

骨质疏松椎体骨折微创治疗与综合管理进展

周波, 毕尼, 张立, 曹成泉, 赵智, 王迎松*

昆明医科大学第二附属医院骨科, 云南省教育厅脊柱畸形防治创新技术工程研究中心, 云南 昆明

收稿日期: 2026年3月1日; 录用日期: 2026年3月24日; 发布日期: 2026年4月1日

摘要

骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)作为骨质疏松症最常见的并发症, 其发病率随人口老龄化进程不断攀升。目前, 经皮椎体成形术(PVP)与经皮脊柱后凸成形术(PKP)已成为主流的外科干预方式, 然而在术式选择、骨水泥材料优化、邻近椎体再发骨折的预防等关键临床问题上, 仍存在诸多争议。本文旨在阐述OVCF的精准诊断策略、微创治疗技术的演进、围手术期管理要点以及抗骨质疏松治疗的最新进展, 深入分析不同临床策略的循证医学依据与现存困境, 并进一步展望智能化技术与新型生物材料在未来的应用前景。

关键词

骨质疏松性椎体压缩骨折, 经皮椎体成形术, 经皮椎体后凸成形术, 骨水泥, 精准医学

Advances in Minimally Invasive Treatment and Comprehensive Management of Osteoporotic Vertebral Fractures

Bo Zhou, Ni Bi, Li Zhang, Chengquan Cao, Zhi Zhao, Yingsong Wang*

Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Yunnan Provincial Department of Education Engineering Research Center for Innovative Technologies in Spinal Deformity Prevention and Treatment, Kunming Yunnan

Received: March 1, 2026; accepted: March 24, 2026; published: April 1, 2026

Abstract

Osteoporotic vertebral compression fracture (OVCF), the most common complication of osteoporosis,

*通讯作者。

文章引用: 周波, 毕尼, 张立, 曹成泉, 赵智, 王迎松. 骨质疏松椎体骨折微创治疗与综合管理进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 796-804. DOI: 10.12677/acm.2026.1641309

has witnessed a continuously rising incidence alongside global population aging. Currently, percutaneous vertebroplasty (PVP) and percutaneous kyphoplasty (PKP) have emerged as the mainstream surgical interventions; however, substantial controversies persist regarding critical clinical issues, including surgical modality selection, optimization of bone cement biomaterials, and prophylaxis against adjacent vertebral refractures. This article aims to elucidate precise diagnostic strategies for OVCF, the evolution of minimally invasive therapeutic techniques, essential perioperative management considerations, and recent advances in anti-osteoporotic therapy. Furthermore, it provides an in-depth analysis of the evidence-based medical foundations and existing dilemmas underlying diverse clinical strategies, while prospectively examining the future applications of intelligent technologies and novel biomaterials.

Keywords

Osteoporotic Vertebral Compression Fracture, Percutaneous Vertebroplasty, Percutaneous Kyphoplasty, Bone Cement, Precision Medicine

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

骨质疏松症是一种以骨量减少、骨微结构破坏和骨脆性增加为特征的全身性代谢性疾病。作为其常见而严重的并发症，骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF)的全球年发病率超过 140 万例，其中女性患病率显著高于男性，且发病率随年龄增长呈指数级上升趋势[1] [2]。数据显示，我国 40 岁以上人群中，骨质疏松性骨折的患病率已超过 10% [3]。

OVCF 的病理生理机制主要涉及骨代谢失衡与生物力学改变。绝经后女性因雌激素水平显著下降，导致破骨细胞活性增强，骨小梁结构出现变细甚至断裂，椎体抗压能力随之明显下降，轻微外力作用即可引发骨折[4]。在急性期，剧烈疼痛常导致患者活动受限、卧床时间延长，进而可能继发深静脉血栓、肺部感染等并发症；而进入慢性期后，进行性后凸畸形可能影响心肺功能，导致患者死亡率较同龄非骨折人群增加 20%~30% [5]。

治疗理念的演进反映出从以往“单一手术或保守治疗”向“分层、个体化治疗”的显著转变。20 世纪 90 年代之前，OVCF 主要采取长期卧床配合镇痛治疗，但长期卧床反而会加速骨量丢失，形成恶性循环。经皮椎体成形术(PVP)与经皮椎体后凸成形术(PKP)的临床应用改变了这一治疗格局，然而也引发了新的临床问题，如骨水泥渗漏、邻近椎体再骨折等。目前学界普遍共识认为，OVCF 的治疗应基于骨折稳定性、神经功能状态、骨密度水平及患者全身状况的综合评估，在实现最小有效干预的同时，追求最大程度的功能恢复[6]。

