

3D打印技术联合全髋关节置换术治疗DDH的疗效研究

曹志, 蔚涛, 窦强兵*

安徽医科大学附属六安医院骨科, 安徽 六安

收稿日期: 2026年2月28日; 录用日期: 2026年3月23日; 发布日期: 2026年4月1日

摘要

目的: 探讨3D打印辅助全髋关节置换术治疗成人发育性髋关节发育不良的临床疗效。方法: 回顾性分析2020年1月至2022年12月期间在六安市人民医院收治的30例因髋关节发育不良而行全髋关节置换术的患者, 根据手术方式分为两组: 3D打印技术辅助手术组(观察组) 15例; 传统全髋关节置换术组(对照组) 15例。记录并比较两组的手术时间、术中出血量、术后随访的髋关节Harris评分, 评估手术效果; 同时对髋臼假体置入的外展角、前倾角、垂直和水平距离与设计值的差异, 评估髋臼假体置入的准确程度。结果: 两组患者的基线资料(年龄、性别、身高体重指数)分析比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$); 观察组在手术时间及术中出血量方面均优于对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$); 观察组术后髋臼假体外展角、前倾角及旋转中心水平、垂直距离的实际测量值与术前设计值的偏差绝对值均小于对照组, 差异具有统计学意义($P < 0.05$); 观察组术后髋关节Harris评分高于对照组, 但无显著性意义($P > 0.05$), 所有患者术后均未产生并发症。结论: 借助3D打印技术, 术前观察个性化3D模型增强术者对患髋解剖变异的认识, 术中运用其导向作用, 可提高髋臼假体安放精准度, 缩短手术时间, 减少术中出血量, 有助于降低手术难度, 减少术后并发症, 促进患者切口愈合及髋关节功能恢复, 改善手术疗效。

关键词

全髋关节置换术, 髋关节发育不良, 3D打印, 导向器

Efficacy Study of 3D Printing Technology Combined with Total Hip Arthroplasty in the Treatment of Developmental Dysplasia of the Hip

Zhi Cao, Tao Wei, Qiangbing Dou*

*通讯作者。

Abstract

Objective: Exploring the clinical efficacy of 3D printing-assisted total hip arthroplasty in treating adult developmental dysplasia of the Hip. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on 30 patients who underwent total hip arthroplasty for hip dysplasia at the Lu'an People's Hospital between January 2020 and December 2022. The patients were divided into two groups based on the surgical approach: a 3D printing-assisted surgery group (observation group, $n = 15$) and a conventional total hip arthroplasty group (control group, $n = 15$). The surgical outcomes were evaluated by recording and comparing the operation time, intraoperative blood loss, and postoperative Harris Hip Score during follow-up between the two groups. Furthermore, the accuracy of acetabular prosthesis placement was assessed by comparing the differences between the actual and designed values for the abduction angle, anteversion angle, vertical distance, and horizontal distance. **Results:** Analysis of baseline data (age, gender, body mass index) showed no statistically significant difference between the two groups ($P > 0.05$). The observation group demonstrated superior outcomes compared to the control group regarding operation time and intraoperative blood loss, with statistically significant differences ($P < 0.05$). The absolute deviations between the actual postoperative measurements and the preoperative design values for the acetabular prosthesis abduction angle, anteversion angle, and the horizontal and vertical distances of the rotation center were significantly smaller in the observation group than in the control group ($P < 0.05$). Although the postoperative Harris Hip Score was higher in the observation group compared to the control group, the difference was not statistically significant ($P > 0.05$). No postoperative complications occurred in any patient. **Conclusion:** Utilizing 3D printing technology allows for preoperative observation of personalized 3D models, enhancing the surgeon's understanding of the patient's hip anatomical variations. Employing its guiding function during surgery can improve the accuracy of acetabular prosthesis placement, shorten operation time, and reduce intraoperative blood loss. This approach helps lower surgical difficulty, minimize postoperative complications, promote incision healing and hip functional recovery, thereby improving the overall surgical outcome.

