

• 综 述 General review •

经皮椎体强化术治疗椎体转移瘤中骨水泥渗漏的相关因素研究进展

侯明远, 王志龙, 李一兵, 左太阳

【摘要】 经皮椎体强化术治疗椎体转移瘤可有效缓解疼痛同时稳定椎骨, 预防和治疗病理性骨折。骨水泥渗漏是经皮椎体强化术最常见的并发症。大多数骨水泥渗漏无症状且无需特殊处理, 但渗漏引起的一些罕见严重并发症值得警惕。该文对经皮椎体强化术应用于椎体转移瘤的技术特点、骨水泥特性、骨水泥渗漏的类型、骨水泥渗漏的相关因素及预防措施等方面的研究进展进行综述。

【关键词】 经皮椎体强化术; 椎体转移瘤; 骨水泥渗漏; 相关因素

中图分类号: R738.1 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2025)-001-0109-06

Research progress in the factors related to bone cement leakage in percutaneous vertebral augmentation for vertebral metastases HOU Mingyuan, WANG Zhilong, LI Yibing, ZUO Taiyang. School of Medical Imaging, Shandong Second Medical University, Weifang, Shandong Province 261053, China

Corresponding author: ZUO Taiyang, E-mail: zuotaiyang001@163.com

【Abstract】 For the treatment of vertebral metastases, percutaneous vertebral augmentation can effectively relieve pain, stabilize vertebrae, and prevent and treat pathological fractures. Bone cement leakage is the most common complication of percutaneous vertebral augmentation. Most bone cement leakages are asymptomatic and no special management is required, but close attention should be paid to some rare and serious complications caused by bone cement leakage. This paper aims to make a comprehensive review about the advances in percutaneous vertebral augmentation for vertebral metastases, focusing on the technical features, characteristics of bone cement, types of bone cement leakage, leakage-related factors and their preventive measures, etc.

【Key words】 percutaneous vertebral augmentation; vertebral metastasis; bone cement leakage; related factor

脊柱是晚期恶性肿瘤最常见的转移部位之一^[1-5]。研究表明, 影像引导下经皮椎体强化术(percutaneous vertebral augmentation, PVA)具有创伤小、失血少、恢复快、住院时间短等优势^[6], 是一种安全有效的椎体转移瘤微创治疗方法^[7]。PVA单独或联合消融等其他治疗方法, 可以有效缓解疼痛, 同时稳定椎骨, 预防和治疗病理性椎体压缩骨折, 提高患者的生活质量, 因此该技术广泛应用于椎体转移瘤的姑息治疗^[6-9]。骨水泥渗漏是 PVA 治

疗椎体转移瘤时首要关注和最突出的问题, 常常作为停止骨水泥注射的终点, 也是最常见的并发症^[1, 6-14]。大多数骨水泥渗漏无症状且无需特殊处理, 但渗漏引起的一些罕见严重并发症值得警惕^[1, 6-8, 10, 13-16]。因此, 分析和了解椎体转移瘤 PVA 中骨水泥渗漏的相关因素有助于降低骨水泥渗漏的发生率, 对临床实践具有一定的指导意义。现对 PVA 应用于椎体转移瘤的技术特点、骨水泥特性、骨水泥渗漏类型、骨水泥渗漏的相关因素及预防措

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2025.01.019

基金项目: 泉城“5150”引才倍增计划创新人才(团队)

作者单位: 261053 山东潍坊 山东第二医科大学医学影像学院(侯明远、李一兵); 山东第一医科大学附属中心医院肿瘤介入科(王志龙、左太阳); 曲阜市中医医院医学影像科(侯明远)

