

老年骨质疏松性椎体压缩骨折的手术适应证及疗效对比研究进展

许永青¹, 周 波², 徐房添^{3*}

¹赣州市赣县区南塘镇中心卫生院全科医疗科, 江西 赣州

²赣州市赣县区人民医院脊柱外科, 江西 赣州

³赣南医科大学第一附属医院骨科, 江西 赣州

收稿日期: 2026年7月1日; 录用日期: 2026年7月23日; 发布日期: 2026年8月4日

摘 要

老年骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF)是老龄化社会中的常见骨科疾病, 常导致严重疼痛、脊柱畸形及功能受限, 显著降低患者生活质量。本文系统介绍了OVCF的评估与诊断方法, 重点对比了保守治疗与手术治疗的适应证, 并深入探讨了经皮椎体成形术(PVP)与球囊扩张椎体成形术(PKP)的疗效、并发症及风险管理。保守治疗适用于症状轻微、骨折稳定的患者, 而顽固性疼痛、进行性后凸畸形或神经功能症状则是手术干预的主要指征。PVP和PKP均能有效缓解疼痛、稳定椎体, 但PKP在恢复椎体高度和纠正后凸畸形方面更具优势。尽管椎体增强术总体安全, 但骨水泥渗漏、邻近椎体骨折及感染等并发症仍需警惕。现有研究在随机对照试验设计、样本量、随访时长及结局指标评估上存在局限性。未来需开展更高质量、更长随访期的研究, 并探索新型骨水泥材料、优化手术技术及整合康复管理策略, 以进一步提升OVCF患者的整体预后。

关键词

骨质疏松性椎体压缩骨折, 椎体成形术, 球囊扩张椎体成形术

Research Progress on Surgical Indications and Comparative Efficacy of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures in the Elderly

Yongqing Xu¹, Bo Zhou², Fangtian Xu^{3*}

¹Department of General Practice, Central Health Center of Nantang Town, Ganxian District, Ganzhou City,

*通讯作者。

文章引用: 许永青, 周波, 徐房添. 老年骨质疏松性椎体压缩骨折的手术适应证及疗效对比研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(8): 414-426. DOI: 10.12677/acm.2026.1682810

Ganzhou Jiangxi

²Department of Spine Surgery, Ganxian District People's Hospital of Ganzhou City, Ganzhou Jiangxi³Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi

Received: July 1, 2026; accepted: July 23, 2026; published: August 4, 2026

Abstract

Osteoporotic vertebral compression fractures (OVCFs) are common orthopedic diseases in an aging society, often causing severe pain, spinal deformity, and functional limitations, significantly reducing patients' quality of life. This article systematically presents the assessment and diagnostic approaches for OVCFs, with a focus on comparing the indications for conservative treatment versus surgical intervention, and provides an in-depth discussion on the efficacy, complications, and risk management of percutaneous vertebroplasty (PVP) and percutaneous kyphoplasty (PKP). Conservative treatment is suitable for patients with mild symptoms and stable fractures, whereas intractable pain, progressive kyphotic deformity, or neurological symptoms are the main indications for surgical intervention. Both PVP and PKP can effectively relieve pain and stabilize the vertebral body, but PKP has advantages in restoring vertebral height and correcting kyphotic deformity. Although vertebral augmentation procedures are generally safe, complications such as bone cement leakage, adjacent vertebral fractures, and infections still require vigilance. Existing studies have limitations in randomized controlled trial design, sample size, follow-up duration, and outcome measures. Future research should involve higher-quality studies with longer follow-up periods, explore novel bone cement materials, optimize surgical techniques, and integrate rehabilitation management strategies to further improve the overall prognosis of OVCF patients.

Keywords

Osteoporotic Vertebral Compression Fractures, Percutaneous Vertebroplasty, Percutaneous Kyphoplasty

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

老年骨质疏松引起的椎体压缩骨折(Osteoporotic Vertebral Compression Fractures, OVCF)是老年骨科领域一个严峻的健康挑战。随着全球人口老龄化趋势的加剧, OVCF 的发病率持续攀升, 已成为一个不容忽视的公共卫生问题[1]。这类骨折不仅会导致剧烈的疼痛、脊柱畸形, 还会显著降低患者的活动能力和生活质量, 增加致残率, 甚至提高死亡风险[2]。

目前, OVCF 的治疗策略主要包括保守治疗和手术治疗。保守治疗通常包括药物、支具、休息及康复训练等, 对于症状较轻、骨折稳定且无严重并发症的患者, 保守治疗可能提供一定的缓解[3]。然而, 对于部分保守治疗效果不佳、疼痛持续且影响生活质量的患者, 尤其是伴有脊柱畸形进展或神经功能障碍者, 手术干预显得尤为必要[2]。

在手术治疗领域, 特别是经皮椎体成形术(Percutaneous Vertebroplasty, PVP)和球囊扩张椎体成形术(Percutaneous Kyphoplasty, PKP), 作为一种新兴的治疗手段, 已逐渐得到广泛应用[4]。这些技术通过向骨

折的椎体内注入骨水泥,以期达到稳定椎体、缓解疼痛、恢复部分椎体高度及改善脊柱生物力学的目的。然而,尽管此类微创手术具有操作简便、创伤小、恢复快等优势[4],但其疗效、适应证选择,尤其是与保守治疗及安慰剂的比较,在学术界仍存在争议[3] [5]。

本文旨在系统梳理老年骨质疏松性椎体压缩骨折的评估与诊断,重点聚焦于保守治疗与手术治疗的适应证选择。在此基础上,深入探讨 PVP 与 PKP 的疗效对比研究进展,分析不同治疗方式的效果、并发症及风险管理,并对未来研究方向进行展望。通过对现有文献的批判性分析和综合,期望为临床医生在 OVCF 的诊疗决策中提供一定的参考。

2. 老年骨质疏松性椎体压缩骨折的评估与诊断

老年骨质疏松性椎体压缩骨折的准确评估是制定有效治疗策略的关键。临床上,患者常表现为急性或慢性持续性背痛,严重时可导致活动受限和功能障碍。骨质疏松症本身常通过骨扫描来确诊[1],而对 OVCF 的评估, MRI 常被认为是诊断新鲜骨折和选择治疗方式的首选影像学方法[6]-[8]。MRI 能够清晰地显示椎体骨水肿,这是判断骨折急性期的重要指标,也是预测 PVP 疗效的关键因素[6] [9]。