Keywords

Total Hip Arthroplasty, Hip Dysplasia, 3D Printing, Guide

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

发育性髋关节发育不良(developmental dysplasia of the hip, DDH)是指髋关节结构的发育异常,解剖学上出现髋臼与股骨头的匹配欠佳,导致关节处于半脱位或者完全脱位的病理状态[1]。长期的生物力学异常会导致进行性股骨头脱位、软骨退化、股骨头坏死和严重骨关节炎,是成人继发性髋关节骨性关节炎的主要病因。对于 DDH 终末期的成人患者,全髋关节置换手术是治疗 DDH 的有效方法之一,但由于患者髋关节发育的异常,导致其相应解剖结构的变异,从而使手术的难度直线上升[2]。其病变主要累及髋臼、股骨头及周围的韧带及肌肉组织,表现为髋臼变得浅薄且凹凸不平,相应区域的软骨缺损、骨质硬

化, 周围骨赘增生, 股骨头与髋臼不贴合, 股骨近端的畸形化, 从而表现为髋关节结构异常, 甚至出现髋关节脱位[3]。DDH 会明显降低患者的生活质量, 尤其是对于终末期的患者, 疾病对其行动能力和生活自立性都会产生严重影响。

全髋关节置换术(Total Hip Arthroplasty, THA)是大多数 DDH 患者最终的治疗手段, 其主要原理是以人工髋关节假体替换患者自身病变的髋关节, 从而达到减轻患者疼痛, 改善髋关节功能, 提高生活质量的目的[4]。然而, 对于 Crowe 分型 II~IV 的 DDH 患者, 因其髋关节解剖结构的极度畸形和变异, 手术过程极为复杂且具有高风险性, 导致术后治疗效果很难达到患者预期[5]。

3D 打印技术是精准的快速成型技术, 以数字模型为模板, 使用黏合材料, 通过逐层堆叠累积的方式制造出三维实体, 包括解剖模型、导航导板、假体、内植物等, 广泛应用于骨科临床治疗[6]。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

本研究回顾性分析 2020 年 1 月至 2022 年 12 月期间在我院收治的 30 例因髋关节发育不良而行全髋关节置换术的患者资料, 根据手术方式分为传统手术组(观察组) 15 例, 3D 打印技术辅助手术组(对照组) 15 例。其中男 12 例, 女 18 例, 年龄(55.2 ± 7.5)岁, 范围值为 45~62 岁, Crowe II 型 19 例, Crowe III 型 11 例。

2.2. 纳入标准与排除标准

纳入标准:

- (1) 年龄在 40 岁至 70 岁之间的成人患者;
- (2) 临床和影像学检查确诊为 Crowe II~III 型的 DDH 患者(见表 1);
- (3) 具有 THA 手术指征的患者;
- (4) 不合并其它损伤, 且病历资料完整;
- (5) 对治疗方案知情并同意手术。

排除标准:

- (1) 不符合纳入标准任意一条;
- (2) 无法耐受手术和麻醉, 如严重心脏病、肺疾病或肾功能不全等;
- (3) 存在严重的骨质疾病或感染;
- (4) 曾经接受过髋关节手术的患者;
- (5) 无法配合手术或术后康复、随访的病人。

Table 1. Crowe classification of DDH

表 1. DDH Crowe 分型

分级	描述
I 级	股骨头半脱位, 脱位率 < 50%
II 级	股骨头半脱位, 脱位率 50%~75%
III 级	股骨头半脱位, 脱位率 75%~100%
IV 级	股骨头全脱位, 脱位率 > 100%

