

3D 打印全骶骨假体在全骶骨切除患者腰-髂稳定性重建中的应用

尉 然, 郭 卫, 杨荣利, 汤小东, 杨 毅, 姬 涛

(北京大学人民医院骨与软组织肿瘤治疗中心、骨与软组织肿瘤研究北京市重点实验室 100044 北京市)

【摘要】目的:评估 3D 打印全骶骨假体在全骶骨切除患者腰-髂稳定性重建中的应用价值。**方法:**回顾性分析 2015 年 1 月~2018 年 12 月于我中心接受全骶骨切除术的 42 例患者资料。根据重建方式将患者分为 3 组:假体重建组(14 例)采用 3D 打印全骶骨假体重建,联合重建组(19 例)采用包含前方椎体重建的联合重建方案,脊柱骨盆(SPF)重建组(9 例)采用单纯 SPF 重建。比较三组患者的腰-髂稳定性(疼痛及运动功能评分)、内置物生存情况(内置物失败率及生存期)、手术安全性(手术时间、术中出血量及围手术期并发症发生率)。**结果:**术后平均随访时间为 33.6±14.2 个月。假体重建组手术平均耗时 394.6±128.0min, 术中出血量平均为 3250.0±1711.4ml, 共 2 例患者发生围手术期并发症。末次随访时, 13 例患者无需拐杖等辅助行走, 12 例患者无需使用止痛药。共 4 例患者发生影像学内置物失败, 其中 2 例需行二次手术, 1 例因严重疼痛并伴有肿瘤复发接受二次手术, 术中因假体与周围骨融合牢固而未取出假体; 1 例因严重疼痛及运动功能明显受损接受二次手术取出假体。假体重建组平均内置物生存期为 49.3(95% CI 40.8~57.9)个月。相较于其他两组患者, 假体重建组患者的腰-髂稳定性、内置物生存情况均与联合重建组相近(疼痛评分 2.4±0.8 vs 2.3±0.7, $P=0.59$; 运动功能评分 2.4±0.6 vs 2.2±0.7, $P=0.44$; 内置物失败率 14.3% vs 5.3%, $P=0.56$; 内置物生存期 49.3 vs 59.4 个月, $P=0.28$), 并显著优于 SPF 重建组(疼痛评分 2.4±0.8 vs 1.7±1.0, $P=0.028$; 运动功能评分 2.4±0.6 vs 1.3±0.7, $P=0.001$; 内置物失败率 14.3% vs 66.7%, $P=0.023$; 内置物生存期 49.3 vs 28.6 个月, $P=0.01$), 且不显著增加手术时间、术中出血及围手术期并发症发生率。**结论:**在全骶骨切除患者中应用 3D 打印全骶骨假体进行重建能够取得理想的腰-髂稳定性以及满意的内置物生存情况, 同时不会增加手术风险。

【关键词】全骶骨切除; 3D 打印; 假体; 腰-髂稳定性重建

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2020.09.07

中图分类号: R738.1, R318.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2020)-09-0811-09

Reconstruction of the spinopelvic stability after total en bloc sacrectomy using a 3D-printed sacral endoprosthesis/WEI Ran, GUO Wei, YANG Rongli, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(9): 811-819

【Abstract】 Objectives: To assess the value of 3D-printed sacral endoprosthesis in reconstruction of spinopelvic stability after total en bloc sacrectomy (TES). **Methods:** 42 patients who underwent TES in our hospital between January 2015 and December 2018 were retrospectively reviewed. The patients were divided into three groups according to reconstructive option: an endoprosthesis group (14 patients), a combined reconstruction group (19 patients) treated with non-endoprosthetic combined reconstruction including anterior spinal column fixation, and a spinopelvic fixation(SPF) only group(9 patients). Spinopelvic stability(pain and motor function score), implant survival(IS)(failure rate and survival) and surgical safety(operative time, blood loss and perioperative complication rate) in the endoprosthesis group were assessed and compared with those of the other two groups. **Results:** The mean overall follow-up period was 33.6±14.2 months. In the endoprosthesis group, the mean surgical time and intraoperative hemorrhage was 394.6±128.0min and 3250.0±1711.4ml, respectively. Perioperative complications occurred in two patients. During the final follow-up, 13 patients could walk without

基金项目:北京大学人民医院研究与发展基金(编号:RDH2018-01)