2.1. 临床症状与体征

OVCF 的患者在临床上常表现为一系列症状和体征,这些表现的严重程度和特点在很大程度上影响着治疗决策的制定。其中,疼痛是最为突出和常见的症状。疼痛的程度常因人而异,并可在咳嗽、打喷嚏或弯腰时加剧。疼痛的部位可能局限于骨折椎体周围,也可放射至腹部、臀部甚至下肢。除了疼痛,患者常伴有不同程度的功能障碍。这些障碍可能包括活动受限、脊柱畸形、平衡障碍等,更需引起重视的是,部分 OVCF 患者可能出现下肢麻木无力等神经功能缺损的症状,尽管在骨质疏松性骨折中不如创伤性骨折常见,但其出现预示着骨折的严重性和潜在的预后不良。需要强调的是,对于 OVCF 患者,不仅要关注椎体本身的疼痛,还要警惕合并的椎体旁放射痛。这种放射痛往往提示神经根可能受到刺激或局部炎症反应的影响。GIMARC D 等人的研究表明,在接受椎体增强术(包括 PVP 和 PKP)的患者中,约 31.6% 的患者在术前就表现出无法用神经压迫完全解释的根性疼痛[6]。这部分患者在接受椎体增强术后,症状常有改善,提示椎体异常运动的减少可能对缓解神经根刺激起到积极作用。

因此,详细评估患者的临床症状和体征,尤其是疼痛的性质、程度、放射范围以及是否存在神经症状,是制定个体化治疗方案的基石。对于保守治疗效果不佳、疼痛剧烈以及出现进行性脊柱畸形或伴有神经压迫症状的患者,会更倾向于手术干预治疗。

2.2. 影像学评估

对 OVCF 的准确评估,离不开多影像学技术的协同应用。X 线、CT 和 MRI 是诊断 OVCF 的基石,它们在明确骨折诊断、判断骨折类型、评估严重程度以及指导治疗决策方面发挥着至关重要的作用[10] [11]。

X 线平片是最常用的初步影像学检查手段,能够直观地显示椎体高度的丢失、形态的改变以及是否有明显错位。然而,X 线平片的敏感性有限,对于骨折的早期诊断和区分急性与陈旧性骨折存在不足,且对椎体内微小病变或水肿的显示效果不佳[1]。

CT 在评估骨折的解剖结构、骨块移位以及椎管侵犯方面具有优势。CT 能够清晰地显示骨皮质的完整性、是否有骨赘形成,对于判断骨折是否具有手术指征能提供重要信息[2] [11]。然而,CT 对椎体内水肿和骨髓信号改变的显示能力相对较弱,难以精确区分骨折的急性程度。

MRI 是诊断 OVCF,特别是区分新鲜骨折与陈旧性骨折、评估骨折活跃性以及指导微创手术适应证

选择的“金标准”[1], MRI 在识别急性骨折方面具有独特优势,其能够清晰地显示骨折椎体内的骨髓水肿并表现为高信号。这种水肿信号的存在通常意味着骨折是近期发生的,并且具有较高的活跃性,是潜在的疼痛来源[7]。此外, MRI 能够敏感地检测到骨折的椎体内裂隙,这也与疼痛的持续性和手术预后密切相关[12]。

2.3. 骨折分型与严重程度评估

准确评估 OVCF 的严重程度及进行恰当的分型,对于制定个体化的治疗策略至关重要。目前, OVCF 的分型主要基于影像学表现,但尚未有统一的、被广泛接受的标[2]。一些经典的骨折分型,如 Magerl 分类,主要关注椎体骨折的力学类型,而近年来的研究则更侧重于骨质疏松性骨折的特殊性,并提出了一些针对性的评估方法。例如, OF (Osteoporotic Fractures)分型系统的提出,旨在更好地指导骨质疏松性椎体骨折的治疗决策[13]。OF 分型系统通常会从椎体损伤程度、后壁完整性、椎间隙高度、后凸畸形等多个维度进行评估。

椎体塌陷程度是评估 OVCF 严重程度的核心指标之一。不同程度的椎体塌陷对临床症状、恢复预期以及治疗选择可能产生显著影响。例如,对于椎体高度保留大于三分之一的骨折,保守治疗或椎体成形术(PVP)可能已足够[1]。然而,对于更加严重的压缩性骨折,特别是当椎体高度塌陷超过三分之二,甚至低于原高度的三分之一时,即便存在疼痛,经皮椎体成形术(PVP)仍然被认为是可行且有益的,尽管其技术要求更高,且存在更高的骨水泥渗漏风险[14]。

此外,后壁的完整性、是否存在椎管侵占、脊柱的整体力线以及神经功能状态,都是评估骨折严重程度的关键因素[13]。对于不稳定骨折、严重的后凸畸形或伴有神经系统症状的骨折,即使椎体塌陷程度不一定是最高的,也可能需要更积极的手术干预,如经皮椎弓根螺钉内固定术[2]。

综上,骨折分型及椎体塌陷程度等严重程度评估,是区分 OVCF 不同亚型、预测疗效、指导治疗方式选择的重要环节。一个全面、准确的评估体系,能够帮助医生更精准地选择保守治疗、椎体增强术或脊柱内固定术等,从而最大化治疗效果并减少并发症。

3. 保守治疗与手术治疗的适应证选择

多数 OVCF 患者最初可接受保守治疗,包括短时间卧床休息、止痛药、支具和康复锻炼[5]。然而,对于保守治疗无效的严重疼痛、疼痛不缓解、进行性后凸畸形或出现神经功能缺损的患者,则应考虑手术干预[3]。手术适应证的选择是确保患者获得最佳疗效的关键,需要综合考虑骨折特点和患者个体情况[14][15]。

3.1. 保守治疗的适用性

OVCF 的治疗策略需要个体化评估,保守治疗在特定患者群体中具有重要的临床价值。一般来说,症状轻微、骨折稳定,且未合并神经功能症状的 OVCF 患者是保守治疗的适宜人群。这些患者通常表现为可耐受的疼痛,能够通过镇痛药物得到有效缓解,并且日常活动受到的限制较小。

保守治疗包括卧床休息、镇痛药物、支具固定以及康复锻炼。短期卧床休息旨在减少椎体负重,缓解疼痛;镇痛药物的使用,特别是强效镇痛药,对于控制急性疼痛至关重要[2]。然而,需要警惕的是,长期或高剂量的镇痛药物使用可能导致显著的副作用,这反而可能降低患者的生活质量[16]。支具的使用可以提供外部支撑,限制脊柱运动,从而减轻疼痛并促进骨折愈合。康复锻炼则在疼痛缓解后逐步展开,旨在恢复肌力,改善活动能力。

