

3D 打印个体化人工椎体在胸腰椎肿瘤整块切除重建中的应用

胡译丹¹, 唐六一², 俞 阳², 林 书²

1. 重庆医科大学临床医学院, 重庆 400016; 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】 目的 评估 3D 个体化人工椎体的临床应用价值, 并与传统钛笼比较在胸腰椎肿瘤整块切除重建中的临床效果。**方法** 回顾性收集 47 例胸腰椎肿瘤患者, 其中 25 例接受 3D 打印个体化人工椎体支撑螺钉固定, 22 例接受传统钛笼支撑螺钉固定。比较两组临床指标、疼痛评估指标、术后功能评估指标以及影像学结果。**结果** 3D 打印组的手术时间、住院时间和下地活动时间明显短于钛笼组($P<0.05$); 术后 7 天、术后 1 个月及末次随访, 3D 打印组的 VAS 评分和 JOA 评分明显优于钛笼组($P<0.05$)。3D 打印组假体下沉 4 例, 钛笼组下沉 17 例, 两组比较差异有统计学意义($P<0.001$)。**结论** 相比传统钛笼, 3D 打印个体化人工椎体可以明显减少术后假体沉降, 明显缩短手术时间、住院时间和下床活动时间, 改善患者术后功能评分。

【关键词】 3D 打印; 人工椎体; 胸腰椎; 肿瘤; 整块切除

【中图分类号】 R459.9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2025)03-0053-05

Application of 3D printed individualized artificial vertebral body in en bloc resection and reconstruction of thoracolumbar tumors HU Yi-dan¹, TANG Liu-yi^{1,2}, YU Yang², LIN Shu² 1. School of Clinical Medicine, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China; 2. Department of Orthopedics, Sichuan Academy of Medical Science & Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China

【Corresponding author】 LIN Shu

【Abstract】 Objective To evaluate the clinical value of 3D individualized artificial vertebral body and compare it with traditional titanium cage in thoracic and lumbar tumor en bloc resection and reconstruction. **Methods** Forty-seven patients with thoracolumbar tumors were retrospectively selected. Of the patients, 25 underwent 3D-printed personalized artificial vertebral support screw fixation (3D printing group) and 22 underwent conventional titanium cage support screw fixation (titanium cage group). Clinical inde-

- [19] Zengin H, Taşçi I. Factors influencing the length of stay in the palliative care unit in patients discharged home; results from a tertiary hospital in Turkey[J]. Turk J Med Sci, 2021, 51(5): 2420-2426.
- [20] Caliendo M, Kopeinig S. Some practical guidance for the implementation of propensity score matching[J]. J Econ Surv, 2008, 22(1): 31-72.
- [21] Ng YX, Cheng LJ, Quek YY, et al. The measurement properties and feasibility of FRAIL scale in older adults: A systematic review and meta-analysis[J]. Ageing Res Rev, 2024, 95: 102243.
- [22] Ho F, Lau F, Downing MG, et al. A reliability and validity study of the Palliative Performance Scale[J]. BMC Palliat Care, 2008, 7: 10.
- [23] 海峡两岸医药卫生交流协会全科医学分会. 姑息治疗与安宁疗护基本用药指南[J]. 中国全科医学, 2021, 24(14): 1717-1734.
- [24] Guirimand F, Sahut d'izarn M, Laporte L, et al. Sequential occurrence of dyspnea at the end of life in palliative care, according to the underlying cancer[J]. Cancer Med, 2015, 4(4): 532-539.
- [25] 蒋骅, 汪小华, 陶春霞, 等. 急性胰腺炎患者急性期疼痛现状及其对住院时间的影响[J]. 中国全科医学, 2018, 21(27): 3366-3369.
- [26] Missmann M, Grenier JP, Raas C. Modifiable factors influencing length of stay after total knee arthroplasty[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2023, 33(5): 1565-1572.
- [27] Chiu HC, Lin YC, Hsieh HM, et al. The impact of complications on prolonged length of hospital stay after resection in colorectal cancer: a retrospective study of Taiwanese patients[J]. J Int Med Res, 2017, 45(2): 691-705.
- [28] Karlin D, Pham C, Furukawa D, et al. State-of-the-art review: use of antimicrobials at the end of life[J]. Clin Infect Dis, 2024, 78(3): e27-e36.
- [29] Dagli O, Tasdemir E, Ulutasdemir N. Palliative care infections and antibiotic cost: a vicious circle[J]. Aging Male, 2020, 23(2): 98-105.
- [30] Levin PD, Simor AE, Moses AE, et al. End-of-life treatment and bacterial antibiotic resistance: a potential association[J]. Chest, 2010, 138(3): 588-594.
- [31] Mitchell SL, Shaffer ML, Loeb MB, et al. Infection management and multidrug-resistant organisms in nursing home residents with advanced dementia [J]. JAMA Intern Med, 2014, 174(10): 1660-1667.
- [32] Ko FWS, Chan KP, Ngai J, et al. Blood eosinophil count as a predictor of hospital length of stay in COPD exacerbations[J]. Respirology, 2020, 25(3): 259-266.
- [33] Mirna M, Schmutzler L, Topf A, et al. Neutrophil-to-lymphocyte ratio and monocyte-to-lymphocyte ratio predict length of hospital stay in myocarditis[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 18101.
- [34] Uysal E, Acar YA, Celik R, et al. Plasma interleukin-6 levels may be associated with the length of stay time of adult hyperglycemic patients in an intensive care unit[J]. Acta Endocrinol (Buchar), 2020, 16(3): 311-315.