第一作者简介:男(1987-),医学博士,研究方向:骨与软组织肿瘤的临床与基础研究

电话:(010)88326150 E-mail:dr.weiran@foxmail.com

通讯作者:郭卫 E-mail:bonetumor@163.com

aids and 12 patients without using analgesics. Imaging evidence of implant failure was found in 4 patients, including 2 patients who required reoperation. One of these, who had a local recurrence, underwent reoperation without removing the prosthesis due to the solid bone-endoprosthesis osseointegration. And the endoprosthesis of the other patient was removed in reoperation. The mean IS was 49.3(95% confidence interval 40.8–57.9) months. Compared with the other two groups, the endoprosthesis group showed satisfactory spinopelvic stability and IS, which were similar to those of combined reconstruction group(pain score, 2.4 ± 0.8 vs 2.3 ± 0.7 , $P=0.59$; motor function score, 2.4 ± 0.6 vs 2.2 ± 0.7 , $P=0.44$; implant failure rate, 14.3% vs 5.3%, $P=0.56$; IS, 49.3 vs 59.4 months, $P=0.28$) and significantly better than those of SPF group(pain score, 2.4 ± 0.8 vs 1.7 ± 1.0 , $P=0.028$; motor function score, 2.4 ± 0.6 vs 1.3 ± 0.7 , $P=0.001$; implant failure rate, 14.3% vs 66.7%, $P=0.023$; IS, 49.3 vs 28.6 months, $P=0.01$), with no significantly prolonged operative time, no greater intraoperative haemorrhage or higher perioperative complication rate. **Conclusions:** The use of 3D-printed endoprosthesis for reconstruction after TES provides reliable spinopelvic stability and IS without endangering the surgical safety.

[Key words] Total en bloc sacrectomy; 3D printing; Endoprosthesis; Reconstruction of spinopelvic stability

[Author's address] Musculoskeletal Tumor Center, Beijing Key Laboratory of Musculoskeletal Tumor, Peking University People's Hospital, Beijing, 100044, China

骶骨原发恶性肿瘤十分少见,其主要治疗方式为外科手术切除,其中累及上位骶骨的原发恶性肿瘤多需行全骶骨切除术^[1,2]。随着外科技术的不断发展、术中减少出血措施的日臻完善,1期全骶骨切除术得到了更广泛地应用^[3-5]。然而,全骶骨切除术造成的骨缺损会破坏腰椎-髌骨的连续性,多需进行腰-髌稳定性重建以利于患者在术后早期下地活动,进而降低患者因术后长期卧床而发生并发症的风险。根据 Bederman 等在其系统综述中的分类方式,全骶骨切除术后腰-髌重建方式可大致分为三类:脊柱骨盆重建(spinal pelvic fixation,SPF)、后骨盆环重建(posterior pelvic ring fixation,PPRF)和前方椎体重建(anterior spinal column fixation,ASCF)^[6]。其中 SPF 是指任何自后方连接腰椎与双侧髌骨的重建方式,是全骶骨切除后腰-髌稳定性重建的基础重建方式;PPRF 是指仅连接双侧髌骨、不与腰椎相连的重建方式,多作为 SPF 的辅助重建方式应用;ASCF 旨在重建前方椎体与骨盆之间的生物力学结构,多与其他重建方式联用。Bederman 等在其系统综述中对各种不同的全骶骨切除术后腰-髌稳定性重建方案进行了对比,结果显示包含了 ASCF 的联合腰-髌稳定性重建是最理想的重建方案^[6]。但是,包含 ASCF 的联合重建方案理论上会增加手术时间延长、术中大量出血的风险,影响手术的安全性。为解决这一问题,许多非常规的重建方案亦曾被提出,如载瘤骶骨体外放疗灭活后回植、人工假体重建等^[7,8]。然而,由于骶骨原发恶性肿瘤发病率低,文献报道多以个案或小宗病例报道

为主且多无长期随访结果,目前全骶骨切除术后腰-髌重建方案的选择仍存在争议。

3D 打印技术又称增材制造技术或快速成型技术,近年来已广泛应用于骨科手术领域,其应用涵盖了骨肿瘤切除后骨缺损重建、关节翻修、脊柱手术以及复杂骨折重建等^[9-13]。应用 3D 打印技术能够精确制造与缺损形态相匹配的假体,同时亦可通过对骨接触面的孔隙化处理而在假体-骨接触面处制造出类骨小梁样结构以促进骨长入,进而降低远期假体失败率^[14-16]。

通过应用 3D 打印技术,我中心设计并使用了一种全骶骨假体并对其应用效果进行了个案报道^[13]。为了进一步明确该假体在全骶骨切除患者腰-髌稳定性重建中的应用效果,我们对接受 3D 打印假体重建与常规重建方式的患者进行了回顾性对照研究,旨在通过比较不同重建方式对腰-髌稳定性、内置物生存情况以及手术安全性的影响,评估 3D 打印全骶骨假体的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究总结了 2015 年 1 月~2018 年 12 月于我中心接受全骶骨切除术的 42 例患者的临床与随访资料,其中男性 28 例、女性 14 例,平均年龄 43.1 ± 19.2 岁。28 例为我中心初治病例,余 14 例为外院术后复发病例。肿瘤病理类型包括脊索瘤(22 例)、软骨肉瘤(8 例)、骨肉瘤(5 例)、尤文肉瘤/PNET(3 例)、其他肿瘤(多形性未分化肉瘤、恶性外周神经鞘瘤、恶性孤立性纤维瘤及粘液性脂

肪肉瘤各 1 例)。其中骨肉瘤与尤文肉瘤/PNET 患者均接受了标准方案的术前化疗。

所有患者均签署知情同意书,并通过医院医学伦理委员会审核。共 14 例患者同意使用 3D 打印全骶骨假体进行全骶骨切除后腰-髂稳定性重建并签署知情同意书,其他 28 例患者采用了常规的重建方案。

