

3D 打印技术在眼整形外科中的应用进展

赵云, 贾世翀, 赵红

引用: 赵云, 贾世翀, 赵红. 3D 打印技术在眼整形外科中的应用进展. 国际眼科杂志, 2025, 25(3):400-403.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.82303106); 天津市眼科医院科技基金项目 (No. YKQN2004)

作者单位: (300020) 中国天津市眼科医院 眼科学与视觉科学重点实验室 南开大学附属眼科医院 天津医科大学眼科临床学院
作者简介: 赵云, 男, 硕士, 主治医师, 研究方向: 眼眶病、眼整形、泪道疾病。

通讯作者: 赵红, 女, 博士, 教授, 主任医师, 研究方向: 眼眶病、眼整形、泪道疾病. zhaohongeye@163.com

收稿日期: 2024-06-25 修回日期: 2025-01-16

摘要

3D 打印技术是一种通过计算机设计, 利用 3D 打印机将添加材料分层打印, 最后叠加形成完整物体的累积制造技术。该技术自问世以来, 在多个临床领域进行了应用, 并取得了良好的辅助手术效果。近年来 3D 打印技术在眼整形外科方面应用逐渐兴起, 研究者在眼整形外科手术设计、眼整形眼眶病手术填充材料研制, 以及在肿瘤性、非肿瘤性相关病变辅助器材个性化设计等方面进行了很多有益探索。虽然这些研究多数停留在研究设计阶段或仅为个案或少数病例研究, 但 3D 打印技术在提高治疗效果和手术精确性方面展现出了难以替代的优势。为总结 3D 打印技术在眼整形外科领域的应用现状和研究前景, 文章就 3D 打印技术在这一领域的应用进行综述, 希望为相关临床研究提供参考。

关键词: 3D 打印; 眼整形外科; 仿生材料; 手术

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.3.11

Progress in the application of 3D printing technology in ophthalmic plastic surgery

Zhao Yun, Jia Shichong, Zhao Hong

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (No.82303106); Science and Technology Youth Project of Tianjin Eye Hospital (No. YKQN2004)

Tianjin Eye Hospital; Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Visual Science; Nankai University Affiliated Eye Hospital; Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University, Tianjin 300020, China

Correspondence to: Zhao Hong. Tianjin Eye Hospital; Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Visual Science; Nankai University Affiliated Eye Hospital; Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University, Tianjin 300020, China. zhaohongeye@163.com
Received: 2024-06-25 Accepted: 2025-01-16

Abstract

• Three-dimensional (3D) printing technology represents an additive manufacturing process wherein computer-aided designs are materialized through the sequential layering of materials by 3D printers, culminating in the formation of complete objects. Since its inception, this technology has found extensive application across various clinical domains, notably enhancing outcomes in surgical assistance. Recently, the utilization of 3D printing in ophthalmic plastic surgery has gained momentum, with researchers conducting numerous valuable explorations into the design of ophthalmic plastic surgeries, the development of surgical fillers for ophthalmic plastic orbital conditions, and the customized design of auxiliary devices for both oncological and non-oncological lesions. Despite the majority of these studies being confined to the conceptual design phase or limited to case studies, 3D printing technology has demonstrated unparalleled advantages in elevating therapeutic efficacy and surgical precision. To encapsulate the current state and future research directions of 3D printing technology within the realm of ophthalmic plastic surgery, this article aims to review its applications in this field, with the intention of providing a reference for pertinent clinical investigations.

• KEYWORDS: 3D printing; ophthalmic plastic surgery; biomimetic materials; surgery

Citation: Zhao Y, Jia SC, Zhao H. Progress in the application of 3D printing technology in ophthalmic plastic surgery. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(3):400-403.

