

骨质疏松性椎体压缩骨折治疗进展

张 伟¹, 刘志斌^{2*}

¹延安大学附属医院骨科, 陕西 延安

²延安大学附属医院脊柱外科, 陕西 延安

收稿日期: 2023年3月11日; 录用日期: 2023年4月7日; 发布日期: 2023年4月14日

摘 要

随着人类寿命的延长, 人口老龄化越趋明显, 骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCF)成为全球性健康问题。OVCF是老年人群致残、致死的主要原因, 严重影响患者生活质量, 为社会和家庭带来沉重的经济和生活负担。随着微创技术经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)的问世, 给此类患者带来了福音, PVP因其手术创伤小、安全性高、缓解疼痛效果良好等优势, 已逐渐成为治疗OVCF的重要方法之一。为进一步探讨PVP单双侧注射、术后骨水泥分布、形态及灌注量与疗效的关系, 相关并发症及新技术、新材料的治疗进展, 回顾多位学者的研究报道进行详细阐述。

关键词

骨质疏松, 椎体骨折, 经皮椎体成形术, 治疗进展

Progress in the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fracture

Wei Zhang¹, Zhibin Liu^{2*}

¹Department of Orthopedics, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

²Department of Spinal Surgery, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: Mar. 11th, 2023; accepted: Apr. 7th, 2023; published: Apr. 14th, 2023

Abstract

As population aging becomes more obvious with the extension of human vertebral life, osteoporotic compression fractures (OVCF) become a global health problem. OVCF is the main cause of

*通讯作者。

disability and death in the elderly population, seriously affects the quality of life of patients, and brings heavy economic and living burden to the society and family. With the advent of minimally invasive technique percutaneous vertebroplasty (PVP), it has brought good news to this type of patients. Due to its advantages of low surgical trauma, high safety and good pain relief effect, PVP has gradually become one of the important methods for the treatment of OVCF. In order to further explore the relationship between single and bilateral PVP injection, postoperative bone cement distribution, morphology, perfusion volume and efficacy, as well as related complications and treatment progress of new technologies and new materials, a number of scholars' research reports were reviewed for detailed discussion.

Keywords

Osteoporosis, Vertebral Fracture, Percutaneous Vertebroplasty, Treatment Progress

Copyright © 2023 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

第七次全国人口普查的资料显示:我国目前 65 岁及以上人口占比为 13.50% (19,064 万人),已经步入了老龄化社会[1],OVCF 成为一个必须关注的健康问题。骨质疏松症(osteoporosis, OP)是最常见的骨骼疾病,是一种以骨量低骨组织微结构损坏,导致骨脆性增加,易发生骨折为特征的全身性骨病[2]。其中最常见的是椎体骨折,脊柱骨折发生率高达 19%,脊柱畸形、遗留急性、慢性胸腰部疼痛发生率高达 84%,不仅影响日常活动,且严重影响患者脊柱功能,以上数据会伴随患者的年龄增长而增加,积极采取干预措施可一定程度上减小椎体骨折的风险,但仍有一部分患者会继续遭受疾病的困扰[3]。文献报道 OVCF 患者的永久性致残率达 50%,致死率达 20% [4] [5],OVCF 导致骨折椎体高度丢失,后凸畸形,产生顽固性背痛,由于疼痛、卧床、活动减少,使患者骨量进一步丢失。持续的骨量丢失加上后凸畸形导致患者身体重心前移,使脊柱再骨折和其他部位骨折的发生率显著增加。对于 OVCF 保守治疗无法早期缓解疼痛,需长期卧床,由于活动减少导致骨量的进一步丢失,骨强度进行性下降,形成恶性循环。因此,该疾病的早期诊治非常重要,以提高患者的生活质量,不仅需要手术治疗恢复椎体高度以稳定脊柱,还需严格的抗骨质疏松一并治疗。