(收稿日期: 2024-10-10; 修回日期: 2025-01-15)

(本文编辑: 侯晓林)

xes, pain indexes, postoperative functional indexes and imaging results were compared between the two groups. **Results** The operation time, hospitalization time and ambulation time in the 3D printing group were significantly shorter than those in the titanium cage group ($P<0.05$). After 7 days, 1 month and last follow-up of operation, VAS and JOA score of the 3D printing group was significantly better than that of the titanium cage group ($P<0.05$). There were 4 cases of implant subsidence in the 3D printing group and 17 cases of implant subsidence in the titanium cage group ($P<0.000$). **Conclusions** Compared with traditional titanium cages, 3D printed personalized artificial vertebrae can significantly reduce postoperative prosthesis settlement. It can also significantly shorten operation time, hospitalization time and time to get out of bed. Patients' postoperative functional scores are improved.

【Key words】 3D printing; Artificial vertebral body; Thoracolumbar; Tumor; En bloc resection

脊柱肿瘤根据来源分类,可以分为原发性肿瘤和转移性肿瘤^[1]。完整切除病变组织,稳定的脊柱重建是治疗原发性的脊柱肿瘤的主要手术策略^[1,2]。对于脊柱转移瘤,随着放化疗技术的发展,其生存期也逐渐延长,对于原发病灶能得到有效控制且预后评估较好的患者,也适合脊柱整块切除手术^[3~7]。脊柱肿瘤切除后的重建需要使用适合的植入物予以支撑,传统钛笼虽然也能起到支撑作用,但假体沉降问题、钛笼移位等问题常见,可能造成后期脊柱稳定性丢失^[8~11]。目前,3D 打印人工椎体是较新的支撑材料,3D 打印人工椎体的骨接触面较大,可以避免应力集中,其多孔结构利于骨组织迁移和长入,个性化设计可使得其上下表面可以和相邻椎体完全匹配,能在术后得到较好的即刻稳定性^[12~14]。但目前临床报道较少,本研究评估 3D 个体化人工椎体的临床应用价值,并与传统钛笼比较在胸腰椎肿瘤整块切除重建中的临床效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2017 年 8 月至 2022 年 7 月我院收治的 47 例单节段脊柱肿瘤患者,纳入标准:年龄 ≥ 20 岁;原发脊柱恶性肿瘤(I 期、II 期);原发良性侵袭性肿瘤;预计患者生存时间 >12 个月的孤立性转移病灶。排除标准:原发脊柱恶性肿瘤 III 期患者;原发脊柱良性肿瘤患者;全身多处转移的患者;存在活动性感染或不能耐受手术的其他情况。根据手术方法不同分为 3D 打印组($n=25$)和钛笼组($n=22$),3D 打印组男 12 例,女 13 例,年龄 25~73 岁;体重指数 14.5~30.4 kg/m²,平均随访时间 17.4 个月。钛笼组男 10 例,女 12 例,年龄 22~78 岁,体重指数 15.2~31.4 kg/m,随访时间 16.4 个月。两组患者一般资料比较差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。所有患者均签署书面知情同意书,本研究经四川省人民医院机构审查委员会批准。

