

# 分离手术联合立体定位放疗治疗脊柱转移性肿瘤的研究进展

Research progress on the treatment of spinal metastatic tumors using separation surgery combined with stereotactic radiotherapy

易寒<sup>1</sup>, 张森林<sup>1</sup>, 张伟<sup>2</sup>  $\Delta$

YI Han, ZHANG Sen-lin, ZHANG Wei

1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054; 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)骨科, 四川 成都 610072

**【摘要】** 随着多学科治疗模式以及相关技术的发展, 晚期癌症患者的预期寿命得到了延长。脊柱转移是晚期肿瘤常见的转移方式之一, 转移性硬膜外脊髓压迫引起脊髓受压和椎体压缩性骨折, 往往导致患者生活质量和身体功能明显下降。相比于传统治疗方式, 脊柱肿瘤的分离手术联合立体定位放疗创伤更小, 可获得更为理想的局部控制效果。

**【关键词】** 分离手术; 脊柱转移瘤; 立体定位放疗

**【中图分类号】** R687.3

**【文献标志码】** B

**【文章编号】** 1672-6170(2025)01-0164-06

恶性肿瘤转移最常见的前 3 个转移部位分别是肺、肝脏和骨骼, 大约有 10% 的成年癌症患者伴有脊柱转移, 而乳腺癌、甲状腺癌和肺癌等原发性恶性肿瘤患者约半数以上的转移灶位于脊柱。转移性硬膜外脊髓压迫 (metastatic epidural spinal cord compression, MESCC) 是脊柱转移瘤最严重的并发症之一, 甚至有 20% 的患者以硬膜外脊髓压迫 (epidural spinal cord compression, MSCC) 表现为首

要症状。其症状主要表现为进行性疼痛、病理性骨折、瘫痪、感觉丧失和括约肌功能障碍等, 极大降低了患者的生活质量和生存预期。对于此类患者现主张多学科结合治疗, 大致可分为全身治疗和局部治疗两大类。全身治疗包括镇痛药物治疗、激素治疗、化疗、免疫和靶向药物治疗等, 局部治疗包括放疗、手术等。现有的手术方式主要有: 全椎体整块切除术 (total en Bloc spondylectomy, TES)、内固定

- [2] Cao W, Chen HD, Yu YW, et al. Changing profiles of cancer burden worldwide and in China: a secondary analysis of the global cancer statistics 2020[J]. Chin Med J, 2022, 97(7):783-791.
- [3] Mattiuzzi C, Lippi G. Cancer burden in China[J]. Epidemiol Glob Health, 2019, 9(4):1-11.
- [4] 董明, 王莹. 右美托咪定对老年患者疼痛、负性情绪及生活质量的影响[J]. 中华全科医学杂志, 2022, 36(9):698-701.
- [5] 汤巧云, 杨培培, 吴元新. 羟考酮联合不同给药途径吗啡应用对晚期癌痛患者的镇痛效果观察[J]. 中国肿瘤临床与康复, 2022, 29(2):171-174.
- [6] 李荣华, 蒋蕴智, 蒋晨浩, 等. 射频神经阻滞在髋部骨折手术麻醉体位摆放过程中镇痛效果的临床研究[J]. 上海中医药杂志, 2022, 56(6):59-62.
- [7] 倪卫民, 段力. 针灸辅助三级阶梯止痛治疗癌性疼痛效果及对生活质量的影响[J]. 现代中西医结合杂志, 2020, 29(27):3008-3012.
- [8] 许庆梅. 射频神经阻滞治疗颈部肌筋膜触发点引起头痛的临床观察[J]. 新疆中医药, 2023, 41(2):7-9.
- [9] 安徽省肿瘤质量控制中心癌痛专家组. 安徽省癌性疼痛诊疗专家共识(2019年版)[J]. 安徽医药, 2020, 24(5):1041-1047.
- [10] 杜莉, 许远, 张炼, 等. 自拟癌痛止痛贴膏联合盐酸羟考酮治疗难治性癌性疼痛的效果观察[J]. 中华全科医学, 2022, 20(7):1094-1097, 1121.
- [11] 李倩瑜, 吴安石, 陈磊, 等. 射频神经阻滞与髂筋膜间隙阻滞在老年

