

DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202221360

· 综述 ·

3D 打印技术在鼻-颅底外科中的应用研究进展

游莉华^{1,2}, 吴剑², 李军政^{1,2}

(1. 贵州医科大学临床医学院, 贵州 贵阳 550004; 2. 暨南大学附属广州红十字会医院耳鼻咽喉头颈外科, 广东 广州 510220)

摘要:3D 打印技术近年来在生物医学领域的应用较为广泛,虽然在鼻-颅底外科领域中的应用研究鲜有报道,但凭借其快速成型、立体化三维实物重现等优势,在鼻-颅底外科领域有着广阔的应用前景。其临床应用主要涉及鼻-颅底缺损修复、术前规划及术前手术模拟、解剖教学及培训、患者教育等方面。本文围绕 3D 打印技术在鼻-颅底外科领域的应用现状作一概述,同时对其发展前景进行展望。

关键词:鼻-颅底外科;3D 打印;计算机辅助技术

中图分类号:R765.9

Progress of researches on the application of 3D printing technology in nose-skull base surgery

YOU Lihua^{1,2}, WU Jian², LI Junzheng^{1,2}

(1. Clinical Medical College of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, China; 2. Department of Otorhinolaryngology head and Neck Surgery, Guangzhou Red Cross Hospital, Jinan University, Guangzhou 510220, China)

Abstract:The 3D printing technology has been widely used in the field of biomedicine in recent years. Although the application research of 3D printing technology was rarely reported in the field of nasal-skull base surgery, the 3D printing technology has a broad application prospect with its advantages of rapid prototyping and three-dimensional physical reproduction. Its clinical application mainly involves repair of nasal-skull base defect, preoperative planning and preoperative operation simulation, anatomy teaching and training, patient education etc. This article provided an overview of the development status of 3D printing technology in the field of nose-cranial base surgery. Meanwhile, the development prospect of 3D printing technology was prospected.

Keywords:Nose-skull base surgery; 3D printing; Computer-aided technology

3D 打印技术是通过计算机辅助设计 (computer aided design, CAD) 三维数字模型或在计算机上利用断层扫描模拟立体形态,用增量制造、逐层打印的方式重建三维物体的技术。自 1984 年 Chuck Hull 首次提出“3D 打印”概念,并于 1986 年发明第一台 3D 打印机,标志着 3D 打印技术的诞生^[1]。几十年以来,随着 3D 打印技术的不断发展,3D 打印技术已广泛应用于很多领域,其中,生物医学领域发展较快,包括在组织器官修复、人工假体等方向都有较为广泛的应用研究^[1-7]。目前,3D 打印技术在鼻-颅底外科领域的应用研究相对较少,鼻-颅底解剖结构复

杂、精细,外科手术难度大、风险高,而 3D 打印技术可以将 CT 或 MRI 图像通过专业软件处理转化为高仿真性、可视化、高精度的三维实物模型^[8-9],两者的巧妙结合注定会有一个广阔的应用前景。本文将对 3D 打印技术在鼻-颅底外科的研究及发展现状作一综述。

1 3D 打印的概述

3D 打印技术是通过采集物体图像资料,并借助计算机辅助技术创建三维设计,继而数据传输至 3D

基金项目:广州市科技计划项目-市校(院)联合资助项目(202102010041)。
第一作者简介:游莉华,男,在读硕士研究生。
通信作者:李军政, Email: jzli2002@163.com

打印设备对物质材料以“分层叠加、增量制造”的方式重建实物模型的打印技术^[9-10]。

1.1 3D 打印的技术步骤

3-D 打印技术的第一步是获取对象的 3D 打印原始图像数据,获取原始图像数据方式包括扫描仪、CT、MRI 图像等,将上述方式获取的数据以 DICOM 格式输出^[1-2,11]。第二步是将医学图像数据(DICOM 文件)导入到建模软件中,建模软件通过获取指定的图像数据将其处理成代表实际组织解剖的目标局部空间模型。目前已有许多建模软件,如 Mimics、Amira、Rhino、3D Slicer 等。其中,Mimics 是最常用的软件之一^[11]。使用建模软件(Mimics)分割出所需图像数据,三维建模得到 STL 文件。最后,将 STL 文件导入 3D 打印控制软件设备,设置精度、颜色、打印材料等参数,打印完毕后去除支撑结构,进行二次固化、表面打磨,从而实现目标实物模型的快速成型^[2,11]。

