

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.04.041

3D 打印个性化髋臼假体在复杂老年髋部骨折伴髋臼骨缺损重建中的应用研究

胡一凡, 徐 毅

(兰溪市人民医院 骨科, 浙江 金华 321100)

【摘要】目的 探讨3D打印个性化髋臼假体在复杂老年髋部骨折伴髋臼骨缺损重建中的临床应用效果。**方法** 回顾性分析2024年1月至2026年1月兰溪市人民医院收治的复杂老年髋部骨折伴髋臼骨缺损患者的临床资料。所有患者术前均经双能X射线吸收法(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)评估,并按Paprosky髋臼骨缺损分型完成亚组划分,所有患者均基于术前计算机断层扫描(computed tomography, CT)扫描数据设计并采用3D打印个性化钛合金假体行髋臼重建。比较术前与末次随访时的Harris髋关节评分(Harris hip score, HHS)、视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)、双下肢长度差异(leg length discrepancy, LLD)变化情况。比较Paprosky II型、III型缺损组间的骨整合率及HHS评分。记录患者影像学表现和术后并发症发生情况。**结果** 研究期间,共筛查112例患者,最终纳入80例患者,平均随访时长为(15.6±4.2)个月。与术前比较,末次随访时,患者HHS评分显著提升,VAS评分显著降低,LLD显著缩短(均 $P<0.001$)。亚组分析结果显示,Paprosky II型、III型缺损组间的骨整合率及HHS评分差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。影像学分析显示,所有假体位置良好,初始稳定性满意。至末次随访,无一例患者出现明确的影像学松动或断裂。术后并发症发生率为6.25%(5/80),所有并发症经对症处理后均获痊愈。**结论** 3D打印个性化髋臼假体可与髋臼骨缺损实现精准匹配,为假体提供良好的初始稳定性,促进术后骨整合,显著改善患者关节功能、缓解疼痛,近期疗效满意。

【关键词】 3D打印; 髋臼假体; 老年髋部骨折; 髋臼骨缺损; 重建

【中图分类号】 R687.4

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2026) 04-0191-04

Research on the application of 3D printing personalized acetabular prosthesis in the reconstruction of complex elderly hip fractures with acetabular bone defects

HU Yifan, XU Yi

(Department of Orthopedics, Lanxi People's Hospital, Jinhua 321100, Zhejiang, China)

【Abstract】Objective To investigate the clinical application effect of 3D printing personalized acetabular prosthesis in the reconstruction of complex elderly hip fractures with acetabular bone defects. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of elderly patients with complex hip fractures and acetabular bone defects who were admitted to Lanxi People's Hospital from January 2024 to January 2026. All patients were evaluated by dual energy X-ray absorptiometry (DXA) before the operation, and were divided into subgroups according to the Paprosky acetabular bone defect classification. All patients underwent acetabular reconstruction using 3D printing personalized titanium alloy prostheses, which were designed based on the pre-operative computed tomography (CT) scan data. The changes in the Harris hip score (HHS), visual analogue scale (VAS), and leg length discrepancy (LLD) were compared between the pre-operative period and the last follow-up. The bone integration rate and HHS score were compared between the Paprosky II type and III type defect groups. The imaging manifestations of the patients and the occurrence of postoperative complications were recorded. **Results** During the study period, a total of 112 patients were screened, and 80 patients were finally included. The average follow-up duration was (15.6±4.2) months. Compared with the preoperative state, the patient's HHS score significantly increased, the VAS score significantly decreased, and the LLD significantly shortened (all $P<0.001$) at the last follow-up. The subgroup analysis results showed that there were no statistically significant differences in bone integration rate and HHS score between the Paprosky type II and type III defect groups (all $P>0.05$). The imaging analysis showed that all the prostheses were in good position and the initial stability was satisfactory. At the last follow-up, no patient showed any clear radiological loosening or fracture. The incidence of postoperative complications was 6.25% (5/80), and all complications were cured after symptomatic treatment. **Conclusion**

收稿日期: 2026-02-01。

作者简介: 胡一凡, 硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 创伤骨科、关节外科。E-mail: 19846796645@163.com。

The 3D printing personalized acetabular prosthesis can precisely match the acetabular bone defect, providing excellent initial stability for the prosthesis, promoting postoperative bone integration, significantly improving the joint function of patients and alleviating pain. The short-term therapeutic effect is satisfactory.