2.3. 手术方案

2.3.1. 术前准备

患者入院后完善术前专科检查,包括体格检查及影像学检查,影像学检查包括骨盆正位 X 线片、患髋关节正侧位 X 线片、双下肢全长站立位 X 线片、双髋 CT 平扫及双下肢血管彩超和心脏彩超检查;体格检查包括髋关节压痛、髋关节活动范围、4 字试验等常规髋关节查体;常规实验室检查、心电图、胸部 X 射线片或 CT 平片。本研究传统手术组采用常规的髋关节假体系统,包括股骨头、髋臼杯、内衬及股骨头假体,并配套使用标准的髓腔锉、髋臼锉、假体打入器等手术器械。3D 打印辅助手术组则在上述常规器械基础上,整合了根据患者术前骨盆及患髋关节 CT 数据重建的数字模型为基础设计并打印的个性化手术导板,该导板用于术中精确引导磨挫髋臼和假体安放。手术过程中,两组均使用了同种标准的手术室设备,如电动摆锯、骨凿、刮匙等骨科通用器械。所有手术器械与设备均经过严格的消毒灭菌流程,并符合医疗器械使用规范,以确保手术的安全性和可重复性。

2.3.2. 3D 打印模型和导向器制作

利用 CT 扫描的骨盆数据以 DICOM 格式导入 Mimics 软件中进行数据分析及处理,然后根据数据模拟三维重建,把重建好的模型分割成二维图片数据并输出为 3D 打印格式 STL,将 STL 文件导入 3D 打印机,得到 3D 打印模型。利用计算机虚拟技术对 3D 模型进行模拟髋臼杯置入,确定臼杯最合适的安放位置,同时在虚拟模型中确定髋关节的旋转中心,在旋转中心的冠状面上外展 40° ,在矢状面上前倾 15° (见表 2),即是导向器置入的方位,然后利用计算机辅助设计出导向器并打印成模型(见图 1)。