- 股骨颈骨折内固定术摆放体位时的镇痛效果比较[J]. 北京医学, 2022, 44(11):1040-1042.
- [12] 孙杨, 周群, 肖靖远, 等. 射频神经阻滞对妇科腹腔镜手术患者术后内脏痛的影响及机制研究[J]. 江西医药, 2022, 57(6):584-586.
- [13] 吴燕彬. 盐酸羟考酮缓释片治疗晚期恶性肿瘤中重度疼痛患者的效果[J]. 中外医学研究, 2022, 20(10):52-55.
- [14] 吴建丽, 程彩红, 覃迅云. 针刺治疗癌痛的研究现状与展望[J]. 中国中医急症, 2024, 33(8):1492-1495.
- [15] 林蕙泽, 闫文茜, 张萍萍, 等. 针灸治疗慢性非特异性腰痛随机对照试验结局指标的现状研究[J]. 中国全科医学, 2023, 26(9):1053-1063.
- [16] 蒲瑞生, 方晓丽, 顾旺军, 等. 射频神经阻滞时效特性及对单胺类神经递质影响的实验研究[J]. 针灸推拿医学:英文版, 2018, 16(4):229-235.
- [17] 王永洲. 射频神经阻滞[M]. 北京:人民卫生出版社, 2017.
- [18] 刘国胜, 李宁, 孟瑞霞, 等. 射频神经阻滞对腰椎融合术后患者的镇痛效应:随机对照试验[J]. 中国针灸, 2023, 43(7):743-746.
- [19] 白贺霞, 高洁, 杨亮, 等. 射频神经阻滞治疗布鲁菌性骨关节炎的临床及机制研究[J]. 中医外治杂志, 2023, 32(2):90-92.
- [20] 许琦琦, 李登科, 张先龙, 等. 射频神经阻滞对桡骨骨折患者术前疼痛的影响[J]. 实用临床医药杂志, 2022, 26(12):19-22.

(收稿日期:2024-07-12;修回日期:2024-10-16)

(本文编辑:侯晓林)

融合术、椎板切除减压术、椎体成形术等。随着新的放疗技术——立体定位放疗的问世,分离手术应运而生,分离手术联合立体定位放疗也得到越来越多的关注。本文旨在总结分离手术联合立体定位放疗治疗脊柱转移性肿瘤的相关研究进展,为临床工作提供相关参考。