0 引言

眼整形外科是眼科学与整形外科学的交叉学科, 是研究眼球畸形与缺陷、眼睑、泪器、眼窝、结膜和眼眶疾病的发生、表现、诊断、治疗和预防, 以及对眼部外形进行重塑的一门学科, 主要包括眼部美容、眼部整形和眼眶外科三部分^[1]。这一学科对于医生就病情评估、手术方案设计和影像检查分析的能力具有较高的要求。近年来随着我国生活水平的不断提高, 人们对于眼部整形和美容的需求不断增加, 患者数量激增, 对于眼整形手术技术的发展提出了更高要求, 许多新技术新方法应运而生。3D 打印技术又称为增材制造技术, 是计算机辅助设计下, 通过 3D 打印机将材料分层打印出来, 然后叠加形成完整三维物体的累积制造技术^[2]。该技术自问世以来, 在骨科、放射科、肿瘤科、口腔科等多个临床领域进行了应用, 并取得了良好的辅助手术效果^[3]。近年来随着眼整形外科的研究深入, 3D 打印技术在该领域展现出了广阔的应用前景。本文就

这方面的研究进展进行综述。

1 3D 打印技术的原理及应用概述

3D 打印技术诞生于 1983 年,由美国人 Hull 发明了世界上第一台 3D 打印机^[4]。这一技术是利用 CT、MRI 等影像技术获取信息,通过计算机辅助设计软件收集、绘制和处理以创建数字化的 3D 打印文件,再利用各类合成材料逐层打印来构造三维实物的技术。目前根据 3D 打印材料的用途不同可以分为:非植入性材料、植入性材料和 3D 生物打印材料等^[5]。其中以 3D 细胞打印为代表的 3D 生物打印技术是目前医学研究中的新热点^[6]。3D 细胞打印可以将活细胞作为材料,通过软件设计精确定位,根据离散堆积原理打印叠加构成具有生物活性的细胞聚集体,有望制造出可供移植的生物组织或类器官。3D 细胞打印具有传统平面细胞培养所无法比拟的优势,同时相比基于组织工程细胞支架的三维细胞培养技术更为精准和便于设计。3D 打印技术在医学领域应用的优势主要有打印精度高;构建速度快、周期短;可按需制作,实现个性化设计;可同时打印细胞和支架,可有效解决排斥反应等问题^[7]。目前 3D 打印技术在眼科范围广泛研究和应用,在角膜病、视网膜疾病、脉络膜疾病、视光学和眼科手术教学中均有报道^[8],我们现就 3D 打印技术在眼整形外科手术设计、填充材料制备、肿瘤性、非肿瘤性相关病变辅助器材个性化设计和手术教学中的应用进行综述。

2 3D 打印技术在眼整形外科手术设计中的应用

近年来随着眼科、颌面外科和显微外科的发展,眼整形外科手术的治疗范围和手术效果也取得了前所未有的进展。眼整形外科手术主要涉及眼、眼附属器以及邻近部位的形态异常、畸形和外伤等,使其得到修复、功能改善及美学改善^[9]。其中包括眼睑先天及后天性畸形缺损的整复、眼窝畸形的整复、眼眶畸形、眼部美容等。眼眶骨折畸形合并眼球摘除术后长期配戴义眼片患者的 II 期修复一直是眼整形方面的一大难题,患者由于眼眶骨折眶腔相对扩大,同时眼球摘除术后结膜囊狭窄,加之配戴的义眼片过大过重,引起下睑松弛,双眼睑裂不对称,严重者义眼片滑落无法配戴^[10]。以往的治疗方法多为植入人工材料或真皮脂肪瓣等 II 期眼整形手术,但存在移植皮瓣坏死,部分患者不能接受取其他部位真皮脂肪瓣造成伤疤等问题。Dave 等^[11]尝试利用 3D 打印技术解决这一难题,研究者将患者的 CT 图像导入 3D 打印软件,然后采用熔融沉积建模方法进行 3D 打印制造出患者的眼眶模型,并利用这一模型在 3D 打印软件上设计并制作出聚甲基丙烯酸酯种植体材料,将种植材料消毒后填充于骨膜下,长期观察发现术后植入物稳定,义眼片长期配戴良好无脱落。重度眼窝凹陷合并结膜囊狭窄的矫治也是眼整形外科的难点之一,Groot 等^[12]研究了采用个性化定制的可缝合固定 3D 打印矫正器用于这类患者手术治疗的方法,研究者选取了 9 例因化学烧伤、烟花烫伤、外伤或视神经胶质瘤等原因眼球摘除或行放疗引发结膜囊狭窄无法配戴眼片的患者。患者接受的手术治疗包括黏膜移植并同时使用个性化 3D 打印矫正器固定于骨膜和筋膜,以达到加深眼窝扩大结膜囊的目的。经过 7-36 mo 的随访发现,其中 8 例于术后 2 mo 即可配戴义眼片,患者对于这一方法矫正效

