

3D 打印鼻技术研究进展与临床应用挑战

赵佳, 李谊*, 温晓梅, 邢培梅, 胡浩磊

联勤保障部队第九八八医院耳鼻喉科, 河南 郑州 450042

DOI:10.61369/MRP.2026040005

摘要: 随着个性化医疗需求的快速增长, 3D 打印技术在鼻部修复与整形领域的应用价值日益凸显。本文通过系统的文献分析、案例研究及技术对比, 全面综述了 3D 打印鼻的技术原理、材料研究进展与临床应用现状, 深入探讨了当前面临的技术挑战与未来发展方向。研究表明, 基于 CT/MRI 数据的三维建模与高精度打印技术可实现鼻部结构的个性化重建; 生物材料 (如生物陶瓷、可降解高分子) 在生物相容性与功能适配性方面表现突出, 而合成材料 (如聚乳酸、钛合金) 则在力学支撑与长期稳定性中更具优势。临床应用显示, 3D 打印鼻技术能显著提升鼻整形手术的术前规划效率与术后效果, 并为鼻缺损修复提供形态与功能兼顾的创新解决方案。然而, 材料性能的局限性、打印效率与成本问题, 以及伦理法规的适配性仍是技术推广的主要障碍。未来研究需聚焦多材料融合打印、动态结构设计及临床长期随访数据的积累, 以推动该技术在临床场景中的深度应用。

关键词: 3D 打印鼻; 生物材料; 临床应用; 个性化修复; 技术挑战

Research Progress and Clinical Application Challenges of 3D Printing Nose

Zhao Jia, Li Yi*, Wen Xiaomei, Xing Peimei, Hu Haolei

Department of Otolaryngology, 988th Hospital of Joint Logistics Support Force, Zhengzhou, Henan 450042

Abstract: With the rapid growth of personalized medical demands, the application value of 3D printing technology in nasal reconstruction and plastic surgery has become increasingly prominent. This article comprehensively reviews the technical principles, material research progress, and clinical application status of 3D-printed noses through systematic literature analysis, case studies, and technical comparisons, while in-depth exploring the current technical challenges and future development directions. The study demonstrates that 3D modeling based on CT/MRI data and high-precision printing technology can achieve personalized reconstruction of nasal structures. Biomaterials (e.g., bioceramics, degradable polymers) exhibit outstanding performance in biocompatibility and functional adaptability, whereas synthetic materials (e.g., polylactic acid, titanium alloys) demonstrate superior advantages in mechanical support and long-term stability. Clinical applications indicate that 3D-printed nose technology significantly enhances preoperative planning efficiency and postoperative outcomes in rhinoplasty, providing innovative solutions that balance morphology and function for nasal defect repair. However, limitations in material properties, printing efficiency and cost, as well as ethical and regulatory compliance remain major obstacles to technology promotion. Future research should focus on multi-material fusion printing, dynamic structural design, and the accumulation of long-term clinical follow-up data to facilitate deeper clinical application of this technology.

Keywords: 3D-printed nose; biomaterials; clinical application; personalized reconstruction; technical challenges

引言

鼻部因先天缺陷、外伤或疾病导致的形态与功能障碍已成为医学领域的重要难题。据统计, 全球每年新增鼻部修复手术需求超过 50 万例, 而传统修复方法存在显著不足: 硅胶假体易出现移位或排异反应, 自体软骨移植则面临供区损伤与吸收率高等风险^[1-2]。这些临床困境推动医学界将 3D 打印技术引入鼻部治疗领域。

3D 打印鼻技术的核心在于通过数字模型制造个性化修复体: 医生首先通过 CT/MRI 扫描获取患者鼻部三维数据, 利用计算机软件设

基金资助: 河南省自然科学基金资助 (242300420125)。

作者简介: 赵佳, 主管护师, 研究方向: 3D 打印在鼻科学的应用。Email:zhaojia_1124@qq.com

通讯作者: 李谊, 医学博士, 主任医师, 研究方向: 鼻科学方向。Email:liyiy153@aliyun.com

计匹配模型，最终通过生物材料逐层打印成型。例如，聚乳酸材料制作的鼻支架在动物实验中表现出良好的支撑力，植入6个月后结构仍保持完整^[3]；与传统手工雕刻假体相比，3D打印可将手术误差控制在0.2毫米以内^[4]。

临床应用中，该技术展现出独特优势：为先天性鼻孔狭窄患儿提供可随生长发育更换的鼻前庭支撑器，避免反复手术创伤^[5]；在唇腭裂治疗中，个性化鼻模使新生儿鼻部畸形矫正成功率提升至92%^[6]；术前3D导板的应用使鼻整形手术时间平均缩短20%，术后并发症率下降35%^[7]。但技术推广仍面临材料抗疲劳性不足、数据隐私保护等挑战，2020–2023年全球相关研究论文已超200篇，涉及材料科学、影像学与临床医学等多领域。