尽管保守治疗能为相当一部分 OVCF 患者带来疼痛缓解和功能恢复,但其有效性存在局限性。

RAJASEKARAN S 等人的研究表明,高达 30%的椎体骨折可能发展为骨不连、进行性后凸畸形或神经功能缺损[2]。若患者在接受了充分的保守治疗(通常为 4 周左右)后,疼痛仍持续严重,显著影响日常生活,且对强效镇痛药的反应不佳,或者因镇痛药物的不良反应而无法耐受,则应重新评估并考虑手术干预[16]。

综合而言,保守治疗是 OVCF 的基础治疗方案,早期且充分的保守治疗对于大部分患者是有效的。然而,清晰判断保守治疗的有效性终点,并及时识别需要手术干预的患者,对于优化治疗效果、减轻患者痛苦、防止并发症的发生至关重要。

3.2. 手术治疗的适应证

尽管 OVCF 的大多数患者可以通过保守治疗获得症状缓解,但对于特定人群,手术治疗,特别是椎体增强术(如 PVP 和 PKP),已成为一种有效且重要的选择。

首先,保守治疗无效是手术适应证的核心要素。当患者经过规范的药物治疗和物理治疗,甚至需要高剂量阿片类镇痛药,但疼痛症状仍未得到有效控制,呈顽固性状态时,应积极考虑手术干预[8]。这种持续的、影响生活质量的疼痛是进行椎体增强术最直接的指征之一[17]。

其次,影像学上显示骨折处于急性期并伴有骨水肿是 PVP 和 PKP 等椎体增强术的重要适应证。急性期骨折意味着骨折线清晰,椎体塌陷和不稳定可能更明显,此时进行椎体增强术能够更快地稳定骨折,减轻疼痛,并可能恢复部分椎体高度[16]。研究表明,在急性骨折期(通常为 4 个月内)进行椎体增强,对于症状性骨质疏松性椎体压缩骨折的患者,可以显著减轻疼痛并改善功能状态[18]。

再者,椎体塌陷和骨折相关的椎体不稳定也是手术的重要考量因素。显著的椎体塌陷不仅可能导致脊柱畸形,还可能引起神经压迫症状,而椎体的不稳定则可能导致进一步的疼痛加剧和活动受限。椎体增强术通过注入骨水泥,可以有效稳定骨折椎体,恢复其力学稳定性,从而减轻疼痛,防止或减少脊柱畸形的进展[4]。此外,即使在没有神经受压的情况下,伴有放射性神经痛的患者在接受椎体增强术后也可能获得显著的症状缓解[6]。

需要特别强调的是,在确定 PVP 和 PKP 等椎体增强手术的适应证时,必须谨慎排除其他非相关的疾病,例如多发性骨髓瘤造成的椎体压缩骨折。虽然多发性骨髓瘤也可能导致椎体骨折,但其治疗方案和手术适应证往往不同,通常需要更为个体化和多学科评估。因此,在临床实践中,详细的病史采集、体格检查和影像学评估对于准确区分病因,从而优化手术适应证的选择至关重要[19]。

4. 椎体增强技术: PVP 与 PKP

PVP 和 PKP 是目前广泛应用于治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的微创手术。两者均通过向椎体注入骨水泥来稳定骨折并缓解疼痛,但在具体操作和效果上存在差异[2] [4] [20]。

4.1. 椎体成形术(PVP)

PVP 是一种微创的影像引导下介入治疗技术,其核心原理是通过经皮穿刺向压缩性骨折的椎体注入骨水泥,从而达到稳定椎体、缓解疼痛的目的,技术已成为治疗 OVCF 的重要手段之一[21]。

技术原理与操作步骤: PVP 技术的关键在于通过精密的影像学引导,将特制的穿刺针精确地送达骨折椎体的后 1/3 区域。随后,通过穿刺针缓慢注入骨水泥,使骨水泥填充椎体骨皮质内的松质骨缺损区域。骨水泥在椎体内固化后,能够增加椎体的力学强度,从而起到稳定骨折、减轻疼痛的效果[18]。该过程通常在局部麻醉下进行,手术时间相对较短,创伤小[21]。PVP 主要用于治疗保守治疗无效的、症状性 OVCF。其在骨折发生早期进行手术,可能带来更显著的疼痛缓解效[22]。PVP 也适用于 Kummell 病等特定骨折类型[21]。

优点及局限性：PVP 作为一种微创技术，其最显著的优点在于能够快速有效地缓解疼痛。许多研究表明，接受 PVP 治疗的患者在术后疼痛评分显著下降，活动能力得到改善，生活质量得到提升[22]。相较于传统的开放手术，PVP 具有创伤小、恢复快、住院时间短等优势[21]。此外，PVP 还能够提供一定的椎体稳定作用，有助于防止骨折的进展[18]。尽管 PVP 具有诸多优点，但也存在其局限性。首先，PVP 仅能恢复部分甚至未能完全恢复椎体高度[4]。其次，存在骨水泥渗漏的风险，可能导致邻近椎体骨折、神经压迫或肺栓塞等并发症[18]。研究表明，PVP 与安慰剂在长期疗效上的对比存在争议，尤其是在涉及安慰剂选择和患者选择标准不同时，PVP 的优越性可能不那么明显[22]。因此，PVP 并非适用于所有 OVCF 患者，其疗效与骨折的类型、患者的身体状况以及手术技术密切相关。

4.2. 球囊扩张椎体成形术(PKP)

PKP 是减轻 OVCF 疼痛、恢复椎体高度和纠正后凸畸形的重要微创治疗手段。其技术原理在于利用专门设计的球囊导管，在影像引导下经皮穿刺进入骨折的椎体，然后缓慢充盈球囊，从而在椎体内制造一个空腔，同时实现对塌陷椎体的复位和椎体高度的恢复。

核心技术原理：可使用球囊导管在椎体内进行牵引和扩张，这一过程能够有效地“复位”塌陷的椎体，部分恢复其原有的高度。同时，球囊的扩张也在椎体内部形成一个容纳骨水泥的空间。在成功形成空腔并达到期望的椎体高度后，移除球囊导管，并通过同一工作通道注入骨水泥。骨水泥填充至球囊形成的空腔中，固化后提供支撑，稳定椎体，并有效缓解疼痛。

相较于单纯的 PVP，PKP 在恢复椎体高度和纠正后凸畸形方面展现出显著优势。通过球囊的扩张作用，PKP 能够更有效地抬高椎体前壁和中部的塌陷部分，从而直接纠正因骨折导致的后凸畸形。研究表明，PKP 在恢复椎体前壁高度方面取得了显著的改善，并且能够有效矫正脊柱的后凸角[23]。ESEONU K C 等人的研究指出[24]，与 PVP 相比，PKP 在恢复椎体高度和预防节段性后凸方面具有优势，并且在纠正后凸畸形和恢复中段椎体高度方面，PKP 优于 PVP。