通信作者: 左太阳 E-mail: zuotaiyang001@163.com

施等方面的研究进展作一综述。

1 PVA 的技术特点

1.1 优势和不足

PVA 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)^[17], 都涉及在影像设备引导下经皮穿刺注入骨水泥, 以增强承重椎骨的机械稳定性并缓解疼痛^[1,3,18-19]。不同之处在于 PKP 具有恢复椎体高度和减少后凸的额外潜在目标^[1,11-12,16,20-22]。但 PKP 在球囊扩张过程中及骨水泥注入后, 椎体内的机械压力增加了循环肿瘤细胞播散以及肿瘤组织被挤入椎管的风险^[3]。Zhang 等^[3]报道, PKP 的手术费用大约是 PVP 的 2.5 倍。然而 PVP 不如 PKP 缓解疼痛彻底, 术后使用的止痛药更多^[3,23]。

1.2 骨水泥特性和作用机制

聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethyl methacrylate, PMMA) 价格低廉, 其以可注射性、自固性、可塑性以及固化后具有良好的机械耐受性能、长期稳定性和高化学惰性等优势, 已成为 PVA 最常用的骨水泥材料, 并广泛应用于椎体转移瘤的治疗^[23]。PVA 治疗椎体转移瘤的机制主要包括稳定椎体、放热效应、单体毒性、血供损害和占位效应等^[1,5,13,24-25]。镇痛作用主要归因于椎体的固结和稳定^[18]。此外, PMMA 还可作为抗肿瘤化疗药物的缓释系统^[13]。

1.3 适应证与禁忌证

PVA 的适应证为椎体转移瘤骨质破坏导致的疼痛及轻、中度或潜在不稳定, 保守治疗无效或不能耐受手术的患者^[3,5,19]。绝对禁忌证为骨髓炎、脊椎炎或活动性全身感染、无法纠正的凝血障碍、椎管狭窄、骨折碎片无症状后移导致严重椎管狭窄、神经根疼痛和脊髓损伤^[19]。相对禁忌证为硬膜囊受压、椎体后壁破裂、一般状况差或预期生存期不足 3 个月等^[3,5,13,19]。

2 骨水泥渗漏及类型

在接受 PVA 治疗的椎体转移瘤病例中报告的骨水泥渗漏具有较大的异质性, 发生率约为 20%~78%^[1,8,10]。绝大多数骨水泥渗漏是无症状的, 无临床后果^[5,10,14]。一旦骨水泥渗漏进入椎管或椎间孔可能会导致严重后果, 如破坏性神经组织损伤、神经根病或脊髓压迫和截瘫。王志龙等^[16]和 Barrágan-

Campos 等^[26]报道了 PVP 治疗椎体转移肿瘤 117 例, 血管骨水泥渗漏出现肺栓塞 2 例, 其中 1 例死亡。此外, 在 Marion 等^[27]的研究中, 椎间盘渗漏改变了脊柱的生物力学, 增加了邻近节段椎体骨折的风险。根据骨水泥渗漏位置及文献描述, 将骨水泥渗漏分为 3 种类型: 血管骨水泥渗漏、皮质骨水泥渗漏 (包括椎间盘和椎旁骨水泥渗漏) 和椎管内骨水泥渗漏^[8,28-29]。

3 骨水泥渗漏的骨水泥相关因素

3.1 骨水泥的黏度

高黏度骨水泥在混合过程中没有液相, 具有瞬时黏度高、聚合温度低、注射时间长的特点, 其准确匹配骨水泥注射系统可以更好地控制骨水泥的分布, 可显著减少骨水泥渗漏^[7,10,30]。然而, 没有评估骨水泥黏度的金标准^[10]。在一些研究中, 最佳骨水泥黏度通常依靠医生的主观经验^[15,21]。而射频后凸成形术 (radiofrequency kyphoplasty, RFK) 通过射频加热来控制注入椎体的 PMMA 黏度, 从而将骨水泥的黏度标准化, 以更慢、更可控的方式输注超高黏度骨水泥, 可以减少骨水泥渗漏的风险^[23]。Kim 等^[31]通过在骨水泥注入之前注入造影剂来调整骨水泥的黏度。骨水泥的黏度与温度有关, 未使用的骨水泥放置在冰盐水中可以延长凝固时间^[14]。