2. 椎体成形术简介

近 20 年来,PVP 在国内已广泛开展。PVP 是 1987 年最先由法国学者 Gelibert [6]及其合作者最先创立的。它最初是用于治疗椎体的转移癌以及血管瘤,PVP 现已逐渐被视为治疗 OVCF 的首选方法,因为这一手术具有操作简单、创伤小、见效快以及并发症发生率低等优点,成为主流手术治疗方法,目前国内开展广泛、技术成熟,使很多患者受益。借助影像学的手段,将穿刺针通过椎弓根进入椎体,达到增强椎体强度和缓解疼痛的目的。尽管经皮椎体成形术日趋成熟,但针对其一些问题,如骨水泥注入量、骨水泥分布、形态、及手术中采取单、双侧穿刺哪种疗效更好等,诸多学者报道不一,尚未达成统一观点。

3. PVP 手术方式

患者俯卧于骨科床上,腹部悬空,常规心电监护,然后经 C 型臂 X 线机透视下定位,标记出伤椎及椎弓根的体表投影。常规消毒铺巾,用 2%利多卡因 5 mL 局部浸润麻醉,从伤椎椎体压缩严重侧进针。

用斜面穿刺套管针在 C 型臂 X 线机透视下通过伤椎椎弓根进入椎体的前 1/3 处, 退出穿刺针芯, 然后用专用器皿配制聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA), 充分混匀装入 1.5 ml 专用推注装置, 至“拉丝期”在透视下通过穿刺针管将骨水泥缓慢注入椎体内。观察骨水泥填充、弥散情况, 根据需要调整穿刺针斜面的方向和位置, 以控制骨水泥的注入。注入骨水泥的同时, 不断通过 C 型臂 X 线机透视, 在正、侧位两个平面上密切观察骨水泥的分布情况, 当其充盈接近椎体后壁时, 立即停止注入, 观察患者的生命体征及双下肢活动情况。待骨水泥稍固化后拔出穿刺针, 术毕。

3.1. 单/双侧穿刺疗效

注射骨水泥没有绝对的单双侧穿刺要求, 部分操作者单侧注射, 当骨水泥弥散至冠状面正中侧对侧即可, 部分操作者不满对侧弥散, 选择双侧穿刺。Haolin Sun 等[7]对单侧和双侧 PVP 治疗 OVCF 进行系统评价和荟萃分析, 单侧和双侧手术分别为 550 例、493 例, Meta 分析显示, VAS 评分、ODI 评分和水泥渗漏率差异无统计学意义($P > 0.05$), 证明单、双侧椎弓根手术均是安全有效的 OVCF 治疗方法。虽然两种穿刺都能很好地缓解疼痛和改善生活质量, 但鼓励使用单椎弓根入路作为治疗 OVCF 的首选手术技术, 因为手术时间短, X 线暴露有限, 骨水泥导入和外渗极少。同样张海明[8]对单侧和双侧 PVP 治疗 OVCF 的疗效进行比较。结果显示: 均能取得较好的疗效, 但单侧可以缩短手术时间, 减少术中透视次数及骨水泥用量。贺宝荣等[9]借用腰椎标本单双侧注射得出单双侧穿刺均能有效改善患者疼痛不适情况下, 单侧穿刺具有手术时间短, 射线暴露量少好处, 双侧穿刺就远期而已, 椎体具有更好的强度。诸多学者研究结果也得出以上结论, 证明取得相同疗效的情况下 PVP 更具有其他优势。

3.2. 弯角椎体成形术疗效

弯角式骨水泥输送导管具有一侧穿刺实现双侧成形、定向多点低压注射骨水泥、骨水泥沿弧形弥散填充及生物力学支撑稳定等优点, 可有效弥补传统单侧 PVP 的不足。同时规避了双侧穿刺所带来的未知风险和伤害。陈钱等[10]得出弯角输送装置可通过一次椎弓根穿刺实现双侧成形、多点注入骨水泥的手术效果, 手术操作简单安全、术后并发症少, 值得临床推广。黄汇宇等[11]研究了使用弯角弥散导针疗效, 得出单侧穿刺 PVP 治疗 OVCF 术中采用弯角弥散导针, 有利于骨水泥分布, 不仅能获得与双侧穿刺 PVP 相似疗效, 且手术时间更短、骨水泥注射量更少、骨水泥渗漏发生风险更低。

