

微创手术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折的研究进展

覃胜华¹, 吴 锦¹, 黎斐文^{2*}, 向志钢¹

¹吉首大学医学院, 湖南 吉首

²湘西自治州人民医院脊柱外科, 湖南 吉首

收稿日期: 2024年7月21日; 录用日期: 2024年8月13日; 发布日期: 2024年8月23日

摘 要

骨质疏松症(osteoporosis, OP)已成为世界范围内的一种常见病和多发病。骨质疏松症患者容易发生骨折, 椎体是骨质疏松性骨折最常发生的部位。骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)患者胸腰背部剧烈疼痛, 脊柱畸形, 治疗方法包括保守治疗、开放性手术及微创手术治疗, 而微创手术治疗因其明确的临床疗效被广泛应用于临床治疗中。文章综述了微创手术治疗OVCF的方法, 以期为临床治疗OVCF提供参考。

关键词

微创手术, 骨质疏松, 椎体压缩性骨折

Research Progress of Minimally Invasive Surgery for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures

Shenghua Qin¹, Ti Wu¹, Feiwen Li^{2*}, Zhigang Xiang¹

¹Medical College of Jishou University, Jishou Hunan

²Spine Surgery of Xiangxi Autonomous Prefecture People's Hospital, Jishou Hunan

Received: Jul. 21st, 2024; accepted: Aug. 13th, 2024; published: Aug. 23rd, 2024

Abstract

Osteoporosis (osteoporosis, OP) has become a common and frequently-occurring disease world-

*通讯作者。

文章引用: 覃胜华, 吴锦, 黎斐文, 向志钢. 微创手术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折的研究进展[J]. 临床医学进展, 2024, 14(8): 1010-1017. DOI: 10.12677/acm.2024.1482314

wide. People with osteoporosis are prone to fractures, and the vertebral body is the most common site for osteoporotic fractures. Patients with severe thoracolumbar compression fracture (OVCF) and vertebral deformities are treated with conservative treatment, open surgery and minimally invasive surgery. Minimally invasive surgery is widely used in clinical treatment because of its clear clinical effect. This article reviews the methods of minimally invasive surgery for OVCF, in order to provide reference for clinical treatment of OVCF.

Keywords

Minimally Invasive Surgery, Osteoporosis, Compression Fracture of the Vertebral Body

Copyright © 2024 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

骨质疏松症是中老年人群中常见的慢性骨代谢性疾病[1], 全球 OP 患者总数约达到 2 亿人[2]。接受保守治疗的骨质疏松性椎体压缩性骨折患者 5 年死亡率在 20%~35% [3], 且大多数这类老年患者伴有各种慢性疾病, 长期卧床会明显增加肺、泌尿系统感染的发生率[4]。故临床上更倾向于外科手术。其中微创手术治疗因其良好的临床疗效在临床工作中受到广大医务人员和患者的青睐。OVCF 的微创手术治疗主要包括经皮椎体成形术(Percutaneous vertebroplasty, PVP)和经皮椎体后凸成形术(Percutaneous kyphoplasty, PKP), 它们也是目前 OVCF 首选的微创手术治疗的方法。但是随着手术操作的熟练、手术经验的丰富以及科学技术的进一步发展, 为了提高 OVCF 临床治疗的疗效, 一些改良和创新的微创技术也在临床实践中不断涌现出来[5]。本文对微创治疗 OVCF 一些相关的研究文献进行总结, 以期为临床上 OVCF 的治疗提供参考。

2. 经典的微创治疗

目前较成熟的微创手术技术主要包括 PVP 和 PKP。在治疗 OVCF 时, 两种微创技术均可达到稳定骨折、恢复椎体力学强度、防止椎体进一步压缩和缓解疼痛的目的, 使患者尽早恢复正常活动。它们都是利用 C 臂机的透视功能在体表定位骨折的椎体, 然后置入工作的通道至骨折的椎体, 再将骨水泥等填充物灌注至骨折的椎体内来缓解患者的疼痛和强化骨折的椎体方式进行的微创手术。PVP 和 PKP 在 OVCF 的临床治疗中具有创伤小、安全性高、手术疗效好和促进患者快速恢复等优势[6]。

