

文献综述

DOI: 10.13406/j.cnki.cyxh.003093

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

杨 涛¹, 徐希彦², 聂 茂³

(1. 重庆大学附属三峡医院/重庆市老年疾病临床医学研究中心, 重庆 404000;

2. 重庆市第五人民医院骨科, 重庆 400062; 3. 重庆医科大学附属第二医院骨科, 重庆 400010)

【摘要】经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)及后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)目前广泛地应用于骨质疏松压缩性脊柱骨折中,但对于骨折累及椎管、椎体后壁有破裂甚至占位的爆裂性骨折,该技术曾一度被视为绝对手术禁忌。而中老年患者常发生骨质疏松性椎体爆裂骨折(osteoporotic vertebral burst fractures, OVBF)。他们是否如同骨质疏松性压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCF)患者那样从 PVP 和 PKP 手术中获益这个问题,促使越来越多的国内外学者开始研究、探讨,希望评价该技术在 OVBF 患者中的风险与受益。本文主要综述近十多年来该技术在 OVBF 中应用的疗效和安全性。

【关键词】经皮椎体成形术;经皮椎体后凸成形术;胸腰椎骨折;爆裂性骨折;骨质疏松

【中图分类号】R683.2

【文献标志码】A

【收稿日期】2021-08-19

Application of percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty in thoracic and lumbar osteoporotic burst fractures

Yang Tao¹, Xu Xiyang², Nie Mao³

(1. The Chongqing Municipality Clinical Research Center for Geriatric Diseases, Chongqing University Three Gorges Hospital; 2. Department of Orthopedics, The Fifth People's Hospital of Chongqing; 3. Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University)

【Abstract】Percutaneous vertebroplasty (PVP) and percutaneous kyphoplasty (PKP) are currently widely used in osteoporosis compression spinal fractures. However, the techniques were once regarded as absolute surgical contraindications for burst fractures involving the posterior wall of the vertebral body or with canal occupation. Osteoporotic vertebral burst fractures (OVBF) often occur in middle-aged and elderly patients. This question whether the patients with OVBF can benefit from PVP and PKP like patients with osteoporotic compression fractures (OVCF) makes more and more scholars at home and abroad begin to study it, through which, they hope to clarify the risks and benefits of this technique in patients with OVBF. In this paper, we mainly review the efficacy and safety of the technique in OVBF in recent ten years.

【Key words】percutaneous vertebroplasty; percutaneous kyphoplasty; thoracic and lumbar fracture; burst fracture; osteoporosis

1 引言

目前经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)

作者介绍: 杨 涛, Email: 738704722@qq.com,

研究方向: 老年骨科疾病。

通信作者: 徐希彦, Email: xxyand@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 81501867)。

优先出版: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20220919.1404.004.html>

(2022-09-20)

及后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)已成为治疗有不缓解疼痛症状骨质疏松性压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCF)的有效微创手术方法,得到广泛、成功的应用。经典的适应证包括药物治疗超过 3 周的痛性 OVCF、Kummell 病、症状性血管瘤、广泛骨溶解或继发于恶性肿瘤的侵袭性疼痛椎、急性创伤性骨折等^[1]。以往完整的后壁被认为是该手术开展的绝对要求,其原因是爆裂性骨折时椎体后壁破裂可能会导致骨填充剂灌注时发生渗漏,同时,顾虑 PKP 扩张的球囊可能导致椎体内的骨块向后移位而加

重骨性椎管狭窄。然而,累及椎管后壁的骨质疏松性椎体爆裂骨折(osteoporotic vertebral burst fractures,OVBF)中老年患者并不少见,其中包括很大一部分是不伴有脊髓、神经损伤症状、后柱完整的稳定性爆裂性骨折患者。这些患者常常伴有内科基础疾病而无法耐受传统的切开复位内固定手术及麻醉,同时还面临骨质疏松导致的术后内固定松动、椎体塌陷等风险。此时,对于患者来说,微创的 PVP 及 PKP 在迅速缓解疼痛、增加前中柱稳定性、避免长期卧床并发症等方面获益突出,而不必追求椎体高度及后凸畸形的完全恢复,是具有价值的一种处理方式^[2]。

虽然尚有争议,近年来越来越多的医生同意 PVP 和 PKP 只是 OVBF 的相对禁忌证,并认为该技术是治疗稳定 OVBF 的一个可行选择^[3-6],后文中的多个研究报道以较小的风险获得了显著的收益。此外,联合后路椎弓根钉固定的方式则使该技术具有更大的应用范围。