果十分满意。我们认为 3D 打印技术在眼整形手术设计方面具有巨大的应用优势,同时有利于节约手术费用,提高手术成功率和准确性。额眶部骨纤维异常增殖症是一种发病率较低、进程缓慢的自限性疾病,临床上一般采用病灶切除并对应修复颅骨缺损的手术方式。安纲等^[13]采用颅骨三维重建和图像分析软件,设计骨纤维异常增殖症病灶切除范围,然后采用 3D 打印头颅缺损模型,并制作覆盖骨缺损范围的个性化钛修复体,然后虚拟设计自体颅骨外板取骨范围并模拟修复眶骨缺损。研究者使用该方法对 2 例额眶骨纤维异常增殖症患者进行手术设计并实施手术。结果显示利用 3D 打印技术进行额眶部骨纤维异常增殖术前模拟设计,有利于术者精确地制定手术计划,提高移植骨的利用效率,术后可获得满意效果。颅缝早闭症存在单个或多个颅骨骨缝过早骨性闭合,导致颅腔及眼眶狭小畸形,从而限制脑组织及眼眶软组织生长。该病在新生儿中发病率为 0.03%-0.05%,是常见的先天性颅面畸形。Elbanoby 等^[14]将 3D 打印技术应用于 16 例额眶前移手术治疗颅缝早闭症患者的手术设计中,通过比较术前、术后的颅骨、眼眶体积和外观评分,结果发现应用 3D 打印技术辅助手术取得了良好的术后效果,因此表明该方法是一种简单高效的辅助手术设计方法。眼眶骨折修复也是眼整形外科治疗的重要方面,近年来 3D 打印在眼眶骨折修复手术的设计中的应用研究越来越多。我们曾设计并制作可用于眼眶爆裂性骨折手术的 3D 眼眶模型,通过 10 例眼眶爆裂性骨折患者 CT 数据导入 3D 打印设计软件,制作患者的 3D 眼眶模型。通过比较发现 3D 打印的眼眶爆裂性骨折模型能够真实还原患者眼眶损伤情况和眼眶解剖细节,为医师提供了立体直观的术前设计模型,对了解眼眶爆裂性骨折的波及范围和手术教学模拟具有积极意义^[15]。Hong 等^[16]利用类似的方法对鼻筛眶骨折患者进行 3D 打印模型辅助下的术前设计,制作了个性化设计的钛板,提高了手术修复效果。Systemans 等^[17]在颌面骨重建中也应用了类似的方法。3D 打印技术在颅骨眶骨整复方面具有明显的应用优势,结合 CT 等影像学检查方法能够立体精确地还原患者骨折或骨缺损范围,极大地提高了手术效率。还有研究者尝试将 3D 打印技术引入眼眶肿瘤的手术设计中,Westarp 等^[18]利用 3D 打印技术制作了眼眶海绵状血管瘤患者的眼眶三维模型,并通过该模型设计了个性化小切口外侧眶颧入路切除手术,研究者认为利用 3D 打印模型能够帮助患者了解手术过程,同时为制定手术方案提供了便利。

3 3D 打印技术在眼整形眼眶病手术填充材料研制方面的应用

在眼眶骨折修复手术中,对于填充材料的大小、形态较难把握。以往手术中手术医师通过经验目测修剪填充材料,如出现填充材料大小不合适,容易造成眼球内陷、复视和填充材料移位等并发症。Sunah 等尝试采用 3D 打印模具塑形定制眼眶骨折填充材料^[19]。研究者对 11 例使用 3D 打印模具定制眼眶填充材料进行眼眶骨折修复手术的患者进行回顾性分析,通过 CT 检查分析术前、术后患侧眼眶体积变化,以及与对侧正常眼眶体积差异。研究者认为 3D 打印定制眼眶植入物模具可以按照患者特定