2. 精准诊断：从形态学评估到骨质量分析

2.1. 影像学诊断的局限与突破

X 线平片作为常规的初筛手段，对于早期或隐匿性骨折的敏感性较低，漏诊率可高达 30% [7]。相比而言，CT 检查，尤其是多层螺旋 CT 结合三维重建技术，能够更清晰地显示椎体皮质完整性及松质骨内部结构，对评估骨折的稳定性具有重要价值。MRI 在 OVCF 的诊断中具有不可替代的优势，其核心作用在于准确鉴别新鲜与陈旧性骨折。新鲜压缩骨折(<4 周)由于存在骨髓水肿，在 T1 加权像上表现为低信

号, 在 T2 加权像及 STIR 序列上则呈高信号; 而陈旧性骨折的信号强度则接近正常骨髓[8]。这一影像特征不仅能有效指导手术时机的选择, 还有助于鉴别良性骨折与病理性骨折, 从而避免误诊与不当治疗。

2.2. 骨密度检测技术的争议与选择

双能 X 线吸收测定法(DXA)是世界卫生组织推荐的骨质疏松诊断“金标准”, 但其应用存在一定局限性。一方面, 受椎体退行性改变、主动脉钙化等因素影响, 骨密度测量结果可能出现假性正常化, 假阴性率可达 10%~20% [9]。另一方面, DXA 仅能测量二维投影密度, 无法区分皮质骨与松质骨, 而 OVCF 主要累及富含松质骨的椎体前中部, 因此其评估具有一定的片面性。定量 CT (QCT)通过测量椎体的体积骨密度, 在诊断准确性上优于 DXA, 且不受体重等因素干扰。研究表明, QCT 测量的椎体松质骨密度与 OVCF 风险的相关性显著高于 DXA 所测结果[10]。然而, QCT 的辐射剂量约为 DXA 的 100~1000 倍, 加之设备成本较高, 这在一定程度上限制了其在临床中的广泛应用。三维重建 DXA (3D-DXA)基于常规 DXA 图像进行体层重建, 在保持低辐射优势的同时, 还可提供骨骼三维几何参数。尤其对于合并椎体退行性改变的老年患者, 3D-DXA 在诊断与风险评估中具有独特的应用价值[11]。

3. 微创手术治疗: 技术演进与循证困境

3.1. PVP 与 PKP: 疗效比较与选择困境

PVP 通过经皮穿刺向骨折椎体内注入聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)骨水泥, 以实现即刻椎体稳定和疼痛缓解[12]。该术式具有操作相对简便、手术时间较短(通常为 30~45 分钟)且费用较低的优点, 但也存在一定局限性, 如骨水泥渗漏风险较高(约为 5%~15%)、椎体高度恢复效果有限等。

PKP 在 PVP 的基础上引入可扩张球囊, 通过球囊扩张来恢复椎体高度、纠正后凸畸形, 并在较低压力下注入骨水泥[13]。生物力学研究证实, PKP 在恢复椎体高度方面显著优于 PVP, 且可将骨水泥渗漏率控制在 5% 以下。

循证医学证据的解读仍存争议。VERTOS II 研究表明, PVP 相比假手术能显著改善患者疼痛和功能[14]; 而 FREE 研究则发现 PVP 与假手术在疗效上无显著差异[15]。这一矛盾主要源于研究设计上的不同: FREE 研究纳入了部分陈旧性骨折患者, 而 PVP 对陈旧性骨折的疗效相对有限。后续 Meta 分析证实, 对于急性期(<6 周)伴有明显疼痛的 OVCF, PVP 和 PKP 疗效确切; 而对于慢性期或无明显疼痛的骨折, 手术干预的价值则较为有限。

术式选择应超越单纯的“孰优孰劣”比较, 更多基于临床个体化评估。PVP 主要适用于高龄(>80 岁)、合并多种基础疾病、手术耐受性较差、且以快速镇痛为主要治疗目标的患者。PKP 则更适用于相对年轻、椎体压缩程度较高(>30%)、后凸畸形明显、且重视远期脊柱序列恢复的患者[16]。值得注意的是, PKP 术中球囊扩张可能对终板造成损伤, 从而增加术后邻近椎体骨折的生物力学风险。