4. 灌注量、骨水泥分布、形态与疗效

1) 灌注量: 有学者认为, PVP 在治疗骨质疏松性椎体压缩骨折中, 骨水泥的注入量与临床效果之间无必然联系, 从治疗的安全性考虑, 手术时应适当限量注射骨水泥(胸椎 1~2 mL, 腰椎 2~3 mL), 且应使骨水泥分布均匀[12] [13] [14]。Nieuwenhuijse 等[15]认为 24% 的骨水泥椎体体积比是最理想的, 这个比例可以使得 93%~100% 的患者疼痛得到缓解, 而与骨水泥泄漏或新鲜骨质疏松性骨折发生的风险无显著相关。其研究中有 29 例患者术后效果不佳, 发现骨水泥椎体体积比小于 24%。

2) 骨水泥分布: 大量的研究集中在骨水泥分布与术后疗效的关系, 贺宝荣等[9]将腰椎标本在横断面上将椎体平分为左右两个区域, 每个区域再平分为前中后三个区分别进行灌注, 并进行生物力学测试, 结果显示椎体前 2/3 区域骨水泥均匀分布是较为理想的分布状态, 单侧分布导致椎体局部应力不均匀产生不稳, 较双侧差。刘长枫等[16]得出骨水泥分布范围随骨折时间延长而减小, 骨水泥填充率是骨水泥分布的重要独立影响因素, 当骨水泥填充率达到 28.1% 时即可实现广泛的骨水泥分布。徐治平等[17]发现患者骨折至手术时间不同也会对 PVP 后患者椎体内骨水泥弥散情况产生影响。Lei Tan 等[18]根据骨水泥分布是否接触上、下终板分组研究, 表明如果骨水泥完全接触到上下终板, 可以更好地恢复椎体的强度, 保持椎体的高度, 降低椎体再压缩和长期疼痛的风险。综上所述, 可见骨水泥分布弥散至对侧较偏侧分

布更好, 且弥散接触到上下椎板最好, 若注入骨水泥弥散至左右分布、上下可接触椎板即为理想状态, 伤椎可获得平衡应力, 患者获得满意疗效, 最好受伤后尽早手术, 早期骨水泥更容易弥散, 弥散系数会随着骨折时间的延长而降低。

3) 骨水泥形态: 往往骨水泥形态与骨水泥注入量及分布密不可分, 三者是互相决定的。Qiujiang Li 等[19]回顾性地研究根据术后骨水泥分布的类型, 分为块状组和海绵状组。得出结论: 与块状组相比, 海绵组能较好地保持椎体高度, 纠正局部后凸, 降低椎体再加压的风险。骨水泥形态与远期疗效存在相关性, 受力面若为平面或者圆滑曲面, 应力分配相对平衡, 远期伤椎高度丢失、再发骨折可能性降低。将骨水泥灌注量、分布及形态单独分开来看是有缺陷的, 三者之间存在怎样的相关性, 有待进一步研究探讨。

5. 两种微创手术对比

1994年 Wong 和 Reiley 等[20]在 PVP 的基础上, 设计球囊, 开创了 PKP (Percutaneous Kyphoplasty, PKP), 使椎体高度恢复进一步改善, 并逐渐开始应用于临床。PKP 较 PVP 具有可膨胀气囊, 通道置放完毕后, 置入气囊膨胀, 在气囊的压力下复位骨折椎体, 同时在骨折椎体内预留一个空间供骨水泥容纳, 即 PKP 技术[21], 解决了 PVP 复位程度不足的局限性, 达到了稳固椎体的同时尽可能地复位椎体。OVCF 采用 PVP 与 PKP 治疗均能显著减轻疼痛并促进术后快速康复, PKP 在恢复伤椎高度、矫正椎体后凸畸形的效果优于 PVP, 且能减少骨水泥渗漏率[22]。与 PVP 相比, PKP 能更好地恢复 OVCF 患者椎体形态及正常高度, 减轻疼痛, 从而促进腰椎功能的恢复, 提升整体生活质量[23]。然而 Folman 等[24]却认为 PVP 与 PKP 在恢复椎体高度、矫正脊柱后凸畸形的疗效相似。