1.2 3D 打印全骶骨假体的设计与制造

除第一例为定制假体外,3D 打印全骶骨假体的形态设计均基于我中心既往近百例接受全骶骨切除术患者的 CT 扫描数据。而实际上,第一例定制假体与后续非定制假体在形态设计上十分类似,可一并讨论。假体设计旨在使假体通过经孔隙化处理的骨接触面同期重建腰椎-髂骨连接、双侧髂骨连接以及经前方椎体的力学传导结构。

假体成品由钛合金制造。为便于术中精确匹配骨缺损的形态,假体被制造为大、中、小三种型号。同时相应型号的试模亦经 3D 打印制造,以利于术中测量骨缺损大小并选取适宜型号的假体安装(图 1)。假体制造完成后顺利通过各项检验,符合骨科手术内置物的各项国家标准。与此同时,患者的影像学数据会在术前被导入专用软件以模拟全骶骨切除、假体安装过程。如果在模拟过程中发现全骶骨假体无法匹配术中可能的骨缺损形态,我们会根据患者的具体情况对假体进行定制。

1.3 重建过程

为减少术中出血,所有患者均在术前接受选择性肿瘤血管栓塞并在术中接受腹主动脉球囊临时阻断。我中心全骶骨切除术主要采用 1 期单纯

后路或前后路联合全骶骨切除技术。该技术已于既往文献中多次描述,此处不再赘述^[3,5]。

全骶骨切除完毕后,选取适宜的 3D 打印全骶骨假体试模以匹配腰椎椎体下终板及双侧髂骨截骨面。而后取相应型号的假体置于骨缺损内,调整好位置后以螺钉经假体预置钉道将假体固定于腰椎椎体和双侧髂骨。应用 2 根钛棒通过假体预置钉帽与腰椎椎弓根钉相连。如患者术中情况稳定并可耐受进一步重建操作,可在此基础上附加 SPF 和/或 PPRF 以提供额外的术后即时稳定性。具体的附加重建方式根据术中假体置入后具体的骨缺损形态以及残留髂骨情况决定。

对于 28 例接受常规重建方案的患者,其具体重建方式由术者根据患者术中情况决定。如患者术中出血量相对较低、生命体征平稳、能够耐受较为复杂的重建方案,则采用包含 ASCF 的联合重建方案(图 2a);如术中出血量大、生命体征有不稳定情况需尽快结束手术、无法耐受较为复杂的重建方案,则仅进行单纯 SPF 重建(图 2b)。

根据患者最终接受的具体重建方案,我们将 42 例患者分为三组:假体重建组(14 例)、联合重建组(19 例)、SPF 重建组(9 例)。

1.4 术后处理及随访

患者术中常规放置两枚粗引流管,术后保留引流直至引流量<50ml/24h。术后常规穿戴弹力梯度袜及使用充气式腿泵预防下肢静脉血栓。抗生素选用三代头孢菌素类抗生素,并根据情况联合克林霉素或万古霉素。静脉抗生素应用至引流管拔除,此后改为口服抗生素,总抗生素治疗时间为



图 1 3D 打印全骶骨假体及试模

Figure 1 3D-printed sacral endoprosthesis and plastic trial

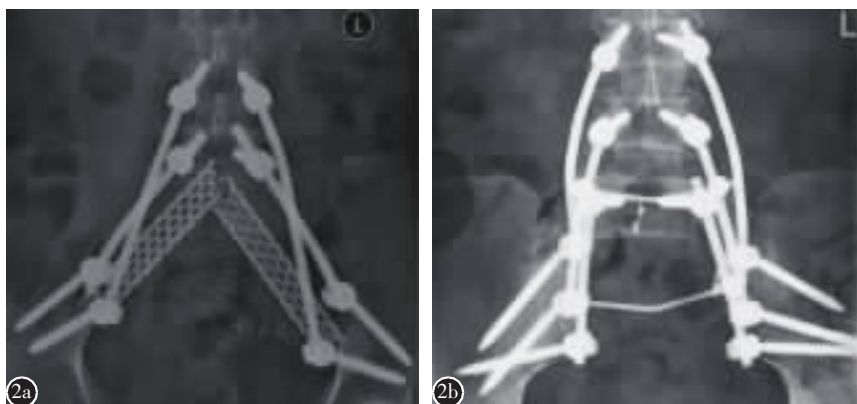


图 2 全骶骨切除后常规腰-髂稳定性重建方案 a 包含 ASCF 的联合重建 b 单纯 SPF 重建(ASCF, 前方椎体重建; SPF, 脊柱骨盆重建)

Figure 2 The conventional reconstructive methods after total en bloc sacrectomy a Combined reconstruction including ASCF b SPF reconstruction(ASCF, anterior spinal column fixation; SPF, spinal pelvic fixation)

4周。除假体组第一例患者在术后3周开始下地活动外,其他所有患者均于术后6周开始下地活动。

患者术后随访内容包括临床随访(肿瘤情况及功能评估)与影像学随访(X线平片与CT扫描)。术后第一年内每3个月随访一次,而后每6~12个月随访一次。患者的术后腰-髂稳定性评价采用我中心提出的骶骨切除后骶神经功能评分中疼痛与运动功能部分^[17]。本研究将在影像学检查中观察到内植物松动、断裂和/或脊柱下沉定义为影像学内植物失败,将自手术至影像学内植物失败发生的时间定义为影像学内植物生存期;我们将以翻修内植物为目的的二次手术定义为内植物失败,将自手术至内植物失败的时间定义为内植物生存期。为评估3D打印全骶骨假体的重建效果,我们将应用假体重建的患者与接受常规重建方法(包含ASCF的联合重建与单纯SPF重建)患者的资料进行了对比,以评估其在改善腰-髂稳定性、假体生存情况中的效果,并评估其是否会显著增加手术复杂度。

