性陈旧性胸腰椎骨质疏松性骨折手术治疗临床指南[J]. 中华创伤杂志，2020，36(7)：577-586.
Chen BH, Chen QX, Cheng LM, et al. Clinical guideline for surgical treatment of symptomatic chronic osteoporotic vertebral fractures[J]. Chin J Trauma. 2020, 36(7): 577-586.

[12] Prost S, Pesenti S, Fuentes S, et al. Treatment of osteoporotic vertebral fractures[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2021, 107(1S): 102779.

[13] Chen C, Alqwbani M, Zhao J, et al. Effects of teriparatide versus salmon calcitonin therapy for the treatment of osteoporosis in Asia: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Endocr Metab Immune Disord Drug Targets, 2021, 21(5): 932-942.

[14] Endo N, Fujino K, Doi T, et al. Effect of elcatonin versus nonsteroidal anti-inflammatory medications for acute back pain in patients with osteoporotic vertebral fracture: a multiclinic randomized controlled trial[J]. J Bone Miner Metab, 2017, 35(4): 375-384.

[15] Chen CJ, Yan TB, Liu YD, et al. Multiple myeloma rather than metastatic lung cancer: an unexpected cause of spinal cord compression [J]. World J Oncol, 2023, 14(5): 438-442.

[16] Deardorff WJ, Cenzer I, Nguyen B, et al. Time to benefit of bisphosphonate therapy for the prevention of fractures among postmenopausal women with osteoporosis: a meta-analysis of randomized clinical trials[J]. JAMA Intern Med, 2022, 182(1): 33-41.

[17] Cummings SR, Martin JS, McClung MR, et al. Denosumab for prevention of fractures in postmenopausal women with osteoporosis[J]. N Engl J Med, 2009, 361(8): 756-765.

[18] Petranova T, Sheytanov I, Monov S, et al. Denosumab improves bone mineral density and microarchitecture and reduces bone pain in women with osteoporosis with and without glucocorticoid treatment[J]. Biotechnol Biotechnol Equip, 2014, 28(6): 1127-1137.

[19] Lü HC, Jundi B, Xu C, et al. Comparison of denosumab and bisphosphonates in patients with osteoporosis: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2019, 104(5): 1753-1765.

[20] Son S, Oh MY, Yoo BR, et al. Comparison of the efficacy of zoledronate and denosumab in patients with acute osteoporotic vertebral compression fractures: a randomized controlled trial[J]. J Clin Med, 2024, 13(7): 2040.

[21] Fujita T, Fujii Y, Munezane H, et al. Analgesic effect of raloxifene on back and knee pain in postmenopausal women with osteoporosis and/or osteoarthritis[J]. J Bone Miner Metab, 2010, 28(4): 477-484.

[22] Scharla S, Oertel H, Helsberg K, et al. Skeletal pain in postmenopausal women with osteoporosis: prevalence and course during raloxifene treatment in a prospective observational study of 6 months duration [J]. Curr Med Res Opin, 2006, 22(12): 2393-2402.

[23] Fujiwara S, Hamaya E, Sato M, et al. Systematic review of raloxifene in postmenopausal Japanese women with osteoporosis or low bone mass (osteopenia)[J]. Clin Interv Aging, 2014, 9: 1879-1893.

[24] 陈长军，王秋入，赵 鑫，等. 骨质疏松症的发病机制及临床药物治疗研究进展[J]. 重庆医科大学学报，2024，49(10)：1031-1038.
Chen CJ, Wang QR, Zhao X, et al. Research advances in the pathogenesis and clinical drug treatment of osteoporosis[J]. J Chongqing Med Univ, 2024, 49(10): 1031-1038.

[25] Kostenuik PJ, Binkley N, Anderson PA. Advances in osteoporosis therapy: focus on osteoanabolic agents, secondary fracture prevention, and perioperative bone health[J]. Curr Osteoporos Rep, 2023, 21(4): 386-400.

[26] Akhter S, Qureshi AR, El-Khechen HA, et al. The efficacy of teriparatide on lumbar spine bone mineral density, vertebral fracture incidence and pain in post-menopausal osteoporotic patients: a systematic review and meta-analysis[J]. Bone Rep, 2020, 13: 100728.

[27] 中国康复技术转化与发展促进会骨质疏松性骨折加速康复专业委员会，中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病委员会骨与关节学组，中国医师协会骨科医师分会骨质疏松工作委员会. 特立帕肽治疗骨质疏松性骨折中国专家共识(2024版)[J]. 中华医学杂志，2024，104(17)：1456-1465.
Committee of Accelerated Rehabilitation after Osteoporotic Fractures of China Association of Rehabilitation Technology Transformation and Promotion, Bone and Joint Group of Chinese Society of Osteoporosis and Bone Mineral Research, Osteoporosis Working Committee of Chinese Association of Orthopedic Surgeons. Chinese expert consensus on treatment of osteoporotic fractures with teriparatide (2024 edition)[J]. Natl Med J China, 2024, 104(17): 1456-1465.