6. 填充物

曹一乐等[25]表明 PVP 在 OVCF 的治疗中起到了越来越重要的作用, 技术越来越成熟, 但不可忽视骨水泥渗漏等并发症的发生, 同时术中大量的射线暴露成为制约椎体成形术发展的重要因素。针对骨水泥渗漏问题, 寻找骨水泥的替代品是目前研究的热点。PMMA 是治疗 OVCF 时最常用的填充材料。然而, PMMA 的临床使用存在一些固有的和不可避免的缺点。PMMA 骨水泥在注射过程中容易泄漏, 这可能导致脊神经和脊髓损伤。此外, PMMA 增强椎体的机械强度是非凡的, 这种高水平的机械强度可能诱发邻近椎体骨折。最近开发了一种新型可生物降解磷酸钙基纳米复合材料(CPN), 以潜在地避免这些问题。Qifeng Lu 等[26]采用尸体椎体骨折模型、羊椎骨骨折模型和模拟硬质泡沫模型, 对 CPN 和 PMMA 水泥的分散性和抗渗漏性能进行了生物力学评价和研究。得出结论: CPN 具有防泄漏性能, 这可能与其高粘度和粘塑性有关。CPN 在尸体椎骨, 脱钙羊椎骨和标准硬质泡沫模型中具有略低于 PMMA 的增强力。然而, 在分散过程中, CPN 比 PMMA 更容易扩散到松质骨中, 并且包封的骨组织。CPN 的出色分散性与松质骨产生了更好的叉指, 这可能就是为什么 CPN 的增强效果与 PMMA 相似的原因。可生物降解的 CPN 是 PMMA 水泥的潜在替代品, 其中 CPN 可能减少手术过程中的水泥泄漏, 并避免由 PMMA 水泥的强度过大和不可降解性引起的术后并发症。Jinjin Zhu 等[27]表明 PMMA 骨水泥是增强/稳定 OVCF 最常用的生物材料之一, 然而, 其临床应用受到其在高压压缩模量和弱骨粘方面的不良性能的限制。为了解决这些问题, 开发了一种生物活性复合骨水泥, 其中矿化胶原(MC)被掺入 PMMA 骨水泥(MC-PMMA)中。得出结论: MC-PMMA 骨水泥具有良好的适应性机械性能和生物相容性, 可能是临床环境中治疗 OVCF 的商用 PMMA 骨水泥的有希望的替代品。虽然 MC-PMMA 骨水泥目前的结果令人鼓舞, 但需要进一步研究这种水泥, 以探索其作为 PVP 和 PKP 的理想替代品的可行性。

7. PVP 与新技术的结合

针对术中医生射线量暴露问题, 一些全新的辅助技术可以替代。常规手术操作需在患者俯卧位之

后, C 形臂 X 线透视下定位伤椎, 即延长手术时间, 又增加射线暴露次数, 尤其对于高龄 OVCF 患者而已, 长时间俯卧位也是一项挑战, 所以尽量减少手术时间是至关重要的。Jing Yang 等[28]基于术前 CT 扫描数据的个性化 3D 打印定位模块和导航模板, 旨在治疗 OVCF 患者。与常规手术相比, 打印模板组穿刺定位持续时间更短, 术中透视检查次数更少, 极大的缩短了手术时间与减少射线暴露, 且能达到相同的术后疗效, 两组术后 VAS 评分比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。Maciej Wojdyn 等[29]比较了在 O 臂引导下进行椎体成形术和神经导航的椎体成形术与 C 臂透视引导的椎体成形术期间辐射暴露。得出结论: 在将 O 臂联合神经导航的椎体成形术中, 与用于透视引导的 C 臂相比, 辐射剂量显著降低, 从而最大限度地降低了外科医生辐射暴露的潜在风险。目前在研究中的远程遥控推注装置及骨科机器人的介入, 在减少射线暴露的情况下, 是否会缩短手术时间, 是否会取得同样的疗效, 有待进一步研究证实。

8. 并发症

8.1. 穿刺损伤

在建立骨水泥通路过程中, 穿刺针可能损伤周围血管、神经根等组织。术后有效按压局部, 可防止穿刺部位出血。反复多次的穿刺, 可能损伤椎弓根骨皮质[30]。对于胸椎或上腰椎椎体骨折的患者, 椎弓根外侧入路穿刺如果进针点偏外或者进针角度过大, 有可能损伤肋骨和胸膜, 造成肋骨骨折和气胸, 其发生概率很小。