1.5 统计学方法

应用SPSS 19.0(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)软件包进行统计学分析。影像学内植物失败率与内植物生存期应用Kaplan-Meier法计算,应用Log-rank检验进行组间比较。应用单因素方差分析与LSD检验对各组年龄、随访时间、术中出血量、疼痛与运动功能评分进行比较。应用 χ^2 检验和Fisher精确检验对各组性别、病理学诊断、是否我中心初治、手术入路、围手术期并发症、影像学

内植物失败与内植物失败的分布与发生率进行比较。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

44例患者均成功完成全骶骨切除重建手术,无术中并发症发生。术后平均随访时间为 33.6 ± 14.2 个月。假体重建组患者与联合重建组、SPF重建组患者的基线资料(年龄、性别、是否我中心初诊、病理学诊断、手术入路以及随访时间)比较均无显著性差异(表1)。

假体重建组14例患者全部成功接受3D打印全骶骨假体重建。13例患者接受1期后路全骶骨切除术,余1例患者接受1期前后路联合全骶骨切除术。手术平均耗时 394.6 ± 128.0 min,术中出血量平均为 3250.0 ± 1711.4 ml。共2例患者发生围手术期并发症,均为切口愈合不良,其中1例接受清创后好转,1例保守治疗后好转。14例患者平均随访时间为 27.6 ± 12.1 个月。末次随访时,13例患者无需拐杖等辅助行走,12例患者无需使用止痛药。应用骶骨切除后骶神经功能评分对术后腰-髂稳定性进行评估,疼痛与运动功能评分分别为 2.4 ± 0.8 分和 2.4 ± 1.3 分。随访期内共4例患者发生影像学内植物失败,均为螺钉/棒断裂,其中2例无明显疼痛及运动功能受损,且复查CT可见假体-骨接触面周围新生骨形成,未予特殊处理;1例因严重疼痛并伴有肿瘤复发于术后16个月接受二次手术,术中因假体与腰椎、髂骨融合牢固故而未取出假体;1例因严重疼痛及运动功能明

显受损于术后 10 个月接受二次手术,术中虽见假体-骨接触面处有新生骨形成,但假体仍有松动,遂将假体翻修为包含 ASCF 的联合重建。假体重建组平均影像学内置物生存期为 26.3 (95% CI, 20.7~31.9)个月,平均内置物生存期为 49.3(95% CI,40.8~57.9)个月。

在术后腰-髋稳定性重建效果方面,假体重建组患者术后腰-髋稳定性显著优于 SPF 重建组患者(疼痛评分 2.4 ± 0.8 vs 1.7 ± 1.0 , $P=0.028$;运动功能评分 2.4 ± 0.6 vs 1.3 ± 0.7 , $P=0.001$),而与联合重建组患者相似(疼痛评分 2.4 ± 0.8 vs 2.3 ± 0.7 , $P=0.59$;运动功能评分 2.4 ± 0.6 vs 2.2 ± 0.7 , $P=$

0.44)(表 2)。

在不同重建方式内置物生存情况的比较中,假体重建组影像学内置物失败发生率及影像学内置物生存期与其他 2 组对比均无显著性差异(表 2)。而在以内置物取出或翻修为终点事件评估内置物生存情况时,假体重建组的内置物失败发生率显著低于 SPF 重建组 (14.3% vs 66.7% , $P=0.023$)而与联合重建组无显著性差异(14.3% vs 5.3% , $P=0.56$);假体重建组内置物生存期与联合重建组相似(49.3 vs 59.4 , $P=0.28$),同时显著优于 SPF 重建组(49.3 vs 28.6 , $P=0.01$)(图 3)。

在围手术期指标及并发症方面,假体重建组

表 1 接受三种不同重建方式患者的基线资料比较

Table 1 The comparison of baseline data between the three reconstructive options

项目 Clinical characteristics	假体重建组 Endoprosthesis group	联合重建组 Combined reconstruction group	SPF重建组 SPF group	P
总例数 No.	14	19	9	
平均年龄(岁) Mean age (years)	40.0±18.9	44.5±19.3	45.2±21.0	0.76
性别 Gender				0.52
男 Male	10	11	7	
女 Female	4	8	2	
是否我中心初诊 Prior surgery				0.23
是 Yes	11	13	4	
否 No	3	6	5	
病理学诊断 Histological diagnosis				0.68
脊索瘤 Chordoma	8	10	4	
软骨肉瘤 Chondrosarcoma	2	4	2	
尤文肉瘤/PNET Ewing's sarcoma/PNET	2	1	0	
骨肉瘤 Osteosarcoma	2	1	2	
其他 Others	0	3(恶性外周神经鞘瘤、恶性孤立性纤维瘤、粘液性脂肪肉瘤) 3 (malignant peripheral nerve sheath tumor, malignant solitary fibrous tumor and myxoid liposarcoma)	1(多形性未分化肉瘤) 1 (undifferentiated pleomorphic sarcoma)	
手术入路 Surgical approach				0.12
单纯后路 Posterior	13	14	9	
前后联合入路 Combined anterior and posterior	1	5	0	
平均随访期(月) Mean follow-up time (months)	27.6±12.1	35.6±13.4	38.7±17.1	0.13