2.1. PVP 与 PKP 的发展

在 1984 年, Galibert 与 Deramond 首次将 PVP 技术应用于治疗 C2 椎体血管瘤, 取得了良好的治疗效果[7]。随后在 1987 年, 他们报道了 7 例伴有疼痛症状的椎体血管瘤患者 PVP 的治疗结果[8], 自此 PVP 技术开始在临床实践中得到广泛应用。1990 年 Galibert 和 Deramond 进一步将 PVP 技术应用于治疗骨质疏松性椎体骨折[9], 研究发现它在减轻由椎体压缩性骨折引起的疼痛方面疗效满意, 并且通过强化椎体, 防止了椎体高度的进一步降低, 遏制了后凸畸形的进一步发展[10]。然而, 随着 PVP 技术的广泛使用, 其局限性也逐渐暴露。首先, 骨水泥通常需要在高压下才能注入松质骨中, 而受压缩的松质骨空间有限, 这增加了 PVP 过程中骨水泥渗漏的风险[11]; 其次, PVP 无法有效恢复椎体的高度, 从而矫正脊柱后凸

畸形。因此, PKP 作为 PVP 的改进技术引入到 OVCF 的临床治疗中[12]。PKP 通过将球囊置入椎体并注入造影剂使球囊扩张, 以恢复椎体塌陷的高度并在内部形成空腔。当球囊放置于合适的位置时可撑起下降的终板从而恢复椎体高度, 球囊撤出后会在椎体内形成一个空腔, 有利于较低压力下注入高黏度的骨水泥, 这有助于减少骨水泥渗漏。相关临床研究[13]表明, PKP 术后椎体高度的恢复能更有效地缓解疼痛并改善脊柱功能。

2.2. PVP 与 PKP 的治疗方式

PVP 是经皮经椎弓根途径将聚甲基丙烯酸甲酯(polymethyl methacrylate, PMMA)注入椎体内, 以减轻由 OVCF 引起的疼痛, 恢复椎体的高度, 并增强椎体的强度。PKP 则是 PVP 技术的一种改进, 其关键区别在于注入骨水泥之前, 先利用球囊扩张系统在骨折椎体内形成一定的腔隙, 然后再填充骨水泥, 这有助于更有效地恢复椎体的高度, 稳定骨折部位, 并降低骨水泥泄漏的风险[14]。PVP 与 PKP 在 OVCF 的临床治疗中都可以起到快速减轻疼痛、恢复压缩椎体高度及矫正脊柱后凸畸形作用, 因此两者在临床 OVCF 的治疗中皆被广泛应用[15]。

2.3. PVP 与 PKP 的适应症和禁忌症

PVP 与 PKP 的适应症: 1) 骨质疏松性椎体压缩性骨折: 是目前 PVP 及 PKP 应用最为广泛的适应症。特别适用于老年骨质疏松性椎体压缩性骨折。手术要求骨折节段椎管内脊髓无明显受压, 无明显神经受累表现, 年龄为女性大于 55 岁, 男性大于 60 岁, 骨密度检测或影像学提示骨质疏松, 经保守治疗疼痛缓解不满意者, 或不能耐受长期卧床者。影像学检查可见: 骨折椎体内信号发生明显, 表明有水肿存在, 同时发现终板塌陷、椎体高度也明显降低, 骨折线或椎体内可见积液; CT 检查可见椎体内骨折线。2) 椎体肿瘤。3) 创伤。PVP 与 PKP 的禁忌症: 1) 椎体后壁完整性破坏, 椎体高度丢失超过 2/3, 无法顺利穿刺者; 2) 爆裂性骨折后其游离骨块进入椎管, 同时造成下肢神经损伤或括约肌损伤; 3) 凝血机制障碍; 4) 目标椎体有感染性疾病; 5) 对手术所需要的任何物品过敏者; 6) 穿刺部位皮肤感染; 7) 患者一般状况极差, 无法耐受手术。8) 不伴有骨质疏松症的中青年椎体骨折[16]。虽然 PVP 与 PKP 在 OVCF 的临床治疗中能够取得满意的手术疗效, 但不可忽视手术的风险, 应该准确地把握 OVCF 微创手术治疗的适应症和禁忌症, 降低手术的风险, 提高 OVCF 临床治疗的疗效。