3.2 骨水泥注射量

骨水泥注射量或骨水泥体积/椎体体积比是椎间盘及静脉骨水泥渗漏的风险因素^[6-8,10,18]。当骨水泥量增加 1.0 mL 时, 静脉渗漏的风险增加 8%。根据多项报道的经验, 胸椎骨水泥用量 < 3.5 mL, 腰椎骨水泥用量 < 4 mL 是安全的^[1,8,15,32]。

3.3 骨水泥填充分布模式

在 Wu 等^[33]的研究中, PKP 骨水泥泄漏与骨水泥分布有关, 融合型骨水泥的渗漏率高于分散型骨水泥。然而, 在一些研究中椎体骨水泥填充与骨水泥渗漏无关^[7,15]。

4 骨水泥渗漏的患者相关因素

4.1 椎体完整性

椎体不完整与溶骨性破坏的大小和位置有关, 是椎间孔、皮质和血管骨水泥渗漏的危险因素^[10,15]。在 Corcos 等^[15]的研究中, 终板皮质溶骨性破坏与椎间盘骨水泥渗漏相关。具体地说, 上终板皮质溶骨性破坏与上椎间盘骨水泥渗漏相关, 而

下终板皮质溶骨性破坏与下椎间盘骨水泥渗漏无关,椎体后壁不完整更容易发生椎管和血管骨水泥渗漏^[6,8,10]。然而,Corcos 等^[15]和 Gravel 等^[7]发现,椎体后壁不完整不是椎管渗漏的显著危险因素,术者的谨慎有助于避免椎管骨水泥渗漏。在多项研究中,椎体塌陷/压缩性骨折是骨水泥渗漏的风险因素,与皮质和椎间盘骨水泥渗漏密切相关^[6,14-15]。并且多项研究证实,术前 Cobb 角(脊柱的异常承重线)影响椎管内骨水泥渗漏的发生^[10,21,28]。然而,由于椎体塌陷/压缩性骨折破坏了静脉等系统,骨折严重程度是血管和皮质骨水泥渗漏的保护因素^[8,32]。此外,椎体转移瘤伴硬膜外压迫的 Bilsky 评分是椎管内骨水泥渗漏的独立风险因素^[10]。

4.2 原发癌类型

在 Wang 等^[8]的研究中,原发癌 Tomita 分型是骨水泥渗漏的强风险因素。在 Shi 等^[6]的研究中,快速生长的癌症由于血供丰富为骨水泥渗漏提供了更多途径,并且不规则转移的占位效应限制了骨水泥分布和高压注射,从而使椎体内压力增高,更容易发生血管骨水泥渗漏。然而,Corcos 等^[15]报告了肺癌患者由细胞密度和组织学类型决定的椎体内压力较低,其血管骨水泥渗漏率也较低。前两者没有分析具体的肿瘤类型,结果争议可能由样本异质性(肿瘤组织学类型的分层差异等)造成。Cui 等^[34]发现乳腺癌患者更容易发生椎管骨水泥渗漏,而乳腺癌患者椎体后壁缺损的发生率与其他患者相似,并推测这是由乳腺癌患者骨质疏松等原因造成的。然而,Gravel 等^[7]的研究未发现乳腺癌是骨水泥渗漏的风险因素。

4.3 年龄和性别

在 Cui 等^[34]的研究中,年龄是骨水泥渗漏的潜在危险因素。Shi 等^[28]研究表明,年龄越小血管骨水泥渗漏的风险越大。在 Zhu 等^[32]研究中,由于男性椎体体积较大,注入的骨水泥更多,从而增加骨水泥渗漏的风险。在 Shi 等^[10]关于老年脊柱转移人群 PVP 的研究中认为,老年女性由于雌激素下降导致的严重骨质疏松症与椎管内骨水泥渗漏更多相关。在一些研究中,年龄和性别未发现与骨水泥渗漏率显著相关^[11,35]。这些结果差异可能由研究样本异质性及多因素解释。