轮廓、尺寸压制和修剪常规植入材料,以实现最佳眼眶壁重建。颅面部畸形重建,特别是颧骨的修复一直是整形外科的难点。由于颅颌面部复杂的解剖结构和邻近周围重要器官,以最精确的方式重建颧骨对提高患者预后和生活质量至关重要。Moiduddin 等^[20]研究利用3D打印聚醚醚酮材料替代并修复颧骨畸形。研究者通过增材制造技术制造聚醚醚酮材料,通过对生物力学分析、应变、抗负载、抗拉强度和精度测量,认为3D打印的聚醚醚酮材料能够在严重颧骨畸形的情况下代替颧骨,是可应用于临床的修复材料。3D打印技术对于手术填充材料的设计研制弥补了以往手术中仅凭术者经验裁剪填充材料的不足,既保证了手术填充材料的精确性又充分节约了材料,最大化实现了填充材料的预先设计和个性化定制。但由于材料来源和产品专利方面的限制,现阶段尚不能够大规模生产眼眶骨折修复所用的3D打印填充材料,特别是目前临床常用的可吸收材料、钛网或高密度聚乙烯(Medpor)等材料。

4 3D打印技术在肿瘤性及非肿瘤性相关病变辅助器材个性化设计方面的应用

在眼球恶性肿瘤、严重创伤、眼球萎缩等不可逆性眼球损伤时,常需要将病变眼球摘除。眼球摘除影响面部外观,给患者造成巨大的心理负担。植入义眼台可以改善面部容貌、代替眼窝体积,是眼球摘除后整形修复的首选。赵宏等^[21]通过嵌入式3D打印技术制备了个性化多孔硅胶义眼台,并通过扫描电镜分析硅胶表面修饰前后的形貌变化,通过细胞实验和动物实验检测其细胞相融性和炎症反应性。结果发现嵌入式3D打印技术能够制备孔隙均匀的多孔硅胶义眼台,表面修饰后的硅胶亲水性增加、生物相容性良好,该研究为3D打印个性化义眼台的性能研究与临床应用奠定了基础。在手术后复发的眼眶黑色素瘤患者的放射治疗方面,3D打印技术也有所应用。Subashi 等^[22]通过3D打印技术,利用患者眼眶CT所获的解剖结构轮廓,设计了个性化的眼眶放疗敷贴器。该敷贴器能够准确贴合眶内组织和轮廓。证明3D打印设计的敷贴器可以用于近距离放射治疗,具有良好的生物力学和辐射特性。3D打印技术在眼肿瘤的治疗和整复方面具有明显优势,能够根据患者颜面部和眼眶轮廓进行个性化定制,具有更好的贴附性和美观性。

重症肌无力引起上睑下垂的长期治疗是眼整形外科具有挑战性之一。手术方法复发率高,难以长期维持。虽然目前存在商品化的眼睑支架,但由于费用较高,缺乏延展性,无法个性化等缺点应用较局限。Sun 等^[23]利用3D打印技术设计并制作了可固定于框架眼镜上的拱形眼睑支架。该支架与传统支架相比容易拆卸,可调节,可根据不同患者定制尺寸设计。Groot 等^[24]利用3D打印技术设计了用于治疗先天性小眼球和无眼球症患者的眼眶扩张器,并通过定制尺寸逐渐增大的扩张器,观察眼眶和睑裂发育情况。研究者进行了为期4a的前瞻性队列研究,通过随访测量眼眶高度、宽度、体积和睑裂长度等数据评估患者眼眶发育情况。结果发现3D打印设计制造的扩张器能够帮助先天性小眼球和无眼球症患儿的眼眶发育,同时研究者总结提出了扩张器大小设计公式能够为患儿眼眶发育过程中个性化设计提供参考。