2 适宜的骨折类型

目前 PVP 或 PKP 治疗爆裂性骨折的应用主要包括 2 种方式:①独立 PVP 或 PKP 治疗稳定性爆裂性骨折;②联合椎弓根螺钉固定治疗不稳定性爆裂性骨折。

在神经功能完整的患者中,目前独立成功应用 PVP 或 PKP 的报道多涉及 A3.1 型^[3,6]。De Falco R 等^[7]通过与传统钉棒内固定的回顾性对照研究相比,认为 PKP 适合独立处理爆裂性骨折为载荷分享评分(load sharing classification,LSC)小于 4 分的 AO Spine A 型(不包括 A4 型)胸腰椎外伤性骨折。并且,为保证安全性,学者们还提出了其他纳入指标和要求:椎管占位率方面,有学者建议矢状径上的占位率不超过 20%或 30%^[8-9]。上述是出于对骨水泥渗漏加重椎管狭窄可能性的角度作出的考虑,同时,也能为撑开过程中骨块可能的“移位增加”预留缓冲空间。其他方面,还有学者提出选择椎体高度丢失不超过 1/3 或 1/4,后凸成角 $<15^{\circ}$ ^[8-9],这也是从后纵韧带的完整性、体间间接复位纠正畸形的有限程度方面作的考虑。

在处理后凸畸形明显的神经功能完整患者或者有部分神经功能损伤的患者,PVP 或 PKP 手术联合椎弓根钉固定,因其可以显著增加前柱稳定性、防止内固定松动及矫正畸形丢失,适用范围更加广泛。目前已有学者报道应用于 AO Spine A3 型、A4 型、B1 型、B2 型^[10-13]。甚至还有学者认为,结合椎板切除直接减压技术,还可以处理包括合并后韧带复合体损伤、LSC ≥ 7 分、椎体塌陷超过 50%、节段性后凸畸形超过 20° 或椎管侵犯超过 50%的严重不稳定爆裂性骨折^[14]。

3 手术应用

3.1 独立应用

一项生物力学研究以新鲜冷冻的脊柱节段(T11-L3)为标本,建立 A3.3 型爆裂性骨折模型,施加对应于屈曲-伸展、横向弯曲和轴向旋转载荷的力矩^[15]。结果表明,PKP 能提供胸腰椎爆裂性骨折良好的初期稳定性,同时能最大程度恢复脊柱运动单元在屈伸、旋转方向的应变和运动。一项纳入 173 例患者的回顾性队列分析^[16]首次比较了 OVCF(A1 型)与不完全性 OVBF(A3.1 型)在 PKP 术中的骨水泥渗漏率:A3.1 型的椎管内渗漏率为 9.8%,与 A1.2、A1.3 型骨折无统计学差异,仅较 A1.1 型骨折显著增高,但无一例患者出现神经功能损伤,通过 15 个月的随访,发现 2 组患者后凸畸形的改善和疼痛的缓解皆显著,并能维持。Krüger A 等^[3]使用 PKP 治疗 79 例无神经功能损伤症状的 A3.1 型骨质疏松性爆裂性骨折,其椎管狭窄占位比为 10%~40%,VAS 评分从术前的 8.1 分降至术后的 1.6 分,后凸角度由术前的平均 8.53° 降至术后的 4.77° ,所有的椎管内渗漏都无临床症状,与治疗 OVCF 比较,并无显著风险增加。

首个针对神经功能完整的 OVBF 患者行 PVP 和非手术治疗的前瞻性随机对照研究中,伤后 12 个月非手术组平均 VAS 为 2.17,PVP 组为 0.61,并且非手术组和非手术组前后高度比率分别为 49.1%和 71.2%^[17],表明 PVP 比非手术治疗有更好的临床和影像学效果。同时,研究者将后壁缺损分为 3 级:I 级,无后壁骨折;II 级,后壁骨折移位 <2 mm;III 级,后壁骨折移位 >2 mm,纳入的 OVBF 均为 II 级或 III 级,术后 10%的患者出现椎管内渗漏,但无神经损伤症状。Hartmann F 等^[18]评估了外伤性胸腰椎爆裂性骨折 PKP 术后的功能和影像学结果,认为 PKP 可以早期矫正后凸并稳定骨折,立即减轻疼痛,而不会危及神经结构。即使后壁受损也是如此,并指出对于 A3.1 型骨折,后凸成形术是一个安全的选择,而 A3.2 型和 A3.3 型骨折可以酌情,进一步结合后路固定技术。一项随访 10 年的研究表明,该技术不仅能迅速减轻疼痛、短期内恢复正常生活,也能长期保持椎体的稳定性和矫正程度^[19]。爆裂性骨折中无症状骨水泥渗漏的风险没有增加,继发性椎管狭窄的潜在并发症似乎更多的是理论上的而不是实际的风险^[2,6]。