4.4 解剖学和椎体内压

Batson's 静脉丛是连接骨盆深静脉和胸廓静脉到椎体内静脉丛,无静脉瓣,允许双向流动,是发生血管骨水泥渗漏的解剖学风险因素。此外,由于椎

体内的静脉压低于动脉压,骨水泥倾向于渗漏到静脉中。与椎体相比,椎体附件更小,更靠近脊髓和神经根,更容易发生骨水泥渗漏^[36]。椎体损伤或薄弱部位压力相对较低,更容易发生骨水泥渗漏^[12]。Shi 等^[6]发现,对于含有转移性肿瘤的椎骨 PVP 期间产生的椎体内压力明显高于完整椎骨。缓慢反复注射少量骨水泥可降低椎体内的压力,从而降低骨水泥渗漏到椎旁静脉中的风险。

4.5 受累椎体水平和节段数

在 Cui 等^[34]的研究中,治疗椎体水平是骨水泥渗漏的潜在危险因素。对于胸椎,特别是高位胸椎,在透视下定位解剖结构具有挑战性,针尖无法准确定位,容易发生骨水泥渗漏^[24]。在 Wang 等^[37]的研究中,由于胸椎更靠近心脏和肺,接受胸椎治疗的患者更容易发生肺骨水泥栓塞。然而,Zhu 等^[32]认为,由于胸椎的椎体体积小于腰椎,注入的骨水泥更少,发生血管骨水泥渗漏的风险较低。经治疗的椎骨节段数量越多,越容易发生骨水泥渗漏^[6,11,38]。然而,Wu 等^[30]和 Shi^[39]等认为,PKP 的有效性和安全性在每次治疗超过 3 个椎体节段的患者和每次治疗最多 3 个椎体节段的患者中相似。

4.6 既往治疗史

Corcos 等^[15]的研究表明,既往治疗史(术前放疗、消融或栓塞)是防止骨水泥渗漏的一个独立保护因素。在 Wang 等^[8]的研究中,既往放疗与减少骨水泥渗漏没有关系。然而,放射治疗、激素治疗和整体医疗状况差造成的骨丢失可导致椎体压缩性骨折^[40],这也在一定程度上增加了骨水泥渗漏的风险。

5 骨水泥渗漏的围术期相关因素

5.1 穿刺方法和入路

骨水泥注射时穿刺针定位不准确、穿刺针过大导致医源性损伤可增加骨水泥渗漏风险^[15,19]。在经椎弓根入路中,针穿过椎弓根进入椎体,可以降低骨水泥沿针迹向后渗漏的风险^[23]。Wu 等^[30]认为,单侧椎弓根入路可以降低骨水泥渗漏率。然而,Wang 等^[37]为了获得相同的稳定效果,通常通过单侧椎弓根入路注入,这比通过双椎弓根入路每侧注入更多的骨水泥量,每个穿刺通道的注射压力也可能很高,这可能会导致骨水泥渗漏。此外,Ma 等^[41]的研究表明,两种入路类型的骨水泥渗漏发生率无重要临床差异。同样,Yan 等^[42]在一项 PVP 治疗累

及椎体后部的椎体转移瘤的研究中,采用或不采用安全三角工作区入路的骨水泥渗漏无显著差异。

5.2 引导方式

PVA 引导方式的选择与椎体转移瘤的位置、可使用的影像设备以及操作者技术水平和个人偏好等相关,其中 X 线(C 形臂或 DSA)及 CT 导引最常用。在 Cui 等^[34]的研究中,术中透视的质量是决定硬膜外骨水泥渗漏发生的主要因素之一。荧光检查可提供多平面,以更大的视野实时可视化监测骨水泥的注入,预防骨水泥渗漏,但该检查软组织对比差、具有辐射暴露、上胸椎等位置显示欠佳,对穿刺技术要求较高^[43]。C 臂锥形束 CT 的优势在于辐射剂量低,可模拟实时引导,但其图像密度分辨率不如常规 CT。结合透视和锥形束 CT 有助于在确定针的位置的同时,实时评估骨水泥流向和分布。CT 断层显示结合三维重建可促进穿刺针的准确放置,并且 CT 导航系统的应用有助于提高穿刺准确性,可减少骨水泥渗漏、增加安全性^[3,24],但不能实时成像、具有较大的电离辐射。然而,CT 透视在不动床的情况下连续曝光,具有近乎实时成像的能力,可缩短操作时间,减少骨水泥渗漏,但会明显增加辐射暴露。此外,MR 具有较高的组织分辨率和多参数、多平面成像能力,无电离辐射,但不能实时成像,需要 MR 专用穿刺针等相关器材,治疗成本较高,手术时间较长,因而 MR 较少用于 PVA 引导^[43]。集多种引导方式优点为一身的复合手术室^[43]或可减少骨水泥渗漏。