的手术时间 ($394.6 \pm 128.0 \text{ min}$)、术中出血量 ($3250.0 \pm 1711.4 \text{ ml}$) 与联合重建组 ($453.2 \pm 264.4 \text{ min}$, $2910.5 \pm 1762.9 \text{ ml}$) 和 SPF 重建组 ($361.1 \pm 87.5 \text{ min}$, $4300.0 \pm 2945.8 \text{ ml}$) 相比均无显著性差异。而假体重建组的围手术期并发症发生率 (14.3%) 显著低于联合重建组 (52.6%) 而与 SPF 重建组 (33.3%) 相近 (表 2)。

3 典型病例

14 岁女性患者因臀部及左下肢放射痛就诊于我中心,影像学提示为累及上位骶骨的肿瘤(图 4a),穿刺活检病理诊断为尤文肉瘤/PNET。患者接受了常规方案的新辅助化疗,而后接受了 1 期单纯后路全骶骨切除,术中应用 3D 打印全骶骨假体联合 SPF 对腰-髂稳定性进行了重建(图 4b)。手术过程顺利,用时 330min,出血 2400ml。术后 X 线示内置物在位(图 4c)。术后病理诊断为尤文肉瘤/PNET。患者在围手术期出现切口愈合不良,经清创缝合后好转。随访期 12 个月。末次随访时,X 线平片示无内置物失败(图 4d),CT 中可见假体-骨界面处有新骨形成(图 4e)。末次随访时患者无疼痛症状,已可脱拐行走。

4 讨论

近年来,3D 打印技术已广泛应用于骨肿瘤切除后骨缺损的重建中^[11,13]。通过 3D 打印技术制造的假体能够精确匹配骨缺损形态,同时可在假体上预置钉道以及钉帽等结构,简化重建步骤。更重要的是 3D 打印技术可通过对骨接触面的孔隙化处理在假体-骨接触面处制造出类骨小梁样结构,已有研究证实这类结构能够有效促进界面处的骨长入,从而促进假体-骨的牢固融合,进而降低远期机械性并发症的发生风险^[14-16]。

此前我们已对应用 3D 打印全骶骨假体重建全骶骨切除后腰-髂稳定性这一技术进行了个案报道^[13]。本研究回顾性地将这一重建方式的重建效果、安全性以及远期生存情况与现有的较为理想的重建方式(包含 ASCF 的联合重建)以及基础的重建方式(单纯 SPF 重建)进行了比较,旨在进一步评估 3D 打印假体在全骶骨切除重建中的应用价值。

为达到最佳的全骶骨切除后腰-髂稳定性重建效果,3D 打印全骶骨假体在设计过程中融合了 SPF、PPRF 和 ASCF 三种重建方式的生物力学特点,其结构设计使其能够在重建中取得更为均匀

表 2 不同重建方式组患者腰-髂稳定性、手术安全性及内置物生存情况对比

Table 2 The comparison of spinopelvic stability, implant survival and surgical safety between the three reconstructive options

项目 Clinical characteristics	假体重建组 Endoprosthesis group	联合重建组 Combined reconstruction group		SPF重建组 SPF group	
		$\bar{x} \pm s$	P^*	$\bar{x} \pm s$	P^*
疼痛评分(分) Mean pain score	2.4 ± 0.8	2.3 ± 0.7	0.59	1.7 ± 1.0	0.028
运动功能评分(分) Mean motor score	2.4 ± 0.6	2.2 ± 0.7	0.44	1.3 ± 0.7	0.001
影像学内置物失败 Imaging implant failure	4	2	0.36	6	0.10
影像学内置物生存期(月) Mean IS using imaging implant failure as endpoint (months)	26.3 (95% CI 20.7–31.9)	56.1 (95% CI 48.4–63.8)	0.21	28.2 (95% CI 12.1–44.4)	0.094
内置物失败 Implant failure	2	1	0.56	6	0.023
内置物生存期(月) Mean IS using re-operation as Endpoint (months)	49.3 (95% CI 40.8–57.9)	59.4 (95% CI 54.5–64.3)	0.28	28.6 (95% CI 12.6–44.5)	0.01
手术时间(min) Mean operative time	394.6 ± 128.0	453.2 ± 264.4	0.41	361.1 ± 87.5	0.69
术中出血量(ml) Mean intra-operative haemorrhage	3250.0 ± 1711.4	2910.5 ± 1762.9	0.64	4300.0 ± 2945.8	0.24
围手术期并发症 Peri-operative complication	2	10	0.033	3	0.34