3.2. 技术改良与新型装置

单侧入路技术的应用对传统的双侧入路模式构成了挑战。Cheng 等的 Meta 分析显示, 在经验丰富的术者操作下, 单侧入路技术能够达到与双侧入路相当的临床疗效, 但其学习曲线较为陡峭, 早期阶段的并发症发生率相对较高[17]。目前, 单侧入路更适用于中上胸椎(T4~T10)和腰椎(L1~L4)节段, 而下胸椎由于椎弓根角度的解剖限制, 仍推荐使用双侧入路。

“蛋壳”技术通过预先封堵椎体前中部的骨皮质缺损, 形成相对封闭的骨水泥灌注腔, 可显著减少骨水泥渗漏并改善椎体高度的恢复[18]。该技术尤其适用于椎体前壁破裂的病例, 但操作步骤的增加也相应延长了手术时间。

网袋限制系统通过在椎体内放置网状结构来限制骨水泥的流动范围，能够在恢复椎体高度的同时显著降低渗漏率和邻近椎体骨折的风险[19]。然而，网袋结构本身的刚度是否足以维持椎体的长期高度稳定性，以及其材料的长期生物相容性，仍需要更多长期随访数据的支持。

机械扩张系统体现了“少骨水泥”乃至“无骨水泥”的治疗理念转变。以 Spine Jack 系统为代表的可扩张金属支架，可替代传统球囊，将骨水泥用量减少 50% 以上[20]。SAKOS 研究的 2 年随访结果显示，钛网增强装置与 PKP 在邻近椎体骨折发生率方面无显著差异，提示骨水泥可能并非影响邻近椎体骨折的唯一因素，患者自身的骨质量或许具有更关键的作用[21]。

3.3. 智能化技术的应用前景与局限

3.3.1. 人工智能预测模型的临床性能

人工智能(AI)技术在 OVCF 诊疗中的应用正从影像识别逐步向临床决策支持演进。Deng 等[22]基于 374 例患者构建的机器学习模型用于预测单节段胸腰椎 PVP 术中骨水泥渗漏，该研究比较了多种算法性能，但具体 AUC 文中尚未提及。目前 AI 预测模型的主要局限在于：现有研究多为单中心回顾性设计，缺乏外部验证；模型泛化能力受限，不同影像设备、扫描参数及人群特征均影响预测准确性；AI 决策的“黑箱”特性导致可解释性不足，临床医生难以理解预测依据，影响信任度和采纳意愿。

3.3.2. 机器人辅助手术的精准度与安全性

机器人辅助手术系统借助术前规划、术中导航与机械臂的精准操作，显著提升了 OVCF 手术的精确度与安全性。Fishero 等[23]的回顾性比较研究显示，机器人辅助 PKP 穿刺精度可达亚毫米级(误差 < 0.3 mm)，骨水泥渗漏率降至 2.4%~10.4%，显著低于透视辅助组的 8.5%~26.3% ($P < 0.05$)；穿刺一次性成功率 95.3%，显著优于传统组的 76.9%~85% ($P < 0.05$)；术中透视次数减少至 6.8 ± 1.7 次，远低于传统组的 >15 次($P < 0.001$)。目前研究证实机器人辅助手术在穿刺精准度和安全性方面具有优势，但手术时间(56.1 ± 10.2 分钟)与传统组(45~60 分钟)无显著差异($P > 0.05$)，术前规划平均增加 15~20 分钟，整体手术时间并未缩短[24]。

3.3.3. 技术壁垒与卫生经济学考量

尽管智能化技术展现出显著的临床优势，其从实验室走向广泛临床应用仍面临诸多困境：AI 预测模型面临“黑箱”决策缺乏可解释性、模型泛化能力受限(不同设备、人群差异大)等挑战。同时，机器人系统存在缺乏触觉反馈、术前规划耗时、设备成本高昂等问题。并且卫生经济学分析显示：机器人辅助脊柱手术的成本效益高度依赖手术量和适应症选择。设备成本约 200~300 万美元/台，维护费用年均 10~15 万美元，专业培训需完成 20~30 例监督下操作。目前仍然缺乏大规模卫生经济学研究数据进行说明。