表 1 两组患者一般资料比较

项目	3D 打印组($n=25$)	钛笼组($n=22$)	统计量	P
年龄(岁)	54.204 $\pm$ 11.463	50.125 $\pm$ 12.584	$t=1.532$	0.274
性别(男/女, n)	12/13	10/12	$\chi^2=0.030$	0.861
体重指数(kg/m ²)	22.536 $\pm$ 3.357	21.534 $\pm$ 2.860	$t=1.454$	0.294
病变部位(n)	T5-T10	16	$Z=-0.600$	0.549
	T11-L1	5		
	L2-L4	4		
随访期(月)	17.434 $\pm$ 5.345	16.495 $\pm$ 4.011	$t=0.456$	0.345

1.2 手术方法 为减少术中出血和异体血输入,术前所有患者在 3~5 天内均予以节段血管栓塞。均全身麻醉,选择俯卧位,C 臂定位病椎,已病椎上下 2~3 个椎体为长度,选择正中切口,电刀切开皮肤,筋膜,剥离软组织至椎板,通过 C 臂的辅助,在病椎上下 2 个椎体节段予以椎弓根螺钉置入,透视螺钉深度与角度满意。使用高速磨钻和椎板咬骨钳切除病椎的椎板峡部,分离椎体间链接的韧带,通过揭盖的办法取出完成的椎板。通过双极电凝分离

双侧椎旁组织至病椎前方,钝性分离椎旁组织至手指探查分离完成。切除病椎的上下椎间盘,刮除上下终版的软组织至骨面点状出血。通过旋转的办法完整取出病椎椎体及附件,双极电凝充分止血。

3D 打印组:术前 CT 测量预计高度,打印三个高度不同的人工椎体备选,通过试模测量合适的椎体间高度与备选的 3D 打印人工椎体匹配,将异体骨打压填塞在匹配的 3D 打印人工椎体中,安装推杆,注意安装方向与角度,通过椎旁通道置入椎体间,推杆调整置入后的位置与方向合适。裁剪合适的钛棒,安装在螺钉间加压,使人工椎体与上下骨面紧密贴合,锁紧螺帽,C 臂透视确认位置良好。见图 1。传统钛笼组:术中测量椎体间高度,比对合适

【基金项目】四川省科技厅科技支撑项目(编号:2022YFS0019);国家重点研发计划(编号:2022YFC2407506)