3.2 与钉棒固定的联合应用

Xu G 等^[19]建立了 T11-L1 共 8 个功能脊柱单位的有限元模型,使用钉棒系统进行后路复位固定,伤椎骨水泥强化,结果显示联合 PVP 后,连接棒和螺钉的范式等效应力分别降低 50%和 40%,椎体损伤越严重,作用越明显。Liao JC 等^[20]建

立了胸腰段 T10~L2 的不稳定性爆裂骨折有限元模型,同样认为短节段固定结合经皮椎体成形技术,可以降低内固定的应力,同时可注射的磷酸钙骨水泥还可以促进椎体内的骨生长愈合,是稳定三柱的理想固定方式。

Li CB 等^[21]在棘突旁采用 4 个小切口,利用 Wiltse 入路进行置钉,结合伤椎 PVP 注入磷酸钙骨水泥,效果明确,在随访期间无一例内固定松动、断裂。Korovessis P 等^[22]则将该研究对象扩大到椎体损伤更严重的 A2(椎体前缘高度丢失超过 20%)、A3 和 B2 型患者中,从疼痛、矫正丢失等方面进行平均 31 个月的随访,表明经皮短节段后路内固定加 PVP 治疗上述类型的急性创伤性胸腰椎骨折是安全有效的。Caruso G 等^[23]通过 12 个月随访,提示伤椎 PKP 联合邻椎经皮螺钉固定,术后 3 个月即可获得良好的临床预后,矫形程度与开放手术相当,但并发症更少。一项回顾性对照研究也证实 50 岁以上的 A3 型 T11~L3 单节段爆裂性骨折患者,采用上下邻椎的短节段固定联合伤椎注入聚甲基丙烯酸甲酯(poly-methyl methacrylate, PMMA)的 PKP 术较之包含伤椎在内的 3 组椎弓根短节段固定更具优势^[23]。Amelot A 等^[24]也证实,采用同样的术式处理 A3 型骨折时,较之伤椎上下邻椎各 2 组螺钉的长节段固定方式,能更快、更明显地缓解疼痛,能更早地起床活动。

此外,还有一些报道中的开放入路下置钉并联合椎体成形术,虽然并非严格的经皮穿刺,但除了进针点是否可以直视的区别外,理论上在骨水泥渗漏风险等方面,两者并无不同。一项 T9~L4 节段的 A3.3 型爆裂性骨折患者的前瞻性研究采用后正中入路的行上下邻椎固定撑开,再行伤椎双侧经椎弓根 PKP,伤椎内注入磷酸钙骨水泥,椎体高度显著恢复并维持^[11]。通过螺钉撑开的间接减压,椎管占位率从术前平均 32%下降到术后平均 20%,不完全神经损伤的患者至少有 1 个 ASIA 级别的提高。Chen CB 等^[14]选择 28 例 LSC $\geq$ 7 分的不稳定爆裂性骨折(AO/A3 型)或合并后韧带复合体损伤(AO/B1.2 型)患者进行后正中入路的椎弓根固定,包含伤椎在内共 3 组螺钉,取出伤椎的一侧椎弓根螺钉,使用 PVP 技术注射平均 4.0 mL 硫酸钙骨水泥,然后将取出的椎弓根螺钉和部分拧入的对侧椎弓根螺钉完全置入椎体,如有神经功能缺损及椎管占位程度超过 50%的患者进行有限椎板切除减压。结果表明椎体高度、节段性后凸和椎管占位等影像学指标在术后即刻显著改善,VAS 及 ODI 评分从术前的 9.2 分、89.9%改善至末次随访时的 1.4 分、12.9%。研究者认为,该术式为短节段固定,保留了更多的脊柱运动单元,又避免了传统短节段固定的前柱支撑不足的缺点,优势明显^[25]。同时,螺钉的撑开作用还具有间接减压的效果,对椎管容积的改善、神经功能的恢复有帮助^[26]。