2.4. PVP 与 PKP 的选择

PVP 和 PKP 都能增加骨强度, 减轻 OVCF 引起的疼痛, 使患者尽早恢复正常活动。然而, PVP 与 PKP 均有优缺点, 在临床疗效存在较多争议。有研究认为经皮椎体后凸成形术相较于经皮椎体成形术而言能够有效恢复椎体高度, 并发症发生率较低, 安全性较高[14] [15]。陈运崇等[17]和彭琪等[18]认为 PKP 与 PVP 相比, 治疗老年骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折可获得较好的围术期指标, 对恢复伤椎高度及矫正后凸畸形具有更好的效果, 减轻腰部疼痛及改善腰椎功能的效果更满意, 且减少并发症的发生率。然而, 与 PVP 手术相比, PKP 手术的费用和手术时间都有所增加[15], 此外, PKP 在减少骨水泥渗漏和降低邻近椎体发生骨折的发生率方面, 并没有显示出比 PVP 更明显的优势[19] [20]。虽然选择 PVP 还是 PKP 在 OVCF 的临床治疗中存在很大的争议, 但是 PVP 和 PKP 均可以起到有效减轻疼痛、恢复椎体高度、改善后凸畸形以及提高患者的生活质量的作用。并且在微创手术治疗 OVCF 的临床实践中有很大一部分的学者[21]-[24]认为 PKP 在恢复椎体高度及矫正后凸畸形方面相比 PVP 更有优势, 只是存在手术操作复杂、手术费用高的缺点。因此在治疗 OVCF 的临床实践中对于 PVP 和 PKP 的选择应该结合患者的实际情况进行, 选择合适的手术方式来提高 OVCF 的临床治疗的疗效[22]。

2.5. 单侧或者双侧穿刺

关于 OVCF 治疗中选择单侧还是双侧椎体强化术的问题,目前学术界尚有不同观点,但多项研究指出,通过单侧入路治疗能够获得与双侧强化术同等的疗效[11] [25]。尽管生物力学研究显示,单侧入路治疗可能导致椎体应力更集中于前半部,从而可能带来一些不利影响[26],但单侧手术具有手术时间短、出血量少、骨水泥渗漏少、辐射暴露少、住院费用低等优点,目前已被广泛采纳[27] [28]。Yang 等[4]通过对 850 例患者的系统性回顾分析,发现目前没有充分证据表明单侧与双侧方法在临床上有显著差异,选择单侧还是双侧入路主要取决于骨折的具体情况,临床医生需要根据实际情况灵活选择治疗方案。

3. 椎体成形术的改良术式

OVCF 的微创治疗在临床中已经被广泛应用多年,随着穿刺技术的熟练、穿刺方法的改进以及科学技术的进步,一些改良和创新的微创方法也在 OVCF 的临床治疗中取得了良好的临床疗效。

3.1. 弯角椎体成形术

经皮弯角椎体成形术(Percutaneous curved vertebroplasty, PCVP)通过使用弯角形的可变支点,作为输送套管的头端,改变过去平直状形状,经椎弓根单侧入路穿刺,通过弯角套管进入椎体对侧,边注入骨水泥边撤回弯角套管,保持了骨水泥均匀分布,从而平衡增强椎体的强度,达到良好的止痛效果[29]。Murphy 等[30]首次使用 13 号弯针通过单椎弓根入路进行多层椎体成形术。Kwon 等[31]在这一基础上进行了创新,他们提出了一种在椎体成形手术中创造小空隙以减少骨水泥输送压力的方法,并在 48 位急性 OVCF 患者中进行了应用,临床效果令人满意。无论是 PCVP 还是 PKP 技术,在治疗 OVCF 时都能有效地减轻疼痛和改善后凸畸形,但 PCVP 技术在减少手术中的透视次数、缩短手术时间以及实现更合理的骨水泥分布方面展现出了明显的优势,特别是在改善椎体压缩和减少骨水泥渗漏方面[32]。