## 1 分离手术

**1.1 发展历程** 放射治疗在临床普及之前,后入路椎板切除减压术是 MESCC 患者的主要治疗手段。随着 20 世纪 50 年代脊柱放射治疗的引入,有相关研究显示,与单纯放疗相比,减压术并没有表现出更好的临床疗效,因此当时手术治疗在脊柱转移瘤中的应用相对较少<sup>[1]</sup>。20 世纪 80 年代,直接减压术联合术中脊柱重建改变了手术治疗的地位。手术治疗能够提高脊柱的稳定性,改善神经症状。当时的一些研究和荟萃分析显示,无论术后是否进行放疗,直接减压手术都优于单纯放疗<sup>[2]</sup>。直到 20 世纪 90 年代,主要手术方法仍然是简单的后路减压和双侧椎板切除术。2005 年 Patchell 等<sup>[3]</sup>进行了一项前瞻性随机试验,他们报告显示,与只行单纯放疗治疗的患者相比,手术减压后联合放疗治疗的患者在总体活动度、活动能力维持度、活动能力恢复度、肠道和膀胱恢复和生存率方面明显均优于单纯放疗的患者。基于这些数据和专家意见,脊柱肿瘤学研究小组发表了建议,恶性肿瘤导致的高度脊髓压迫患者应先进行手术减压,然后再进行放射治疗<sup>[4]</sup>。然而,传统放疗仅能实现局部控制,有着较高的局部控制率,且其副作用小,无全身性,放射线不能集中于肿瘤,随着技术的进步,立体定位放疗(stereotactic body radiotherapy, SBRT)技术越来越多地被应用于临床。SBRT 专用的立体定位装置,联合 MRI 及 CT 定位,可以将高剂量放射线聚焦在目标靶点,在病变周围有约为每毫米 10% 剂量衰减梯度,从而可以最大限度地减少对周围关键结构和正常组织的辐射<sup>[5]</sup>,此外,SRS 对放疗不敏感的肿瘤也有着较高的局部控制率。SRS 的推行为分离手术的出现奠定了基础。2010 年, Molding 等<sup>[6]</sup>首次将术后放疗应用于 21 例行手术减压和内固定的脊柱转移肿瘤患者。2013 年 Laufer 等<sup>[7]</sup>对 186 例脊髓转移肿瘤患者应用硬膜外肿瘤环形减压并联合术后放疗,首次提出了“分离手术(separation surgery, SS)”的概念。分离手术联合立体定位放疗使得脊柱转移瘤的治疗方式发生了根本性的改变,

手术的重点转变为脊髓减压以及分离硬脊膜与肿瘤组织,为放射提供安全的靶点,而不需要过多的切除病变椎体以及肿瘤组织。

**1.2 手术指征** 在治疗之前,需要对患者进行细致而精确的评估,从而个性化地为患者制定治疗方案。目前常用 NOMS (neurologic, oncologic, mechanical, and systemic) 评估系统来对脊柱转移瘤患者进行全面的评价,脊髓受压程度(epidural spinal cord compression, ESCC) 分级<sup>[7]</sup>则可用于评估患者硬膜或脊髓的受压程度。NOMS 从四方面对患者进行评估,包括神经功能、肿瘤学特征、稳定性和全身情况。神经功能主要评估患者的脊髓及神经根的受压程度,肿瘤学特征指肿瘤对放射治疗敏感性,稳定性可通过肿瘤性脊柱不稳评分系统来进行评估,评分在 13~18 分的患者应该进行手术固定<sup>[8]</sup>,全身情况是评估患者对手术的耐受能力。根据 NOMS 评估系统<sup>[7]</sup>,对放疗敏感的肿瘤(所有 ESCC 级别)应采用传统常规放疗,对低级别 ESCC (1 级)和对放疗不敏感的肿瘤应采用立体定位放疗,对高级别 ESCC (2 级和 3 级)和对放疗不敏感的肿瘤类型应采用分离手术联合立体定位放疗。对于全身状况不能耐受手术的患者,也应行常规放疗。根据核磁共振轴位片 T2 加权像上脊髓受压的程度,ESCC 分级可以分为 4 级。0 级是指肿瘤局限于椎体内,没有侵入椎管内;1 级指肿瘤侵入椎管内,但脊髓未受压(1a 级:接触硬膜但硬膜未变形,1b 级:肿瘤接触硬膜但未接触脊髓,1c 级:肿瘤接触脊髓但无压迫),2 级:肿瘤侵入椎管压迫脊髓,但仍可见脑脊液信号,3 级:肿瘤侵入椎管压迫脊髓,同时见脑脊液信号中断。ESCC 分级达到 2 级、3 级的患者,可认为脊髓高度受压,若同时合并有对传统放疗中度敏感或不敏感,则可考虑行分离手术。此外,目前基于 ESCC 的手术指南建议对预期寿命小于 6 个月的患者进行保守治疗,而预期寿命在 6 个月至 1 年之间的患者建议接受姑息性手术<sup>[9]</sup>。