3.3 手术技巧

爆裂性骨折的损伤累及椎管前壁,较之压缩性骨折,操

作应该更加谨慎,采取更多的安全措施。具体包括骨水泥推注时机更靠后,在低压力下灌注高黏稠度的水泥^[27];不片面追求骨水泥推注的体积,当骨水泥到达椎体后 1/3 时则停止推注。此外,杨惠林等采用的骨水泥封堵灌注及温度梯度灌注技术,同样可以有效降低渗漏风险。就爆裂性骨折而言,目前较多学者推荐使用 PKP,认为在爆裂性骨折时,PKP 的球囊可以压迫周围松质骨,较 PVP 的椎管内渗漏率更低、更安全^[2-3,28-29]。

Krüger A 等^[3]的经验是:除了将球囊放在靠近损伤重的终板处外,强调球囊的位置应更靠前,即位于椎体的前 2/3 内,远离椎体后壁,以减少扩张过程中骨折块受到挤压而后退入椎管的风险。对后纵韧带完整的患者,球囊扩张时的复位作用还有间接减压的作用。De Falco R 等^[17]建议进行双侧穿刺,认为较之单侧穿刺、球囊扩张、双侧穿刺扩张可以减小椎体内压,每一侧扩张相对小的体积,但总体上能获得更大的充盈空间,提出可以将球囊反复扩张几次,压迫骨折缝隙和静脉腔道,夯实周边的腔壁。Abdelgawaad AS 等^[6]也推荐双侧 PKP 球囊扩张,建议每侧注入水泥体积小于或等于球囊扩张的体积,每次仔细注射少量水泥(0.2~0.5 mL),多次 C 臂透视,在面团状态下逐渐注入高黏度水泥,其报道中无椎管内渗漏发生,椎体外渗漏率为 22.45%。

杜随勇等^[30]也强调控制球囊压力,采用“扩张-放松-扩张”的渐进式复位方式。卢公标等^[8]将球囊通过骨隧道放置于患椎,前标记点离椎体前壁约 0.5 cm,球囊压力不超过 180 psi,压力递增 <50 psi/min,扩张时密切关注患者下肢症状(局部麻醉状态下),并维持一段时间后退出球囊,经通道注入碘海醇,观察椎体后壁渗漏情况,最后低压灌注骨水泥,并未发现椎管内骨折块占位加重的情况。蒋伟宇等^[13]的经验是完成伤椎上下邻椎的椎弓根钉置入后,采用椎弓根螺钉间接复位,使椎体内部产生的“蛋壳样”负压空腔,然后在压缩程度相对严重一侧置入球囊,并在椎体适当撑开球囊,对终板进一步复位,填塞明胶海绵,最后再注入骨水泥。

刘意强等^[31]采用远程遥控推注系统辅助下灌注骨水泥,灌注时间更短,可少量、连续、匀速、缓慢地进行,安全性更高。此外,沈皆亮等^[32]使用网袋椎体成形技术能够有效控制骨水泥的流向,仅允许少量骨水泥渗漏到网层外与骨小梁嵌合,大幅降低了骨水泥向椎管内渗漏概率。Li YM 等^[33]比较了 PKP 与网袋椎体成形术治疗 A3、A4 型爆裂性骨折,结果显示椎体外渗漏率由前者的 27.9%下降至 11.9%,安全性显著增加。

4 骨水泥的改进

在中老年合并骨质疏松性病理因素基础上的爆裂骨

折中,PMMA 作为 PVP 和 PKP 的充盈物已得到广泛应用。但 PMMA 其液体单体具有神经和细胞毒性,同时因其改变脊柱生物力学强度增加了邻近椎体骨折的风险。此外,缺乏生物活性和骨传导性,尤其不适合年轻患者。近年来学者们一直期望找到一种更理想的骨水泥材料,拓展其应用范围。