1.2 3D 打印技术类型

1.2.1 立体光刻术 尽管是首个发展起来的 3D 打印技术,立体光刻术仍是业界的黄金标准^[12-13]。立体光刻术具有高精度、性能稳定等优点,但是与其他 3D 打印方法相比材料相对昂贵。连续液体界面生产代表了该领域的最新进展^[13-14],在立体光刻术中,所制造的对象从液体树脂池中提取,液体树脂连续填充在提取对象的下方,在紫外光辅助下,可实现不间断生产和高分辨率^[14-15]。

1.2.2 材料喷射技术 与立体光刻技术的不同之处在于其固定的 UV 光源。此外,其制造取决于液体树脂的位置沉积^[13,15]。与立体光刻技术相比,最大的优势在于其成分控制:通过分配单独的树脂滴,材料可以在印刷过程中进行调整,使得其可以生产具有极高材料质量和极高分辨率的异质物体^[16]。

1.2.3 黏结剂喷射技术 其与上述方法的不同之处在于,除了黏合剂物质外,它还使用粉末材料(兼容材料包括金属、玻璃等)。该技术必须经“去粉”和“烧结”过程,同时在此过程中加热以改善其机械性能。尽管相比上述技术类型增加了后处理时间,但黏结剂喷射仍然是一种相对方便的 3D 打印形式^[15-16]。

1.2.4 熔融沉积技术 熔融沉积技术是将材料直接注入到制造平台上,不与粉末或黏合剂相互作用。材料必须加热到半熔融状态,并通过喷嘴挤压,当平台垂直移动时,材料在喷嘴中凝固,然后每一层重复上述过程。熔融沉积技术通常比其他 3D 打印方法

便宜,受材料可用性的限制较少。但其缺点是不能集成多种不同的材料,并且成品分辨率和表面光泽度相对较差^[13,15]。

目前 3D 打印技术应用比较广泛的类型是立体光刻技术和熔融沉积技术^[15],近年来,已有研究证明使用上述打印技术可以重现令人满意的患者个体化 3D 解剖模型^[3,17-18]。

2 3D 打印在鼻-颅底外科中的应用

以往 3D 打印技术在生物医学领域的研究主要集中于组织及器官的重建及修复。相关研究报道 3D 打印技术成功用于包含血管及血管网^[19]、四肢骨骼^[20]、颅骨^[21]、耳^[3]、下颌骨^[22]等组织器官在内的重建及修复。近年来随着 3D 打印技术的发展,其在各临床专科(如鼻科、颅底外科等)的应用价值不断被发掘,如术前规划^[5,23-24]、解剖培训^[25-26]等等。随着 3D 打印技术与医疗技术的不断融合、创新及发展,其在临床应用方面的发展前景越来越广阔。

随着 3D 打印技术在生物医学领域应用逐步深入,给鼻-颅底外科的手术设计、修复重建等临床应用带来了新的契机。鼻-颅底解剖结构复杂,位置深在,使得开展此区域手术极为困难,鼻-颅底手术后的缺损修复重建也一直是临床一大难题,3D 打印技术可以实现人体内在局部解剖结构及其位置关系进行三维立体可视化重现,使得复杂的鼻-颅底手术简单化,功能重建更加完美。目前,3D 打印技术在鼻-颅底外科可应用于:鼻-颅底缺损修复;术前规划及术前手术模拟;解剖教学及培训;患者教育等方面^[23,27]。