【Key words】 3D printing; Acetabular prosthesis; Hip fractures in the elderly; Acetabular bone defects; Reconstruction

全球人口老龄化进程持续推进,老年髋部骨折的发病率呈逐年上升趋势,其中累及髋臼的复杂骨折常伴随严重骨缺损与骨质疏松,给髋臼重建带来巨大挑战。传统标准化假体难以适配形态不规则的骨缺损,易出现假体覆盖不足、初始稳定性差等问题,进一步提升假体松动、术后慢性疼痛等不良事件的发生风险。

3D 打印技术为骨科个性化重建提供了全新路径^[1]。该技术可基于患者术前计算机断层扫描(computed tomography, CT)影像数据完成三维重建与个性化设计,制备出与髋臼骨缺损形态高度契合的定制化假体^[2-3],其自带的多孔金属结构可有效诱导骨组织长入,为假体远期生物固定提供支撑^[4]。目前该技术已在髋关节翻修等领域展现出明确应用优势,多项研究报道了其在处理 Paprosky II 型、III 型等重度髋臼骨缺损时可获得理想的近中期疗效^[5-8],定制化 3D 打印髋臼组件在大范围髋臼缺损翻修术中可实现较高的假体生存率,且并发症发生率处于临床可接受范围^[9]。但现有研究多聚焦于髋关节翻修手术或个案报道,针对合并重度骨质疏松的老年初治患者群体的大样本临床证据仍较为有限。基于此,本研究通过回顾性分析 80 例采用 3D 打印个性化髋臼假体完成重建的复杂老年髋部骨折伴髋臼骨缺损病例,系统评估其安全性、可行性及近期疗效,以期为该类患者的个性化治疗提供更充分的参考依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为单中心回顾性队列研究。连续纳入 2024 年 1 月至 2026 年 1 月于溪市人民医院骨科就诊的老年患者,所有患者术前均经双能 X 射线吸收法(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)评估,并确诊为复杂髋部骨折伴髋臼 Paprosky II 型或 III 型骨缺损,需行人工全髋关节置换或翻修术,且术中采用 3D 打印个性化髋臼假体进行重建。纳入标准:① 年龄 ≥ 65 岁;② 诊断为复杂髋部骨折伴髋臼骨缺损(Paprosky II 型或 III 型),需行髋臼重建的患者;③ 签署知情同意书,同意使用 3D 打印个性化假体;④ 能够配合完成术后随访。排除标准:① 存在手术绝对禁忌证;②

髋关节周围软组织条件极差的患者;③ 患有认知障碍,无法配合评估的患者;④ 失访患者。研究期间共筛查符合诊断标准的老年患者 112 例,最终排除 32 例(其中活动性感染 5 例,严重神经肌肉疾病 3 例,预期寿命不足 1 年 12 例,拒绝使用 3D 打印假体 7 例,临床及随访资料不全 5 例),共纳入有效病例 80 例,其中男性 32 例,女性 48 例;年龄 65 ~ 92 岁,平均 (76.8 ± 8.3) 岁;骨折类型包含陈旧性髋臼骨折合并骨关节炎 38 例,全髋关节置换术后假体周围骨折伴骨溶解 27 例,新鲜复杂髋臼骨折 15 例;按 Paprosky 髋臼骨缺损分型:II 型缺损 45 例,III 型缺损 35 例。根据是否合并骨质疏松:72 例确诊合并骨质疏松、8 例无骨质疏松。本研究已通过兰溪市人民医院伦理委员会批准(批件号:2023-LXYY-LL-028)。