Table 2. Definition of coordinate planes

表 2. 坐标平面定义

坐标面	定义
冠状面	双侧髂前上棘对齐,且与耻骨联合在同一平面
矢状面	骶尾骨位于耻骨联合中线的平面

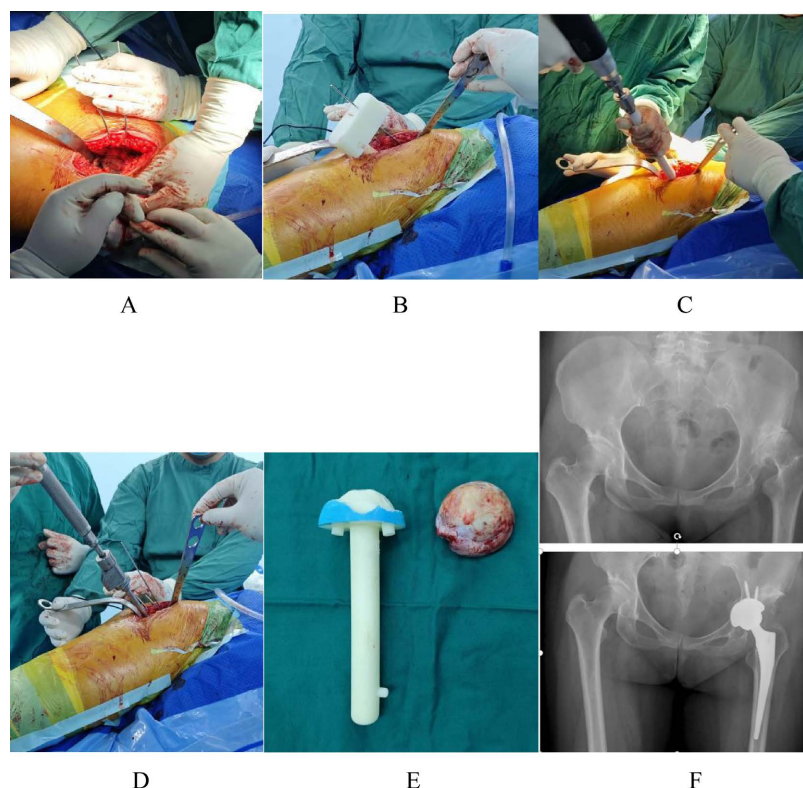


Figure 1. Designed acetabular prosthesis and guide
图 1. 设计出的髋臼假体和导向器

2.3.3. 手术方法

所有患者采用全身或椎管麻醉,取健侧卧位,经后外侧入路进行手术。在传统手术组中,术者依据术前计划及术中透视,严格按照传统手术标准进行全髋关节置换手术。在 3D 打印手术组中,术者暴露髋关节关节囊后一字切开,屈髋内旋,显露股骨头,脱位并截除,助手牵引股骨,暴露髋臼,切除关节囊、关节盂唇及圆韧带残端,显露髋臼骨性结构;将消毒后的个体化导向器紧密贴附于患者髋臼内壁,助手维持导向器的位置,术者通过预留钉道用 2 支 3.0 mm 克氏针固定导向器以确保导板位置与术前数字规划完全一致。然后通过侧板钉道,钻入 1 支 3.0 mm 克氏针到髂骨作为导向针,此时导向针实现了外展角 30° 、前倾角 15° 的导向要求,然后拔除临时固定的克氏针、移除导向器,按照导针方向磨挫髋臼,磨挫过

程中始终保持锉杆与导针平行，磨锉完成后参照导向针方向，置入白杯；随后按照手术标准安放股骨假体(见图 2)。



(A): 后外侧入路暴露髋臼; (B): 将导向器置入髋臼, 克氏针固定, 打入导引针; (C): 依导引针方向磨锉髋臼; (D): 依导引针方向置入白杯; (E): 导向器和截下的股骨头; (F): 术前术后骨盆正位 X 线片。

Figure 2. Hip arthroplasty procedure in the observation group
图 2. 观察组髋关节置换手术过程

2.3.4. 术后处理

术后管理遵循统一的快速康复外科流程。所有患者术后均接受预防性抗凝、镇痛及预防感染治疗。在康复医师指导下, 患者术后第一天开始进行踝泵运动及股四头肌等长收缩训练。根据患者疼痛耐受情况及全身状况, 术后两天后在助行器辅助下逐步进行下地负重行走训练。术后第 1, 2, 3, 6, 12, 18 个月门诊复查, 3 个月脱离辅助器自行行走。

2.3.5. 主要观察指标

记录并比较两组患者的手术时间、术中出血量、术后首次下地活动时间、总住院时间、术后复查 X 射线平片髋臼假体的外展角及前倾角等围手术期指标。术后通过电话及门诊定期随访, 比较两组患者末次随访 Harris 髋关节评分, 该评分从疼痛、功能、关节活动度及畸形四个方面综合评价髋关节功能, 总分 100 分, 得分越高代表髋关节功能状态越好。

2.4. 统计学分析

本研究采用 SPSS 26.0 统计软件对数据进行分析处理, 手术时间、术中出血量、髋关节功能评分、假

体的外展角、前倾角和设计值的偏差计量变量采用 $\bar{x} \pm s$ 形式, 用 t 检验。P < 0.05 为差异有显著性意义。

2.5. 结果

两组患者术前一般资料比较差异均无统计学意义(P > 0.05), 具有可比性(见表 3)。观察组的手术时间、术中出血量均少于对照组, 差异具有显著性意义; 术后髋关节 Harris 评分无显著性意义(P > 0.05); 观察组的前倾角和外展角与设计值偏差更小, 具有显著性意义(P < 0.05)(见表 4)。

Table 3. Comparison of general data between the two groups

表 3. 两组患者一般资料对比

组类	年龄(岁)	性别		Crowe 分型	
		男	女	II 型	III 型
观察组(n = 15)	50.5 ± 5.6	7	8	9	6
对照组(n = 15)	54.8 ± 7.3	5	10	10	5
T/ χ^2	-1.81	-	-	-	-
P	0.081	0.456		0.704	

Table 4. Comparison of surgical outcomes between the two groups

表 4. 两组患者手术指标对比

观察指标	观察组	对照组	t	P
手术时间(min)	103.60 ± 13.21	112.40 ± 11.69	-3.03	0.005
手术出血量(mL)	290.30 ± 78.02	355.10 ± 53.28	-2.66	0.013
术后外展角(°)	40.30 ± 2.30	38.40 ± 2.50	2.17	0.039
术后前倾角(°)	15.40 ± 2.88	12.93 ± 3.35	2.16	0.04
末次随访 Harris 评分	89.10 ± 4.82	86.30 ± 5.25	1.52	0.139