目前研究应用最多的是硫酸钙/磷酸钙骨水泥。其生物相容性好,没有对周围骨组织的热效应和毒性影响^[21]。Korovessis P 等^[14]的研究随访 24 个月后,CT 显示磷酸钙与松质椎体骨之间存在连续性。随着时间的推移,它会通过爬行取代作用被降解吸收,还能刺激骨水泥界面新骨的形成和替代。进一步研究表明,硫酸钙降解的速度取决于骨缺损的大小和位置,其降解从 40 d~70 d 不等,随访 12 个月时并没有观察到出现椎体内明显的真空现象^[14]。但其也存在部分缺陷,如在与血液接触时形成结晶、凝固速度快,需要在更高的液相以更快的速度推注,增加了骨水泥渗漏的风险^[7],且机械强度不如 PMMA^[9]。Maestretti G 等^[34]使用 PKP 技术将磷酸钙骨水泥注入年轻患者 A 型骨折伤椎中,经过 10 年随访,未发现邻近椎间盘高度降低,提示磷酸钙骨水泥可能不会加速邻近椎间盘退变。一项生物力学研究经过比较,提出磷酸钙骨水泥的 PKP 不能像使用 PMMA 水泥那样确保足够的初始稳定性,需要联合后路内固定^[9]。

因此,理想的骨水泥正在深入研究中,它应该具备足够的初期力学稳定性能、无毒、生物相容性好、具备骨传导能力、能缓慢降解被新生骨替代的材料。

5 小 结

骨质疏松性骨折中,约 50% 为脊柱骨折,其中胸腰段的骨折约 20%^[20]为爆裂性骨折。目前 PVP 与 PKP 作为一种微创的稳定技术在缓解疼痛、快速康复等方面的优势已得到肯定,但该技术能否同样惠及爆裂性骨折的患者具有争议。

争议主要集中在手术风险方面:①爆裂性骨折累及椎体后壁,具有发生症状性骨水泥渗漏的风险。回顾现有文献,爆裂性椎体骨折发生椎体外渗漏率为 16%~47%^[3,7],其中椎管内渗漏不超过 10%^[17,35],且并未有导致神经功能恶化的椎管内渗漏的报道。②伤椎内推注骨水泥、PKP 球囊扩张导致骨折块后移而引起神经损伤风险增加的顾虑。这一担忧尚未在标本或临床中得到明确报道。当然,这可能与该技术迄今为止在爆裂性骨折患者中应用率不高、医生选择患者的适应证较严格以及更谨慎的术中操作和技巧把握有关。笔者认为,为数不多的现有文献尚不能消除对上述问题的担忧。

早期的爆裂性骨折曾一度被列为 PVP 与 PKP 的绝对禁忌。近年来随着研究应用的深入,积极的报道逐渐增多。2017

年中华医学会骨科学分会骨质疏松学组发布的《骨质疏松性骨折诊疗指南》不再将其列为“绝对禁忌”^[36]。2015 年中国老年学学会骨质疏松委员会骨质疏松性骨折学组在发布的《骨质疏松性椎体压缩性骨折的治疗指南》^[37]中明确提出:PVP 适应证包括“骨质疏松性椎体爆裂性骨折,为加强椎弓根螺钉的固定力,可先行椎体成形术”;而在骨质疏松性爆裂性骨折中,“对于只有很少或没有椎管压迫的神经完整的病例,可以考虑行后凸成形术”。美国 Phillips FM 等^[38]主编的《微创脊柱外科学》也提出 PVP、PKP 的适应证包括“转移癌、保守治疗无效的骨质疏松椎体压缩骨折以及创伤性爆裂骨折”。

胸腰椎爆裂性骨折的治疗策略取决于骨折的位置、伤椎破坏的程度、神经受累的程度、后凸畸形的程度、后方韧带复合体(posterior ligamentous complex, PLC)损伤的程度及年龄、基础疾病等全身因素。目前独立应用 PVP、PKP 治疗爆裂性骨折的报道多集中在处理疼痛症状明显、不耐受长时间卧床的稳定性爆裂骨折患者上,尤其是那些神经功能完整的患者。稳定性爆裂性骨折通常指由于压力负荷所引起的前中柱损伤、PLC 和神经功能均完整的骨折,并且没有后凸畸形加重和引起进行性神经症状的趋势。有学者认为,这类骨折多在影像学上表现为椎管后壁骨皮质连续性丧失;中柱压缩,后柱无损伤;椎体高度丢失 $\leq 50\%$;椎管内骨块占位百分比 $\leq 40\%$;后凸角 $\leq 25^\circ$ ^[4,39-40]。