**1.3 手术过程** 通过术前 MRI 确定肿瘤的总容积,包括侵占椎体内、硬膜外和棘旁等的部分。再利用术后 CT 作为指导,计划后续 SRS 的治疗量,并确定硬脊膜边缘位置。术中患者采取俯卧位,C 臂定位后常规消毒和铺巾,全麻插管后开始手术。以病变椎体为中心,在其临近的上下至少两个节段行椎弓根螺钉内固定术,安装一侧连接杆以维持脊柱的稳定性。随后切除上位椎体部分椎板及下关节突,切除受压节段的椎板、关节突关节及部分椎弓根、黄韧带,显露硬脊膜。彻底清除硬膜腹侧突入椎管内的肿瘤,刮除椎体内的肿瘤组织,使得脊髓

【基金项目】国家自然科学基金资助项目(编号:82372021)

△通讯作者

与肿瘤之间形成一个 5 ~ 8 mm 的间隙,实现硬膜 360° 环形减压分离。关于手术减压的范围,应至少超过肿瘤侵犯的椎体上下一个间隙平面。在常规情况下,减压范围应适当扩展至肿瘤侵及的上位椎体下方半部分以及侵及的下位椎体上方半部分的全椎板范围。分离硬脊膜时,应该注意保护相应节段神经根,尽量减少术后脑脊液漏等并发症。椎体切除小于 50% 时,仅需行单纯后路重建。当椎体切除超过 50% 时,可能需要大量同种自体骨、钛网或骨水泥进行重建。术中要遵循外科无瘤原则,这样可以最大限度地减少肿瘤污染,降低局部复发的概率,术中也可用氟尿嘧啶、顺铂等抗癌药物对术野和手术器械进行冲洗<sup>[10]</sup>。最后进行 C 臂透视,确定内固定位置满意后,冲洗手术区域并逐层关闭切口。利用术后 CT 规划 SRS 的治疗剂量,并确定硬脊膜的边界,术后的 2 ~ 4 周,患者便可以开始立体定向放疗。

## 2 立体定向放疗

几十年来,手术减压后常规外束放射治疗(external beam radiation therapy, EBRT)一直是脊柱转移性肿瘤的主要治疗手段。它采用简单的光束排列,将辐射输送到病变椎体。在对放射源敏感的情况下,EBRT 可以使局部肿瘤获得较为有效的控制。但脱靶的能量会影响脊髓和邻近的关键结构,这限制了常规放疗所能输送的能量,因此 1 年的局部复发率接近 70%。研究报告<sup>[5]</sup>显示,影像学检查结果,术后常规 EBRT 的长期生存率<sup>[5]</sup>。在将 SRS 纳入治疗模式之后,EBRT 是一种非常积极的手术方法来实现,但术后辅助治疗 EBRT 常难以达到理想的控制效果。这些手术通常涉及前入路经腹、后入路、多节段椎体切除术、广泛的胸壁切除术等,手术时间长,术后恢复时间也较长。随着 SRS 的出现和不断发展,各类放疗技术越来越多地应用于脊柱转移瘤的治疗,而开放手术应用程度有所下降。SRS 作为术后辅助治疗的整合促进了分离手术的发展,手术的目的由尽可能多地切除肿瘤侵犯的椎体,转变为通过分离脊髓、神经根和肿瘤,为术后放疗提供安全空间。

SRS 在病变部位与健康组织之间会有剂量衰减梯度,因此 SRS 可以在安全的剂量下使椎体肿瘤的放疗剂量最大化,这一点也是立体定向放疗与传统放疗的最大区别。SRS 的剂量方案有单次的也有多次的,主要分为三种:20 ~ 24 Gy/1 f、24 ~ 27 Gy/2 ~ 3 f 或 30 ~ 40 Gy/5 ~ 6 f<sup>[11]</sup>。具体方案根据是否有