2.1 鼻-颅底缺损修复

3D 打印技术在鼻-颅底缺损修复方向的研究是近年来的研究热点之一。以往,因鼻-颅底解剖结构复杂,位置深在,使得开展此区域手术极为困难,鼻及颅底的缺损修复也一直是临床一大难题。而 3D 打印技术凭借对局部解剖结构及其毗邻组织位置关系进行三维立体重现、对缺损部位通过计算机辅助技术精准重建等优势,使得复杂的鼻、颅底手术简单化,功能重建更趋于完美。近几年来,3D 打印技术在鼻-颅底外科的修复重建等方面取得了不小的进展。此外,3D 打印修复材料的研究近几年来也取得了迅猛的发展。

2.1.1 3D 打印技术在鼻-颅底外科的缺损修复的研究 3D 打印技术在鼻-颅底外科中的修复的相关

研究近年来在国内外已有不少报道。在鼻腔功能重建、改善外观及局部症状等方面取得了不错的效果。徐希康等^[28]利用 13 例鼻骨骨折患者术前 CT 影像资料制作个体化 3D 打印鼻骨骨折复位器,成功用于鼻骨复位手术,患者术后外形主观满意度及鼻塞等症状均取得一定的改善。Park 等^[4]将 3D 打印的生物材料成功用于鼻腔重建的动物研究,成功将 3D 打印的聚己内酯材料作为隔垫延伸移植物插入进行兔隆鼻整形,植入物的初始形状和位置在 3 个月内没有变化,同时保持了良好的纤维血管向内生长和最小的炎症反应。Zaoui 等^[29]对 45 位有症状的鼻中隔穿孔患者通过 3D 打印技术定制个性化有机硅“按钮”(植入物)修复穿孔鼻中隔,患者术后随访显示患者鼻塞、鼻出血等症状显著改善。Le 等^[30]将 3D 打印的钛植入物用于上颌窦肿瘤手术后上颌骨缺损的修补,术前将 11 例患者的计算机断层扫描影像学数据根据肿瘤边缘对缺损进行三维重建,然后利用 3D 打印设备将制作缺损钛植入物模型,用于设计、规划上颌窦肿瘤病损切除及术后上颌骨缺损的修补及重建,术后 6 个月随访外观恢复良好,多数患者术后 EORTC 生命质量测定量表(QLQ-C30)总体生活质量评分效果满意。总体而言,3D 打印植入物在短期内对于患者鼻腔功能、外观、生活质量等方面都有一定的改善,但长期效果、相关副作用等缺乏相关临床报道,而且研究报道临床样本量偏少,3D 打印技术的远期效果仍需大量临床研究证实。

近年来,随着影像导航技术、内镜辅助技术的不断创新和发展,使得颅底相关疾病,尤其是颅底肿瘤的外科治疗越来越广泛地应用,然而,对于肿物切除后局部解剖结构的缺损修复仍然是临床难题之一。以往,常常对缺损部位用自体组织如脂肪、黏膜瓣(鼻中隔黏膜瓣、鼻外侧黏膜瓣等)或者生物材料等进行填充,但其缺点是对植入材料的深度、面积等参数不能精确计算,无法做到精确塑形,往往需要经验丰富的外科医生进行操作,同时也增加了潜在的手术时间。而 3D 打印技术可以在术前通过计算机辅助技术三维重现局部缺损解剖模型,并在此基础上对植入物进行精确塑形。Ahmed 等^[31]报道了 1 例利用 3D 打印技术的辅助颅中窝肿物切除,术前利用 3D 打印技术三维重建患者颅骨病变模型,并据此制定了手术方案,同时利用所打印模型,根据病变大小、形状在设计了一种硅橡胶薄膜(植入物),成功运用于术中病变缺损修复,有效缩短了手术时间,术后随访恢复良好。Abdel 等^[32]以聚甲基丙烯酸甲