【通讯作者】林 书

的高度裁剪传统钛笼,其余步骤同 3D 打印组。

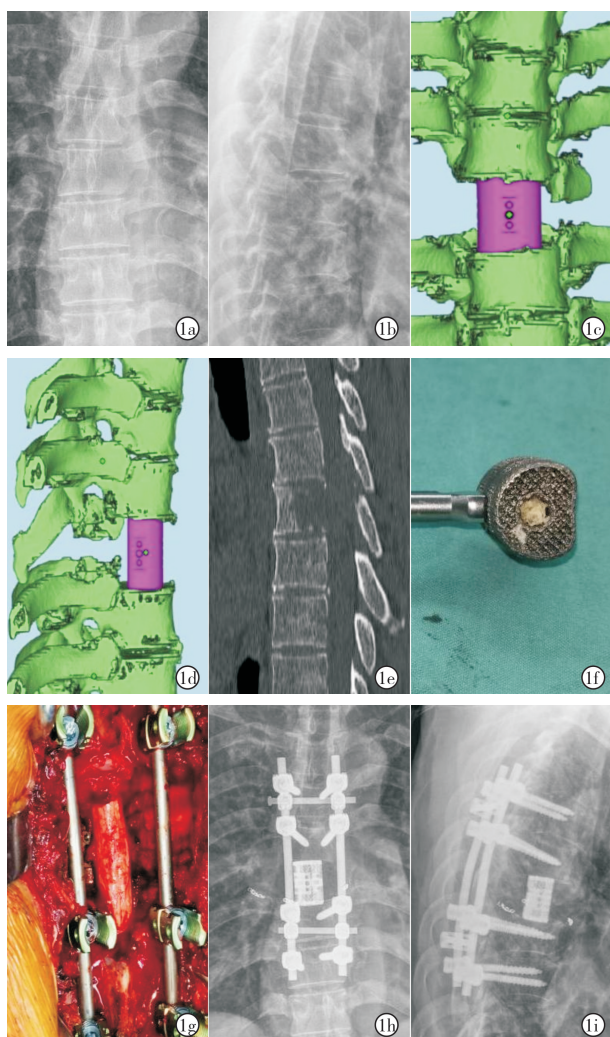


图1 胸9肿瘤切除3D打印人工椎体支撑 a、b:术前正、侧位X射线片;c、d:术前3D打印人工椎体设计;e:术前CT重建;f:术中3D打印人工椎体实物图;g:术中手术图;h、i:术后一个月的正侧位X射线片

表2 两组临床指标比较

临床指标	3D 打印组($n=25$)	钛笼路组($n=22$)	统计量	P
手术时间(min)	322.434±56.676	376.946±67.345	$t=-2.467$	0.002
术中失血量(ml)	692.445±262.348	723.695±219.637	$t=-1.345$	0.164
住院时间(d)	13.532±3.101	17.346±2.410	$t=-2.374$	0.021
下地时间(d)	2.308±0.342	4.783±0.944	$t=-5.273$	0.000
并发症(n)	6	11	$\chi^2=3.426$	0.064
伤口并发症	2	4		
心血管并发症	2	1		
神经系统	0	0		
肺部并发症	1	2		
尿路感染	1	2		
内固定失效	0	2		
输血情况(n)	17	19	$\chi^2=2.201$	0.138

2.2 两组疼痛评分和功能评分比较 两组患者术前 VAS 评分和 JOA 评分比较差异无统计学意义($P>0.05$)。术后 7 天、1 个月以及末次随访时,3D 打

1.3 观察项目 包括两组手术时间、术中失血量、住院时间、下地活动时间、并发症、输血情况。下地活动时间是指患者手术当天,到开始下地活动之间的时长,下地活动时间越短说明患者能更早下床活动。并发症包括伤口并发症、心血管并发症、神经系统、肺部情况、尿路感染以及内固定失效等方面。采用视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)^[15]评估患者疼痛情况,等级为 0~10 分。采用腰椎神经功能日本骨科学会评分(Japanese Orthopedic Association, JOA)^[16]对患者功能进行评估,内容包括主观症状、临床体征、日常活动受限度、膀胱功能 4 个方面,满分 29 分。影像学评估包括移植物融合状况和假体下沉情况。根据 Lee 等^[15]制定的改良放射学标准,在随访时通过 CT 扫描对移植物融合状况进行评估。假体下沉标准:手术节段高度丢失超过 2 mm,超过 3 mm 为重度下沉。

1.4 统计学方法 应用 SPSS 22.0 统计学软件进行数据分析。符号正态分布的计量资料以均数±标准差表示,比较采用 t 检验;非正态分布的计量资料比较采用 U 检验;计数资料以例数(%)表示,比较采用卡方检验;两组间多时间点比较采用重复测量方差分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组临床指标比较 两组患者的术中失血量、输血情况比较差异无统计学意义($P>0.05$);3D 打印组的手术时间、住院时间和下地活动时间明显短于钛笼组($P<0.05$)。3D 打印组的并发症发生率为 24%,钛笼组为 50%,两组并发症发生率比较差异无统计学意义($P=0.064$)。见表 2。

印组的 VAS 评分和 JOA 评分均明显优于钛笼组($P<0.001$)。见表 3。

表 3 两组疼痛评分和功能评分比较 (分)