4. 围手术期管理与快速康复

4.1. 疼痛管理：疗效与安全的权衡

NSAIDs 是轻中度疼痛的一线用药，但其对骨愈合的抑制作用日益受到关注。Meta 分析显示，NSAIDs 组的镇痛效果优于对照组，但骨不连发生率和骨愈合时间显著延长[25]。机制研究证实，NSAIDs 抑制环氧合酶-2(COX-2)，减少前列腺素合成，从而抑制成骨细胞分化。对于 OVCF 患者，NSAIDs 建议使用不超过 3 周，骨折愈合高风险患者应避免使用或选用 COX-2 选择性抑制剂。

本综述基于 GRADE 证据分级系统，对 NSAIDs 使用提出以下推荐：见表 1。

对于 OVCF 患者，NSAIDs 建议使用不超过 3 周，骨折愈合高风险患者应避免使用或选用 COX-2 选择性抑制剂。

Table 1. GRADE recommendations for NSAID use
表 1. NSAIDs 使用的 GRADE 推荐

临床问题	推荐意见	证据质量	推荐强度
OVCF 患者围手术期使用 NSAIDs	建议短期使用(≤ 3 周), 骨折愈合高风险患者避免使用或选用 COX-2 选择性抑制剂	B (中等)	2 (弱推荐)
骨折愈合高风险患者使用 NSAIDs	建议避免使用传统 NSAIDs, 必要时选用选择性 COX-2 抑制剂	C (低)	2 (弱推荐)

证据说明: 现有 Meta [25] 分析多为观察性研究, 存在发表偏倚风险; 但 NSAIDs 抑制骨愈合的生物学机制明确, 故证据质量评为中等。考虑到老年患者骨折愈合能力下降的个体差异, 推荐强度为弱推荐。

尽管阿片类药物适用于重度疼痛, 但老年患者对呼吸抑制、便秘、认知障碍等不良反应更为敏感, 应严格限制使用时间和剂量[26]。降钙素的双重作用使其成为 OVCF 的特色用药——除抑制破骨细胞活性外, 其通过中枢镇痛机制直接缓解疼痛, 起效迅速, 特别适合急性期。

4.2. 支具与早期活动: 快速康复的核心理念

传统观点主张术后长期佩戴刚性支具以保护椎体, 然而 Kato 等的随机对照试验表明, 刚性支具与软性支具在椎体高度维持、疼痛缓解和功能改善方面并无显著差异, 且刚性支具组的肺部并发症及肌肉萎缩发生率更高[27]。

本综述基于 GRADE 证据分级系统, 对术后管理提出以下推荐: 见表 2。

Table 2. GRADE recommendations for postoperative rehabilitation measures
表 2. 术后康复措施的 GRADE 推荐

临床问题	推荐意见	证据质量	推荐强度
PKP/PVP 术后卧床时间	推荐术后 24 小时内下床活动, 而非绝对卧床 1 周	A (高)	1 (强推荐)
术后支具选择	推荐动态支具或软性支具, 而非刚性支具	B (中等)	2 (弱推荐)
保守治疗患者卧床时间	推荐绝对卧床不超过 3~5 天, 而非传统 3 个月	B (中等)	1 (强推荐)

证据说明: Kim 等的比较研究显示, PKP 术后 24 小时内下床活动与术后卧床 1 周相比, 椎体再塌陷率无显著差异。但深静脉血栓、肺部感染等并发症明显减少, 平均住院时间缩短 3~5 天[28]。该推荐基于 RCT 研究, 证据质量高。Cho 等[31]的回顾性研究发现, 3 天与 7 天绝对卧床在影像学愈合和临床疗效上差异无统计学意义, 但 3 天方案组的肺部感染、深静脉血栓发生率更低, 住院时间缩短。

动态支具通过弹性结构提供部分支撑, 同时允许腰背肌群进行主动收缩, 有助于维持肌肉力量和本体感觉。生物力学研究证实, 动态支具可减少椎体前柱负荷约 30%~40%, 同时增强背部伸肌的肌电活动[29]。