酯为原材料为 3 例患者打印假体后进行颅骨修补,术程顺利,术后随访效果满意。

2.1.2 3D 打印材料在鼻-颅底缺损修复中的研究

近年来,3D 打印技术应用于鼻-颅底缺损修复材料中的研究取得了显著的进展。在传统鼻-颅底缺损修复中。据报道,常用的修复材料有柔性材料如颞肌、颞肌筋膜、脂肪、黏膜瓣以及刚性材料如自体骨移植、羟基磷灰石、骨水泥、软骨等^[33]。上述材料虽然在临床应用广泛,但存在着明显的局限性,如柔性材料存在着贴合性、耐用性不足等缺点,而刚性材料对缺损部位不规则的贴合性、以及边缘毛刺、锐利可能对脑组织进一步损害等缺点。而 3D 打印技术辅助下的修复材料,凭借其对局部组织缺损三维重现的优势,可以增强修复材料的贴合性,同时随着组织工程的发展,生物修复材料的发展迅速,修复材料由金属(钛合金等)、羟基磷灰石到新型聚合物(PE-KK 等)、高分子生物材料等,其组织生物相容性不断提高^[33]。此外,有研究报道利用 3D 打印技术通过构建个性化仿生三维支架来模拟不同组织的微环境,诱导自身干细胞的增殖与分化成功实现对软骨等组织器官的修复^[34];虽然,这项技术尚处于试验研究阶段,但这项利用 3D 打印支架与干细胞结合的技术的成功实现,为颅底缺损修复带来了潜在的治疗策略。

2.2 术前规划及手术模拟

耳鼻咽喉头颈外科及神经外科医生在进行鼻-颅底外科相关区域手术时通常依靠他们以往的训练和经验以及 CT 或 MRI 的视觉辅助来计划手术过程。但是由于鼻-颅底区域解剖结构复杂,二维或虚拟图像难以显示局部解剖结构细节^[35]。而 3D 打印技术通过患者局部组织结构原始影像数据(CT、MRI)生成反应组织器官等真实三维结构模型,对局部解剖结构进行体外立体重现,通过对重建的三维结构收集相关数据(如面积、长度、容积、角度等参数)^[5,10,36],从而制定更加精准的手术方案。薛亮等^[37]利用患者 CTA 数据制作颈内动脉床突上段大型动脉瘤 3D 模型,并在术前评估相关解剖关系,手术模拟动脉瘤夹闭;在术中证实 3D 模型中的相关结构解剖关系与患者实际情况一致,术中顺利夹闭动脉瘤。吴昆旻等^[38]术前利用 10 例鼻鼻窦恶性肿瘤(鳞癌 4 例,骨肉瘤 1 例,嗅神经母细胞瘤 2 例,腺样囊性癌 2 例,黏液表皮样癌 1 例)鼻窦 CT 影像资料 3D 重建病打印病变鼻窦模型,在模型上进行术前设计及模拟手术,确定手术方案后进行肿瘤切除

及同期重建;术中顺利切除肿物,准确定位缺损并修复,术后患者愈合良好,无严重并发症。

另外,研究发现 3D 打印技术可以使得外科医生更好地在 3 个维度上评估模拟手术通道,并确定拟行的手术方法及手术安全范围并可明显缩短手术时间^[5]。Grau 等^[39]在使用经前额径向筋膜皮瓣修复脑脊液漏之前,先利用 3D 打印技术构建了颅底模型,术前根据重建模型脑脊液鼻漏进行定位及定量(范围)评估,并进行术前模拟,使得手术顺利进行,并明显缩短了手术时间。Lan 等^[5]术前收集患者影像资料,重建具有颅底,脑动脉及动脉瘤的 3D 打印模型,并在显微镜下对该模型进行了 49 次模拟手术,经过验证和经验积累后进行了实际手术,术后回顾显示 84% (21/25) 的患者肿瘤全切,并只有 1 例术中出现动眼神经损伤。