3.2. OptiMesh 椎体成形术

2005 年美国学者用血管移植材料聚酯无纺布研制出一种中空、可扩展、可留置体内的网状囊袋—OptiMesh。该技术首先是经椎弓根入路或后外侧入路建立工作通道,用钻孔器在压缩椎体的内部制造空腔,将 OptiMesh 囊袋植入并向其内紧密填充移植骨颗粒,从而形成坚固的支撑,通过压力控制来恢复压缩椎体高度。目前,该技术已形成包括工作通道、操作器械和囊袋等一整套工具的成熟手术系统[33]。OptiMesh 网状囊袋不影响骨组织及血管组织向其内生长,具有骨诱导性骨传导性;填充的移植骨使椎体内部的弹性模量与邻近椎体相似,这在理论上可能减少邻近椎体发生骨折的风险。Inamasu 等[34]报道采用腰椎后路短节段内固定(T12-L2)结合 OptiMesh 椎体成形术治疗 L1 椎体压缩性骨折,术后不仅显著减轻了疼痛,还恢复了伤椎椎体前柱的高度,并纠正了脊柱的畸形。但需要注意的是 OptiMesh 囊袋植入时的工作通道直径较大,必要时需采用椎弓根外侧入路,对椎旁组织损伤的风险增大。此新技术的长期疗效尚不清楚,通过 Optimesh 将同种异体移植骨移入骨折椎体的过程如何影响椎体重塑,以及椎体高度的恢复是否能够维持,这些问题仍需进一步观察。

3.3. 骨填充网袋椎体成形术

骨填充网袋椎体成形术手术入路与常规 PKP 类似,穿刺针进入椎体前 1/3 部分,建立工作通道,置入扩张矫形器,挑选合适的骨填充网袋,外接加压注射器,将处于“拉丝期”的骨水泥缓慢注入网袋内。当骨水泥填充整个网袋并外渗至椎体内,椎体高度明显恢复,无骨水泥渗漏时,停止注射,待体外骨水泥硬化后,退出工作套管[35]。该术式可有效控制骨水泥在椎体内的弥散,骨水泥弥散后与骨小梁结合,

填充骨折裂隙，压缩的椎体被撑开，增加了生物力学稳定性，降低了骨水泥渗漏风险[36]。相较于 PKP 在球囊退出后会出现椎体高度回弹，骨填充网袋椎体成形术可以通过骨水泥注射膨胀网袋，再次复位椎体，术后伤椎前缘高度恢复率更高[37]。国内有学者[38]研究发现，骨填充网袋椎体成形术和 PKP 相比，均可有效缓解患者疼痛症状、恢复椎体部分高度、纠正 Cobb 角及改善生活质量，但骨填充网袋椎体成形术在减少手术时间及术中透视次数、降低骨水泥渗漏率和相邻椎体再骨折发生率具有一定优势。骨填充网袋经皮椎体成形术目前更常用于治疗后壁破裂的新鲜压缩性骨折，降低骨水泥经后壁渗漏入椎管的风险。实际临床治疗时应根据椎体的压缩情况选择合适型号的网袋。

3.4. SKY 骨扩张器椎体后凸成形术

2004 年以色列 Disc-0-Tech 公司研制出一种以 Sky 骨扩张器代替球囊的新型椎体后凸成形系统。其原理是将 Sky 骨扩张器经工作通道插入伤椎，旋转手柄使围绕轴心的高分子聚合物皱襞扩张而复位骨折，然后回旋手柄使扩张的皱襞恢复平整状态而取出，再注入骨水泥至伤椎内，达到减轻疼痛、恢复骨折椎体高度、矫正脊柱后凸畸形，并增强脊柱的稳定性。Sky 骨扩张器椎体后凸成形术的优势在于其能够控制复位的方向并根据需要进行调整，同时对椎体侧壁的干扰较小，这有助于减少骨水泥的渗漏风险并提高复位的成功率[39]。李康强[40]在治疗椎体压缩性骨折患者时采用了 Sky 骨扩张器椎体后凸成形术，术后患者疼痛和椎体高度均有显著改善，并且有效降低了骨水泥渗漏和感染等并发症的发生率。