2.6. 不良反应

在随访时间内, 两组在人工髋关节假体置入后均无不良反应发生(见表 5)。

Table 5. Postoperative adverse events

表 5. 术后不良反应

	术后不良反应	
感染	0	0
静脉血栓形成	0	0
假体松动	0	0
假体周围骨折	0	0
假体脱位	0	0
医源性神经血管损伤	0	0

3. 讨论

3.1. DDH 手术的难点

发育性髋关节发育不良(DDH)患者接受全髋关节置换术(THA)是一项极具挑战性的外科手术,其难点主要源于髋臼和股骨近端复杂的解剖结构异常。这些异常不仅增加了手术的技术难度,也显著影响了假体的长期生存率和患者的临床预后。

① DDH 患者髋臼侧存在不同程度的骨缺损、浅平、前倾异常以及旋转中心上移,这使得在重建髋臼时难以获得足够的骨性覆盖和稳定的假体固定[7]。对于 Crowe II 型和 III 型 DDH,精确恢复解剖旋转中心尤为困难,因为复杂的髋臼形态改变使得标准假体难以匹配,且术中定位极易出现偏差[8]。

② 股骨侧同样面临诸多挑战,包括股骨近端干骺端发育不良、股骨颈前倾角异常增大以及颈干角异常,这些因素使得选择合适的股骨假体并实现良好的初始稳定性和骨长入变得复杂[9]。

③ DDH 患者常伴有下肢不等长和软组织挛缩,这要求在手术中不仅要重建骨性结构,还需精细平衡软组织张力以恢复关节的稳定性和功能[10]。

3.2. 3D 打印技术辅助复杂髋关节置换手术的优势

本研究结果显示,应用 3D 打印技术辅助手术的观察组,其手术时间(103.60 ± 13.21 min)显著短于传统手术组(112.40 ± 11.69 min),术中出血量(290.30 ± 78.02 mL)也显著少于对照组(355.10 ± 53.28 mL),差异均有统计学意义($P < 0.05$)。这一结果与张念军等人[1]的研究结论相符,证实了 3D 打印技术在提高手术效率方面的稳定性。然而,与 Yan 等人[2]的研究相比,本研究中观察组患者的出血量略高。原因可能在于其它研究中纳入了部分 Crowe I 型患者,其解剖畸形相对较轻,而本研究严格纳入了 Crowe II~III 型的 DDH 患者,软组织挛缩和骨性畸形更为严重,导致了剥离和磨锉过程中渗血稍多。尽管如此,本研究观察组出血量仍显著低于对照组,表明 3D 打印导向器通过精准定位,减少了术中因反复调整髋臼锉方向和试探假体位置而导致的无效操作和额外损伤,从而有效控制了出血。

应用 3D 打印技术进行术前规划的观察组在手术时间、术中出血量及髋臼假体置入准确性等多个指标上均显著优于传统手术组。这表明 3D 打印技术在辅助术前规划应对复杂髋关节置换术,特别是伴有严重解剖畸形或骨缺损病例时具有巨大优势。传统手术方式主要依赖术者的经验和对二维影像的解读,在面临中晚期 DDH 患者时,往往难以精确评估骨缺损的范围和三维形态,导致手术决策存在不确定性[11]。而 3D 打印技术通过将患者的髋关节 CT 数据转化为实体模型,为外科医生提供了直观、可触的解剖学模型,再通过术前模拟手术,优化手术入路和操作顺序,实现了可视化、可模拟手术的根本性转变[12]。