8.2. 肺栓塞

肺栓塞是椎体成形术并发症中最凶险的一种, 严重者可导致患者死亡, 是 PVP 较少见的并发症, 据报道发生率仅为 4.6% [31], 国外最近研究发现, PVP 术后骨水泥肺栓塞的发生率为 3.9% [32]。可能原因是: 1) 骨水泥椎旁渗漏进入静脉系统到达肺脏引起栓塞; 2) 注射骨水泥时, 局部压力造成空气、脂肪、骨髓等组织进入椎体静脉丛, 可能导致肺栓塞; 3) 骨水泥微粒进入血管后激活机体凝血系统, 肺毛细血管凝血酶导致血液高凝, 引起 DIC, 发生肺栓塞; 4) 骨水泥在固化过程中会产热, 造成血管内皮受损, 补体系统被激活, 活化凝血因子, 继发性血栓形成, 造成迟发型肺栓塞[33]。

8.3. 脊髓神经的压迫或灼烧伤

骨水泥向椎管内硬膜外、神经孔部位渗漏, 少量可能无任何症状, 如果量大就可能会引起脊髓神经的压迫或烧灼伤出现临床症状, 经过对症处理无缓解且逐渐加重则需要行开放性手术解除压迫。出现临床症状的严重性取决于所渗漏的部位与所渗漏量的多少, 但是引起严重神经损伤的并发症不足 1%。早期国外有较大的一组(868 例)研究, 仅有 3 例有根性痛症状而无脊髓压迫症状[34]。随着技术的提高, 以及设备的改进, 这类的并发症发生率更低。

8.4. 术后邻近椎体骨折

术后发生邻近椎体压缩骨折是常见的远期并发症, 多为综合因素导致。术后继发邻近椎体骨折的概率高于非相邻椎体。可能的原因包括: 术后未积极抗骨质疏松治疗, 邻近椎体骨质疏松未改善; 骨水泥弥散不佳[35]。有研究者[36] [37]认为 PVP 增加了生物力学刚度和强度, 改变了椎体负荷传递, 这种变化增加了其他椎骨应力, 特别是相邻椎骨, 使它们更容易发生骨折。但有研究[38]认为新发骨折可能是骨折椎体相邻椎体活动僵硬的后果。然而, Villarraga 等[39]研究表明, 椎体强化对治疗节段相邻椎体的应力和张力的影响很小。故有研究者提出, PVP 术后并不增加邻近椎体骨折风险。

8.5. 感染

PVP、PKP 为微创手术, 损伤小, 术后感染的发生率很低, 但椎管附近的感染是灾难性的, OVCF 以老年人居多, 既往病史较多, 机体抵抗力下降, 容易感染[40]。对于术前存在身体其他部位感染或在应用免疫抑制药物、身体素质差者, 应该在调节患者身体指标正常、感染控制后择期手术。

8.6. 骨水泥渗漏

骨水泥渗漏是 PVP 中发生率较高的并发症, 不同类型脊柱椎体病变的渗漏风险有所差异, 骨水泥渗漏发生率的文献报道结果也不尽相同, 目前报道的发生率为 19%~65%, 最高为 73%。可造成脊髓或神经根压迫、肺动脉栓塞、相邻椎体骨折、腹主动脉受压等后果[41]。骨水泥向终板、椎间盘渗漏, 虽然少数患者会有腰背部不适等症状, 但通常经非手术治疗可缓解, 也不是椎体成形术后再发骨折的危险因素[42]; 骨水泥渗漏至椎间孔会导致神经根受压而出现放射状疼痛[43]; 渗漏至椎管并对脊髓严重压迫, 则需尽早通过经皮脊柱内镜[44]或行后路手术清除多余的骨水泥; 经静脉渗漏应警惕肺栓塞的可能性[45]; 经针道渗漏至椎旁软组织, 肌肉收缩时可出现局部酸痛症状, 经治疗后多可缓解[46]。