注: * 与假体重建组比较; 95% CI, 95% 置信区间

Note: *Compared with endoprosthesis group; 95% CI, 95% confidence interval

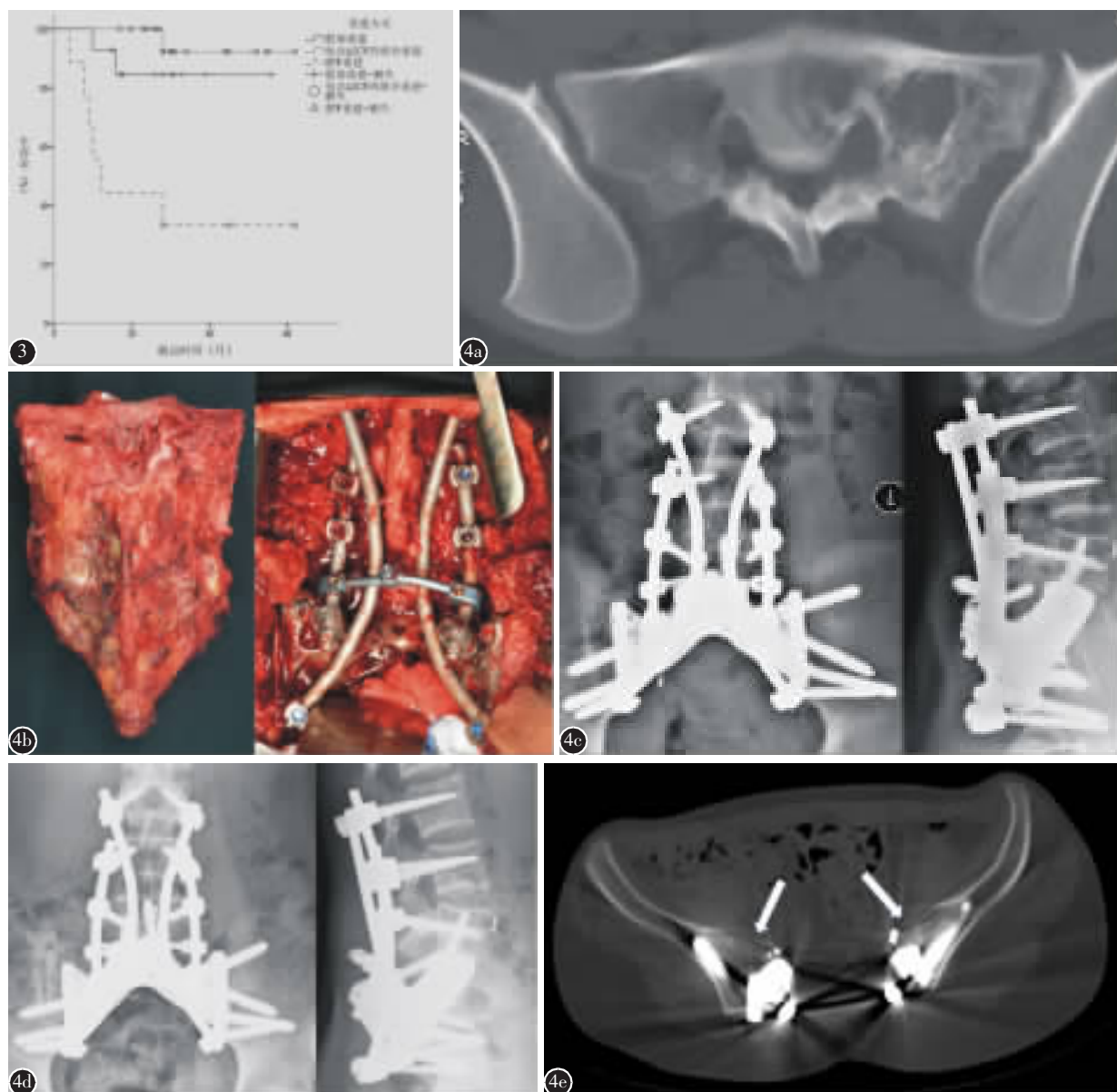


图 3 Kaplan-Meier 曲线显示不同重建方式对内置物生存期的影响(ASCF, 前方椎体重建; SPF, 脊柱骨盆重建) **图 4** 女性, 14 岁, 骶骨尤文肉瘤/PNET **a** 术前 CT 示肿瘤累及高位骶骨 **b** 术中全骶骨切除标本, 3D 打印全骶骨假体置入 **c** 术后 3 周 X 线平片示假体及内固定位置良好 **d** 术后 12 个月 X 线平片假体无明显下沉, 固定螺钉无断裂、松动 **e** 术后 12 个月 CT 示假体-骨接触面新骨形成(箭头处)

Figure 3 Kaplan-Meier curves show differences of implant survival between different reconstructive methods(note: ASCF, anterior spinal column fixation; SPF, spinal pelvic fixation) **Figure 4** A 14-year-old female patient with a sacral Ewing's sarcoma/PNET **a** Preoperative CT showed tumor involvement of the high sacrum **b** Tumor-bearing sacrum was resected en bloc and an endoprosthesis implanted **c** 3 weeks after the operation, X-ray plain film showed that the prosthesis and internal fixation position were good **d** 12 months after operation, X-ray showed the prosthesis did not sink significantly, and the fixation screw did not break or loosen **e** 12 months after the operation, CT showed the formation of new bone on the prosthesis-bone interface (arrow)