总之，PKP 通过其独特的球囊扩张机制，在微创治疗骨质疏松性椎体压缩骨折方面，不仅能有效缓解疼痛，还在恢复椎体高度和纠正后凸畸形方面具有优越性，并且随着技术的不断进步，其适应症和应用范围也在逐步拓展。

5. 疗效对比与结果评估

PVP 和 PKP 在治疗 OVCF 中的疗效一直是研究焦点。多项随机对照试验和荟萃分析对这两种手术与保守治疗以及安慰剂的疗效进行了比较，结果显示出不同的结论，引发了广泛的讨论[11] [13] [25]-[27]。

5.1. PVP 与保守治疗及安慰剂的疗效对比

PVP 作为一种微创手术，其相对于保守治疗，尤其是在疼痛缓解、功能恢复和生活质量改善方面的优势一直是研究的焦点。此外，对照试验设计中的安慰剂组，为评估 PVP 的真实疗效提供了重要依据。

多项随机对照试验的荟萃分析表明[22] [28]，PVP 能显著优于保守治疗，在术后 1~2 周、1 个月、6 个月乃至 1 年均能实现更显著的疼痛缓解。生活质量方面，PVP 在术后 1 周和 3 个月也观察到显著改善，尽管 1 个月、6 个月及 1 年的数据尚不明确[28]。LI W S 等人在另一项以疼痛视觉模拟评分(VAS)为主要结局的荟萃分析[29]也支持 PVP 在所有随访时间点均显著优于保守治疗，但该研究也指出，PVP 与模拟手术相比，在大多数时间点 VAS 评分差异不显著。

5.2. PKP 与 PVP 的疗效对比

在 OVCF 的治疗中，椎体增强技术如 PVP 和 PKP 已成为重要的手术选择。尽管两者核心原理均为

经皮向骨折椎体内注入骨水泥以期达到稳定、止痛和纠正畸形的目的，但其在疗效方面存在细微差异。

疼痛缓解与功能改善方面：多项研究表明，与保守治疗相比，PVP 和 PKP 能够显著改善 OVCF 患者的疼痛症状。ANDREÃO F F 等人在一项荟萃分析中显示，与非手术治疗相比，PVP 在 1~2 周、1 个月、6 个月及 1 年的随访中均能带来显著的疼痛缓解[28]。LÁINEZ RAMOS-BOSSINI A J 等人在另一项研究中对 PVP 与保守治疗的疗效，发现 PVP 在所有结局指标上均优于保守治疗[22]。然而，当对比治疗为仅皮肤注射时，PVP 显示出更优的短期疼痛缓解效果。关键在于，PVP 或 PKP 的疗效很大程度上取决于患者的选择和手术时机。除了疼痛缓解，功能恢复也是评估治疗成功与否的重要标准。ODI 是衡量患者日常生活活动能力受损程度的常用指标。研究表明，PVP 及 PKP 可显著改善 ODI 评分。例如，一项对 48 例腰椎 OVCF 患者行 PKP 的研究发现，术后 ODI 评分显著下降，且在末次随访时仍保持统计学意义上的改善[30]。另一项研究表明，与其他保守治疗相比，PVP 能显著改善疼痛和功能，但在新发骨折的风险上可能增加[31]。

椎体高度恢复与后凸畸形纠正方面：PKP 通过在椎体内注入骨水泥前使用球囊扩张器制造空腔，理论上能够更有效地恢复塌陷的椎体高度。多项研究表明，PKP 在恢复椎体前壁高度方面优于 PVP。例如，一项研究指出，与 PVP 相比，PKP 在恢复椎体中部高度(MVH)方面表现出更优越的纠正能力[24]。另一项针对骨折患者的回顾性分析也显示，PKP 能够显著恢复椎体前壁高度，并且在术后早期效果显著[23]。然而，关于 PVP 在椎体高度恢复方面的效果，一些研究认为其主要作用在于稳定椎体，而非显著恢复高度[4]。脊柱后凸畸形是 OVCF 的常见后果，不仅影响美观，还可能导致脊柱功能障碍。PKP 因其能够通过球囊扩张制造空间，在纠正后凸畸形方面通常被认为优于 PVP。

生活质量与独立生活能力方面：OVCF 不仅会导致剧烈疼痛，更严重影响患者的整体生活质量和独立生活能力。手术治疗，特别是 PVP 和 PKP 在改善这些方面至关重要。多项研究表明，与保守治疗相比，椎体成形术能够显著改善患者的生活质量。ANDREÃO F F 等人的研究显示，在术后 1 周时，PVP 较非手术治疗在改善生活质量方面有显著提升[28]。另一项研究也证实，PVP 在近期 OVCF 患者中，在中期和长期均能提供更好的生活质量[22]。值得注意的是，当与对照手术进行比较时，PVP 与安慰剂在生活质量上的益处有所减弱，这提示了安慰剂效应和手术技术细节可能影响结果评估[22]。在独立生活能力方面，研究证实 PKP 能够显著提高患者在骨折后一年内的独立生活能力。OTSUKA R 等人的研究发现，在接受 PKP 治疗的患者中，81%在术后一年实现了良好的生活结局，而仅有 19%为不良结局[32]。该研究进一步指出，低身体质量指数和发生新的椎体压缩骨折是影响术后独立生活能力的独立风险因素[32]。另一项针对存在不良预后因素的急性 OVCF 患者的研究发现，与保守治疗相比，PKP 在改善日常生活活动能力方面上具有显著优势，并且在评分量表得分上也有所提高[33]。

6. 手术并发症与风险管理

尽管椎体增强术是微创且相对安全的手术，但仍存在多种并发症的风险，这对手术的长期疗效和患者安全至关重要。理解这些并发症及其风险因素，并采取有效的预防和管理措施，是优化手术结果的关键。

6.1. 骨水泥渗漏及其风险因素

骨水泥渗漏是椎体增强手术(如 PVP 和 PKP)中最常见的并发症之一，其发生率在不同研究和术式中存在差异。这一并发症的发生不仅可能导致局部疼痛加剧，还可能引起更为严重的临床后果，包括神经损伤和肺栓塞。因此，深入理解骨水泥渗漏的发生机制、潜在危害以及相关的风险因素，对于优化手术过程、降低并发症发生率至关重要。

一项针对 PVP 与非手术治疗的荟萃分析显示，PVP 的骨水泥渗漏发生率为 42% [28]。另一项针对

PVP 和 PKP 的荟萃分析则进一步量化了不同术式的渗漏率, 其中 PVP 的渗漏率高达 54.7%, 而 PKP 的渗漏率显著降低至 18.4% [34]。值得注意的是, 在严重的骨质疏松性椎体压缩骨折病例中, PVP 的骨水泥渗漏率更是高达 91.9% [14]。