[28] Nair VV, Kundnani V, Shetty A, et al. Is teriparatide superior in treating osteoporotic vertebral compression fractures in comparison to bisphosphonates treatment alone: a 2-year retrospective analysis[J]. Asian Spine J, 2023, 17(6): 1098-1107.

[29] Kendler DL, Marin F, Zerbini CAF, et al. Effects of teriparatide and risedronate on new fractures in post-menopausal women with severe osteoporosis (VERO): a multicentre, double-blind, double-dummy, randomised controlled trial[J]. Lancet, 2018, 391(10117): 230-240.

[30] McCloskey EV, Johansson H, Harvey NC, et al. Romosozumab efficacy on fracture outcomes is greater in patients at high baseline fracture risk: a post hoc analysis of the first year of the frame study[J]. Osteoporos Int, 2021, 32(8): 1601-1608.

[31] Park D, Kim SE, Shin HK, et al. Comparison of the efficacy of romosozumab and teriparatide for the management of osteoporotic vertebral compression fractures[J]. Neurospine, 2023, 20(4): 1217-1223.

[32] Saag KG, Petersen J, Brandi ML, et al. Romosozumab or alendronate for fracture prevention in women with osteoporosis[J]. N Engl J Med, 2017, 377(15): 1417-1427.

[33] Postler A, Posten C, Schubert M, et al. Patients risk for mortality at 90 days after proximal femur fracture - a retrospective study in a tertiary care hospital[J]. BMC Geriatr, 2024, 24(1): 130.

[34] 吴卓檀，兰荣玉，张卫华，等. 椎体支架成形术与经皮椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折有效性和安全性的Meta分析[J]. 中医正骨，2024，36(4)：37-46.
Wu ZT, Lan RY, Zhang WH, et al. Clinical outcomes and safety of vertebral body stenting versus percutaneous kyphoplasty for treatment of osteoporotic vertebral compression fracture: a meta-analysis[J]. J Tradit Chin Orthop Traumatol, 2024, 36(4): 37-46.

[35] Liu DH, Wen TL, Li XX, et al. Percutaneous vertebroplasty versus balloon kyphoplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: evaluating the overlapping meta-analyses[J]. Pain Physician, 2024, 27(4): 383-394.

[36] Chen YC, Zhang L, Li EN, et al. Unilateral versus bilateral percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures in elderly patients: a meta-analysis[J]. Medicine, 2019, 98(8): e14317.

[37] Lou S, Shi X, Zhang X, et al. Percutaneous vertebroplasty versus non-operative treatment for osteoporotic vertebral compression fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Osteoporos Int, 2019, 30(12): 2369-2380.

[38] Zhou XS, Meng XT, Zhu HT, et al. Early versus late percutaneous kyphoplasty for treating osteoporotic vertebral compression fracture: a retrospective study[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2019, 180: 101-105.

[39] Watanabe K, Katsumi K, Ohashi M, et al. Surgical outcomes of spinal fusion for osteoporotic vertebral fracture in the thoracolumbar spine: comprehensive evaluations of 5 typical surgical fusion techniques [J]. J Orthop Sci, 2019, 24(6): 1020-1026.

[40] 张家豪，袁 磊，刘寅昊，等. 陈旧性骨质疏松性椎体压缩骨折继发胸腰椎后凸畸形的开放性手术治疗进展[J]. 中华骨科杂志，2023，43(7)：465-470.

Zhang JH, Yuan L, Liu YH, et al. Progress in open surgical treatment of thoracolumbar kyphosis secondary to old osteoporotic vertebral compression fractures[J]. Chin J Orthop, 2023, 43(7): 465-470.

[41] Nakashima H, Imagama S, Yukawa Y, et al. Comparative study of 2 surgical procedures for osteoporotic delayed vertebral collapse: anterior and posterior combined surgery versus posterior spinal fusion with vertebroplasty[J]. Spine, 2015, 40(2): 120-126.

[42] Sudo H, Ito M, Kaneda K, et al. Anterior decompression and strut graft versus posterior decompression and pedicle screw fixation with vertebroplasty for osteoporotic thoracolumbar vertebral collapse with neurologic deficits[J]. Spine J, 2013, 13(12): 1726-1732.

[43] Li JY, Xu LZ, Liu YH, et al. Open surgical treatments of osteoporotic vertebral compression fractures[J]. Orthop Surg, 2023, 15(11): 2743-2748.

[44] Chen CJ, Gao XL, Li H, et al. Intravertebral insertion of interbody fusion cage *via* transpedicular approach for the treatment of stage Ⅲ Kümmell disease: a technical note and case presentation[J]. Br J Neurosurg, 2023, 37(6): 1909-1914.