放疗史、肿瘤学特征、ESCC 分级、受累节段数等不同而有所不同。一般对于 ESCC 分级 1a、1 ~ 2 个椎体受累的患者可行单次 24 Gy 放疗。对有放疗史、ESCC 分级 1b 以上、肿瘤累及 2 个椎体以上节段的患者使用高分次剂量,剩余其他情况则采用单次大剂量。单次大剂量放疗的剂量根据周围正常组织所能承受最大放射剂量不同而不同,脊髓的最大安全剂量为 14 Gy,食管为 14.5 Gy,马尾神经为 16 Gy。SRS 还可以对多处肿瘤同时进行 6 ~ 30 Gy 分 1 ~ 5 次集中放疗,可以缩短治疗总疗程。一般术后 1 ~ 3 周可行 SRS 治疗。

## 3 临床疗效

分离手术联合立体定向放疗治疗脊柱转移性肿瘤的目标主要有 4 个方面:①硬膜或脊髓减压以改善或维持神经功能;②提供牢固的脊柱稳定性;③实现长效持久的局部肿瘤控制;④减少治疗相关的并发症。其临床疗效受放射剂量和残余肿瘤到脊髓的最小距离影响。总生存率与多种因素有关,如术前神经功能缺损、Karnofsky 评分、术前及术后并发症、进行性全身性疾病、SRS 疗程间隔时间、SRS 后的治疗以及 SRS 后肿瘤的局部进展等。肿瘤的组织学特征和放疗不敏感性不再是需要考虑的关键影响因素,术前硬膜外压迫程度、性别、ESCC 分级或手术减压程度也与疗效没有显著相关性<sup>[12,13]</sup>。大量研究表明,减压手术联合术后 SRS 可以取得良好的临床疗效,局部控制率在 70% ~ 100%<sup>[14,15]</sup>。

redmond 等<sup>[16]</sup>前瞻性地研究了减压手术联合术后 SRS 治疗脊柱转移性肿瘤的疗效,研究共纳入 35 例患者。结果显示,与传统放疗相比,SRS 具有更高的局部控制率,1 年后的影像学 and 症状相关性局部控制率为 90%。Gong 等<sup>[17]</sup>的研究评估了在分离手术联合术后 SRS 的治疗中,不同的肿瘤切除程度对患者的预后和临床疗效的影响。研究结果显示,术后残留的肿瘤要与脊髓之间最少要达到 3 mm 的距离才能获得可靠的局部控制效果。Liu 等<sup>[18]</sup>回顾性分析了 52 例行分离手术联合 SRS 的脊柱转移性治疗患者的临床数据。结果显示,在分离手术后,有 46 例患者(88.5%)疼痛得到了缓解,术后的 Frankel 分级和 KPS 与术前相比均得到了显著改善。该研究的平均随访时间为(26.3 ± 18.1)个月,其中 15 例患者因原发肿瘤的恶化而死亡,术后有 13 例患者接受了 SRS,平均 VAS 评分降至(1.64 ± 0.41)分,较术前有显著改善。行分离手术联合 SRS 治疗的患者的中位生存时间为 38 个月,而没有行 SRS