5.3 技术改进及联合治疗

相关报道已经描述了一些 PVA 技术改进可以减少骨水泥渗漏,例如使用球囊导管控制骨水泥流量远离皮质缺损或使用聚醚醚酮(poly ether ether ketone, PEEK)盘绕金属植入物^[7,18]。与双侧直型 PVP 相比,单侧弯型 PVP 降低了骨水泥渗漏风险和骨水泥注入量。与 PVP(85.2%)和联合入路(69.2%)相比,接受 PKP 的患者骨水泥外渗率最低(46.9%)^[11]。PKP 可降低骨水泥渗漏的风险^[12,20,22]。与 PKP 相比,Kiva 植入物使用的水泥体积更小,渗漏率也更低^[1]。PVP 采用骨填充网袋联合后路钉棒内固定治疗胸腰椎转移瘤也可降低骨水泥渗漏风险^[44]。Yang 等^[12]发现,PVP 联合骨填充容器可降低恶性颈椎压缩性骨折骨水泥渗漏的风险。采用改进的交换技术,在重要血管周围穿刺进入颈椎椎体前,交替使用附加钝针,可以保护重要血管及减少骨水泥渗漏^[23]。通过使用术中技术辅助

工具,如基于计算机的导航和机器人技术,穿刺针放置的准确性提高,可以最大限度地减少外渗的可能性^[13,45]。Yu 等^[2]在一项 VX2 椎体转移瘤兔模型研究中发现,射频消融(radiofrequency ablation, RFA)后肿瘤边缘形成的生物膜屏障可防止 PVP 期间骨水泥渗漏入椎管。多项临床研究表明,PVP 联合射频消融、微波消融或¹²⁵I 粒子植入术等治疗椎体转移瘤等可降低骨水泥渗漏的风险^[4,9,14,23-24,37,46-50]。

5.4 其他相关因素

骨水泥渗漏与注入方法、术者的经验、患者的体位有关,采用锤击步进进针技术、温度梯度灌注技术以及二次调制封堵灌注技术,缓慢、间歇、少量、低压注射可降低骨水泥渗漏的风险^[15,51-52]。将造影剂注射到椎体内也可以预测和减少骨水泥渗漏的发生。在 Corcos 等^[15]的研究中,有经验的术者技术水平较高,皮质骨水泥渗漏较少。然而,术者的经验并不影响血管骨水泥渗漏,从而增强了这些渗漏的随机可能性^[15]。在手术过程中患者俯卧位可增加椎静脉压力及胸内压,在麻醉师的协助下提高胸腔内静脉压力可减少血管骨水泥渗漏^[13]。此外,骨水泥注入后患者保持俯卧位不动 10~20 min,有利于骨水泥的凝固以及降低骨水泥渗漏^[23]。

6 结语

PVA 在治疗椎体转移瘤中易发生骨水泥渗漏的并发症,存在诸多相关危险因素。为了增加安全性,充分的患者选择、完善的术前检查、准确的术中成像、熟练和规范的操作、PVA 的技术改进、人工智能导航以及联合消融、¹²⁵I 粒子植入术等其他治疗方法,是有效预防或减少骨水泥渗漏风险的主要要点^[5,15,17,19,51-52]。多中心、大样本、随机对照、前瞻性研究和更多的临床经验是必要的,以进一步评价新材料、新技术及 PVA 联合消融等其他治疗方法在椎体转移瘤治疗中的有效性和安全性,可以获得更多高质量数据和更高水平的证据。