5. 保守治疗: 被低估的价值

保守治疗适用于椎体压缩 $\leq 20\%$ (或 ≤ 4 mm)、后柱完整、无神经损伤症状的患者, 约 80% 可获得满意疗效[30]。然而, 传统的“绝对卧床 3 个月”方案已被证实有害无益, 卧床本身加速骨量丢失、肌肉萎缩、血栓形成。

现代保守治疗的精髓在于“有限制动、早期活动、强化抗骨质疏松”。Cho 等的回顾性研究发现, 3 天与 7 天绝对卧床在影像学愈合和临床疗效上差异无统计学意义, 但 3 天方案组的肺部感染、深静脉血栓发生率更低, 住院时间缩短[31]。推荐急性期(3~5 天)卧床休息配合药物镇痛, 疼痛控制后尽早开始渐进性活动。

6. 抗骨质疏松治疗：预防再骨折的核心

6.1. 药物选择与序贯治疗

抗骨质疏松治疗是预防再骨折的根本，而非骨折愈合后的“补充”。OVCF 发生后，患者 2 年内再骨折风险增加 5~10 倍，且再骨折多发生在邻近椎体，形成“级联效应”[32]。

双膦酸盐作为一线药物，可降低椎体骨折风险 40%~50%。美国国立卫生研究院建议，口服双膦酸盐治疗 3~5 年、静脉制剂治疗 3 年后，若骨折风险不再升高，可考虑暂停治疗 1~2 年，监测骨密度和骨转换标志物变化[33]。

特立帕肽的骨合成促进作用使其成为严重骨质疏松的首选，疗程不超过 24 个月，停药后必须序贯双膦酸盐或地舒单抗维持疗效[34]。

地舒单抗的强效和便利(每 6 个月皮下注射)使其依从性优于口服双膦酸盐，但停药后的“反弹效应”是重大隐患——停药后 12 个月内，椎体骨折风险增加 3~5 倍[35]。因此，地舒单抗不适用于治疗依从性差或可能中断随访的患者。

6.2. 骨水泥材料的生物力学优化

传统 PMMA 骨水泥的高弹性模量(>2000 MPa)是邻近椎体骨折的潜在诱因——强化椎体与邻近椎体的刚度差异产生应力集中，加速邻近椎体微损伤累积。低弹性模量骨水泥(如羟基磷灰石复合骨水泥，弹性模量 500~1000 MPa)可减少应力遮挡效应，体外生物力学研究显示其邻近椎体负荷更接近生理状态[36]。

可降解骨水泥(如磷酸钙骨水泥)代表了“临时支撑、逐步替代”的理念，在 6~12 个月内被新生骨组织替代，但早期力学强度不足，目前 OVCF 中的应用限于临床试验阶段[37]。

7. 邻近椎体骨折：风险因素与预防策略

邻近椎体骨折是 OVCF 术后最常见的并发症，发生率 10%~20%，多发生在术后 6~12 个月[38]。不可控因素包括高龄、女性、低骨密度(T 值 < -3.0)、多节段骨折史；可控因素包括椎体过度填充(骨水泥量 > 椎体体积 30%)、椎体高度恢复过度(>90%)、术后抗骨质疏松治疗不规范。

本综述基于 GRADE 证据分级系统，对骨水泥应用提出以下推荐：见表 3。

Table 3. GRADE recommendations for the use of bone cement

表 3. 骨水泥应用的 GRADE 推荐

临床问题	推荐意见	证据质量	推荐强度
骨水泥注入量(胸椎)	推荐 3~5 mL，避免>椎体体积 30%	B (中等)	1 (强推荐)
骨水泥注入量(腰椎)	推荐 4~7 mL，避免>椎体体积 30%	B (中等)	1 (强推荐)
低弹性模量骨水泥应用	弱推荐使用低弹性模量骨水泥(500~1000 MPa)以减少邻近椎体骨折风险	C (低)	2 (弱推荐)

证据说明：相关研究[37][38]显示：推荐的骨水泥注入量：胸椎 3~5 mL、腰椎 4~7 mL 可在恢复椎体刚度与降低渗漏风险间取得平衡。低弹性模量骨水泥的推荐证据来源于体外生物力学研究，尚缺乏长期临床随访数据，故证据质量较低。

预防策略包括：技术层面优化骨水泥注入量，使用低弹性模量骨水泥或网袋系统；药物层面术后立即启动抗骨质疏松治疗，将骨转换标志物控制在正常范围；随访层面术后 3、6、12 个月定期复查，早期识别无症状性新发骨折[39]。