治疗的患者为 21 个月。Vega 等<sup>[19]</sup>与 Echt 等<sup>[20]</sup>比较了分离手术与传统手术的临床疗效,结果显示,相比于传统手术,分离手术具有更好的临床效果,失血量更少(340.1 ml vs 714.3 ml)、(430 ml vs 783 ml),卧床时间更短(2.0 d vs 3.6 d),但两者局部复发率相似。Mariano 等<sup>[21]</sup>的研究纳入了 21 例行 SRS 治疗的脊柱转移性患者患者,随访时间为 4~41 个月,平均剂量为(16.6±3.9) Gy。结果显示,治疗后的中位总生存期为 16 个月,中位无进展生存期为 13 个月。局部控制率分别为 6 个月时的 46%、8 个月时的 30% 和 10 个月时的 15%。疼痛缓解平均发生时间为 4.9 天。其中 1 例患者(5%)发生了术后椎体压缩性骨折。Zhu 等<sup>[22]</sup>回顾性分析了 154 例接受了分离手术的脊柱转移瘤患者的临床资料,其中 49 例为小切口微创术式,105 例传统开放术式,结果显示微创组平均术中出血量低于传统开放组,微创组术后引流明显少于开放组,微创组并发症发生率较开放组低,微创组平均住院时间显著短于传统开放组。Harel 等<sup>[23]</sup>对 59 例连续患者(81 个转移性放射中心)的前瞻性数据进行了回顾性分析,平均治疗剂量为 13.96 Gy,中位随访时间为 10.8 个月,结果显示局部控制率分别为 95% 和 98%。Fabio 等<sup>[24]</sup>对 9 例患者进行了 3D 内镜辅助下经椎弓根胸椎体切除手术,术后影像表明,所有病例中肿瘤与脊髓分离良好,术后轴向疼痛和神经功能都得到改善,手术过程及术后均未发生并发症。平均术后住院时间为 10.5 天。一次随访中未发现局部复发。Zhang 等<sup>[25]</sup>比较了分离手术联合 SRS 治疗脊柱转移性肿瘤的临床疗效,研究共纳入 33 例患者,与接受传统手术后的常规 EBRT 相比,SRS 更具优势,所有的患者解除了压迫,12 个月的局部控制率为 87%。Redmond 等<sup>[26]</sup>的关于术后联合 SRS 治疗脊柱转移性肿瘤的 2 期临床试验的研究结果显示,35 例患者在 SRS 后 12 个月的局部控制率超过了 90%。

#### 4 术后并发症

分离手术的术后并发症有:脊髓或神经根损伤、疼痛不缓解甚至加剧、截瘫、脑脊液漏、放射治疗的并发症包括有白细胞减少、影响伤口愈合、放射性脊髓病、放射线诱发肿瘤、影响植骨融合等。众多研究结果表明,分离手术具有与其他手术方式相似或更好的安全性。Xu 等<sup>[27]</sup>报道了 55 例接受分离手术治疗的患者。与椎体切除术相比,接受分离手术的患者出血量更少,并发症发生率更低,手术时间也更短。Bate 等<sup>[28]</sup>的研究包括了 57 例行

SRS 的脊柱转移瘤患者(其中 48 个病变仅接受 SRS,21 个病变接受分离手术与 SRS 的联合治疗)。手术后有 5 例患者发生骨折,均来自单纯 SRS 组,其中 4 例接受分次放疗,其余接受单次放疗,所有病例都没有出现放射性脊髓损伤的症状。Amankulor 等<sup>[29]</sup>对进行分离手术的 318 例脊柱转移瘤患者进行了统计分析,手术包括后外侧减压和仅后路椎弓根螺钉内固定。术后有 9 例患者出现了螺钉固定失败的情况。此外,他们还观察到与男性相比,女性手术失败的风险更高。Zhu 等<sup>[22]</sup>报道了 49 例行小切口微创分离手术和 105 例传统开放分离手术,微创组围手术期并发症发生率为 6.12%,传统开放组为 9.52%。硬脑膜撕裂和手术切口感染是两组最常见的并发症。微创组有 1 例(2.04%)出现硬膜撕裂,传统开放组有 2 例(1.90%)。微创组仅 1 例(2.04%)发生手术切口感染,而传统开放组有 6 例(5.71%)发生手术切口感染。Vargas 等<sup>[30]</sup>比较了行手术治疗并接受术前放疗、术后放疗或未接受放疗的脊柱转移瘤患者的伤口并发症发生率。研究共纳入 205 例患者,其中 70 例患者术前接受放疗,74 例患者术后 6 个月内接受放疗,61 例患者未接受放疗。结果显示,3 个组的伤口并发症发生率相似。