[参考文献]

- [1] Lee SK, Weiss B, Yanamadala V, et al. Percutaneous interventional management of spinal metastasis [J]. Semin Intervent Radiol, 2019, 36: 249-254.
- [2] Yu Z, Tian S, Wang W, et al. Biomembrane formation after radiofrequency ablation prevents bone cement extravasation

- during percutaneous vertebroplasty for treating vertebral metastases with posterior margin destruction; an animal study [J]. *J Cancer Res Ther*, 2020, 16: 1082-1087.
- [3] Zhang HR, Xu MY, Yang XG, et al. Percutaneous vertebral augmentation procedures in the management of spinal metastases[J]. *Cancer Lett*, 2020, 475: 136-142.
- [4] Giammalva GR, Ferini G, Torregrossa F, et al. The palliative care in the metastatic spinal tumors. a systematic review on the radiotherapy and surgical perspective[J]. *Life (Basel)*, 2022, 12: 571.
- [5] 中华医学会骨科学分会骨肿瘤学组. 脊柱转移瘤外科治疗指南[J]. *中华骨科杂志*, 2019, 39: 717-726.
- [6] Shi X, Cui Y, Pan Y, et al. Prediction of early vascular cement leakage following percutaneous vertebroplasty in spine metastases: the Peking University First Hospital Score (PUFHS)[J]. *BMC Cancer*, 2021, 21: 764.
- [7] Gravel G, Roussel A, Guth A, et al. Cement leakage during vertebroplasty: comparison between intact and wall disruption in spinal metastases[J]. *Acta radiol*, 2023, 64: 1912-1918.
- [8] Wang L, Zhang C, Liang H, et al. Cement leakage in percutaneous vertebroplasty for spinal metastases: a retrospective study of risk factors and clinical outcomes[J]. *World J Surg Oncol*, 2022, 20: 112.
- [9] Cianfoni A, Massari F, Ewing S, et al. Combining percutaneous pedicular and extrapedicular access for tumor ablation in a thoracic vertebral body [J]. *Interv Neuroradiol*, 2014, 20: 603-608.
- [10] Shi X, Cui Y, Pan Y, et al. A nomogram to predict Intra-Spinal canal cement leakage among elderly patients with spine metastases: an internal-validated model[J]. *Clin Interv Aging*, 2021, 16: 1735-1746.
- [11] Jarrar S, Al Barbarawi MM, S Daoud S, et al. Cement extravasation as a complication for kyphoplasty and vertebroplasty procedure: a retrospective analysis of 171 cases [J]. *Med Glas (Zenica)*, 2024, 21: 21.
- [12] Yang X, Wu G, Sun Y, et al. Vesselplasty using the Mesh-Hold™ bone-filling container for the treatment of pathological vertebral fractures due to osteolytic metastases: a retrospective study[J]. *Eur J Radiol*, 2020, 126: 108962.
- [13] Majid KS, Faro SH. Image guided interventions of the spine [M]. Switzerland: Springer Cham, 2021: 193-194.
- [14] Liu Y, Yuan H, Milan S, et al. PVP with or without microwave ablation for the treatment of painful spinal metastases from NSCLC: a retrospective case-control study[J]. *Int J Hyperthermia*, 2023, 40: 2241687.
- [15] Corcos G, Dbjay J, Mastier C, et al. Cement leakage in percutaneous vertebroplasty for spinal metastases: a retrospective evaluation of incidence and risk factors[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39: E332-E338.