3D 打印技术可根据患者影像学数据个性化定制手术导板和假体,可在术中恢复髋关节的解剖标志,为假体定位提供了客观、可重复的参照系。由于 DDH 患者髋臼发育不良和骨赘增生,传统的解剖标志常常变得模糊或完全消失,导致在传统手术里术者主要依靠经验和目测进行假体定位,误差风险大[13]。3D 打印技术在术前模拟中可以帮助术者识别并重建患髋的原始解剖结构,并可以此定义术中假体放置的“安全区”[14]。此次研究观察组术后旋转中心位置在垂直和水平距离、外展角、前倾角与术前设计位置的偏差均小于对照组,差异有显著性意义,这表明个性化导向器的辅助对术中髋臼假体安放角度的精准化有着积极意义。而观察组手术时间、术中出血量均少于对照组,主要是通过导向器减少了术野的暴露,简化髋臼假体安放流程。

3.3. 创新与不足

(1) 创新: 本研究通过对比分析,初步验证了 3D 打印系统在 DDH 患者全髋关节置换术中的应用价

值,表现出其在提高假体置入精准度,改善手术疗效方面的潜力。3D 打印技术能够基于患者术前影像数据创建个体化的解剖模型和导向器,通过术前模拟预演,术中引导臼杯置入角度,为整个围术期间提供直观的物理参考,从而提升手术的精准性和安全性[15]。

(2) 不足:一是纳入病例数较少,统计结果可能存在偏倚;二是新技术所需成本较高,在临床推广应用方面较难[16]。

3.4. 展望

(1) 3D 打印技术本身正在从制造解剖模型向直接制造个性化植入物发展,利用金属 3D 打印可以制造出具有复杂多孔结构以促进骨长入的髌臼杯和股骨柄,这对于 DDH 患者常伴有的骨缺损修复具有重要意义[17]。液态金属 3D 打印等新兴技术因其成本较低、速度较快,未来甚至有望将个性化植入物的制造带入手术室,实现真正的“术中定制”[18]。

(2) 手术机器人系统能够将精密的术前三维规划高精度地执行于术中,本研究的人工智能规划系统可作为这些先进技术平台的前端,为其提供更优化、更个性化的手术方案[19]。

4. 结论

此次研究表明 3D 打印辅助 DDH 患者行全髋置换术可以缩短手术时间,减少术中出血量,提高髌臼假体安放精准度,改善患者预后,在骨外科医学领域中具有极大的临床应用价值。