#### 5 总结与展望

立体定向放射疗法的问世为脊柱转移性肿瘤的治疗方式带来了革命性的变化,不再需要整块切除病变椎体,而只需将部分肿瘤和病变组织,将肿瘤与脊髓分离开合适的距离,术后可以安全实施 SRS。分离手术联合立体定位疗法的优势在于通过结合微创手术与高精度放疗,更加精确、全面、微创、高效地治疗脊柱转移性肿瘤。这一组合疗法能够最大程度的消除肿瘤,获得长期有效的局部控制,同时也能最大限度地保护周围的正常组织,维持脊柱稳定,减少手术创伤。然而,病人的具体情况、肿瘤的性质、分期和医师的临床经验不同,不同患者的治疗方式和方案各不相同。在目前脊柱转移性肿瘤综合治疗方面,分离手术联合立体定位能够取得令人满意的结构,随着各种放射治疗技术与微创手术方式的不断成熟,相信微创手术联合术后精准放疗会是未来治疗脊柱转移性肿瘤的重要方式。

#### 【参考文献】

- [1] Sørensen S, Børgesen SE, Rohde K, et al. Metastatic epidural spinal cord compression. Results of treatment and survival [J]. Cancer, 1990, 65(7):1502-1508.

- [2] Klimo P, Thompson CJ, Kestle JR, et al. A meta-analysis of surgery versus conventional radiotherapy for the treatment of metastatic spinal epidural disease[J]. *Neuro Oncol*,2005,7(1):64-76.
- [3] Patchell RA, Tibbs PA, Regine WF, et al. Direct decompressive surgical resection in the treatment of spinal cord compression caused by metastatic cancer: a randomised trial [J]. *Lancet*,2005,366(9486):643-638.
- [4] Bilsky MH, Laufer I, Burch S. Shifting paradigms in the treatment of metastatic spine disease [J]. *Spine*, 2009, 34(22 Suppl): S101-107.
- [5] Sprave T, Verma V, Förster R, et al. Randomized phase II trial evaluating pain response in patients with spinal metastases following stereotactic body radiotherapy versus three-dimensional conformal radiotherapy[J]. *Radiother Oncol*,2018,128(2):274-282.
- [6] Moulding HD, Elder JB, Lis E, et al. Local disease control after decompressive surgery and adjuvant high-dose single-fraction radiosurgery for spine metastases[J]. *J Neurosurg Spine*,2010,13(1):87-93.
- [7] Laufer I, Iorgulescu JB, Chapman T, et al. Local disease control for spinal metastases following "separation surgery" and adjuvant hypofractionated or high-dose single-fraction stereotactic radiosurgery: outcome analysis in 186 patients[J]. *J Neurosurg Spine*,2013,18(3):207-214.
- [8] Fisher CG, DiPaola CP, Ryken TC, et al. A novel classification system for spinal instability in neoplastic disease: an evidence-based approach and expert consensus from the Spine Oncology Study Group [J]. *Spine*,2010,35(22):E1221-1229.
- [9] Kaloostian PE, Yurter A, Zadnik PL, et al. Current paradigms for metastatic spinal disease: an evidence-based review [J]. *Ann Surg Oncol*,2014,21(1):248-262.
- [10] 林红,梁运,董健. 脊柱转移性肿瘤的治疗策略[J]. *中国脊柱脊髓杂志*,2023,33(4):37-40.
- [11] 姜旭东,姜亮,庄洪卿. 分离手术在脊柱转移性肿瘤治疗中的临床应用进展[J]. *中华骨科杂志*,2023,43(1):40-44.
- [12] Yamada Y, Katsoulakis E, et al. Effect of histology and delivered dose on local control of spine metastases treated with stereotactic radiosurgery[J]. *Neurosurg Focus*,2017,42(1):E6.
- [13] Roth SG, Chambless LB. Editorial. Assessing treatment response following stereotactic body radiotherapy for spinal metastases [J]. *Neurosurg Focus*,2022,53(5):E11.
- [14] Tseng CL, Soliman H, Myrehaug S, et al. Imaging-Based Outcomes for 24 Gy in 2 Daily Fractions for Patients with de Novo Spinal Metastases Treated With Spine Stereotactic Body Radiation Therapy (SRS)[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*,2018,102(3):499-507.
- [15] Fuentes Caparrós S, Rodríguez de Tembleque Aguilar F, Marín Luján MÁ, et al. Preoperative assessment and surgical indications: Separation surgery [J]. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*, 2023, 20(23):113.