2.3 解剖教学及培训

以往医疗机构或院校进行解剖教学及训练都是利用尸体进行。由于成本、可操作性和法规要求,再加上临床医学学生体量逐年增加,医学教育资源分配成为一大难题,对尸体进行解剖教学训练已成为许多医疗机构的挑战。鼻-颅底结构位置深在,解剖结构复杂,使得开展相关区域手术的医师必须具备丰富的解剖学基础及经验^[23,25,27]。而相当一部分年轻医师由于条件限制(缺乏尸体的解剖训练),使得进行此区域的解剖学习十分困难。3D 打印可以精确地创建复杂且个性化的构造,这使该技术成为构建用于教学和培训的临床解剖模型的理想选择。近年来,一些研究人员创建了 3D 打印的鼻和鼻窦的模拟器^[40-43],用于内镜鼻窦手术培训,在操作过程中同时用图像引导导航系统定位解剖位置并进行对比,最后用 Likert 量表问卷对进行调查,证实其准确性及实用性良好。此外,Tai 等^[44]使用 3D 打印基于高分辨率 CT 图像开发了鼻内镜入路训练模型;该模拟器旨在准确地暴露重要的解剖标记,例如蝶骨、颈内动脉、视神经、蝶鞍等结构,使得其可用于鼻内镜操作练习。有研究机构评估住院医师在接受 3D 打印蝶鞍区手术训练的效果^[29,45],在培训过程中,要求初学者从真实性、实用性和有效性等方面对这些手术操作进行定性评估,均得到了积极反馈。目前用于鼻-颅底的仿真培训系统采用了与人体骨骼相似的材料,并且附有复合纤维材料制成的软组织黏膜,增加了打印模型的真实性和触感,显著提升了住院医生的培训效果,有效缩短了医生的培训周期^[13]。

2.4 患者教育

术前医患沟通一直被视为医师临床工作中最关键同时也是最具挑战性的问题之一^[10]。患者对自身疾病诊断和治疗方案的理解是对医生的依从性和满意度的组成部分^[46]。患者对自身疾病的理解不足可能导致患者选择不采取有效而且必要的治疗方案而导致病情延误,这在耳鼻咽喉头颈外科医师治疗过程中尤其普遍^[10,47]。有研究报道,因患者未理解诊疗方案而导致的手术取消率超过 16%^[48]。Stewart 等^[46]根据临床影像数据开发了 3D 打印的多种材料的鼻-颅底模型,形象客观地再现手术部位及比邻,以便与患者进行交流,以解释其解剖结构,疾病状态和治疗选择。3D 打印技术的应用加强了患者对自身疾病情况的理解以及减少不必要的焦虑,对增加患者医从性及改善患者预后大有裨益。

3 总结

总之,在获取尸体材料进行模拟和解剖解剖的医疗或医学教育机构资源相对有限的情况下,3D 打印技术作为一简便、高效、经济的方式可以成为培训和教育模型的来源。在鼻-颅底缺损修复方面,利用 3D 打印技术,可以对局部缺损结构进行精准修复,并且能有效改善外观及重建鼻腔功能。但作为植入物,其生物组织相容性问题仍需克服,这对修复材料有着极高的要,而随着 3D 打印技术与干细胞技术结合修复组织器官体外试验的成功,为颅底缺损修复带来了潜在的治疗策略。在手术计划阶段,利用 3D 打印技术重建解剖模型可以增进医师对的关键部位解剖关系的了解,积累手术经验。通过与 3D 打印的模拟和解剖模型交互体验,使受训者术前可以获得基本的操作技能,同时可以使培训医师在培训初期就拥有积累丰富的手术经验,从而提高手术成功率及患者的安全性;在患者教育方面,可以通过 3D 打印技术重现立体解剖结构使得患者提高自身疾病认知水平,从而增加其医从性。此外,在对患者和整个医疗系统的医疗成本审查越来越严格的时代,使用 3D 打印有可能降低医疗成本^[49]。

然而随着 3D 打印技术广泛应用,其弊端也日益凸显:①对局部解剖细微结构显示能力较差,软组织和骨组织难以区分,骨缝无法清晰显示,对颅底局部细微结构如筋膜、神经、血管及侧支循环的 3D 还原的精确度仍需进一步提高,这对 CT 等影像资料的分辨率、清晰度以及 3D 打印技术材料的材质等