的应力分布及更佳的安全性^[18]。本研究中,假体重建组患者在术后获得了与联合重建组患者相近的满意的腰-髋稳定性。如前所述,包含 ASCF 的联

合重建方案是目前认为最理想的全骶骨切除后腰-髋稳定性重建方案^[6]。这进一步验证了 3D 打印全骶骨假体能够达到理想、完善的重建效果。

在内置物生存情况方面,3D 打印假体在影像学内置物生存期上与其他两种重建方式并无显著性差异。这说明全骶骨切除后骨缺损重建中无论何种重建方式均存在应力集中部位,从而易导致内固定物断裂^[8]。然而,当对比以取出或翻修内置物为终点事件的内置物生存期时,接受 3D 打印全骶骨假体重建的患者的内置物生存期与接受包含 ASCF 的联合重建方案患者相似,且显著优于接受单纯 SPF 重建的患者。值得注意的是,假体重建组中 4 例影像学内置物失败的患者中 3 例显示出了牢固的假体-骨融合,而仅有的 1 例取出假体的患者,在术中亦观察到了假体-骨界面处新骨的形成。这进一步提示,即使 3D 打印全骶骨假体与周围骨的固定装置发生失败,由 3D 打印技术制造的孔隙化类骨小梁结构诱导产生的假体-骨接触面处的骨长入仍可保障重建系统的稳定性,从而使全骶骨切除患者获得理想的远期腰-髋稳定性。

对于手术安全性,本研究中假体重建组患者的手术时间、术中出血量相较于其他两组患者均无显著性差异,而围手术期并发症发生率甚至低于联合重建组患者。同时,其与文献报道水平亦无明显差异(手术时间 282~2047.5min,术中出血量 2595~21600ml,围手术期并发症发生率 22.2%~81.25%)^[3-6,19-22]。这说明了应用 3D 打印全骶骨假体进行重建在能够达到理想的腰-髋稳定性和内置物生存情况的同时并不增加重建操作的复杂度。这是由于假体上预先留置的各种结构简化了重建步骤。相较于文献报道的各种以钉棒系统为基础的联合重建方案,3D 打印全骶骨假体重建方式简便易行,真正实现了一步式重建。

本研究亦存在一定的不足。首先,本研究作为一项回顾性研究,病例数较少,随访期相对较短,具有其本身固有的局限性。其次,在采用 3D 打印假体重建的患者中,附加重建方式的选择是基于患者术中情况,这会为结果引入不可避免地选择偏倚。下一步研究应进一步开展大样本量、长随访期的前瞻性研究以进一步评估 3D 打印全骶骨假体的应用价值,同时也应着重对比不同附加重建方式对整体重建效果的影响,以此明确附加重建方式的选择指征。

综上所述,我们认为在全骶骨切除患者中应用 3D 打印全骶骨假体进行重建能够取得理想的腰-髋

稳定性以及满意的内置物生存情况,同时不会增加手术风险。

5 参考文献

1. Smith JA, Tuchman A, Huoh M, et al. Locomotor biomechanics after total sacrectomy: a case report[J]. Spine, 2014, 39(24): E1481-1487.
2. Xie C, Whalley N, Adasonla K, et al. Can local recurrence of a sacral chordoma be treated by further surgery [J]. Bone Joint J, 2015, 97B(5): 711-715.
3. Guo W, Tang X, Zang J, et al. One-stage total en bloc sacrectomy: a novel technique and report of 9 cases[J]. Spine, 2013, 38(10): E626-631.
4. Li D, Guo W, Tang X, et al. Surgical classification of different types of en bloc resection for primary malignant sacral tumors[J]. Eur Spine J, 2011, 20(12): 2275-2281.
5. Zang J, Guo W, Yang R, et al. Is total en bloc sacrectomy using a posterior-only approach feasible and safe for patients with malignant sacral tumors[J]. J Neurosurg Spine, 2015, 22(6): 563-570.
6. Bederman SS, Shah KN, Hassan JM, et al. Surgical techniques for spinopelvic reconstruction following total sacrectomy: a systematic review[J]. Eur Spine J, 2014, 23(2): 305-319.
7. Nishizawa K, Mori K, Saruhashi Y, et al. Long-term clinical outcome of sacral chondrosarcoma treated by total en bloc sacrectomy and reconstruction of lumbosacral and pelvic ring using intraoperative extracorporeal irradiated autologous tumor-bearing sacrum: a case report with 10 years follow-up [J]. Spine J, 2014, 14(5): e1-8.
8. Wuisman P, Lieshout O, van Dijk M, et al. Reconstruction after total en bloc sacrectomy for osteosarcoma using a custom-made prosthesis: a technical note[J]. Spine, 2001, 26(4): 431-439.
9. Faizan A, Bhowmik-Stoker M, Alipit V, et al. Development and verification of novel porous titanium metaphyseal cones for revision total knee arthroplasty[J]. J Arthroplasty, 2017, 32(6): 1946-1953.
10. Hamid KS, Parekh SG, Adams SB. Salvage of severe foot and ankle trauma with a 3D printed scaffold[J]. Foot Ankle Int, 2016, 37(4): 433-439.
11. Liang H, Ji T, Zhang Y, et al. Reconstruction with 3D-printed pelvic endoprostheses after resection of a pelvic tumour[J]. Bone Joint J, 2017, 99-B(2): 267-275.
12. Spetzger U, Frasca M, König SA. Surgical planning, manufacturing and implantation of an individualized cervical fusion titanium cage using patient-specific data[J]. Eur Spine J, 2016, 25(7): 2239-2246.
13. Wei R, Guo W, Ji T, et al. One-step reconstruction with a 3D-printed, custom-made prosthesis after total en bloc