项目		3D 打印组 (n=25)	钛笼路组 (n=22)	t	P
VAS 评分	术前	5.240±1.300	5.066±1.311	0.490	0.626
	术后 7 天	2.840±0.624	4.366±1.098	-6.165	0.000
	术后 1 个月	1.840±0.624	2.833±0.166	-4.612	0.000
	末次随访	1.680±0.690	2.433±0.817	-3.649	0.001
JOA 评分	术前	15.320±1.573	14.409±2.062		
	术后 7 天	18.960±2.761	14.363±1.733	6.724	0.000
	术后 1 个月	22.560±2.218	18.409±1.593	7.274	0.000
	末次随访	23.558±1.709	20.363±3.032	4.521	0.000

2.3 两组融合情况和假体下沉情况比较 47 例患者随访时间 12 ~ 35 个月,平均 19 个月。所有患者均符合最终骨性融合标准^[17]。3D 打印组假体下沉 4 例,钛笼组下沉 17 例,两组比较差异有统计学($\chi^2=17.775, P<0.001$)。

3 讨论

完整的肿瘤切除和稳定性重建是全脊椎整块切除的关键要素^[18]。由于整个病椎椎节和病椎周围韧带及部分肌肉组织被一并切除,病椎的前、中、后三柱结构均缺失,稳定性重建以及长期的骨性融合是脊柱手术必要的过程^[18-21]。

脊柱稳定性重建的常用椎体间支撑材料包括自体骨、异体骨、钛笼以及人工椎体等^[22]。自体骨、异体骨、钛笼都有各自的优缺点,脊柱稳定性长久的重建目前仍未能很好地解决。自体骨虽然骨整合最好,但来源少,不少患者存在骨质疏松或自体骨块不规则的情况,往往自体骨支撑强度弱,爬行替代过程中容易发生骨折。异体骨往往以小块骨为主,很难有较强的支撑能力,且可能存在排异反应^[22-25]。目前临床最常用的椎体间支撑材料是钛笼,但钛笼的弹性模量远远高于椎体骨皮质,长期随访钛笼下沉、移位的发生率较高。钛笼的沉降是普遍现象,钛笼的切割力量大,使得椎间隙塌陷,脊柱的生理角度难以维持,生物稳定性丢失,导致钉棒应力集中,断裂风险大大增加^[9,10]。

3D 打印人工椎体是目前较新的椎体间支撑材料,骨接触面较大,避免了应力集中。本研究中钛笼组沉降发生率为 77%,明显高于 3D 打印组的 16%。钛笼骨接触面较小,脊柱力线容易偏离骨接触面,在应力的持续作用下会对内植物产生翻转作用,形成夹角,本研究钛笼组有 3 例在术后复查中发现钛笼倾斜,在矢状面和冠状面形成了夹角,最终要求患者继续卧床 2 ~ 3 个月以防内固定大量松动,但长期卧床也影响了患者术后的生存质量。3D 打印组术后 7 天、术后 1 个月及末次随访的 JOA 评分

明显优于钛笼组,说明 3D 打印可以改善患者短期的生活质量,在术后即刻稳定性方面具有明显优势。此外,生物性融合是脊柱重建保持远期稳定性的关键,3D 打印人工椎体内部的多孔结构能够促进骨细胞迁移和增殖,70% ~ 80% 的孔隙率是骨长入的最佳结构。其表面复杂的微观粗糙结构,有利于募集抗炎因子,促进成骨细胞分化,培育了有利于骨形成的特殊细胞环境^[26,27]。

本研究结果显示,3D 打印组的平均手术时间明显短于钛笼组。3D 打印能够实现自由成型,与医学数字技术相结合就能进行术前订制,制造出专属于个人的最优椎体结构,使一些复杂骨缺损手术得以完成。手术切除的脊柱节段数量、节段高度、是否后凸畸形、是否保留部分椎体结构等是因人而异的。由于 3D 打印人工椎体为术前提前设计,在手术当中,3D 打印的人工椎体可直接植入椎体间隙,人工椎体中间有圆柱形的空洞,可植入异体骨有利于椎体融合,其骨小梁结构也有利于骨性融合,大大节约手术时间。而钛笼为非定制材料,术中在切除病椎,切除上下椎间盘后需要测量椎体间高度,术中需要根据实际测量高度再进行裁剪,裁剪需要花费大量的等待时间,且钛笼网状结构较大,裁剪后仍可能出现不匹配情况。如果裁剪长度过长,可能难以植入椎间隙,反复尝试植入椎体时,对上下椎体的终板造成损失,更易造成钛笼的沉降;如果裁剪过短,植入后钛笼容易松动,更容易造成术后钛笼翻转,术中如果发现钛笼过短,需要重新找一个新的钛笼裁剪,造成手术时间延长。