- [16] 王志龙, 林文俐, 梁逸宁, 等. 微波消融联合椎体成形术治疗脊柱转移瘤研究进展[J]. *介入放射学杂志*, 2023, 32: 404-409.
- [17] 孙 钢. 经皮椎体强化术并发症发生及对策[J]. *介入放射学杂志*, 2017, 26: 769-774.
- [18] Mattie R, Brar N, Tram JT, et al. Vertebral augmentation of cancer-related spinal compression fractures: a systematic review and meta-analysis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2021, 46: 1729-1737.
- [19] 中华医学会放射学分会介入学组. 经皮椎体成形术操作技术专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2014, 48: 6-9.
- [20] Beall D, Lorio MP, Yun BM, et al. Review of vertebral augmentation: an updated meta-analysis of the effectiveness [J]. *Int J Spine Surg*, 2018, 12: 295-321.
- [21] Zhang TY, Zhang PX, Xue F, et al. Risk factors for cement leakage and nomogram for predicting the intradiscal cement leakage after the vertebra augmented surgery [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21: 792.
- [22] Wu W, Zhang X, Li X, et al. Clinical evaluation of percutaneous kyphoplasty for the management of osteoblastic-related metastatic vertebral lesions[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29: S183-S187.
- [23] Feng L, Shen JM, Feng C, et al. Comparison of radiofrequency kyphoplasty (RFK) and balloon kyphoplasty (BKP) in the treatment of vertebral compression fractures: a meta-analysis [J]. *Medicine (Baltimore)* 2017, 96: e7150.
- [24] Wu L, Fan J, Yuan Q, et al. Computed tomography-guided microwave ablation combined with percutaneous vertebroplasty for treatment of painful high thoracic vertebral metastases[J]. *Int J Hyperthermia*, 2021, 38: 1069-1076.
- [25] Xu S, Liu T, Zhang X, et al. Efficacy of percutaneous vertebroplasty for the relief of osteoblastic spinal metastasis pain[J]. *Exp Ther Med*, 2021, 22: 727.
- [26] Barragan-Campos HM, Vallee JN, Lo D, et al. Percutaneous vertebroplasty for spinal metastases: complications [J]. *Radiology*, 2006, 238: 354-362.
- [27] Dargelos-Descoubes M, Martin F, Frampas E, et al. Progression toward vertebral collapse of vertebral metastases treated with percutaneous vertebroplasty: rate and risk factors [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2024, 35: 59-68.
- [28] Shi X, Cui Y, Pan Y, et al. Epidemiology and detection of cement leakage in patients with spine metastases treated with percutaneous vertebroplasty: a 10-year observational study [J]. *J Bone Oncol*, 2021, 28: 100365.
- [29] 高剑峰, 沈文东, 张军强, 等. 经皮椎体后凸成形术后骨水泥椎间隙渗漏与渗漏椎间盘高度的相关性[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2021, 14: 181-185, 190.
- [30] Wu W, Zhang X, Li X, et al. Clinical analysis of percutaneous kyphoplasty for spinal metastases in older adults with comorbidities[J]. *J Geriatr Oncol*, 2023, 14: 101410.
- [31] Kim SH, Lee JJ, Noh SH, et al. Unsubtracted roadmap technique for preventing cement leakage during percutaneous vertebroplasty: a retrospective cohort study [J]. *World Neurosurg*, 2023, 173: e140-e147.
- [32] Zhu SY, Zhong ZM, Wu Q, et al. Risk factors for bone cement leakage in percutaneous vertebroplasty: a retrospective study