5 3D打印技术在眼整形外科手术教学中的应用

传统的眼整形外科手术教学多依赖于尸体解剖标本或临床手术实践,由于受到标本来源和医疗环境限制。医学生很难获得充分的实践机会和操作训练机会。为了解决这一问题,Wright 等^[25]通过3D打印技术制作了颅面骨和软组织的解剖模型,并将其应用于额眶前移术的手术教学中。Vatankhah 等^[26]也利用了相似的方法制作了3D打印的眼眶三维模型,用于眼科住院医师解剖和眼眶骨折的教学。患者通过调查问卷表明住院医师对于3D打印模型辅助眼眶骨折教学满意度达到100%。研究者认为真实尺寸的3D打印模型有助于住院医师理解眼眶解剖和眼眶骨折的空间结构,并能够触摸不同解剖区域,能够给住院医师留下清晰的感官印象。Rama 等^[27]也进行了相似的研究将3D打印技术引入眼眶骨折手术的教学。Scawn 等^[28]使用3D打印机对加热的塑料以分层的方式进行物理打印,制作出廉价的3D眼眶模型,并利用该模型进行眶减压手术教学,取得了良好效果。3D打印技术在眼整形外科手术教学中的应用,为医学生和临床医师在教学中提供了全新的实践平台和真实的操作环境。

6 总结和展望

综上所述,目前3D打印技术在眼整形外科手术设计、手术填充材料研制、辅助器材个性化设计和手术教学等多个方面都有所应用,并取得了一定的研究成果。推进了临床精细化、个性化、标准化进程。但目前3D打印技术在眼整形外科领域应用时间较短,生产手术模具耗时较长,不能满足于外伤急诊手术需要。同时由于技术、材料等限制,只有少数医疗机构掌握这项技术,未得到大范围推广。目前3D打印材料性能和种类有限,不能完全满足临床需求,研究者正在不断探索,尝试加入干细胞等3D生物打印技术,相信未来将有更多更好的3D打印材料应用于眼整形外科。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:赵云论文选题与修改,初稿撰写;贾世翀文献检索;赵红选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Huang A, Kirby RP, Huang KY, et al. Trends in residency academic productivity of ophthalmic plastic and reconstructive surgery fellows between 2012 and 2019. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*, 2023, 39(4):361-365.
- [2] 季中锷, 赵云, 于莎莎, 等. 三维打印技术在眼科领域的应用进展. *中华眼科杂志*, 2018, 54(1):72-76.
- [3] 方健文, 朱佩文, 邵毅. 3D打印在眼科血管性疾病的应用进展. *国际眼科杂志*, 2019, 19(9):1499-1502.
- [4] Tracy T, Wu L, Liu X, et al. 3D printing: Innovative solutions for patients and pharmaceutical industry. *Int J Pharm*, 2023, 631:122480.
- [5] Rizzo ML, Turco S, Spina F, et al. 3D printing and 3D bioprinting technology in medicine: ethical and legal issues. *Clin Ter*, 2023, 174(1):80-84.
- [6] Chae SH, Sun YC, Choi YJ, et al. 3D cell-printing of tendon-bone interface using tissue-derived extracellular matrix bioinks for chronic rotator cuff repair. *Biofabrication*, 2021, 13(3).