- sacrectomy: a technical note[J]. Eur Spine J, 2017, 26(7): 1902-1909.
14. MacBarb RF, Lindsey DP, Bahney CS, et al. Fortifying the bone-implant interface part 1: an in vitro evaluation of 3D-printed and TPS porous surfaces[J]. Int J Spine Surg, 2017, 11(3): 15.
 15. Shah FA, Omar O, Suska F, et al. Long-term osseointegration of 3D printed CoCr constructs with an interconnected open-pore architecture prepared by electron beam melting[J]. Acta Biomater, 2016, 36: 296-309.
 16. Shah FA, Snis A, Matic A, et al. 3D printed Ti6Al4V implant surface promotes bone maturation and retains a higher density of less aged osteocytes at the bone-implant interface [J]. Acta Biomater, 2016, 30: 357-367.
 17. Huang L, Guo W, Yang R, et al. Proposed scoring system for evaluating neurologic deficit after sacral resection: functional outcomes of 170 consecutive patients[J]. Spine, 2016, 41(7): 628-637.
 18. Huang S, Ji T, Guo W. Biomechanical comparison of a 3D-printed sacrum prosthesis versus rod-screw systems for reconstruction after total sacrectomy: a finite element analysis [J]. Clin Biomech, 2019, 70: 203-208.
 19. Dickey ID, Hugate RR Jr, Fuchs B, et al. Reconstruction after total sacrectomy: early experience with a new surgical technique[J]. Clin Orthop Relat Res, 2005, 438: 42-50.
 20. Gokaslan ZL, Romsdahl MM, Kroll SS, et al. Total sacrectomy and Galveston L-rod reconstruction for malignant neoplasms: technical note[J]. J Neurosurg, 1997, 87(5): 781-787.
 21. Kiatisevi P, Piyaskulkaew C, Kunakornsawat S, et al. What are the functional outcomes after total sacrectomy without spinopelvic reconstruction[J]. Clin Orthop Relat Res, 2017, 475(3): 643-655.
 22. Wuisman P, Lieshout O, Sugihara S, et al. Total sacrectomy and reconstruction: oncologic and functional outcome[J]. Clin Orthop Relat Res, 2000, 381: 192-203.
- (收稿日期:2020-05-15 修回日期:2020-07-15)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 彭向峰)

(上接第 803 页)

- a case-series of 13 patients[J]. Eur Spine J, 2018, 27(12): 3073-3083.
10. Wei R, Guo W, Ji T, et al. One-step reconstruction with a 3D-printed, custom-made prosthesis after total en bloc sacrectomy: a technical note[J]. Eur Spine J, 2017, 26(7): 1902-1919.
 11. Choy WJ, Mobbs RJ, Wilcox B, et al. Reconstruction of thoracic spine using a personalized 3D-printed vertebral body in adolescent with T9 primary bone tumor[J]. World Neurosurg, 2017, 105: 1032.e13-1032.e17.
 12. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia[J]. Paraplegia, 1969, 7(3): 179-192.
 13. Tomita K, Kawahara N, Kobayashi T, et al. Surgical strategy for spinal metastases[J]. Spine, 2001, 26(3): 298-306.
 14. Tomita K, Toribatake Y, Kawahara N, et al. Total en bloc spondylectomy and circumspinal decompression for solitary spinal metastases[J]. Paraplegia, 1994, 32(1): 36-46.
 15. Hart RA, Boriani S, Biagini R, et al. A system for surgical staging and management of spine tumors: a clinical outcome study of giant cell tumors of the spine[J]. Spine, 1997, 22(15): 1773-1783.
 16. Savini R, Gherlinzoni F, Morandi M, et al. Surgical treatment of giant-cell tumor of the spine: the experience at the Istituto Ortopedico Rizzoli[J]. J Bone Joint Surg Am, 1983, 65(9): 1283-1289.
 17. 郭卫, 李大森, 杨毅, 等. 脊柱骨巨细胞瘤的手术治疗策略 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(12): 899-903.
 18. 吴志鹏, 肖建如, 杨兴海, 等. 脊柱骨巨细胞瘤外科治疗复发相关因素的回顾性分析[J]. 国际骨科学杂志, 2010, 31(6): 387-390.
 19. Boriani S. En bloc resection of bone tumors of the thoracolumbar spine: a preliminary report on 29 patients [J]. Spine, 1996, 21(16): 1927-1931.
 20. de Carvalho Cavalcante RA, Silva Marques RA, Santos VG, et al. Spondylectomy for giant cell tumor after denosumab therapy[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2016, 41(3): E178-182.
- (收稿日期:2020-05-16 末次修回日期:2020-07-03)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 李伟霞)