3.5. 射频后凸成形术

射频后凸成形术(Radiofrequency kyphoplasty, RFK)是一种新的椎体增强系统，于 2009 年在德国推出，其原理是通过射频将 PMMA 水泥离体转化为超高黏度的半固体物质，然后再以 PKP 术式注入椎体，优点在于能保留更多完整的松质骨，能极大程度保持椎体的稳定[41]。一项研究指出，与 PKP 手术相比，RFK 手术后患者的 VAS 评分改善幅度约在 65%~96%之间；此外，在胸椎骨折时应用 RFK 手术能够显著改善肺功能[42]。RFK 手术不仅能有效减轻疼痛，降低骨水泥渗漏的风险，而且在预防术后再次骨折和减少二次手术需求方面，其效果也优于 PKP 手术。

3.6. SpineJack 系统

SpineJack 系统是为追求椎板解剖复位而设计的椎体强化系统[43]，其设计理念为“在骨折发生处将其复原”。它使用一种钛制可永久置入椎体内的椎体扩张器，通过扩张器撑开压缩椎体，在椎体内部压力较低条件下将骨水泥注入伤椎内，从而达到迅速缓解患者疼痛并强化椎体的效果。有文献报道，SpineJack 系统治疗后的影像学结果在椎体高度恢复及维持方面均优于 PKP 手术[44]。SpineJack 系统是近年出现的新型椎体强化方式，其优越性主要在于从生物力学方面对压缩椎体进行更好的强化及高度恢复。此外，Noriega 等[43]对 108 例接受 SpineJack 系统治疗的椎体压缩性骨折患者随访 12 个月后发现，对于创伤引起的无神经损伤的椎体压缩性骨折，SpineJack 系统拥有较好的疗效。其能在术后迅速缓解患者疼痛，减少镇痛药使用，且能长期维持较好的椎体高度，改善患者生活质量。有研究认为，SpineJack 系统可有效控制患者的术后疼痛，减少脊柱畸形及终板骨折的发生，且能减少出血量[45]。考到 SpineJack 系统因应用时间较短，相关临床研究资料不足，尚无法明确其长期治疗效果。

3.7. Kiva 系统

Kiva 系统是一种经单侧椎弓根入路置入椎体中部，通过线圈式圆柱形扩张复位椎体，最后向不取出的圆柱形扩张器内注入低黏度骨水泥[46]。Kiva 椎体后凸成形术缓解疼痛、改善功能的作用不逊于 PKP 术，骨水泥注入量少，骨水泥渗漏率低[47] [48]，相邻椎体骨折发生率同 PKP 相似。Kiva 系统与 PKP 在

治疗后的疼痛缓解、椎体高度恢复、Gardner 角改善等方面没有显著差异；然而，Kiva 系统在降低骨水泥渗漏率方面具有优势。Kiva 系统可有效缓解 OVCF 引起的疼痛。然而，需要更长的观察时间来证实 Kiva 系统是否提供了积极的功能改善，并且需要更多患者样本的随机前瞻性研究来预测干预后的长期结果。

3.8. Osseofix 系统

Osseofix 系统是一种可扩张的钛金属网，其工作原理是通过钛网在椎体内扩张并压缩周围骨小梁来恢复椎体高度并矫正脊柱后凸畸形[49]。同时它也可以作为支架，有利于维持骨折稳定和骨折复位[50]，同时促进骨水泥在椎体松质骨中的分布。Osseofix 系统主要适用于 T6~L5 节段的椎体压缩性骨折。使用时在 X 线透视下，导针穿过两侧椎弓根直至椎体后缘，交换插入导丝后，沿导丝将与未扩张 Osseofix 钛网导向器直径相对应的钻头插入套筒，以形成进入椎体的通道。随后用置入的 Osseofix 钛网，取出导丝，扩张 Osseofix 系统，移除插入装置。最后通过工作套管注入骨水泥。国外学者[51]对 15 例骨质疏松性椎体压缩性骨折患者进行的前瞻性研究显示，12 个月后视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)由术前的 8.0 降至 1.6, 12 个月后 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)由术前的 79.0%降至 30.5%，影像学上，平均后凸角度在 12 个月后从术前的 9.1°显著改善到 8.0°，且未观察到骨水泥渗漏或其他并发症。然而，Osseofix 系统不适用于粉碎性骨折、存在神经压迫症状或有相同节段椎体手术史的患者。由于其独特的结构设计，Osseofix 系统在未来可能不依赖骨水泥进行加固，从而实现无骨水泥置入的应用。