9. 结语

OVCF 患者随着微创外科技术的发展收益颇深, 但同时也存在近期与远期并发症, 如骨水泥渗漏及相邻椎体再发骨折的可能。为了提高其临床疗效的可靠性、减少并发症、减少患者及术者的辐射暴露, 诸多学者前赴后继, 提高自己操作技术的同时, 采用更加合理科学的注射方法。研发新型生物相容性更好的填充材料, 研发更先进的设备, 以上需要经过严格的科研设计试验及系统评价结果来进行临床指导, 使 OVCF 患者的质量更加微创、精准、有效。

参考文献

- [1] 国家统计局, 国务院第七次全国人口普查领导小组办公室. 第七次全国人口普查公报(第一号)——第七次全国人口普查工作基本情况[J]. 中国统计, 2021(5): 6-7.
- [2] Bijlsma, A.Y., Meskers, C.G., Westendorp, R.G.J. and Maier, A.B. (2012) Chronology of Age-Related Disease Definitions: Osteoporosis and Sarcopenia. *Ageing Research Reviews*, **11**, 320-324. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.01.001>
- [3] 谢华, 李继春, 何劲, 等. 骨水泥分布对椎体成形手术后疗效影响的研究[J]. 中华骨科杂志, 2017, 37(22): 1400-1406. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2017.22.004>
- [4] 中华医学会骨科学分会骨质疏松学组. 骨质疏松性骨折诊疗指南[J]. 中华骨科杂志, 2017, 37(1): 1-10.
- [5] Yoo, J.-H., Moon, S.-H., Ha, Y.-C., et al. (2015) Osteoporotic Fracture: 2015 Position Statement of the Korean Society for Bone and Mineral Research. *Journal of Bone Metabolism*, **22**, 175-181. <https://doi.org/10.11005/jbm.2015.22.4.175>
- [6] Galibert, P., Deramond, H., Rosat, P. and Le Gars, D. (1987) [Preliminary Note on the Treatment of Vertebral Angioma by Percutaneous Acrylic Vertebroplasty]. *Neurochirurgie*, **33**, 166-168.
- [7] Sun, H. and Li, C. (2016) Comparison of Unilateral and Bilateral Percutaneous Vertebroplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **11**, Article No. 156. <https://doi.org/10.1186/s13018-016-0479-6>
- [8] 张海明, 郭建栋, 李敏皋. 单、双侧穿刺经皮椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效比较[J]. 临床骨科杂志, 2021, 24(6): 769-772.
- [9] 贺宝荣, 许正伟, 郝定均, 等. 骨水泥在骨质疏松性骨折椎体内分布状态与生物力学性能的关系[J]. 中华骨科杂志, 2012, 32(8): 768-773. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2012.08.011>
- [10] 陈钱, 林松, 陈洪柱, 宋扬, 程维. 弯角椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的早期疗效分析[J]. 颈腰痛杂志, 2022, 43(3): 404-406.
- [11] 黄汇宇, 胡海刚, 林旭, 谭伦, 吴超, 高涛, 王翔宇. 弯角弥散导针在单侧穿刺经皮椎体成形术中的应用研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(12): 1587-1594.