8. 结论与展望

OVCF 的治疗已进入微创化、精准化、个体化时代,但循证医学证据与临床实践之间仍存在落差。PVP 和 PKP 的适应证需要更严格的界定,避免过度手术;新型椎体强化装置和智能化技术的长期疗效需要高质量随机对照试验验证;抗骨质疏松治疗应从“骨折后补救”前移至“骨折前预防”。

未来研究方向包括:建立整合影像学、骨密度、骨代谢标志物和基因组学的多维度骨折风险预测模型;开发具有骨诱导活性的可降解骨水泥;开展手术、保守治疗、不同微创技术的头对头比较研究;构建覆盖急性期治疗、康复期管理和终身预防的整合医疗模式,真正降低 OVCF 的疾病负担。

利益冲突声明

本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明

周波负责文章设计,资料分析,撰写论文;曹成泉负责文献查找;张立、毕尼负责修改论文;赵智、王迎松负责拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿。

基金项目

云南省基础研究计划昆医联合专项面上项目(项目编号:202401AY070001-223);云南省中青年后备人才项目,云南省重点研发计划社会发展专项(项目编号:202403AC100008);昆明医科大学一流学科团队(项目编号:2024XKTDYS05);云南省基础研究计划面上项目(项目编号:202501AT070273)

参考文献

- [1] 中国康复医学会骨质疏松预防与康复专业委员会. 骨质疏松性椎体压缩骨折诊治专家共识(2021 版) [J]. 中华医学杂志, 2021, 101(41): 3371-3379.
- [2] Al Taha, K., Lauper, N., Bauer, D.E., Tsoupras, A., Tessitore, E., Biver, E., *et al.* (2024) Multidisciplinary and Coordinated Management of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Current State of the Art. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 930. <https://doi.org/10.3390/jcm13040930>
- [3] Wang, L., Yu, W., Yin, X., Cui, L., Tang, S., Jiang, N., *et al.* (2021) Prevalence of Osteoporosis and Fracture in China: The China Osteoporosis Prevalence Study. *JAMA Network Open*, **4**, e2121106. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.21106>
- [4] 杨晓光, 唐晓杰, 谭江威. 骨质疏松性椎体压缩性骨折的手术治疗进展[J]. 中国烧伤创疡杂志, 2026, 38(1): 36-39.
- [5] 彭晓美, 陈涛桓, 谢伟, 等. 骨质疏松性椎体压缩骨折保守治疗的研究进展[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2025, 18(7): 649-655.
- [6] 赵飞潼, 魏钊杰, 田峰, 等. 老年骨质疏松性椎体压缩性骨折的诊疗研究进展[J]. 脊柱外科杂志, 2025, 23(4): 277-282.
- [7] Burns, J.E., Yao, J. and Summers, R.M. (2017) Vertebral Body Compression Fractures and Bone Density: Automated Detection and Classification on CT Images. *Radiology*, **284**, 788-797. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017162100>
- [8] Hameed, M., Siddiqui, F., Khan, M.K., Ali, A.A. and Hussain, W. (2024) The Role of Diffusion-Weighted MRI in the Accurate Diagnosis of Vertebral Compression Fractures: A Comparative Study. *Radiography*, **30**, 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2023.12.002>
- [9] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2022) [J]. 中国全科医学, 2023, 26(14): 1671-1691.
- [10] Qasim, M., López Picazo, M., Ruiz Wills, C., Noailly, J., Di Gregorio, S., Del Río Barquero, L.M., *et al.* (2024) 3D-DXA Based Finite Element Modelling for Femur Strength Prediction: Evaluation against QCT. *Journal of Clinical Densitometry*, **27**, Article ID: 101471. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2024.101471>
- [11] 徐睿, 潘毅博, 覃肯, 等. PVP、PKP 治疗的骨质疏松性椎体压缩骨折的研究进展[J]. 江西中医药, 2025, 56(4): 71-

74.