1.2 方法

1.2.1 个性化假体设计与制造

所有患者术前均行骨盆薄层 CT 扫描(层厚 0.625 mm),将扫描获取的 DICOM 格式数据导入医学影像处理软件(Mimics 21.0, Materialise 公司)完成三维重建,精确勾勒髋臼骨缺损的边界与范围。基于重建后的骨盆模型,采用计算机辅助设计软件(3-matic, Materialise 公司)完成个性化髋臼假体设计。假体采用 Ti6Al4V 钛合金材质,通过激光粉末床熔融技术(华曙高科设备)完成打印制备。假体与宿主骨的接触面设计为仿生骨小梁多孔结构,孔隙率控制在 70% ~ 80%,孔径 400 ~ 600 μm ,为骨组织长入提供条件。针对合并髋臼内侧壁或前后柱严重缺损的病例,额外设计带侧翼或支撑块的个体化组件,为假体提供额外力学支撑。设计完成后同步 3D 打印 1:1 比例的骨盆实体模型,提前开展模拟手术操作,验证假体匹配度与术中安装路径的可行性。

1.2.2 手术方法

所有手术均由同一组高年资骨科医生完成,统一采用髋关节后外侧入路充分显露髋臼区域,彻底清除髋臼内残留的纤维瘢痕组织、旧骨水泥碎屑及磨损颗粒。以术前 3D 打印实体模型和预演方案为参考,对骨缺损区域进行精确修整,植入个性化髋臼假体,确保其与宿主骨达到最大面积接触与初始压

配稳定。结合术中骨质量情况,使用多枚螺钉进行辅助固定,随后安装匹配的髌臼内衬与股骨侧假体组件。术中常规采用“鸡尾酒”方案完成多模式镇痛,预防性使用抗生素降低感染风险。

1.2.3 术后康复

术后常规给予抗凝、镇痛对症治疗。24 h 内拍摄双下肢全长 X 线片评估双下肢长度差异,并据此调整鞋垫或助行器高度。在康复师指导下于术后第 1 天开始进行踝泵运动及股四头肌等长收缩训练。术后常规予以规范化抗骨质疏松治疗(钙剂+维生素 D+双膦酸盐类药物),并根据患者术前合并症调整康复强度,术后第 2~3 天在助行器辅助下开始部分负重行走,逐步过渡至完全负重。

1.3 观察指标

1.3.1 临床疗效评估

分别于术前、术后 3 个月、术后 6 个月、术后 12 个月及末次随访时完成评估。① 髋关节功能:采用 Harris 髋关节评分(Harris hip score, HHS)评价^[10]。② 疼痛程度:采用视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)评价^[11]。③ 双下肢长度差异(leg length discrepancy, LLD)^[12]:通过站立位双下肢全长 X 线片完成测量。

1.3.2 影像学评估

分别于术后 1 周、3 个月、6 个月、1 年及之后每年复查骨盆正位与患髋侧位 X 线片,评估内容如下。① 假体位置:观察假体有无移位、倾斜或断裂;② 骨整合状态:采用 Engh 标准评价骨长入情况,分为稳定骨整合、纤维固定、假体松动 3 个等级;③ 异位骨化程度:采用 Brooker 分级完成评估。

1.3.3 并发症记录

记录围手术期及随访期间所有并发症,包括感染、假体周围骨折、神经血管损伤、下肢深静脉血栓(deep venous thrombosis, DVT)、肺栓塞(pulmonary embolism, PE)、髋关节脱位、假体无菌性松动等。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行数据分析。经 Shapiro-Wilk 检验行正态性验证,满足正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,术前与术后评分比较采用配对 t 检验。计数资料以例(%)表示,比较采用 χ^2 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基线资料与手术情况

80 例患者均顺利完成手术,无术中死亡或需更

改手术方案者。平均手术时间为(145.6±32.8)min,平均术中出血量为(520.3±180.1)ml。所有个性化假体均实现术中顺利安装,与术前规划匹配良好。患者基线资料见表 1。

表 1 患者基线资料($n=80$)

项目	数据
性别(男/女,例)	32/48
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	76.8±8.3
骨折/翻修原因[例(%)]	
陈旧性髌臼骨折伴骨关节炎	38(47.50)
假体周围骨折伴骨溶解	27(33.75)
新鲜复杂髌臼骨折	15(18.75)
Paprosky 分型[例(%)]	
II 型	45(56.25)
III 型	35(43.75)
合并骨质疏松[例(%)]	72(90.00)
ASA 分级(II/III 级,例)	58/22