- [12] 高梁斌, 陈嘉裕, 张亮, 等. 经皮椎体成形术中骨水泥注射量与疗效和并发症的相关性研究. 中华创伤骨科杂志, 2009, 11(6): 532-536. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2009.06.009>
- [13] Al-Ali, F., Barrow, T. and Luke, K. (2009) Vertebroplasty: What Is Important and What Is Not. *American Journal of Neuroradiology*, **30**, 1835-1839. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1732>
- [14] Luo, J., Daines, L., Charalambous, A., et al. (2009) Vertebroplasty: Only Small Cement Volumes Are Required to Normalize Stress Distributions on the Vertebral Bodies. *Spine*, **34**, 2865-2873. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181b4ea1e>
- [15] Nieuwenhuijse, M.J., Bollen, L., van Erkel, A.R. and Dijkstra, P.D.S. (2012) Optimal Intravertebral Cement Volume in Percutaneous Vertebroplasty for Painful Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Spine*, **37**, 1747-1755. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318254871c>
- [16] 刘长枫, 宋文慧, 刘昌文, 梁凯恒, 张铠熙, 李永涛. 经皮椎体成形术骨水泥分布评价及影响因素分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019, 29(11): 1001-1008.
- [17] 徐治平, 郑昌坤, 勘武生, 李鹏. 经皮椎体后凸成形术治疗新鲜与陈旧性骨质疏松性椎体压缩性骨折的对比研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21(12): 1258-1260.
- [18] Tan, L., Wen, B., Guo, Z. and Chen, Z. (2020) The Effect of Bone Cement Distribution on the Outcome of Percutaneous Vertebroplasty: A Case Cohort Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **21**, Article No. 541. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03568-9>
- [19] Li, Q., Long, X., Wang, Y., Guan, T., Fang, X., Guo, D., Lv, J., Hu, X., Jiang, X. and Cai, L. (2021) Clinical Observation of Two Bone Cement Distribution Modes after Percutaneous Vertebroplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **22**, Article No. 577. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04480-6>
- [20] Heini, P.F. and Orler, R. (2004) Kyphoplasty for Treatment of Osteoporotic Vertebral Fractures. *European Spine Journal*, **13**, 184-192. <https://doi.org/10.1007/s00586-003-0654-4>
- [21] Garfin, S.R., Yuan, H.A. and Reiley, M.A. (2001) New Technologies in Spine: Kyphoplasty and Vertebroplasty for the Treatment of Painful Osteoporotic Compression Fractures. *Spine*, **26**, 1511-1515. <https://doi.org/10.1097/00007632-200107150-00002>
- [22] 施水潮, 宫峰, 魏显招, 严力生, 吴建新, 林秋水, 熊晓洲, 罗旭耀. PVP与PKP治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效比较[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36(9): 941-943.
- [23] 刘建. PKP与PVP治疗OVCF患者的临床效果对比[J]. 中国现代药物应用, 2022, 16(24): 38-41. <https://doi.org/10.14164/j.cnki.cn11-5581/r.2022.24.009>
- [24] Folman, Y. and Shabat, S. (2011) A Comparison of Two New Technologies for Percutaneous Vertebral Augmentation: Confidence Vertebroplasty vs. Sky Kyphoplasty. *IMAJ-Israel Medical Association Journal*, **13**, 394-397.
- [25] 曹一乐, 杨凯翔, 曹晓建. 椎体成形术的现状和展望[J]. 中华实验外科杂志, 2019, 36(1): 1-4. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1001-9030.2019.01.001>
- [26] Lu, Q., Liu, C., Wang, D., Liu, H., Yang, H. and Yang, L. (2019) Biomechanical Evaluation of Calcium Phosphate-Based Nanocomposite versus Polymethylmethacrylate Cement for Percutaneous Kyphoplasty. *The Spine Journal*, **19**, 1871-1884. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.06.007>
- [27] Zhu, J., Yang, S., Cai, K., Wang, S., Qiu, Z., Huang, J., Jiang, G., Wang, X. and Fang, X. (2020) Bioactive Poly (Methyl Methacrylate) Bone Cement for the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Theranostics*, **10**, 6544-6560. <https://doi.org/10.7150/thno.44428>
- [28] Yang, J., Ni, P., Zhang, L., Lu, Z., Liu, D., Mo, F. and Liu, T. (2022) Clinical Application of a 3D-Printed Positioning Module and Navigation Template for Percutaneous Vertebroplasty. *Surgical Innovation*, **29**, 760-768. <https://doi.org/10.1177/15533506211062404>
- [29] Wojdyn, M., Pierzak, O., Zapalowicz, K. and Radek, M. (2019) Use of O-Arm with Neuronavigation in Percutaneous Vertebroplasty Reduces the Surgeon's Exposure to Intraoperative Radiation. *Archives of Medical Science*, **17**, 113-119. <https://doi.org/10.5114/aoms.2019.84269>
- [30] 杨小彬, 郝定均, 贺园, 等. 单双侧经皮椎体后凸成形术治疗胸腰段骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效比较[J]. 中华创伤杂志, 2019, 35(12): 1060-1067.
- [31] 张功林, 葛宝丰. 经皮椎体成形术的并发症[J]. 中国骨伤, 2013, 26(3): 257-259.
- [32] Hassani, S.F., Cormier, E., Shotar, E., et al. (2019) Intracardiac Cement Embolism during Percutaneous Vertebroplasty: Incidence, Risk Factors and Clinical Management. *European Radiology*, **29**, 663-673. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5647-0>
- [33] 吴建洪, 郑建宝, 薛云鹤. 高黏度骨水泥经皮椎体成形术联合仙灵骨葆胶囊治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折的