在需要钉棒进行矫形、固定的患者中,骨质疏松常导致内固定失败、继发性神经损伤问题。其原因主要是螺钉固定撑开后椎体高度部分恢复,但前中柱出现骨缺损,形成“蛋壳样”椎体,骨愈合及支撑稳定性不佳,导致复位丢失。同时,应力集中在椎弓根螺钉上,引起松动、断裂的风险增大。短节段经皮螺钉技术联合 PVP 或 PKP 技术,可以向伤椎骨注入骨水泥来重建前柱完整性、稳定性,可以有效弥补这一不足,避免了单一延长内固定节段对脊柱活动功能的影响^[23]。但同时,研究者也承认 PVP 或 PKP 结合钉棒内固定并不总是适用于所有老年 OVBF 患者,该术式对老年患者的手术耐受性要求更高。

目前有关 PVP、PKP 治疗 OVCF 的文献为回顾性研究或样本量不多的随机前瞻性报告,总体文献数量相对较少,缺乏大规模、多中心前瞻随机对照试验,缺乏具体相关类型的 OVBF 评估规范和流程,说服力有限。而且,不同椎体水平的椎管内容物及容积有差异,也造成椎管对骨水泥渗漏体积的耐受程度不一,不同椎体节段的手术风险应该有所差别。今后是否可以对爆裂性骨折的椎体后壁骨折情况、椎管占位情况进行评估甚至分型,明确相对安全的纳入节段,进一步制定手术安全标准是值得进一步探讨的。无论 OVCF 还是 OVBF,一旦发生有症状的骨水泥渗漏,都需要立即椎管减压

并尽可能清除渗漏的骨水泥,因此,做好急诊开放减压的预案和沟通是前提,风险与获益的权衡是关键。PVP 或 PKP 在 OVBF 的应用中仍需谨慎对待,仍需要更多、更深入的研究。