水泥渗漏的临床后果因渗漏的部位和范围而异。大多数情况下, 少量无症状的骨水泥渗漏对患者并无明显影响[35][36]。然而, 骨水泥渗漏也可能导致严重的并发症, 如神经压迫、硬膜外血肿、感染、邻近椎体骨折[37]。极少数情况下, 骨水泥甚至可能穿透消化道壁(如胃壁), 导致危及生命的严重感染和多器官衰竭[38]。值得注意的是, 骨水泥渗漏也是预测术后新发椎体骨折的一个独立危险因素[37]。因此, 在手术过程中, 密切监测骨水泥的注入情况, 并采取措施(如使用低粘度骨水泥、精确控制注射量、谨慎选择手术路径)以最大程度地减少渗漏风险至关重要。

6.2. 新发与邻近椎体骨折

邻近椎体骨折(Adjacent Vertebral Fracture, AVF), 又称新发椎体骨折, 是 PVP 和 PKP 术后常见的并发症之一, 其发生可能导致疼痛加剧、脊柱畸形进展, 甚至引起神经功能障碍, 从而影响患者的生活质量, 并可能需要再次手术干预[32]。

一项涉及 334 例的回顾性分析显示, 术后新增压缩骨折的发生率为 16.2%, 其中邻近水平的骨折发生率未见显著增加[39]。另一项研究表明, 在接受 PKP 的 152 例患者中, 有 19% 的患者出现不良预后, 其中后续 OVCF 是一个独立的危险因素, 发生率为 19% [32]。

多种因素被认为是影响术后新发和邻近椎体骨折的危险因素。年龄是其中一个重要因素, 一项研究表明, 与 75 岁以下的患者相比, 75 岁及以上的患者发生早期邻近椎体骨折的风险增加[40]。既往的椎体骨折史也是一个明确的预测因子, MATSUMOTO K 等人的研究显示, 有既往椎体骨折史的患者发生早期邻近椎体骨折的风险显著升高[40][41]。局部后凸畸形, 尤其是角度较大时, 也是一个不容忽视的因素, 研究表明局部后凸角度越大, 发生早期邻近椎体骨折的风险越高。此外, 身体质量指数(BMI)也与术后事件相关, 较低的 BMI 被认为是独立风险因素, 与更高的后续 OVCF 发生率相关[32]。值得注意的是, 在多项研究中, 患者的骨质疏松症治疗依从性、骨密度等因素也可能影响骨折风险, 但其在术后新发骨折中的独立作用仍需进一步明确[39]。

6.3. 感染与神经功能损伤

椎体增强术, 尽管在缓解疼痛和改善功能方面效果显著, 但在并发症方面, 感染和神经功能损伤仍是术者需要重点关注的问题。

感染是潜在的严重并发症, 可能来源于皮肤穿刺点, 并向前播散至椎体。有研究显示, 局部皮肤感染是 PVP 的并发症之一, 尽管可以通过保守治疗处理[42]。然而, 更深层的感染, 如椎体或脊髓周围的感染, 可能需要更为积极的治疗, 包括清创和抗生素治疗, 甚至可能需要翻修手术[43]。特别是在存在既往手术史或免疫功能受损的患者中, 感染的风险可能增加。

神经损伤是另一种罕见但严重的并发症。骨水泥在注入过程中, 特别是若操作不当或骨水泥外溢, 可能压迫脊髓或神经根, 导致神经功能障碍。有文献报道, 在水泥骨水泥术后需要翻修手术的原因中, 神经功能障碍是一项重要因素, 通过翻修手术可改善患者的神经功能[43]。尽管 CT 引导技术在一定程度上提高了手术的精确性, 降低了骨水泥意外进入椎管的风险, 但术中仍需密切监控骨水泥的分布情况。

此外, 还存在一些更为罕见的并发症。例如, 一项病例报告描述了一例接受 PKP 的患者, 在术后出现了骨水泥穿透胃壁的严重并发症, 导致了感染性多器官衰竭死亡[38]。该病例提示, 对于有胸部手术史的患者, 在考虑 PKP 时应严格评估适应证, 以避免此类极端但危及生命的并发症。其他一些并发症也可

能出现,如术后肺栓塞、心血管事件(如急性心源性肺水肿),以及与骨水泥相关的低血压反应等。尽管这些并发症的发生率较低,但对于经验不足的术者或者存在特定高危因素的患者,仍需引起高度警惕。

总体而言,虽然 PVP 和 PKP 的整体并发症率较低,但感染和神经损伤等严重并发症的潜在风险不容忽视,需要术者在术前、术中和术后进行严密的风险评估和管理。

7. 总结与展望

老年骨质疏松性椎体压缩骨折给患者带来巨大的痛苦和功能障碍,而微创椎体增强术,尤其是 PVP 和 PKP,已成为控制疼痛和稳定骨折的重要手段。

7.1. 研究总结与临床启示

综合当前的研究进展,关于经皮椎体成形术和球囊扩张椎体后凸成形术在老年骨质疏松性椎体压缩骨折治疗中的有效性、安全性及适应证,已形成一定的共识,但仍存在争议。总体而言,椎体增强技术被认为是优于保守治疗的方案,尤其是在疼痛缓解方面。然而,其与安慰剂的疗效对比研究结果则存在不一致[20][22]。一项重要的共识是,对于严重的、保守治疗效果不佳的疼痛性 OVCF 患者,椎体增强术能显著改善疼痛症状,促进早期功能恢复,并可能降低进一步椎体塌陷的风险[16]。然而,一些荟萃分析表明,PVP 相较于真正的安慰剂可能存在差异,但与包含皮下和骨膜注射的模拟手术相比,差异并不显著[22]。这提示了在设计研究时,对比手术的设置对结果解读至关重要[22]。KP 与 PVP 在疗效上被认为是同等的[20][22]。传统上,PVP 更常被推荐作为首选,而 PKP 则可能更适用于急性创伤性骨折[16]。然而,部分研究认为,PKP 通过球囊扩张可以在一定程度上恢复椎体高度,理论上可能优于 PVP [3]。

在手术时机和患者选择方面,越来越多的证据表明早期干预是预测术后良好结局的关键因素之一[12]。对于骨折发生后四个月内,且保守治疗至少三周无效的患者,应优先考虑椎体增强术[16]。此外,影像学特征,如是否存在椎体内裂隙也是影响疗效的重要预测因素,无椎体内裂隙的患者预后更佳[12]。MRI 上椎体水肿信号强度则未表现出与预后相关的显著影响[12]。