4. 总结与展望

微创手术在治疗 OVCF 时，具有创伤小、患者恢复快等优势。其明确的临床效果已经让它被广泛应用于 OVCF 的临床治疗中。随着科技的持续进步，微创手术技术也在不断地发展和创新，使得这种治疗方法变得更加安全和有效。作为脊柱外科发展的一个重要趋势，微创手术方法的不断改进和创新，旨在进一步提升 OVCF 治疗的临床效果，同时降低手术带来风险。

参考文献

- [1] 邱晓萍, 刘铠婕, 林宇慧, 等. 骨质疏松症的流行病学、管理与防治研究进展[J]. 山东医药, 2023, 63(21): 107-111.
- [2] 杨成, 吴斗, 刘强. 骨质疏松症流行病学、影响因素及其相关机制研究进展[J]. 中国骨与关节杂志, 2023, 12(4): 306-310.
- [3] 秦大平, 张晓刚, 宋敏, 等. 老年骨质疏松性胸腰椎压缩骨折治疗研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2017, 32(2): 679-684.
- [4] Yang, S., Chen, C., Wang, H., Wu, Z. and Liu, L. (2017) A Systematic Review of Unilateral versus Bilateral Percutaneous Vertebroplasty/percutaneous Kyphoplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, **51**, 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2017.05.006>
- [5] 王义青, 张家立. 微创治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的进展[J]. 大众科技, 2023, 25(10): 86-89, 151.
- [6] Sun, Y., Ma, H., Yang, F., Tang, X., Yi, P. and Tan, M. (2021) Clinical Efficacy and Safety of Zoledronic Acid Combined with PVP/PKP in the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fracture: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *BioMed Research International*, **2021**, Article ID: 6650358. <https://doi.org/10.1155/2021/6650358>
- [7] 张嘉. 骨质疏松性椎体压缩骨折的微创强化治疗[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2021, 14(5): 350-354.
- [8] Galibert, P., Deramond, H., Rosat, P., et al. (1987) [Preliminary Note on the Treatment of Vertebral Angioma by Per-Cutaneous Acrylic Vertebroplasty]. *Neurochirurgie*, **33**, 166-168.
- [9] Galibert, P. and Déramond, H. (1990) [Percutaneous Acrylic Vertebroplasty as a Treatment of Vertebral Angioma as Well as Painful and Debilitating Diseases]. *Chirurgie*, **116**, 326-335.