参 考 文 献

- [1] Mattie R, Laimi K, Yu S, et al. Comparing percutaneous vertebroplasty and conservative therapy for treating osteoporotic compression fractures in the thoracic and lumbar spine; a systematic review and Meta-analysis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2016, 98(12): 1041–1051.
- [2] Yin P, Li Z, Zhu SQ, et al. The treatment of osteoporotic thoracolumbar burst fractures by unilateral percutaneous kyphoplasty; a prospective observation study[J]. *Eur J Pain*, 2020, 24(3): 659–664.
- [3] Krüger A, Zettl R, Ziring E, et al. Kyphoplasty for the treatment of incomplete osteoporotic burst fractures[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(6): 893–900.
- [4] Gan MF, Zou J, Zhu XS, et al. Balloon kyphoplasty for osteoporotic spinal fractures with middle column compromise[J]. *Injury*, 2014, 45(10): 1539–1544.
- [5] Perez JL, Ozpinar A, Agarwal N, et al. Safety and efficacy of balloon kyphoplasty for vertebral fractures with posterior wall disruption[J]. *Int J Spine Surg*, 2021, 15(2): 353–358.
- [6] Abdelgawaad AS, Ezzati A, Govindasamy R, et al. Kyphoplasty for osteoporotic vertebral fractures with posterior wall injury[J]. *Spine J*, 2018, 18(7): 1143–1148.
- [7] De Falco R, Bocchetti A. Balloon kyphoplasty for pure traumatic thoracolumbar fractures: retrospective analysis of 61 cases focusing on restoration of vertebral height[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(S6): S664–S670.
- [8] 卢公标, 李咸周, 杜琳, 等. 经皮椎体后凸成形术治疗原发骨质疏松性胸腰段椎体爆裂骨折的临床疗效观察[J]. *中国微创外科杂志*, 2015, 15(1): 50–53.
- Lu GB, Li XZ, Du L, et al. Clinical efficacy of percutaneous kyphoplasty for primary osteoporosis thoracolumbar vertebral burst fracture[J]. *Chin J Minim Invasive Surg*, 2015, 15(1): 50–53.
- [9] 宋晋刚, 苗艳, 崔易坤, 等. 椎体成形术治疗老年胸腰椎爆裂性骨折[J]. *中国微创外科杂志*, 2015, 15(2): 159–162.
- Song JG, Miao Y, Cui YK, et al. Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic thoracolumbar burst fractures in senile patients[J]. *Chin J Minim Invasive Surg*, 2015, 15(2): 159–162.
- [10] He DW, Wu LJ, Sheng XY, et al. Internal fixation with percutaneous kyphoplasty compared with simple percutaneous kyphoplasty for thoracolumbar burst fractures in elderly patients; a prospective randomized controlled trial[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(10): 2256–2263.
- [11] Korovessis P, Repantis T, Petsinis G, et al. Direct reduction of thoracolumbar burst fractures by means of balloon kyphoplasty with calcium phosphate and stabilization with pedicle-screw instrumentation and fusion[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(4): E100–E108.
- [12] Korovessis P, Mpountogianni E, Syrimpeis V. Percutaneous pedicle screw fixation plus kyphoplasty for thoracolumbar fractures A2, A3 and B2[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(5): 1492–1498.
- [13] 蒋伟宇, 马维虎, 赵华国, 等. 椎弓根螺钉结合伤椎成形与结合伤椎固定治疗骨质疏松性胸腰椎爆裂骨折的疗效比较[J]. *中国骨伤*, 2018, 31(8): 703–708.
- Jiang WY, Ma WH, Zhao HG, et al. Case-control study of pedicle screw fixation combined with vertebroplasty and injured vertebra pedicle fixation in treatment of osteoporotic thoracolumbar burst fractures[J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2018, 31(8): 703–708.
- [14] Chen CB, Lv GY, Xu BS, et al. Posterior short-segment instrumentation and limited segmental decompression supplemented with vertebroplasty with calcium sulphate and intermediate screws for thoracolumbar burst fractures[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(7): 1548–1557.
- [15] Germaneau A, Vendevre T, Saget M, et al. A novel approach for biomechanical spine analysis: mechanical response of vertebral bone augmentation by kyphoplasty to stabilise thoracolumbar burst fractures[J]. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2016, 59: 291–303.
- [16] Stoffel M, Wolf I, Ringel F, et al. Treatment of painful osteoporotic compression and burst fractures using kyphoplasty; a prospective observational design[J]. *J Neurosurg Spine*, 2007, 6(4): 313–319.
- [17] Nakano M, Kawaguchi Y, Kimura T, et al. Transpedicular vertebroplasty after intravertebral cavity formation versus conservative treatment for osteoporotic burst fractures[J]. *Spine J*, 2014, 14(1): 39–48.
- [18] Hartmann F, Gercek E, Leiner L, et al. Kyphoplasty as an alternative treatment of traumatic thoracolumbar burst fractures Magerl type A3[J]. *Injury*, 2012, 43(4): 409–415.
- [19] Xu G, Fu X, Du C, et al. Biomechanical effects of vertebroplasty on thoracolumbar burst fracture with transpedicular fixation; a finite element model analysis[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2014, 100(4): 379–383.
- [20] Liao JC, Chen WP, Wang H. Treatment of thoracolumbar burst fractures by short-segment pedicle screw fixation using a combination of two additional pedicle screws and vertebroplasty at the level of the fracture; a finite element analysis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1): 262.
- [21] Li CB, Pan JF, Gu YT, et al. Minimally invasive pedicle screw fixation combined with percutaneous vertebroplasty for the treatment of thoracolumbar burst fracture[J]. *Int J Surg*, 2016, 36(Pt A): 255–260.
- [22] Caruso G, Gildone A, Lorusso V, et al. Percutaneous fixation and balloon kyphoplasty for the treatment of A3 thoracolumbar fractures[J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2019, 10(S1): S163–S167.
- [23] Zhang JX, Liu H, Liu H, et al. Intermediate screws or kyphoplasty: which method of posterior short-segment fixation is better for treating