因此,在临床实践中,强调整合临床症状(如疼痛程度、对镇痛药物的反应)、影像学特征(如骨折类型、是否存在椎体内裂隙、骨折时间)以及患者个体因素(如年龄、合并症、骨质疏松治疗依从性)进行个体化治疗决策至关重要。在选择手术方式时,需要全面权衡椎体增强术的潜在疗效与出血、骨水泥渗漏、邻近椎体骨折等并发症风险。明确的适应证指南和对潜在并发症的充分认识,有助于优化治疗效果,提高患者的生活质量。

7.2. 当前研究的局限性

尽管在评估老年骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF)的手术治疗,特别是椎体增强技术的疗效方面,已经取得了一定的进展,但现有研究仍然存在诸多局限性,这些局限性直接影响了结论的可靠性和临床应用的推广。

首先,现有的大部分随机对照试验(RCT)在研究设计、患者选择及安慰剂对照方法上表现出显著的异质性和争议性,导致部分研究结果不一致,甚至相互矛盾。例如,部分 RCT 认为椎体增强术在缓解疼痛方面相对于对照手术并无显著优势[29],而另一些研究则指出,当对照手术仅为皮肤浸润时,PVP 相较于安慰剂显示出明显的短期疼痛缓解效果[22],这种差异很可能源于对照手术设计的差异。此外,患者选择标准的不统一,例如对疼痛程度、骨折时间、骨质疏松严重程度等的纳入和排除标准差异,也加剧了研究结果的可比性问题[5][22]。

其次,样本量不足和随访时间有限是制约现有研究结论可靠性的另一个关键因素。许多 RCTs 的样

本量相对较小,这可能导致统计效力不足,难以检测具有临床意义的治疗差异[20]。同时,多数研究的随访时间集中在短期或中期,这对于评估慢性疾病如骨质疏松性骨折的长期疗效,以及潜在的晚期并发症(如邻近椎体骨折)或疗效衰减具有局限性。长期随访对于充分理解椎体增强术的全面获益和风险至关重要。

另外,结局指标的评估方法和标准化程度也存在不足。虽然疼痛缓解(通常通过视觉模拟评分, VAS)和功能恢复是常用的结局指标,但其主观性较强,且在不同研究中具体评估工具和时间点可能存在差异,从而影响了结果的可比性。对于生活质量等更为复杂和多维度的评价,其量化和标准化更加困难。此外,关于手术时机对疗效的影响,虽然有研究提示早期手术可能获益更大[22],但尚未形成充分高质量的证据支持,其精确的定义和临床意义仍需进一步探究。

最后,关于不同术者手术技术和结果的比较研究,虽然揭示了术者专业背景可能影响某些短期结果,例如再手术率和部分并发症[27],但需要认识到,这类研究可能受到患者选择偏倚的影响。因此,将这些结果直接归因于技术或专业差异可能过于简化,真正的差异可能更多地体现在患者选择而非操作本身。

这些局限性共同导致了当前研究结论的局限性,尤其是在明确椎体增强术的真实疗效、最佳的适应证、手术时机以及长期预后方面,仍需更严谨、更大规模、更长随访期的临床试验来解答。

7.3. 未来研究方向

尽管在老年骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF)的手术治疗领域,尤其是椎体增强技术方面已取得显著进展,但仍有诸多值得深入探索和优化的方向。当前的研究应着重于提高证据质量、特殊类型 OVCF 的个体化策略、创新技术与材料以及人工智能的辅助治疗应用,以期更全面地提升患者的治疗效果和生活质量。

首先,高质量的随机对照试验是推动该领域发展的重要基石。尽管已有部分 RCT,但仍存在样本量不足、方法学质量不高以及在与安慰剂或同期对照组的疗效对比上存在争议的问题[20][29]。未来的研究应设计更大规模、多中心、方法学更严谨的 RCT,以更清晰地界定椎体增强术相较于保守治疗、安慰剂手术的真实疗效,尤其是在疼痛缓解、功能恢复和生活质量改善方面的长期获益,并需进一步探究其不同亚组患者中的适用性。

其次,针对特殊类型的 OVCF,如合并骨内裂隙的患者,常伴椎体不愈合和动态不稳定,其最佳治疗时机和方式仍存争议。目前尚无大型 RCT 专门针对裂隙性骨折比较 PVP 与 PKP 的疗效差异,亦未明确裂隙大小、位置对手术预后的影响。建议可开展前瞻性队列研究,对比早期(<2 周)与延迟(>4 周)手术对裂隙愈合、骨水泥分布及远期塌陷率的影响,并探索 PKP 的球囊扩张是否对裂隙性骨折更具复位优势,或是否需联合椎弓根螺钉内固定。

另外,新型骨水泥和器械的开发与应用是技术创新的重要驱动力,当前骨水泥的渗透性、生物相容性以及固化时间等仍有提升空间,新型骨水泥材料如可降解骨水泥、药物缓释骨水泥,以及能够更精准控制注射量和分布的器械,有望进一步降低骨水泥渗漏、邻近椎体骨折等并发症的风险,并可能带来新的治疗益处,同时,对不同入路和器械的比较研究也应在更高证据层级下进行;与此同时,结合人工智能的精准患者选择和手术规划将是未来的重要趋势, AI 技术在影像分析、风险预测方面展现出巨大潜力,例如可利用 AI 技术分析影像学特征可更精确地评估骨折稳定性、椎体高度丢失程度及骨水泥渗漏风险,从而辅助医生做出更精准的手术适应证选择,同时 AI 还可用于术前模拟以优化手术入路和骨水泥注射方案,提高手术的精准性和安全性,未来将 AI 预测模型与新型骨水泥材料及智能注射器械相结合,有望实现从术前决策、术中操作到术后管理的全流程智能化,进一步提升 OVCF 患者的个体化治疗水平。

最后,康复治疗与手术结合的综合管理策略是提升 OVCF 患者整体预后的关键。手术治疗旨在解决

急性疼痛和骨骼稳定性问题,但并不能完全恢复患者的功能和生活质量。术后早期、规范的康复训练,包括物理治疗、运动疗法和骨质疏松症的系统管理(如药物治疗、营养支持和生活方式干预),对于促进功能恢复、预防二次骨折、提高患者依从性至关重要。未来的研究应关注如何优化术后康复方案,并探索术后疼痛管理的新方法,需要研究如何将手术、康复和骨质疏松症的个体化管理进行有效整合,形成一套完整的、多学科协作的综合诊疗体系。