- [10] Andrei, D., Popa, I., Brad, S., Iancu, A., Oprea, M., Vasilian, C., *et al.* (2017) The Variability of Vertebral Body Volume and Pain Associated with Osteoporotic Vertebral Fractures: Conservative Treatment versus Percutaneous Transpedicular Vertebroplasty. *International Orthopaedics*, **41**, 963-968. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3409-2>
- [11] 乔俊, 李松, 李刚, 等. 单侧与双侧 PVP 治疗骨质疏松性椎体压缩骨折临床疗效比较及骨水泥渗漏的危险因素分析[J]. 现代生物医学进展, 2023, 23(14): 2709-2713, 2676.
- [12] 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>
- [13] 高笠博. 不同椎体成形术治疗老年骨质疏松性脊柱压缩骨折的疗效比较[J]. 外科研究与新技术(中英文), 2024, 13(1): 27-30.
- [14] 许惠兵. 经皮球囊扩张椎体后凸成形术和经皮椎体成形术在骨质疏松性椎体压缩性骨折治疗中的应用[J]. 山西医药杂志, 2022, 51(9): 1031-1034.
- [15] 韩炯, 梁泉. 对比分析经皮椎体后凸成形术与经皮椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折疗效性及安全性研究[J]. 临床研究, 2022, 30(7): 41-43.
- [16] 王昌刚, 韦泽进, 廖正许. 比对 PVP 与 PKP 治疗骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折的临床效果分析[J]. 医学食疗与健康, 2020, 18(22): 222, 225.
- [17] 陈运崇, 吴林清, 陈宏帅. PKP 与 PVP 治疗老年骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折的临床效果[J]. 中国老年学杂志, 2023, 43(18): 4413-4416.
- [18] 彭琪, 吴仕舟, 黄丽先, 等. PKP 与 PVP 治疗老年骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折疗效分析[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2023, 24(5): 630-635.
- [19] 黄华生, 詹晨光, 郭惠智, 等. 两种椎体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, 2023, 26(2): 158-162.
- [20] 冯绍平. PVP 与 PKP 术式在胸腰椎骨质疏松性椎体压缩性骨折患者中的治疗效果[J]. 江西医药, 2023, 58(11): 1337-1340.
- [21] 周轶, 尹雪松, 陆云飞, 等. PVP 与 PKP 治疗老年骨质疏松性椎体压缩性骨折临床效果[J]. 交通医学, 2023, 37(4): 360-362, 366.
- [22] 曾亮平. 经皮椎体成形术与经皮椎体后凸成形术治疗老年多发性骨质疏松性脊柱骨折的效果[J]. 中国医学创新, 2023, 20(28): 54-58.
- [23] 李战营. 经皮椎体后凸成形术与经皮椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折患者的效果比较[J]. 中国民康医学, 2023, 35(3): 72-74.
- [24] 张晨冲, 李沙, 王忠仁. 经皮椎体后凸成形术与经皮椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折患者的效果比较[J]. 中国民康医学, 2023, 35(10): 152-155.
- [25] 秦光华, 赵寅. 单侧椎弓根外侧入路双侧球囊扩张 PKP 术治疗老年骨质疏松性胸腰段压缩骨折的临床观察[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31(4): 95-96, 109.
- [26] 李安明, 史国号, 王国柱, 等. 椎体成形术对相邻椎体生物力学影响的有限元分析[J]. 重庆医学, 2021, 50(2): 215-219.
- [27] 郭永生, 郑丰裕, 郑圣安, 等. 单、双侧入路经皮椎体成形术对老年多节段骨质疏松性椎体压缩性骨折的疗效对比[J]. 实用中西医结合临床, 2024, 24(5): 87-89.
- [28] 杜志涛. 单侧与双侧穿刺经皮椎体成形术治疗老年骨质疏松性骨折患者的效果比较[J]. 中国民康医学, 2023, 35(24): 156-159.
- [29] 胡斌, 郑畅, 韩晔, 等. 弯角椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的有效性及安全性系统评价[J]. 山东医药, 2024, 64(2): 59-63.
- [30] Murphy, K.J., Lin, D.D., Khan, A.A., *et al.* (2002) Multilevel Vertebroplasty via a Single Pedicular Approach Using a Curved 13-Gauge Needle: Technical Note. *Canadian Association of Radiologists Journal*, **53**, 293-295.
- [31] Kwon, Y. (2008) Modified Vertebroplasty Using a Curved Probe: Technique and Preliminary Results. *Minimally Invasive Neurosurgery*, **51**, 187-191. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1073134>
- [32] 王继, 夏子茗, 薛鸿, 等. 弯角与单侧 PVP 治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效比较[J]. 创伤外科杂志, 2023, 25(2): 103-110.
- [33] 陈斌彬, 毛克亚, 刘建恒, 等. 骨质疏松性椎体压缩性骨折微创治疗技术的研究进展[J]. 中华临床医师杂志(电