- [16] Redmond KJ, Sciubba D, Khan M, et al. A Phase 2 Study of Post-Operative Stereotactic Body Radiation Therapy (SRS) for Solid Tumor Spine Metastases[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*,2020,106(2):261-268.
- [17] Gong Y, Hu J, Jiang L, et al. What Predicts the Prognosis of Spinal Metastases in Separation Surgery Procedures [J]. *World Neurosurg*,2021,146:e714-e723.
- [18] Xiaozhou L, Xing Z, Xin S, et al. Efficacy Analysis of Separation Surgery Combined with SRS for Spinal Metastases-A Long-Term Follow-Up Study Based on Patients with Spinal Metastatic Tumor in a Single-Center[J]. *Orthop Surg*,2020,12(2):404-420.
- [19] Vega RA, Traylor JJ, Habib A, et al. Minimally Invasive Separation Surgery for Metastases in the Vertebral Column: A Technical Report [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*,2020,16(6):606-613.
- [20] Echt M, Stock A, De la Garza Ramos R, et al. Separation surgery for metastatic epidural spinal cord compression: comparison of a minimally invasive versus open approach [J]. *Neurosurg Focus*, 2021,50(5):E10.
- [21] Mariano JM, Torio EF, Santos MS, et al. Stereotactic radiosurgery and stereotactic fractionated radiotherapy for metastatic tumors of the spine[J]. *Neurol Res*,2017,39(4):298-304.
- [22] Zhu X, Lu X, Xu H, et al. A Comparative Study Between Minimally Invasive Spine Surgery and Traditional Open Surgery for Patients With Spinal Metastasis[J]. *Spine*,2021,46(1):62-68.
- [23] Hual R, Kaisin-Ellbaz T, Emch T, et al. A quantitative and comparative evaluation of stereotactic spine radiosurgery local control: proposing a consistent measurement methodology [J]. *Neurosurg Focus*,2022,53(5):E10.
- [24] Celano F, Di Perma G, Marengo N, et al. Transpedicular 3D endoscope-assisted thoracic corpectomy for separation surgery in spinal metastases: feasibility of the technique and preliminary results of a promising experience [J]. *Neurosurg Rev*,2020,43(1):351-360.
- [25] Ito K, Sugita S, Nakajima Y, et al. Phase 2 Clinical Trial of Separation Surgery Followed by Stereotactic Body Radiation Therapy for Metastatic Epidural Spinal Cord Compression [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2022,112(1):106-113.
- [26] Redmond KJ, Sciubba D, Khan M, et al. A Phase 2 Study of Post-Operative Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) for Solid Tumor Spine Metastases [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*,2020,106(2):261-268.
- [27] Xu L, Huang W, Cai W, et al. Comparison of Surgical Outcomes Between Separation Surgery and Piecemeal Spondylectomy for Spinal Metastasis: A Retrospective Analysis [J]. *Front Surg*, 2021, 8:686930.
- [28] Bate BG, Khan NR, Kimball BY, et al. Stereotactic radiosurgery for spinal metastases with or without separation surgery [J]. *J Neurosurg Spine*,2015,22(4):409-415.
- [29] Amankulor NM, Xu R, Iorgulescu JB, et al. The incidence and patterns of hardware failure after separation surgery in patients with spinal metastatic tumors [J]. *Spine J*,2014,14(9):1850-1859.
- [30] Vargas E, Mummaneni PV, Rivera J, et al. Wound complications in metastatic spine tumor patients with and without preoperative radiation [J]. *J Neurosurg Spine*,2022,38(2):265-270.

(收稿日期:2023-11-01;修回日期:2024-02-20)

(本文编辑:林 贇)