一、3D打印鼻的技术原理

（一）3D打印基础技术

1. 熔融沉积成型（FDM）

FDM技术通过加热塑料丝材（如聚乳酸PLA、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯ABS）至熔融状态，由喷嘴逐层堆积成型。打印鼻模型时，FDM技术通常耗时4–8小时（取决于模型复杂度），但表面层纹需后期打磨处理。PLA材料因成本低、生物相容性较好，常用于制作手术模拟模型或临时支撑结构^[8]。例如，某研究团队用FDM打印的PLA鼻支架在动物实验中，6个月后仍保持70%的结构完整性。

2. 光固化成型（SLA）

SLA技术利用紫外线激光照射液态树脂，使其逐层固化，精度可达0.05毫米，特别适合制作精细的鼻软骨模型。临床中，透明树脂打印的1:1鼻部模型可帮助医生清晰观察内部结构，某医院使用SLA技术制作的个性化鼻支架术后患者满意度达92%。但光敏树脂价格较PLA高3–5倍，且需专用设备处理残留液体^[9]，这在一定程度上限制了其大规模应用。

3. 材料与工艺优化

医用级材料需通过严格生物相容性测试：聚醚醚酮（PEEK）抗压强度达120MPa，是普通塑料的10倍以上，常用于长期植入体；聚己内酯（PCL）在体内6个月可降解50%，适合临时支架；纳米二氧化锆的加入可促进鼻部细胞生长分化^[10]。打印温度控制至关重要：FDM喷嘴温度需维持在200–230℃，SLA打印室温度需稳定在25℃±3℃，新型多喷头打印机已实现软硬材料复合打印，临床应用中外形匹配度达98%^[11]。

（二）数据获取与处理流程

1. 医学影像采集

CT扫描（层厚0.5–1毫米）用于获取鼻骨等硬组织数据，MRI则更适合鼻尖、鼻翼等软组织成像。扫描前需在患者面部贴定位标记，避免图像错位影响建模精度。对于复杂鼻畸形患者，往往需要结合CT和MRI数据，以确保模型的准确性。

2. 数据处理与建模

将DICOM格式影像导入专业软件后，通过阈值分割（如鼻骨Hounsfield值设为150–300）区分鼻部组织^[12]，半自动分割工具可节省40%处理时间。建模时需修复STL文件破洞，为植入支架预留0.3毫米配合间隙，并与患者照片或3D扫描外鼻形态比对。数据脱敏程序可在保留解剖特征的同时抹去患者身份信息，树立

支撑结构设计能使打印成功率提高30%，有效避免鼻小柱等精细部位变形。

二、3D打印鼻的材料研究

（一）生物材料

1. 生物陶瓷

羟基磷灰石因成分与人体骨骼相似，常用于鼻骨修复支架，激光固定技术可支持细胞生长。但其硬度高、易碎裂，高温打印可能破坏生物成分，限制了复杂结构的应用。研究显示，羟基磷灰石复合材料虽实现78%的软骨相似度，但长期植入后的抗疲劳性仍需提高。

2. 生物高分子材料

聚乳酸-羟基乙酸共聚物（PLGA）在体内可降解为水和二氧化碳，动物实验中6个月降解率达70%，同时促进新组织形成^[13]；聚己内酯（PCL）通过电纺丝技术制成多孔支架，添加胶原蛋白后细胞吸附能力增强。但这类材料强度不足，PLA打印的鼻中隔支撑体12个月后弹性下降10%。例如，某临床案例中，PLA材料打印的鼻支架在植入1年后出现轻微变形，影响了术后效果。

3. 复合材料

纳米纤维素混入PLA可提高抗压性与湿润环境稳定性；含血小板裂解液的水凝胶打印精度高，能释放生长因子加速愈合，模拟人体环境浸泡30天后形状保持率超95%。然而，复合材料成本显著增加（如含纳米二氧化锆材料价格为普通材料3倍），限制了临床推广。生物相容性测试显示，竹纤维支架上的鼻黏膜干细胞存活率比塑料材料高20%^[14]，但海藻酸盐等材料可能引发3%患者局部过敏反应。

（二）合成材料

1. 塑料材料

聚乳酸（PLA）适合制作临时支撑结构或手术导板，但强度不足；聚醚醚酮（PEEK）在37℃环境中可稳定保持形状超2年，抗压能力突出，价格较PLA高5倍。透明树脂常用于打印鼻腔模型，辅助鼻内镜手术规划，使医生能更直观地了解患者鼻腔内部结构。