在手术并发症方面,3D 打印组的并发症发生率为 24%,钛笼组为 50%,虽然差异无统计学意义,可能与本研究中样本量较少有关。3D 打印组在肺部感染和尿路感染低于钛笼组,可能与 3D 打印组能够更早的下地活动,能够减少卧床并发症。在手术当中,裁剪后钛笼两端的金属受到锐气剪裁,不能保证两端平整,切割力量更大。在植入椎体间隙

时,更容易造成脊髓硬脊膜切伤,导致脑脊液漏等严重并发症,由于手术切口巨大,椎体切除空隙更大,如果发生脑脊液漏会导致巨量的脑脊液漏出,可能切口愈合不良,引起术后严重的切口感染,颅内感染,甚至脑疝等最严重的并发症。

3D 打印人工椎体也有难以避免的缺点。首先在造价上仍较高,由于金属的用量较大,金属打印的工艺要求较高,导致整个造价高,部分患者难以承受。此外,由于需要临时定制,制作时间较长,医生和患者需要更多的充分沟通。目前 3D 打印人工椎体使用量仍较少,今后若能大量普及于手术中,相信其造价和制作时间会大大降低。

综上,相比传统钛笼,3D 打印个体化人工椎体可以明显减少术后假体沉降,缩短手术时间、住院时间和下床活动时间,改善患者术后功能评分,在减少术后并发症方面具有潜在优势。由于此类患者较少,样本量较小,今后仍需要多中心,更大病例数量的对比研究。