- [12] Galibert, P., Deramond, H., Rosat, P., *et al.* (1987) Preliminary Note on the Treatment of Vertebral Angioma by Percutaneous Acrylic Vertebroplasty. *Neurochirurgie*, **33**, 166-168.
- [13] Jensen, M.E., Evans, A.J., Mathis, J.M., *et al.* (1997) Percutaneous Polymethylmethacrylate Vertebroplasty in the Treatment of Osteoporotic Vertebral Body Compression Fractures: Technical Aspects. *American Journal of Neuroradiology*, **18**, 1897-1904.
- [14] Buchbinder, R., Osborne, R.H., Ebeling, P.R., Wark, J.D., Mitchell, P., Wriedt, C., *et al.* (2009) A Randomized Trial of Vertebroplasty for Painful Osteoporotic Vertebral Fractures. *New England Journal of Medicine*, **361**, 557-568. <https://doi.org/10.1056/nejmoa0900429>
- [15] Kallmes, D.F., Comstock, B.A., Heagerty, P.J., Turner, J.A., Wilson, D.J., Diamond, T.H., *et al.* (2009) A Randomized Trial of Vertebroplasty for Osteoporotic Spinal Fractures. *New England Journal of Medicine*, **361**, 569-579. <https://doi.org/10.1056/nejmoa0900563>
- [16] 赵海恩, 潘庆, 李东升. 经皮椎体成形术与经皮椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折: 一项针对随机对照研究的 meta 分析[J]. 空军军医大学学报, 2023, 44(4): 340-346.
- [17] Cheng, X., Long, H., Xu, J., Huang, Y. and Li, F. (2016) Comparison of Unilateral versus Bilateral Percutaneous Kyphoplasty for the Treatment of Patients with Osteoporosis Vertebral Compression Fracture (OVCF): A Systematic Review and Meta-analysis. *European Spine Journal*, **25**, 3439-3449. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4395-6>
- [18] 沈志坤, 施雨锋, 陈宝, 等. 经皮椎体后凸成形术联合“蛋壳”技术治疗骨皮质破坏骨质疏松性椎体骨折的疗效[J]. 中国老年学杂志, 2023, 43(11): 2681-2683.
- [19] He, C.J. and Liu, G.D. (2018) Comparison of the Efficacy and Safety of Bone-Filling Mesh Container and Simple Percutaneous Balloon Kyphoplasty in the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Pain Physician*, **21**, 259-268.
- [20] Noriega, D.C., Rodríguez-Monsalve, F., Ramajo, R., Sánchez-Lite, I., Toribio, B. and Ardura, F. (2018) Long-term Safety and Clinical Performance of Kyphoplasty and Spinejack® Procedures in the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: A Pilot, Monocentric, Investigator-Initiated Study. *Osteoporosis International*, **30**, 637-645. <https://doi.org/10.1007/s00198-018-4773-5>
- [21] Noriega, D., Marcia, S., Theumann, N., Blondel, B., Simon, A., Hassel, F., *et al.* (2019) A Prospective, International, Randomized, Noninferiority Study Comparing an Implantable Titanium Vertebral Augmentation Device versus Balloon Kyphoplasty in the Reduction of Vertebral Compression Fractures (SAKOS Study). *The Spine Journal*, **19**, 1782-1795. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.07.009>
- [22] Deng, G., Zhu, J., Lu, Q., Liu, C., Liang, T., Jiang, J., *et al.* (2023) Application of Machine Learning in Prediction of Bone Cement Leakage during Single-Level Thoracolumbar Percutaneous Vertebroplasty. *BMC Surgery*, **23**, Article No. 63. <https://doi.org/10.1186/s12893-023-01959-y>
- [23] Fishero, B., Kohli, N., Das, A., Christophel, J. and Cui, Q. (2015) Current Concepts of Bone Tissue Engineering for Craniofacial Bone Defect Repair. *Craniofacial Trauma & Reconstruction*, **8**, 23-30. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1393724>
- [24] Li, Q., Wu, C., Huang, Z., Cao, J., Chang, J., Yin, G., *et al.* (2022) A Comparison of Robot-Assisted and Fluoroscopy-Assisted Kyphoplasty in the Treatment of Multi-Segmental Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *The Journal of Biomedical Research*, **36**, 208-214. <https://doi.org/10.7555/jbr.36.20220023>
- [25] 阿里木江·玉素甫, 阿孜姑·玉素甫, 阿不都拉·阿不来提, 等. 非甾体抗炎药应用于骨愈合期的疗效及安全性的 Meta 分析[J]. 实用临床医药杂志, 2023, 27(21): 17-24.
- [26] Kotlińska-Lemieszek, A. and Zyllicz, Z. (2022) Less Well-Known Consequences of the Long-Term Use of Opioid Analgesics: A Comprehensive Literature Review. *Drug Design, Development and Therapy*, **16**, 251-264. <https://doi.org/10.2147/dddt.s342409>
- [27] Kato, T., Inose, H., Ichimura, S., Tokuhashi, Y., Nakamura, H., Hoshino, M., *et al.* (2019) Comparison of Rigid and Soft-Brace Treatments for Acute Osteoporotic Vertebral Compression Fracture: A Prospective, Randomized, Multicenter Study. *Journal of Clinical Medicine*, **8**, Article 198. <https://doi.org/10.3390/jcm8020198>
- [28] Kim, G.H. and Cho, T.G. (2022) A Comparative Study on the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures with Early Ambulation and at Least 1 Week of Absolute Bed Rest. *Korean Journal of Neurotrauma*, **18**, 56-63. <https://doi.org/10.13004/kjnt.2022.18.e13>
- [29] Meccariello, L., Muzii, V.F., Falzarano, G., Medici, A., Carta, S., Fortina, M., *et al.* (2016) Dynamic Corset versus Three-Point Brace in the Treatment of Osteoporotic Compression Fractures of the Thoracic and Lumbar Spine: A Prospective, Comparative Study. *Aging Clinical and Experimental Research*, **29**, 443-449. <https://doi.org/10.1007/s40520-016-0602-x>