[45] Nakano A, Ryu C, Baba I, et al. Posterior short fusion without neural decompression using pedicle screws and spinous process plates: a simple and effective treatment for neurological deficits following osteoporotic vertebral collapse[J]. J Orthop Sci, 2017, 22(4): 622-629.

[46] Ataka H, Tanno T, Yamazaki M. Posterior instrumented fusion without neural decompression for incomplete neurological deficits following vertebral collapse in the osteoporotic thoracolumbar spine[J]. Eur Spine J, 2009, 18(1): 69-76.

[47] Saita K, Hoshino Y, Higashi T, et al. Posterior spinal shortening for paraparesis following vertebral collapse due to osteoporosis[J]. Spinal Cord, 2008, 46(1): 16-20.

[48] Patil S, Rawall S, Singh D, et al. Surgical patterns in osteoporotic vertebral compression fractures[J]. Eur Spine J, 2013, 22(4): 883-891.

[49] Masuda S, Onishi E, Ota S, et al. Vertebroplasty using allograft bone chips with posterior instrumented fusion in the treatment of osteoporotic vertebral fractures with neurological deficits[J]. Spine Surg Relat Res, 2019, 3(3): 249-254.

[50] Ishikawa Y, Watanabe K, Katsumi K, et al. Short- versus long-segment posterior spinal fusion with vertebroplasty for osteoporotic vertebral collapse with neurological impairment in thoracolumbar spine: a multicenter study[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2020, 21(1): 513.

[51] 杨 涛，徐希彦，聂 茂. 经皮椎体成形术及后凸成形术在胸腰椎骨质疏松性爆裂骨折中的应用现状[J]. 重庆医科大学学报，2022，47(9)：1127-1132.

Yang T, Xu XY, Nie M. Application of percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty in thoracic and lumbar osteoporotic burst fractures[J]. J Chongqing Med Univ, 2022, 47(9): 1127-1132.

[52] Funao H, Isogai N, Sasao Y, et al. Vertebroplasty with posterior spinal fusion for osteoporotic vertebral fracture using computer-assisted rod contouring system: a new minimally invasive technique[J]. Int J Surg Case Rep, 2020, 72: 301-305.

[53] Chen CJ, Li DH, Zhao X, et al. Mid- to long-term results of modified non-vascularized allogeneic *Fibula* grafting combined with core decompression and bone grafting for early femoral head necrosis[J]. J Orthop Surg Res, 2020, 15(1): 116.

[54] 邱 成，王连雷，郜献雷，等. 经椎弓根入路椎体内置入 cage 治疗Ⅲ期 Kümmell 病的疗效观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志，2022，32(12)：1083-1088.

Qiu C, Wang LL, Gao XL, et al. Treatment outcome of stage Ⅲ Kümmell's disease by placing intra-vertebral cage *via* transpedicular tunnel[J]. Chin J Spine Spinal Cord, 2022, 32(12): 1083-1088.

[55] Pishnamaz M, Lange, Herren C, et al. The quantity of bone cement influences the anchorage of augmented pedicle screws in the osteoporotic spine: a biomechanical human cadaveric study[J]. Clin Biomech, 2018, 52: 14-19.

[56] Ahn Y, Lee SH. Vertebroplasty for adjacent vertebral fracture following lumbar interbody fusion[J]. Br J Neurosurg, 2011, 25(1): 104-108.

[57] Li YD, Tsai TT, Niu CC, et al. Cement bridging phenomenon in percutaneous vertebroplasty for adjacent vertebral compression fracture [J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 10184.

[58] Tamai K, Terai H, Suzuki A, et al. Risk factors for proximal junctional fracture following fusion surgery for osteoporotic vertebral collapse with delayed neurological deficits: a retrospective cohort study of 403 patients[J]. Spine Surg Relat Res, 2019, 3(2): 171-177.

[59] Govindarajan V, Diaz A, Perez-Roman RJ, et al. Osteoporosis treatment in patients undergoing spinal fusion: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurosurg Focus, 2021, 50(6): E9.

[60] Shibuya Y, Katsumi K, Ohashi M, et al. Effect of adjuvant therapy with teriparatide in patients with thoracolumbar osteoporotic vertebral fractures who underwent vertebroplasty with posterior spinal fusion[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 8854.

[61] Bess S, Harris JE, Turner AW, et al. The effect of posterior polyester tethers on the biomechanics of proximal junctional kyphosis: a finite element analysis[J]. J Neurosurg Spine, 2017, 26(1): 125-133.

（责任编辑：曾 玲）

本文引用格式：

陈长军，马清伟，张 磊，等. 骨质疏松性椎体压缩骨折的临床治疗进展[J]. 重庆医科大学学报，2025，50(4)：488-495.