- [7] Wu JM, Liang B, Lu SQ, et al. Application of 3D printing technology in tumor diagnosis and treatment. *Biomed Mater*, 2023,19(1).
- [8] Li JW, Li YJ, Hu XS, et al. Biosafety of a 3D-printed intraocular lens made of a poly(acrylamide-co-sodium acrylate) hydrogel *in vitro* and *in vivo*. *Int J Ophthalmol*, 2020,13(10):1521-1530.
- [9] Huang A, Kirby RP, Huang KY, et al. Trends in residency academic productivity of ophthalmic plastic and reconstructive surgery fellows between 2012 and 2019. *OphthalmicPlast Reconstr Surg*, 2023,39(4):361-365.
- [10] Zhuang ZH, Ye KQ, Wang D. Modified ophthalmectomy: Optic nerve-sparing with hydroxyapatite prosthesis implant. *Asian J Surg*, 2023,46(8):3290-3291.
- [11] Dave TV, Gaur G, Chowdary N, et al. Customized 3D printing: a novel approach to migrated orbital implant. *Saudi J Ophthalmol*, 2018,32(4):330-333.
- [12] Groot A, Remmers JS, Kloos RJ, et al. Recurrent contracted sockets treated with personalized, three-dimensionally printed conformers and buccal grafts. *Eur J Ophthalmol*, 2022,32(1):717-724.
- [13] 安纲, 刘一嘉, 张开永, 等. 数字化技术辅助治疗额眶部骨纤维异常增殖症. *中华整形外科杂志*, 2022,38(4):412-417.
- [14] Elbanoby TM, Elbatawy AM, Aly GM, et al. 3D printing guided surgery in the treatment of unicoronal craniosynostosis orbital dysmorphism. *Oral Maxillofac Surg*, 2020,24(4):423-429.
- [15] 季中锬, 赵云, 于莎莎, 等. 眼眶爆裂性骨折修复手术模拟的眼眶3D打印模型和外科种植体模型的研究. *眼科新进展*, 2017,37(7):662-666.
- [16] Hong HK, Kim DG, Choi DH, et al. Nasoethmoid orbital fracture reconstruction using a three-dimensional printing-based craniofacial plate. *Arch Craniofac Surg*, 2022,23(6):278-281.
- [17] Systemans S, Cobraville E, Camby S, et al. An innovative 3D hydroxyapatite patient-specific implant for maxillofacial bone reconstruction: a case series of 13 patients. *J Craniomaxillofac Surg*, 2024,52(4):420-431.
- [18] Westarp E, Thieringer FM, Roethlisberger M. Precision surgery for orbital cavernous hemangiomas: the role of three-dimensional printing in individualized resection - an educational experience. *J Craniofac Surg*, 2024,35(1):220-222.
- [19] Kang S, Kwon J, Ahn CJ, et al. Generation of customized orbital implant templates using 3-dimensional printing for orbital wall reconstruction. *Eye*, 2018,32(12):1864-1870.
- [20] Moiduddin K, Mian SH, Umer U, et al. Design, analysis, and 3D printing of a patient-specific polyetheretherketone implant for the reconstruction of zygomatic deformities. *Polymers*, 2023,15(4):886.
- [21] 赵宏, 王艺霖, 汪艳芳, 等. 嵌入式3D打印多孔硅胶义眼台及其表面修饰. *南方医科大学学报*, 2023,43(5):783-792.
- [22] Subashi E, Jacobs C, Hood R, et al. A design process for a 3D printed patient-specific applicator for HDR brachytherapy of the orbit. *3D Print Med*, 2020,6(1):15.
- [23] Sun MG, Rojdamrongratana D, Rosenblatt MI, et al. 3D printing for low cost, rapid prototyping of eyelid crutches. *Orbit*, 2019,38(4):342-346.
- [24] Groot ALW, Remmers JS, Lissenberg-Witte BI, et al. Workflow and treatment results for computer-aided design and 3D-printed conformer therapy of congenital anophthalmia and microphthalmia. *Br J Ophthalmol*, 2023,107(9):1239-1245.
- [25] Wright JM, Ford JM, Qamar F, et al. Design and validation of a 3D printed cranio-facial simulator: a novel tool for surgical education. *Cleft Palate Craniofac J*, 2024,61(6):997-1006.
- [26] Vatankhah R, Etezad Razavi M, Nekooei S, et al. Three-dimensional (3D) visualization educational modeling for ophthalmology residents' training: viewpoints. *Med J Islam Repub Iran*, 2022,36:115.
- [27] Rama M, Schlegel L, Wisner D, et al. Using three-dimensional printed models for trainee orbital fracture education. *BMC MedEduc*, 2023,23(1):467.
- [28] Scawn RL, Foster A, Lee BW, et al. Customised 3D printing: an innovative training tool for the next generation of orbital surgeons. *Orbit*, 2015,34(4):216-219.