- of four hundred and eighty five patients[J]. *Int Orthop*, 2016, 40:1205-1210.
- [33] Wu W, Zhang X, Li X, et al. The influence of diverse bone cement distribution patterns for metastatic vertebral lesions after bilateral percutaneous kyphoplasty[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23:713.
- [34] Cui Y, Pan Y, Lin Y, et al. Risk factors for predicting cement leakage in percutaneous vertebroplasty for spinal metastases [J]. *J Orthop Sci*, 2022, 27:79-83.
- [35] Zhan Y, Jiang J, Liao H, et al. Risk factors for cement leakage after vertebroplasty or kyphoplasty: a meta-analysis of published evidence[J]. *World Neurosurg*, 2017, 101:633-642.
- [36] Hu H, Xu L, Guo X, et al. CT-guided percutaneous microwave ablation combined with bone cement injection for the treatment of transverse metastases; a case report [J]. *Open Med (Wars)*, 2023, 18:20230753.
- [37] Wang L, Lu M, Zhang X, et al. Risk factors for pulmonary cement embolism after percutaneous vertebroplasty and radiofrequency ablation for spinal metastases[J]. *Front Oncol*, 2023, 13:1129658.
- [38] Clarencon F, Fahed R, Cormier E, et al. Safety and effectiveness of cervical vertebroplasty: report of a large cohort and systematic review[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30:1571-1583.
- [39] Shi G, Feng F, Chen H, et al. Multilevel percutaneous kyphoplasty in painful osteolytic vertebral metastases; a study of the efficacy and safety[J]. *J Pain Res*, 2019, 12:1053-1060.
- [40] Waltenberger M, Strick C, Vogel MME, et al. SBRT of spinal metastases using a simultaneous integrated boost concept in oligometastatic cancer patients is safe and effective [J]. *Cancers (Basel)*, 2023, 15:5813.
- [41] Ma X, Sun H, Liu S, et al. Cement leakage in vertebral compression fractures between unilateral and bilateral percutaneous vertebral augmentation: a meta-analysis [J]. *Turk Neurosurg*, 2022:883-892.
- [42] Yan BC, Fan YF, Tian QH, et al. Efficacy and safety of the safe triangular working zone approach in percutaneous vertebroplasty for spinal metastasis [J]. *Korean J Radiol*, 2022, 23:901-910.
- [43] 金光鑫, 代孟君, 仇晓霞, 等. 开放式 MR 引导下经皮椎体成形术在椎体转移瘤治疗中的应用研究[J]. *介入放射学杂志*, 2019, 28:1071-1075.
- [44] Zhu Q, Qiao Y, Li T, et al. Study on the clinical efficacy of bone-filled mesh vertebroplasty combined with posterior screw and rod internal fixation in the treatment of thoracolumbar metastases; a retrospective cohort study[J]. *Ann Palliat Med*, 2022, 11:1401-1409.
- [45] 马秀才, 马晓燕, 罗国栋, 等. 骨科机器人辅助下经皮微波消融联合椎体成形术治疗脊柱转移瘤应用探讨[J]. *中华转移性肿瘤杂志*, 2022, 05:229-234.
- [46] Tian Q, Han K, Wang T, et al. Percutaneous sacroplasty with or without radiofrequency ablation for treatment of painful sacral metastases [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2022, 43:1222-1227.
- [47] Senol N, Oguzoglu AS, Goksel HM. Radiofrequency ablation and augmentation in the management of spinal metastases: clinical experience in 41 patients[J]. *World Neurosurg*, 2022, 163:e420-e425.
- [48] Wang F, Gu J, Xu C, et al. The combination of radiofrequency ablation and vertebroplasty shows advantages over single vertebroplasty in treating vertebral neoplastic lesions [J]. *Skeletal Radiol*, 2022, 51:565-571.
- [49] 王志龙, 林文俐, 赵建强, 等. CT 引导下微波消融联合经皮椎体成形术治疗脊柱转移瘤的安全性及有效性[J]. *介入放射学杂志*, 2023, 32:446-450.
- [50] 肖全平, 魏乐群, 牛焕章. 经皮椎体成形术联合¹²⁵I 粒子组织间置入术治疗伴后缘破坏的椎体转移瘤[J]. *介入放射学杂志*, 2023, 32:866-870.
- [51] 毛海青, 周非非, 蔡思逸, 等. 椎体成形术和椎体后凸成形术加速康复实施流程专家共识[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2019, 12:561-571.
- [52] 杨惠林, 刘 强, 唐 海. 经皮椎体后凸成形术的规范化操作及相关问题的专家共识[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98:808-812.

(收稿日期:2024-01-25)

(本文编辑:茹 实)