2. 金属材料

钛合金抗拉强度超800MPa，多孔钛合金重量减轻40%，可促进组织长入固定。但金属打印需高温设备（成本较塑料高30%–

50%)，且CT检查中会产生伪影。医用级钛合金镍含量低于0.1%，以降低过敏风险，塑料材料残留单体需小于0.02%，确保患者安全。

3. 材料选择策略

年轻患者美容整形倾向选择可吸收材料，避免二次手术；老年患者修复鼻缺损更注重材料耐用性。混合材料（塑料基体+金属加强）可使鼻支架轻便30%，但其长期效果仍需临床数据支持。例如，针对老年鼻骨缺损患者，钛合金支架因其良好的力学性能成为首选，而年轻患者更倾向于可降解的PLGA材料。

三、3D打印鼻的临床应用

（一）鼻整形手术

1. 术前规划与模拟

通过CT数据重建的1:1鼻部模型可辅助医生规划手术路径，某研究显示，使用3D打印模型后手术成功率从85%提升至98%，操作时间减少30%。术前模拟使医生能提前预判手术难点，优化手术方案，从而提高手术成功率。

2. 个性化植入体制备

聚乳酸-羟基乙酸共聚物支架与患者鼻骨匹配度高，术后外形恢复效果优于传统方法；钛金属假体用于严重鼻缺损修复，患者满意度达95%以上。针对先天性鼻畸形，多层结构的可降解生物材料支架可随患者生长缓慢降解，避免二次手术^[15]；鼻孔狭窄患者使用的3D打印鼻前庭支撑器，扩张效果比传统硅胶材料快30%，表面微孔结构可促进组织生长。

（二）鼻修复治疗

1. 外伤与畸形修复

鼻外伤导致的骨缺损中，钛合金支架贴合度高，85%患者术后12个月恢复正常呼吸功能；先天性鼻孔不对称患儿使用光固化树脂支撑装置，每周微调0.5毫米，两个月后鼻孔基本对称。添加纳米二氧化锆的材料可使鼻腔周围细胞新组织覆盖率提高37%，加速术后恢复。

2. 大面积缺损修复

肿瘤切除导致的鼻缺损中，生物降解材料支架表面涂覆血小板生长因子凝胶，3个月后支架降解同时新生软骨形成，手术时间从4小时缩短至2小时，并发症率降40%。多材料复合打印技术（软质材料模拟皮肤、硬质材料构建骨架）使假体1年后形状保持率达92%，比单材料高20%，更接近真实鼻部结构。

四、3D打印鼻的优势与挑战

（一）技术优势

1. 个性化定制：鼻中隔修复中钛合金支架与鼻腔吻合度达98%，先天鼻畸形手术成功率提升35%。这种高度的个性化定制满足了不同患者的独特需求。

2. 手术效率提升：鼻整形手术时间压缩至2小时内，患者麻醉时间缩短40%，前鼻孔狭窄治疗周期从6周减至3周。效率的提升

不仅减轻了患者痛苦，也提高了医疗资源的利用率。

3. 成本优化：材料利用率提高50%，单例手术耗材费用降62%，住院天数减少3天，复杂病例节省治疗费用约2万元。临床案例显示，车祸患者鼻骨重建术前准备从2周缩至3天，感染率降70%；唇腭裂患儿早期矫正节省费用45%。

（二）现实挑战

1. 材料性能局限：鼻中隔软骨打印材料6个月开裂率15%，生物材料1年体积缩小23%，混合材料长期效果待验证。材料性能的不足制约了技术的进一步推广应用。

2. 打印精度不足：鼻翼等精细结构打印误差达0.3毫米^[16]，光固化技术层间接缝导致并发症率比传统方法高8%，新型高精度技术（如投影微立体光刻）制作时间增加3倍。精度与效率的矛盾是当前面临的重要挑战。

3. 伦理与法规问题：各国3D打印医疗产品审批标准不一（如FDA审批需18个月以上），医生自制支架可能涉及非法行医，生物材料细菌污染风险比常规材料高5倍。伦理法规的不完善也阻碍了技术的规范化应用。

五、研究现状与发展趋势

（一）国内外研究进展

中国研究注重临床转化，如上海交通大学PEEK材料鼻模型用于颅骨缺损修复，北京协和医院水凝胶材料打印精度达0.1毫米；国外更侧重技术创新，哈佛大学光固化鼻软骨支架弹性接近真实软骨90%^[17]，德国研发的聚乳酸支架6个月完全降解。当前研究热点集中于材料创新（如含血小板裂解液支架促进细胞生长速度提高40%）、手术模拟（加拿大医院多材料鼻窦模型使手术时间缩短30%）及组织工程（英国干细胞与支架结合培养带血管鼻软骨）。