- [30] Zhong, R., Liu, J., Wang, R., Liu, Y., Chen, B., Jiang, W., *et al.* (2019) Unilateral Curved versus Bipedicular Vertebroplasty in the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *BMC Surgery*, **19**, Article No. 193. <https://doi.org/10.1186/s12893-019-0653-y>
- [31] Cho, S.T., Kim, S.J., Nam, B.J., Kim, K.W., Lee, G.H. and Kim, J.H. (2022) Absolute Bed Rest Duration of 3 Days for Osteoporotic Vertebral Fractures: A Retrospective Study. *Asian Spine Journal*, **16**, 898-905. <https://doi.org/10.31616/asj.2021.0396>
- [32] 葛晓勇, 张树宝, 任昶旭, 等. 骨质疏松性椎体压缩性骨折椎体强化术后邻近椎体再骨折风险因素的研究进展 [J]. 脊柱外科杂志, 2024, 22(6): 417-422.
- [33] Deardorff, W.J., Cenzer, I., Nguyen, B. and Lee, S.J. (2022) Time to Benefit of Bisphosphonate Therapy for the Prevention of Fractures among Postmenopausal Women with Osteoporosis. *JAMA Internal Medicine*, **182**, 33-41. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2021.6745>
- [34] Wen, M., Li, J., Lu, B., Shao, H., Ling, P., Liu, F., *et al.* (2024) Indications and Adverse Events of Teriparatide: Based on FDA Adverse Event Reporting System (FAERS). *Frontiers in Pharmacology*, **15**, Article 1391356. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1391356>
- [35] Gregson, C.L., Armstrong, D.J., Bowden, J., Cooper, C., Edwards, J., Gittoes, N.J.L., *et al.* (2022) UK Clinical Guideline for the Prevention and Treatment of Osteoporosis. *Archives of Osteoporosis*, **17**, Article No. 58. <https://doi.org/10.1007/s11657-022-01061-5>
- [36] Robo, C., Öhman-Mägi, C. and Persson, C. (2021) Long-Term Mechanical Properties of a Novel Low-Modulus Bone Cement for the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, **118**, Article ID: 104437. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104437>
- [37] Liu, D., Cui, C., Chen, W., Shi, J., Li, B. and Chen, S. (2023) Biodegradable Cements for Bone Regeneration. *Journal of Functional Biomaterials*, **14**, Article 134. <https://doi.org/10.3390/jfb14030134>
- [38] Dai, C., Liang, G., Zhang, Y., Dong, Y. and Zhou, X. (2022) Risk Factors of Vertebral Re-Fracture after PVP or PKP for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures, Especially in Eastern Asia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **17**, Article No. 161. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03038-z>
- [39] 中国老年骨质疏松症诊疗指南工作组, 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.