注:ASA:美国麻醉医师学会。

2.2 临床疗效评价与并发症情况

所有患者均获得随访,平均随访时间(15.6±4.2)个月。术后各时间点 HHS 评分及 VAS 评分较术前均显著改善(均 $P<0.001$)。末次随访时,平均 HHS 评分为(86.4±7.3)分,优良率达 91.25%(73/80)。平均 VAS 评分降至(1.5±0.9)分。LLD 由术前(2.8±1.5)cm 矫正至术后(0.5±0.4)cm($P<0.001$)(表 2)。亚组分析结果显示,骨质疏松组(72 例)与非骨质疏松组(8 例)末次随访 HHS 评分[(85.9±7.5)分:(89.2±6.1)分]及骨整合率(95.79%:100%)比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);Paprosky II 型组骨整合率为 97.77%(44/45),III 型组为 94.29%(33/35),差异亦无统计学意义($P>0.05$)。

表 2 手术前后髋关节功能与疼痛评分比较($\bar{x}\pm s, n=80$)

评估指标	术前	术后 3 个月	术后 6 个月	末次随访	P
HHS 评分 (分)	32.5±8.7	68.2±9.1*	78.9±8.4*	86.4±7.3*	<0.001
VAS 评分 (分)	7.8±1.2	3.1±1.0*	2.0±0.8*	1.5±0.9*	<0.001
LLD (cm)	2.8±1.5	—	0.6±0.5*	0.5±0.4*	<0.001

注:HHS: Harris 髋关节评分;VAS:视觉模拟评分法;LLD:双下肢长度差异。与术前相比,* $P<0.001$ 。

本研究患者术后并发症情况为:术后共 5 例(6.25%)患者出现并发症。其中,切口浅表感染 2 例,经换药及抗生素治疗后愈合;下肢 DVT 2 例,经抗凝治疗后血栓溶解;一过性坐骨神经麻痹 1 例,于

术后3个月内完全恢复。无一例发生假体周围骨折、PE、假体脱位或深部感染。

2.3 影像学结果

影像学评估显示:术后X线片显示所有假体位置良好,初始稳定性满意。至末次随访,无一例患者出现明确的影像学松动(连续透亮线 $>2\text{ mm}$ 或假体移位 $>3\text{ mm}$)或断裂。术后6个月,根据Engh标准,77例(96.25%)患者假体-骨界面达到稳定骨整合。3例(3.75%)表现为纤维固定,但无临床症状,仍在有效随访中。发生异位骨化(Brooker I ~ II级)8例(10.00%),均未影响关节功能。

3 讨论

复杂老年髋部骨折伴髋臼骨缺损的重建极具挑战性。本研究对80例患者应用3D打印个性化髋臼假体,获得了良好的近期疗效,髋关节功能与疼痛显著改善,并发症发生率低,初步验证了该技术的安全性及有效性。

本研究中患者术后平均HHS评分达 (86.4 ± 7.3) 分,且96.25%的病例在术后6个月实现稳定骨整合。这得益于假体完美的形态匹配与仿生多孔结构,后者为骨长入提供了理想环境,是实现长期生物固定的关键。本研究的优势在于聚焦于常伴严重骨质疏松的老年群体。个性化假体通过最大化接触面积提供了优异的初始机械稳定性,为骨整合赢得时间。同时,术前利用3D打印模型进行手术模拟,有助于缩短手术时间、减轻创伤,符合加速康复外科理念。Li等^[13]证实了3D打印技术在复杂解剖重建中的普适性。本研究首次将3D打印个性化髋臼假体系统应用于合并严重骨质疏松的复杂老年髋部骨折急性重建,突破了传统标准化假体在骨量严重不足患者中“匹配难、固定难”的技术瓶颈。未来结合具有骨髓微环境模拟功能的水凝胶微球等生物活性材料^[14],有望进一步加速骨质疏松患者的骨整合进程。