- 临床研究[J]. 实用医技杂志, 2020, 27(12): 1662-1664.
- [34] Gangi, A., Guth, S., Imbert, J.P., Marin, H. and Dietemann, J.-L. (2003) Percutaneous Vertebroplasty: Indications, Technique, and Results. *RadioGraphics*, **23**, 310-312. <https://doi.org/10.1148/rg.e10>
- [35] Zhu, J., Zhang, K., Luo, K., *et al.* (2019) Mineralized Collagen Modified Polymethyl Methacrylate Bone Cement for Osteoporotic Compression Vertebral Fracture at 1-Year Follow-up. *Spine*, **44**, 827-838. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002971>
- [36] Holub, O., Lopez, A., Borse, V., *et al.* (2015) Biomechanics of Low-Modulus and Standard Acrylic Bone Cements in Simulated Vertebroplasty: A Human ex Vivo Study. *Journal of Biomechanics*, **48**, 3258-3266. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.06.026>
- [37] Yuan, H.A., Brown, C.W. and Phillips, F.M. (2004) Osteoporotic Spinal Deformity: A Biomechanical Rationale for the Clinical Consequences and Treatment of Vertebral Body Compression Fractures. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, **17**, 236-242. <https://doi.org/10.1097/00024720-200406000-00012>
- [38] Kim, J.-M., Shin, D.A., Byun, D.-H., *et al.* (2012) Effect of Bone Cement Volume and Stiffness on Occurrences of Adjacent Vertebral Fractures after Vertebroplasty. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, **52**, 435-440. <https://doi.org/10.3340/jkns.2012.52.5.435>
- [39] Villarraga, M.L., Bellezza, A.J., Harrigan, T.P., *et al.* (2005) The Biomechanical Effects of Kyphoplasty on Treated and Adjacent Nontreated Vertebral Bodies. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, **18**, 84-91. <https://doi.org/10.1097/01.bsd.0000138694.56012.ce>
- [40] 王国寿, 陈泽群, 邝立鹏, 等. PVP和PKP治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的长期随访效果对比[J]. 中国医学创新, 2020, 17(18): 23-28.
- [41] 刘洋, 李明辉, 梅红军. 经皮椎体成形术后骨水泥渗漏的回顾性分析及预防策略[J]. 中国骨质疏松杂志, 2013, 19(4): 375-380.
- [42] Chen, X., Ren, J., Zhang, J., Li, S. and Liu, Z. (2016) Impact of Cement Placement and Leakage in Osteoporotic Vertebral Compression Fractures Followed by Percutaneous Vertebroplasty. *Clinical Spine Surgery*, **29**, e365-e370. <https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e3182aa28d6>
- [43] 孙发运, 陈红梅. 椎体成形术中骨水泥渗漏原因分析及防治策略[J]. 安徽医药, 2013, 17(7): 1169-1170.
- [44] Şentürk, S., Akyoldas, G., Ünsal, Ü.Ü., Yaman, O. and Özer, A.F. (2018) Minimally Invasive Translaminar Endoscopic Approach to Percutaneous Vertebroplasty Cement Leakage: Technical Note. *World Neurosurgery*, **117**, 15-19. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.05.214>
- [45] Zhao, Y.T., Liu, T.J., Zheng, Y.H., Wang, L.P. and Hao, D.J. (2014) Successful Percutaneous Retrieval of a Large Pulmonary Cement Embolus Caused by Cement Leakage During Percutaneous Vertebroplasty: Case Report and Literature Review. *Spine*, **39**, e1616-e1621. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000613>
- [46] 孙启才, 茹选良, 宋柏杉, 端木群立. 经皮椎体后凸成形术骨水泥渗漏的中期随访及应对策略[J]. 中国骨伤, 2017, 30(9): 810-816.