（二）未来发展方向

1. 材料创新：开发纳米纤维素增强材料、温度敏感型生物降解材料（遇体温自动成型），聚醚醚酮等可重复消毒材料。新材料的研发将进一步提升3D打印鼻的性能。

2. 技术融合：多材料复合打印（软硬材料分层模拟鼻部结构）、AI自动生成模型（设计时间从48小时缩至6小时）、光固化技术精度提升至0.1毫米以下。技术的融合将推动3D打印鼻技术向更高效、更精准的方向发展。

3. 应用拓展：新生儿鼻畸形临时支架、癌症手术预演模型，实验阶段尝试打印带血管鼻组织（动物实验显示移植后血管供血正常）。应用领域的拓展将使更多患者受益于3D打印鼻技术。预计未来五年，3D打印鼻技术将在更多医院普及，但需解决材料长期稳定性及审批标准化问题。

六、结论

3D打印鼻技术通过数字化建模与精准制造，为鼻部修复与整形提供了个性化解决方案，临床中使患者恢复时间平均缩短

30%。当前常用材料中，合成材料力学性能优异，生物材料相容性突出，但均存在强度不足或降解速率不可控等问题。技术层面，打印精度与设备成本限制基层推广，伦理法规滞后也制约技术应用。未来需重点开发高强度复合材料，结合 AI 优化设计流

程，并加强医工合作与长期随访。若能突破现有瓶颈，该技术将为更多鼻部疾病患者带来功能与形态的双重恢复，推动鼻部修复与整形领域的技术革新。

参考文献

- [1]叶信海.《外鼻缺损修复重建方法的研究进展》[J].中国眼耳鼻喉科杂志,2023,23(1):27-28+33
- [2]于金超,张天宇.外鼻缺损修复重建方法的临床进展[J].中国眼耳鼻喉科杂志,2023,23(01):21-26
- [3]奥纳托夫斯基,普热泽斯瓦夫等.3D打印鼻中隔软骨植入物线材的研究[J].材料,2023,16(9):3534.
- [4]Molinari, Giulia, et al. Assessment of a novel patient-specific 3D printed multi-material simulator for endoscopic sinus surgery. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* (2022), 10 : 974021.
- [5]汪涛,陈东,蔡伟宇,等.3D打印鼻前庭支撑扩张在前鼻孔狭窄治疗中的应用[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志,2022,36(10):746.
- [6]蒋海芳,刘融,胡鹏,等.3D打印技术在唇腭裂精准与个性化治疗中的应用[J].中国组织工程研究,2023,27(3):413.
- [7]Kim D H,等. Long-term efficacy and safety of 3D printed implant in patients with nasal septal deformities[J]. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 2022: 1-8.
- [8]王磊,赵敏,翁云宣,等.机器学习在聚乳酸加工及性能预测中的应用研究进展[J].中国塑料,2023,37(8):127.
- [9]周柯宇等.纳米纤维素基3D打印材料的研究进展[J].中国造纸,2023,44(05):83-91
- [10]卞璐,夏丹丹,钱源,等.纳米二氧化锆对鼻黏膜外胚层间充质干细胞成骨分化的影响[J].中国组织工程研究,2024,28(15):2346.
- [11]罗彬,周美云,田绣云,等.数字化及3D打印联合内镜辅助技术治疗12例颧骨颧弓骨折效果评价[J].中国口腔颌面外科杂志,2022,20(2):188.
- [12]庞莉苹,许铭炎,郭伟忠,等.数字化外科导板在口腔种植修复中的应用分析[J].中国口腔种植学杂志,2022,27(5):292.
- [13]吴子炜,罗治财,韦银格,等.聚乳酸-羟基乙酸共聚物在口腔医学领域的应用[J].中国组织工程研究,2025,29(34):7393.
- [14]郑又菲,史文涛,刘效谷,等.植物源神经导管与鼻黏膜外胚层间充质干细胞的生物相容性[J].中国组织工程研究,2022,26(13):2040.
- [15]郭欣怡,朱光明.生物降解性形状记忆聚合物的研究进展[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2024, 40(5).
- [16]Jia W,等. A multicrosslinked network composite hydrogel scaffold based on dlp photocuring printing for nasal cartilage repair[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2024, 121(9): 2752-2767.
- [17]Cao Y Y,等. Progress of 3D printing techniques for nasal cartilage regeneration[J]. *Aesthetic Plastic Surgery*, 2022: 1-18.