参考文献

- [1] Prost, S., Pesenti, S., Fuentes, S., Tropiano, P. and Blondel, B. (2021) Treatment of Osteoporotic Vertebral Fractures. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **107**, Article ID: 102779. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102779>
- [2] Rajasekaran, S., Kanna, R.M., Schnake, K.J., Vaccaro, A.R., Schroeder, G.D., Sadiqi, S., et al. (2017) Osteoporotic Thoracolumbar Fractures—How Are They Different?—Classification and Treatment Algorithm. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **31**, S49-S56. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000949>
- [3] Montagu, A., Speirs, A., Baldock, J., Corbett, J. and Gosney, M. (2012) A Review of Vertebroplasty for Osteoporotic and Malignant Vertebral Compression Fractures. *Age and Ageing*, **41**, 450-455. <https://doi.org/10.1093/ageing/afs024>
- [4] Sun, N., Chu, Y., Ge, Z. and Liu, Y. (2025) Percutaneous Vertebral Augmentation for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Minimally Invasive Techniques and Clinical Outcomes. *European Journal of Medical Research*, **30**, Article No. 1037. <https://doi.org/10.1186/s40001-025-03311-x>
- [5] Hussain, A. and Erdek, M. (2013) Vertebroplasty Augmentation Procedures: Examining the Controversy. *Pain Physician*, **16**, E483-E490. <https://doi.org/10.36076/ppj.2013/16/e483>
- [6] Gimarc, D., Jensen, A., Lind, K., et al. (2020) Radiculopathy Following Vertebral Body Compression Fracture: The Role of Percutaneous Cement Augmentation. *Pain Physician*, **23**, 315-323. <https://doi.org/10.36076/ppj.2020/23/315>
- [7] Shankar, J.J.S., Merdad, R., Finitsis, S. and Parker, R. (2019) Imaging Improves Efficacy of Vertebroplasty—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, **46**, 540-549. <https://doi.org/10.1017/cjn.2019.236>
- [8] Langner, S. and Henker, C. (2020) Vertebroplastie und Kyphoplastie: A Critical Statement. *Der Radiologe*, **60**, 138-143. <https://doi.org/10.1007/s00117-020-00651-z>
- [9] Buchbinder, R., Osborne, R.H. and Kallmes, D. (2010) Invited Editorial Presents an Accurate Summary of the Results of Two Randomised Placebo-Controlled Trials of Vertebroplasty. *Medical Journal of Australia*, **192**, 338-341. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2010.tb03534.x>
- [10] Ahlhelm, F. and Omid, R. (2016) Kyphoplastie und Vertebroplastie bei Wirbelsäulentraumata. *Der Radiologe*, **56**, 691-697. <https://doi.org/10.1007/s00117-016-0118-6>
- [11] Kasperk, C. (2015) Kyphoplastie-Vertebroplastie. A Critical Assessment. *Der Radiologe*, **55**, 854-858. <https://doi.org/10.1007/s00117-015-0016-3>
- [12] Denoix, E., Viry, F., Ostertag, A., Parlier-Cuau, C., Laredo, J., Cohen-Solal, M., et al. (2018) What Are the Predictors of Clinical Success after Percutaneous Vertebroplasty for Osteoporotic Vertebral Fractures? *European Radiology*, **28**, 2735-2742. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5274-1>
- [13] Schnake, K.J., Scheyerer, M.J., Spiegl, U.J.A., Perl, M., Ullrich, B.W., Grüniger, S., et al. (2020) Minimal-Invasive Stabilisierung bei thorakolumbalen osteoporotischen Frakturen. *Der Unfallchirurg*, **123**, 764-773. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00835-1>
- [14] Nieuwenhuijse, M.J., van Erkel, A.R. and Dijkstra, P.D.S. (2011) Percutaneous Vertebroplasty in Very Severe Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Feasible and Beneficial. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **22**, 1017-1023. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2011.02.036>
- [15] Krafft, P.R., Peto, I., Flores-Milan, G., Reeves, C., Klein, S., Alikhani, P., et al. (2022) Kyphoplasty of C2 Pathological Fractures Using an Anterior Midline Approach and Steerable Osteotome: Technical Note and Case Series. *Operative Neurosurgery*, **23**, 457-463. <https://doi.org/10.1227/ons.0000000000000382>
- [16] Sahota, O., Ong, T. and Salem, K. (2018) Vertebral Fragility Fractures (VFF)—Who, When and How to Operate. *Injury*, **49**, 1430-1435. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.04.018>
- [17] Tsoumakidou, G., Too, C.W., Koch, G., Caudrelier, J., Cazzato, R.L., Garnon, J., et al. (2017) CIRSE Guidelines on Percutaneous Vertebral Augmentation. *CardioVascular and Interventional Radiology*, **40**, 331-342. <https://doi.org/10.1007/s00270-017-1574-8>
- [18] Hoffmann, J., Preston, G., Whaley, J. and Khalil, J.G. (2023) Vertebral Augmentation in Spine Surgery. *Journal of the*