- 子版), 2019, 13(4): 294-299.
- [34] Inamasu, J., Guiot, B.H. and Uribe, J.S. (2008) Flexion-distraction Injury of the L1 Vertebra Treated with Short-Segment Posterior Fixation and Optimesh. *Journal of Clinical Neuroscience*, **15**, 214-218. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2006.08.016>
- [35] 周建, 周恒才, 戴维享, 等. 单侧椎弓根旁入路骨填充网袋椎体成形术治疗骨质疏松性胸腰椎压缩骨折的疗效观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2020, 35(1): 40-43.
- [36] 宋若先, 谭树森, 张雷, 等. 网袋强化椎体成形术与经皮后凸椎体成形术在胸腰段骨质疏松压缩骨折中的短期疗效比较[J]. 现代生物医学进展, 2021, 21(21): 4185-4189, 4180.
- [37] 刘庆佳. 骨填充网袋椎体成形术与经皮球囊后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折患者的效果比较[J]. 中国民康医学, 2021, 33(9): 123-125.
- [38] 尹航, 董博, 康武林, 等. 骨填充网袋椎体成形术和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对比[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2022, 15(2): 159-165.
- [39] 陈川, 胡侦明. 骨质疏松性椎体压缩骨折的微创治疗进展[J]. 现代医药卫生, 2017, 33(3): 396-398.
- [40] 李康强. Sky 骨扩张器行经皮椎体后凸成形术治疗椎体压缩性骨折的临床研究[J]. 中国医疗器械信息, 2017, 23(23): 78-79.
- [41] 毕煦昆, 郭成龙, 张晓刚, 等. 骨质疏松性椎体压缩性骨折的中医保守治疗及椎体成形术的研究进展[J]. 中医研究, 2023, 36(7): 88-91.
- [42] Greven, S.J., Bornemann, R., Roessler, P.P., Rommelspacher, Y., Frey, S.P., Jansen, T.R., et al. (2017) Influence of Radiofrequency Kyphoplasty on Pulmonary Function. *Technology and Health Care*, **25**, 761-769. <https://doi.org/10.3233/thc-160488>
- [43] Noriega, D., Maestretti, G., Renaud, C., Francaviglia, N., Ould-Slimane, M., Queinnec, S., et al. (2015) Clinical Performance and Safety of 108 Spinejack Implantations: 1-Year Results of a Prospective Multicentre Single-Arm Registry Study. *BioMed Research International*, **2015**, Article ID: 173872. <https://doi.org/10.1155/2015/173872>
- [44] Noriega, D.C., Ramajo, R.H., Lite, I.S., Toribio, B., Corredera, R., Ardura, F., et al. (2016) 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*, **27**, 2047-2055. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3494-x>
- [45] Baesa, S.S., Krueger, A., Aragón, F.A. and Noriega, D.C. (2015) The Efficacy of a Percutaneous Expandable Titanium Device in Anatomical Reduction of Vertebral Compression Fractures of the Thoracolumbar Spine. *Saudi Medical Journal*, **36**, 52-60. <https://doi.org/10.15537/smj.2015.1.9463>
- [46] 胡攀, 郭俊, 王洪伟. 经皮椎体强化扩张器的临床应用进展[J]. 局解手术学杂志, 2017, 26(5): 373-377.
- [47] Korovessis, P., Vardakastanis, K., Repantis, T. and Vitsas, V. (2013) Balloon Kyphoplasty versus KIVA Vertebral Augmentation—Comparison of 2 Techniques for Osteoporotic Vertebral Body Fractures: A Prospective Randomized Study. *Spine*, **38**, 292-299. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e31826b3aef>
- [48] Wilson, D.C., Connolly, R.J., Zhu, Q., Emery, J.L., Kingwell, S.P., Kitchel, S., et al. (2012) An *Ex Vivo* Biomechanical Comparison of a Novel Vertebral Compression Fracture Treatment System to Kyphoplasty. *Clinical Biomechanics*, **27**, 346-353. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.11.001>
- [49] 邢宇飞, 董大明. 经皮椎体强化术辅助技术研究进展[J]. 国际骨科学杂志, 2019, 40(5): 294-297.
- [50] Muto, M., Marcia, S., Guarnieri, G. and Pereira, V. (2015) Assisted Techniques for Vertebral Cementoplasty: Why Should We Do It? *European Journal of Radiology*, **84**, 783-788. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.04.002>
- [51] Ender, S.A., Eschler, A., Ender, M., Merk, H.R. and Kayser, R. (2015) Fracture Care Using Percutaneously Applied Titanium Mesh Cages (OsseoFix®) for Unstable Osteoporotic Thoracolumbar Burst Fractures Is Able to Reduce Cement-Associated Complications—Results after 12 Months. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **10**, Article No. 175. <https://doi.org/10.1186/s13018-015-0322-5>