【参考文献】

- [1] Howell EP, Williamson T, Karikari I, et al. Total en bloc resection of primary and metastatic spine tumors[J]. *Ann Transl Med*, 2019, 7(10):226.
- [2] Tigheelaar SS, Medress ZA, Quon J, et al. Augmented Reality Neuronavigation for En Bloc Resection of Spinal Column Lesions[J]. *World Neurosurg*, 2022, 167:102-110.
- [3] 李冬月, 刘晓光, 刘忠军. 颈胸段脊柱原发恶性肿瘤的手术治疗现状及进展[J]. *中国骨与关节杂志*, 2015, 4(8):665-668.
- [4] Kieser DC, Parker J, Reynolds J. En Bloc Resection of Isolated Spinal Metastasis: A Systematic Review Update[J]. *Clin Spine Surg*, 2021, 34(3):103-106.
- [5] Xu W, Ye C, Zhang D, et al. One-stage En bloc resection of thoracic spinal chondrosarcoma with huge paravertebral mass through the single posterior approach by dissociate longissimus thoracis[J]. *Front Surg*, 2022, 9:844611.
- [6] Li Z, Guo L, Zhang P, et al. A Systematic Review of Perioperative Complications in en Bloc Resection for Spinal Tumors[J]. *Global Spine J*, 2023, 13(3):812-822.
- [7] 李建民, 李振峰. 中国脊柱肿瘤外科治疗存在问题及面临的挑战[J]. *中华骨科杂志*, 2018, 38(10):577-579.
- [8] 陈长宝, 张晓林, 马信龙. 脊柱肿瘤的评分系统及外科治疗现状与进展[J]. *天津医药*, 2019, 47(08):885-890.
- [9] Liu W, Wang B, Zhang S, et al. Wrist Reconstruction after En bloc Resection of Bone Tumors of the Distal Radius[J]. *Orthop Surg*, 2021, 13(2):376-383.
- [10] Jones M, Alshameeri Z, Uhiara O, et al. En Bloc Resection of Tumors of the Lumbar Spine: A Systematic Review of Outcomes and Complications[J]. *Int J Spine Surg*, 2021, 15(6):1223-1233.
- [11] Demura S, Kato S, Shinmura K, et al. Perioperative complications of total en bloc spondylectomy for spinal tumours[J]. *Bone Joint J*, 2021, 103-B(5):976-983.
- [12] Xin X, Liu X, Zhu Y, et al. 3D-Printed Guide Plate System-Assisted Thoracolumbar Kyphosis Osteotomy: A Technical Case Series[J]. *World Neurosurg*, 2023, 173:28-33.
- [13] Simonato SP, Bernardina GRD, Ferreira LCR, et al. 3D kinematic of the thoracolumbar spine in Mangalarga Marchador horses performing the marcha batida gait and being led by hand-A preliminary report[J]. *PLoS One*, 2021, 16(7):e0253697.
- [14] Wang Y, Zhang X, Zhang Y, et al. One-stage posterior en-bloc spondylectomy following reconstruction with individualized 3D printed artificial vertebrae for multi-segment thoracolumbar metastases: case report and literature review[J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(1):115-123.
- [15] Huskisson EC. Measurement of pain[J]. *Lancet*, 1974, 2(7889):1127-1131.
- [16] Aksekili MA, Aktekin L, Korkmaz S, et al. The Japanese Orthopedic Association Back Pain Evaluation Questionnaire[J]: A Turkish validation study[J]. *J Orthop Sci*, 2016, 21(6):718-722.
- [17] Lee CK, Vessa P, Lee JK. Chronic disabling low back pain syndrome caused by internal disc derangements. The results of disc excision and posterior lumbar interbody fusion[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1995, 20(3):356-361.
- [18] 黄杜军, 陈秋洪, 陈雷. 脊柱肿瘤切除术后 3D 打印假体重建的近期疗效[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2021, 35(6):786-788.
- [19] Bandiera S, Noli LE, Griffoni C, et al. Complications and Risk Factors in En Bloc Resection of Spinal Tumors: A Retrospective Analysis on 298 Patients Treated in a Single Institution[J]. *Curr Oncol*, 2022, 29(10):7842-7857.
- [20] Zhou H, Tang Y, Hu P, et al. Comparison of En Bloc Resection and Intralesional Excision for Re-resection of Giant Cell Tumors of the Spine[J]. *Orthop Surg*, 2024, 16(3):613-619.
- [21] Jamshidi K, Zandrahimi F, Haji Agha Bozorgi M, et al. Extended curettage versus en bloc resection for the treatment of grade 3 giant cell tumour of the knee with pathologic fracture: a retrospective study[J]. *Int Orthop*, 2021, 45(1):289-297.
- [22] Harimaya K, Matsumoto Y, Kawaguchi K, et al. Long-term outcome after en bloc resection and reconstruction of the spinal column and posterior chest wall in the treatment of malignant tumors[J]. *J Orthop Sci*, 2022, 27(4):899-905.
- [23] Tang X, Yang Y, Zang J, et al. Preliminary Results of a 3D-Printed Modular Vertebral Prosthesis for Anterior Column Reconstruction after Multilevel Thoracolumbar Total En Bloc Spondylectomy[J]. *Orthop Surg*, 2021, 13(3):949-957.
- [24] 孙珣, 杨军. 人工椎体的研究进展[J]. *大连医科大学学报*, 2023, 45(5):446-451+458.
- [25] Tang Y, Li H, Liu S, et al. Perioperative complications of en bloc resection and anterior column reconstruction for thoracic and lumbar spinal tumors[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2024, 25(1):364.
- [26] 李宝杰, 段丽萍, 李晓光. 3D 打印技术在脊柱外科中的应用现状[J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(15):1405-1408.
- [27] Hu J, Song G, Chen H, et al. Surgical outcomes and risk factors for surgical complications after en bloc resection following reconstruction with 3D-printed artificial vertebral body for thoracolumbar tumors[J]. *World J Surg Oncol*, 2023, 21(1):385.

(收稿日期:2024-06-15;修回日期:2024-09-20)

(本文编辑:林 赞)