- American Academy of Orthopaedic Surgeons*, **31**, 477-489. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-22-00958>
- [19] Key, B.M., Symanski, J., Scheidt, M.J. and Tutton, S.M. (2021) Vertebroplasty, Kyphoplasty, and Implant-Based Mechanical Vertebral Augmentation. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, **25**, 785-794. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1739531>
 - [20] Sharif, S., Ali, M.Y., Costa, F., Zileli, M. and Parthiban, J. (2022) Vertebral Augmentation in Osteoporotic Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations. *Journal of Neurosurgical Sciences*, **66**, 311-326. <https://doi.org/10.23736/s0390-5616.22.05642-9>
 - [21] Noguchi, T., Yamashita, K., Kamei, R. and Maehara, J. (2023) Current Status and Challenges of Percutaneous Vertebroplasty (PVP). *Japanese Journal of Radiology*, **41**, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11604-022-01322-w>
 - [22] Láinez Ramos-Bossini, A.J., López Zúñiga, D. and Ruiz Santiago, F. (2021) Percutaneous Vertebroplasty versus Conservative Treatment and Placebo in Osteoporotic Vertebral Fractures: Meta-Analysis and Critical Review of the Literature. *European Radiology*, **31**, 8542-8553. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08018-1>
 - [23] Yin, P., Li, Z., Zhu, S., Zhang, Y., Su, Q. and Hai, Y. (2020) The Treatment of Osteoporotic Thoraco-Lumbar Burst Fractures by Unilateral Percutaneous Kyphoplasty: A Prospective Observation Study. *European Journal of Pain*, **24**, 659-664. <https://doi.org/10.1002/ejp.1516>
 - [24] Eseonu, K.C., Panchmatia, J.R., Streetly, M.J., Grauer, J.N. and Fakouri, B. (2023) The Role of Vertebral Augmentation Procedures in the Management of Vertebral Compression Fractures Secondary to Multiple Myeloma. *Hematological Oncology*, **41**, 323-334. <https://doi.org/10.1002/hon.3102>
 - [25] Venier, A., Roccatagliata, L., Isalberti, M., Scarone, P., Kuhlen, D.E., Reinert, M., et al. (2019) Armed Kyphoplasty: An Indirect Central Canal Decompression Technique in Burst Fractures. *American Journal of Neuroradiology*, **40**, 1965-1972. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a6285>
 - [26] Jones, J.C., Miller, J.A., Sudarshana, D.M., Thompson, N.R., Benzel, E.C. and Mroz, T.E. (2019) Predictors of Favorable Quality of Life Outcome Following Kyphoplasty and Vertebroplasty. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **31**, 389-396. <https://doi.org/10.3171/2019.3.spine18419>
 - [27] Hogan, W.B., Philips, A., Alsoof, D., McDonald, C.L., Anderson, G., Zhang, A.S., et al. (2022) Kyphoplasty and Vertebroplasty Performed by Surgeons versus Nonsurgeons: Trends in Procedure Rates, Complications, and Revisions. *World Neurosurgery*, **164**, e518-e524. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.05.004>
 - [28] Andreão, F.F., Borges, P., Palavani, L.B., Machinski, E., Brenner, L.B.O., Ferreira, M.Y., et al. (2024) Percutaneous Vertebroplasty versus Nonoperative Treatment of Osteoporotic Vertebral Fractures: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *World Neurosurgery*, **190**, 408-421.e5. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.07.127>
 - [29] Li, W., Cai, Y. and Cong, L. (2022) The Effect of Vertebral Augmentation Procedure on Painful OVCFs: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Global Spine Journal*, **12**, 515-525. <https://doi.org/10.1177/2192568221999369>
 - [30] Zhu, D., Hu, J.N., Wang, L., et al. (2023) A Modified Unilateral Extrapedicular Approach Applied to Percutaneous Kyphoplasty to Treat Lumbar Osteoporotic Vertebral Compression Fracture: A Retrospective Analysis. *Pain Physician Journal*, **26**, E191-E201. <https://doi.org/10.36076/ppj.2023.26.e191>
 - [31] Rathod, A.P., Rathod, Y.B., Baitule, R., Pundkar, G., Saodekar, H.S. and Suhagpure, A. (2025) To Study the Functional Outcome of Vertebroplasty versus Conservative Management in Osteoporotic Fractures. *Journal of Orthopaedic Case Reports*, **15**, 274-278. <https://doi.org/10.13107/jocr.2025.v15.i05.5632>
 - [32] Otsuka, R., Takahashi, T., Inoue, T., Saruta, W., Shimauchi, H., Kanematsu, R., et al. (2021) Independent Living 1 Year after Balloon Kyphoplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fracture. *World Neurosurgery*, **155**, e646-e654. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.08.116>
 - [33] Hoshino, M., Takahashi, S., Yasuda, H., Terai, H., Watanabe, K., Hayashi, K., et al. (2019) Balloon Kyphoplasty versus Conservative Treatment for Acute Osteoporotic Vertebral Fractures with Poor Prognostic Factors: Propensity Score Matched Analysis Using Data from Two Prospective Multicenter Studies. *Spine*, **44**, 110-117. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000002769>
 - [34] Zhan, Y., Jiang, J., Liao, H., Tan, H. and Yang, K. (2017) Risk Factors for Cement Leakage after Vertebroplasty or Kyphoplasty: A Meta-Analysis of Published Evidence. *World Neurosurgery*, **101**, 633-642. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.01.124>
 - [35] Moulin, B., Servois, V., Dbjay, J., Dutertre, G., Thery, L., Bouleuc, C., et al. (2022) CT-Guided Percutaneous Vertebroplasty of the Cervico-Thoracic Junction for the Management of Pathologic Fracture or Symptomatic Lytic Lesion in Cancer Patients. *CardioVascular and Interventional Radiology*, **45**, 244-248. <https://doi.org/10.1007/s00270-021-03018-6>
 - [36] Crespo-Sanjuán, J., Ardura, F., Hernández-Ramajo, R. and Noriega, D.C. (2017) Requirements for a Stable Long-Term Result in Surgical Reduction of Vertebral Fragility Fractures. *World Neurosurgery*, **105**, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.05.142>

-
- [37] Zheng, J., Gao, Y., Yu, W., Yu, N., Jia, Z., Hao, Y., *et al.* (2023) Development and Validation of a Nomogram for Predicting New Vertebral Compression Fractures after Percutaneous Kyphoplasty in Postmenopausal Patients. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **18**, Article No. 914. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04400-5>
 - [38] Zhang, J., Shao, H.Y., Xu, S.N., *et al.* (2017) Perforation of Gastric Wall by Polymethylmethacrylate after Percutaneous Kyphoplasty: Case Report and Literature Review. *Turkish Neurosurgery*, **27**, 460-463.
 - [39] Adida, S., Tang, A., Taori, S., Wong, V.R., Sefcik, R.K., Zhang, X., *et al.* (2024) Prediction of 30-Day and 1-Year Postoperative Complications after Balloon-Assisted Kyphoplasty in the Elderly Using the Risk Analysis Index. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **40**, 498-504. <https://doi.org/10.3171/2023.11.spine23951>
 - [40] Matsumoto, K., Hoshino, M., Omori, K., Igarashi, H., Matsuzaki, H. and Tokuhashi, Y. (2021) Preoperative Scoring System for Predicting Early Adjacent Vertebral Fractures after Balloon Kyphoplasty. *Journal of Orthopaedic Science*, **26**, 538-542. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2020.06.003>
 - [41] Matsumoto, K., Hoshino, M., Omori, K., Igarashi, H., Matsuzaki, H., Sawada, H., *et al.* (2023) Preoperative Scoring System for Prediction of Early Adjacent Vertebral Body Fracture after Balloon Kyphoplasty Using X-Rays Taken in a Non-Weight-Bearing Position. *World Neurosurgery*, **178**, e42-e47. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.06.084>
 - [42] Cazzato, R.L., de Marini, P., Auloge, P., Autreausseau, P.A., Koch, G., Dalili, D., *et al.* (2021) Percutaneous Vertebroplasty of the Cervical Spine Performed via a Posterior Trans-Pedicular Approach. *European Radiology*, **31**, 591-598. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07198-6>
 - [43] Hu, X., Jiang, W., Chen, Y., Wang, Y. and Ma, W. (2021) Revision Surgery after Cement Augmentation for Osteoporotic Vertebral Fracture. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **107**, Article ID: 102796. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102796>