参考文献

- [1] 张念军,刘效仿,周观明,苏瑶,洪石. 3D 打印辅助全髋关节置换个体化治疗成人发育性髋关节发育不良[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(12): 1820-1825.
- [2] Yan, L., Wang, P. and Zhou, H. (2020) 3D Printing Navigation Template Used in Total Hip Arthroplasty for Developmental Dysplasia of the Hip. *Indian Journal of Orthopaedics*, **54**, 856-862. <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00093-8>
- [3] Ellsworth, B.K., Sink, E.L. and Doyle, S.M. (2020) Adolescent Hip Dysplasia: What Are the Symptoms and How to Diagnose It. *Current Opinion in Pediatrics*, **33**, 65-73. <https://doi.org/10.1097/mop.0000000000000969>
- [4] Greber, E.M., Pelt, C.E., Gililland, J.M., Anderson, M.B., Erickson, J.A. and Peters, C.L. (2017) Challenges in Total Hip Arthroplasty in the Setting of Developmental Dysplasia of the Hip. *The Journal of Arthroplasty*, **32**, S38-S44. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.02.024>
- [5] Qian, H., Wang, X., Wang, P., Zhang, G., Dang, X., Wang, K., et al. (2023) Total Hip Arthroplasty in Patients with Crowe III/IV Developmental Dysplasia of the Hip: Acetabular Morphology and Reconstruction Techniques. *Orthopaedic Surgery*, **15**, 1468-1476. <https://doi.org/10.1111/os.13733>
- [6] 王春鹏,杨海娇,张成,等. 3D 打印技术在骨科领域的应用进展[J]. 医学综述, 2020, 26(1): 118-122.
- [7] Solarino, G., Vicenti, G., Piazzolla, A., Maruccia, F., Notarnicola, A. and Moretti, B. (2021) Total Hip Arthroplasty for Dysplastic Coxarthrosis Using a Cementless Wagner Cone Stem. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **22**, Article No. 16. <https://doi.org/10.1186/s10195-021-00578-8>
- [8] Mimendia, I., Lakhani, K., Núñez, J.H., Barro, V., Guerra-Farfán, E., Collado, D., et al. (2023) Total Hip Arthroplasty Associated with Transverse Subtrochanteric Shortening Osteotomy and Conical Stem Fixation in Crowe Type IV Hip Dysplasia. *Musculoskeletal Surgery*, **107**, 367-372. <https://doi.org/10.1007/s12306-023-00779-w>
- [9] Siddiqi, A., White, P.B., Sloan, M., Fox, D., Piuze, N.S., Sankar, W.N., et al. (2020) Total Hip Arthroplasty for Developmental Dysplasia of Hip vs Osteoarthritis: A Propensity Matched Pair Analysis. *Arthroplasty Today*, **6**, 607-611.e1. <https://doi.org/10.1016/j.artd.2020.02.018>
- [10] Sun, J., Ma, H., Shen, J., Du, Y., Dong, Y., Zhang, Y., et al. (2021) Factors Influencing Knee Valgus Alignment in Crowe Type IV Hip Dysplasia after Total Hip Arthroplasty. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **22**, Article No. 41. <https://doi.org/10.1186/s10195-021-00601-y>
- [11] Okolie, O., Stachurek, I., Kandasubramanian, B. and Njuguna, J. (2020) 3D Printing for Hip Implant Applications: A Review. *Polymers*, **12**, Article 2682. <https://doi.org/10.3390/polym12112682>
- [12] Chen, T., Luo, L., Li, J., Li, J., Lin, T., Liu, M., et al. (2025) Advancements in 3D Printing Technologies for Personalized

Treatment of Osteonecrosis of the Femoral Head. *Materials Today Bio*, **31**, Article ID: 101531.

<https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.101531>

- [13] Li, B., Chen, Y., Ding, Y., Yang, F., Li, X. and Zhang, H. (2025) Anatomical Landmarks and Intraoperative “Safe Zone” for Precise Acetabular Prosthesis Placement in Total Hip Arthroplasty for Developmental Dysplasia of the Hip. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **20**, Article No. 1053. <https://doi.org/10.1186/s13018-025-06434-3>
- [14] Zhang, H., Guan, J., Zhang, Z., Chen, X., Ma, X., Zhao, J., *et al.* (2021) Restoring Rotation Center in Total Hip Arthroplasty for Developmental Dysplasia of the Hip with the Assistance of Three Dimensional Printing Technology: A Pilot Study. *Orthopaedic Surgery*, **14**, 119-128. <https://doi.org/10.1111/os.13183>
- [15] Skrzat, J. (2020) Contribution of 3D Printing Technology for Craniofacial Surgery. *Folia Medica Cracoviensia*, **60**, 31-40.
- [16] Rizzo, M.L., Turco, S., Spina, F., *et al.* (2023) 3D Printing and 3D Bioprinting Technology in Medicine: Ethical and Legal Issues. *Clinical Therapeutics*, **174**, 80-84.
- [17] Kelly, C. and Adams, S.B. (2024) 3D Printing Materials and Technologies for Orthopaedic Applications. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **38**, S9-S12. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000002765>
- [18] Debbi, E.M., Puri, S., Athey, A.G. and Chalmers, B.P. (2022) Liquid Phase 3D Printing: How This New Technology Can Help Bring 3D Printing to the Operating Room. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, **15**, 213-218. <https://doi.org/10.1007/s12178-022-09758-3>
- [19] Ondeck, N.T., Borsinger, T.M., Chalmers, B.P. and Blevins, J.L. (2023) Correcting Hip Dysplasia in Young Adults: Intraoperative Navigation and Outcomes. *HSS Journal: The Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery*, **19**, 501-506. <https://doi.org/10.1177/15563316231193003>