本研究为单中心回顾性研究,缺乏与传统标准化假体或异体骨植骨技术的同期随机对照,无法直接量化3D打印技术在骨质疏松患者中的绝对优势。其次,平均随访时间尚短,髋臼假体的远期松动、磨损及进行性骨吸收等并发症通常在术后3~5年甚至更久才显现,本研究的近期疗效满意并不代表远期生存率无忧,仍需延长随访周期。

综上,对于伴有严重骨缺损的复杂老年髋部骨折,3D打印个性化髋臼假体能实现精准重建与稳定固定,促进早期骨整合,近期疗效满意。该技术代表

了个性化骨科治疗的方向。未来需开展多中心、长期随访的前瞻性对照研究,并探索更具生物活性的涂层或可降解材料,以优化远期疗效。

参考文献

- [1] 张衡, 马晓东, 李博闻, 等. 3D打印定制假体及其在髋关节翻修髋臼重建应用中的研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2024, 38(11): 1414-1420.
- [2] 刘珂, 刘晓潭, 侯毅, 等. 3D打印个体化髋臼填充技术在复杂髋关节翻修中的应用[J]. 中华实验外科杂志, 2017, 34(3): 522-523.
- [3] 李帅垒, 柴昊, 孙永强. 个体化3D打印定制假体在严重Paprosky III型髋臼侧骨缺损中的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2025, 39(1): 13-19.
- [4] 王江静, 赵娜, 胡晓娜, 等. 3D打印钛合金骨小梁臼杯假体联合加味补肾活血汤应用于老年髋关节置换的安全性[J]. 中国组织工程研究, 2026, 30(3): 612-619.
- [5] FANG S, WANG Y, XU P, *et al.* Three-dimensional-printed titanium implants for severe acetabular bone defects in revision hip arthroplasty: short- and mid-term results[J]. Int Orthop, 2022, 46(6):1289-1297.
- [6] LI Z, LUO Y, LU M, *et al.* 3D-printed Personalized Porous Acetabular Component to Reconstruct Extensive Acetabular Bone Defects in Primary Hip Arthroplasty[J]. Orthop Surg, 2024, 16(7):1642-1647.
- [7] XIAO C, ZHANG S, GAO Z, *et al.* Custom-made 3D-printed porous metal acetabular composite component in revision hip arthroplasty with Paprosky type III acetabular defects: A case report[J]. Technol Health Care, 2023, 31(1):283-291.
- [8] GU L, PENG Y, CHEN X, *et al.* Three-dimensional printed porous tantalum buttress for acetabular reconstruction of complex deformity: A case report[J]. Asian J Surg, 2024, 47(11): 4766-4767.
- [9] KOERLING A L, GREWAL U S, STOTT P. A systematic review of custom 3D-printed acetabular components in revision arthroplasty for the management of extensive acetabular defects[J]. J Clin Orthop Trauma, 2024, 62:102869.
- [10] FRIHAGEN F, GROTE M, MADSEN JE, *et al.* Outcome after femoral neck fractures: a comparison of Harris Hip Score, Eq-5d and Barthel Index[J]. Injury, 2008, 39(10):1147-1156.
- [11] 张挺, 王睿铸, 胡燕军, 等. 视觉模拟评分法在全膝关节置换术镇痛后应用体会[J]. 现代生物医学进展, 2011, 11(22): 4362-4363.
- [12] 路玉峰, 刘林, 许鹏, 等. 一种使用X线测量全髋关节置换患者双下肢长度差异的新方法[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(19): 1479-1483.
- [13] LI C, LI H, MENG X, *et al.* The Application of 3D-Printed Microporous Laminae in Kyphosis Correction Surgery for Ankylosing Spondylitis: Minimum Two-Year Follow-Up[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2025, 50(14):981-989.
- [14] WANG X, DAI W, GAO C, *et al.* Spatiotemporal Modulated Scaffold for Endogenous Bone Regeneration via Harnessing Sequentially Released Guiding Signals[J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2023, 15(50):58873-58887.