- single-level thoracolumbar burst fractures?[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(3): 502–510.
- [24] Amelot A, Cristini J, Moles A, et al. Non neurologic burst thoracolumbar fractures fixation: case-control study[J]. *Injury*, 2017, 48(10): 2150–2156.
- [25] Hu XD, Ma WH, Chen JM, et al. Posterior short segment fixation including the fractured vertebra combined with kyphoplasty for unstable thoracolumbar osteoporotic burst fracture[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21: 566.
- [26] Yan H, Ni M, Zhai WF, et al. Balloon kyphoplasty combined with posterior pedicle screw fixation for the treatment of osteoporotic thoracolumbar burst fractures[J]. *Ann Palliat Med*, 2021, 10(7): 7514–7524.
- [27] Chen WC, Tsai SHL, Goyal A, et al. Comparison between vertebroplasty with high or low viscosity cement augmentation or kyphoplasty in cement leakage rate for patients with vertebral compression fracture: a systematic review and network meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(9): 2680–2690.
- [28] Tsai PJ, Hsieh MK, Fan KF, et al. Is additional balloon Kyphoplasty safe and effective for acute thoracolumbar burst fracture?[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1): 393.
- [29] Wang B, Zhao CP, Song LX, et al. Balloon kyphoplasty versus percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fracture: a Meta-analysis and systematic review[J]. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13(1): 264.
- [30] 杜随勇, 刘少军, 滕云升, 等. 经皮椎体后凸成形术治疗爆裂性(A3.2 型)新鲜骨质疏松性椎体压缩性骨折[J]. *中国微创外科杂志*, 2018, 18(5): 436–439, 444.
- Du SY, Liu SJ, Teng YS, et al. Percutaneous kyphoplasty for burst (type A3.2) fresh osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Chin J Minim Invasive Surg*, 2018, 18(5): 436–439, 444.
- [31] 刘意强, 王成日, 韦国平, 等. 远程遥控骨水泥推注系统辅助经皮椎体后凸成形术治疗后壁破裂型骨质疏松性椎体骨折[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2017, 31(5): 527–533.
- Liu YQ, Wang CR, Wei GP, et al. Effect of remote controlled injection manipulator system assisted percutaneous kyphoplasty for treatment of rupture of posterior vertebral osteoporotic vertebral fracture[J]. *Chin J Reparat Reconstruct Surg*, 2017, 31(5): 527–533.
- [32] 沈皆亮, 付梦雨, 杨正洋, 等. 椎弓根螺钉强化内固定术与骨填充网袋椎体成形术治疗稳定型骨质疏松胸腰椎爆裂骨折的比较研究[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2019, 21(7): 597–603.
- Shen JL, Fu MY, Yand ZY, et al. Bone cement-augmented pedicle screw fixation versus bone filling vertebroplasty for stable osteoporotic-thoracolumbar burst fracture[J]. *Chin J Orthop Trauma*, 2019, 21(7): 597–603.
- [33] Li YM, Qian YF, Shen GJ, et al. Safety and efficacy studies of kyphoplasty, mesh-container-plasty, and pedicle screw fixation plus vertebroplasty for thoracolumbar osteoporotic vertebral burst fractures[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 434.
- [34] Maestretti G, Sutter P, Monnard E, et al. A prospective study of percutaneous balloon kyphoplasty with calcium phosphate cement in traumatic vertebral fractures: 10-year results[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(6): 1354–1360.
- [35] 高长虹, 张庆国, 张涛. 骨质疏松椎体爆裂骨折椎体后凸成形术与保守治疗比较[J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(24): 2218–2223.
- Gao CH, Zhang QG, Zhang T. Percutaneous kyphoplasty versus conservative treatment for osteoporotic vertebral burst fractures[J]. *Orthop J Chin*, 2017, 25(24): 2218–2223.
- [36] 刘强, 胡永成. 骨质疏松性骨折诊疗指南[J]. *中华骨科杂志*, 2017, 37(1): 1–10.
- Liu Q, Hu YC. Guidelines for the diagnosis and treatment of osteoporotic fractures[J]. *Chin J Orthop*, 2017, 37(1): 1–10.
- [37] 印平, 马远征, 马迅, 等. 骨质疏松性椎体压缩性骨折的治疗指南[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2015, 21(6): 643–648.
- Ying P, Ma YZ, Ma X, et al. The clinical guideline for osteoporotic compression fractures[J]. *Chin J Osteoporos*, 2015, 21(6): 643–648.
- [38] Phillips FM, Lieberman IH, Polly Jr DW. 微创脊柱外科学[M]. 赵杰, 马辉主译. 上海: 上海科学技术出版社, 2016: 369.
- Phillips FM, Lieberman IH, Polly Jr DW. Minimally invasive spinal surgery[M]. Translated by Zhao J, Ma H. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2016: 369.
- [39] 张嘉, 蔡思逸, 李强. 微创经皮后凸成形术治疗骨质疏松性脊柱稳定爆裂骨折[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2013, 6(2): 126–131.
- Zhang J, Cai SY, Li Q. Percutaneous kyphoplasty in vertebral stable burst fracture: a clinical study[J]. *Chin J Osteo & Bone Min Res*, 2013, 6(2): 126–131.
- [40] Pehlivanoglu T, Akgul T, Bayram S, et al. Conservative versus operative treatment of stable thoracolumbar burst fractures in neurologically intact patients: is there any difference regarding the clinical and radiographic outcomes?[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2020, 45(7): 452–458.

(责任编辑: 唐秋姗)