提出了更高的要求;②作为身体植入物,其材料要求相当严格,其组织生物相容性仍是一大挑战;③在初期投入阶段,其成本问题仍是限制其广泛应用的关键因素。笔者认为,随着影像技术、3D 打印技术、材料、生物组织工程的发展,其成本、精度、组织兼容性问题都会越来越完善。3D 打印技术在临床应用方面有着广阔的应用前景,我们在鼻-颅底外科领域所需要做的是学习并不断发掘其临床应用价值,从而为更多地鼻-颅底外科患者治疗及预后改善提供便利。

参考文献:

- [1] Schubert C, Van Langeveld MC, Donoso LA. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs[J]. *Br J Ophthalmol*, 2014, 98(2): 159–161.
- [2] Crafts TD, Ellsperman SE, Wannemuehler TJ, et al. Three-dimensional printing and its applications in otorhinolaryngology-head and neck surgery[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2017, 156(6): 999–1010.
- [3] Mannoor MS, Jiang Z, James T, et al. 3D printed bionic ears[J]. *Nano Lett*, 2013, 13(6): 2634–2639.
- [4] Park SH, Yun BG, Won J Y, et al. New application of three-dimensional printing biomaterial in nasal reconstruction[J]. *Laryngoscope*, 2017, 127(5): 1036–1043.
- [5] Lan Q, Zhu Q, Xu L, et al. Application of 3D-printed craniocerebral model in simulated surgery for complex intracranial lesions[J]. *World Neurosurg*, 2020, 134: e761–e770.
- [6] Abbasi AJ, Parvin M, Bashiri S. Innovative use of a stereolithographic model together with the mirror image technique to reconstruct a defect in mandibular continuity[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2018, 56(9): 887–889.
- [7] Abella F, Ribas F, Roig M, et al. Outcome of autotransplantation of mature third molars using 3-dimensional-printed guiding templates and donor tooth replicas[J]. *J Endod*, 2018, 44(10): 1567–1574.
- [8] Barber SR, Jain S, Son YJ, et al. Virtual functional endoscopic sinus surgery simulation with 3D-printed models for mixed-reality nasal endoscopy[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2018, 159(5): 933–937.
- [9] Katkar RA, Taft RM, Grant G T. 3D volume rendering and 3D printing (additive manufacturing)[J]. *Dental Clinics North Am*, 2018, 62(3): 393–402.
- [10] Frame M, Huntley JS. Rapid prototyping in orthopaedic surgery: a user's guide[J]. *Sci World J*, 2012, 2012: 838575.
- [11] Liao J, Chen Y, Chen J, et al. Auricle shaping using 3D printing and autologous diced cartilage[J]. *Laryngoscope*, 2019, 129(11): 2467–2474.
- [12] Marro A, Bandukwala T, Mak W. Three-Dimensional printing and medical imaging: a review of the methods and applications[J]. *Curr Probl Diagn Radiol*, 2016, 45(1): 2–9.
- [13] Chae MP, Rozen WM, Mcmenamin PG, et al. Emerging applications of bedside 3D printing in plastic surgery[J]. *Front Surg*, 2015, 2: 25.
- [14] Tumbleston JR, Shirvanyants D, Ermoshkin N, et al. Additive manufacturing. Continuous liquid interface production of 3D objects[J]. *Science*, 2015, 347(6228): 1349–1352.
- [15] 贺超良, 汤朝晖, 田华雨, 等. 3D 打印技术制备生物医用高分子材料的研究进展[J]. *高分子学报*, 2013(6): 722–732.
- [16] Studart AR. Additive manufacturing of biologically-inspired materials[J]. *Chem Soc Rev*, 2016, 45(2): 359–376.
- [17] Bracci R, Maccaroni E, Cascinu S. Transient sunitinib resistance in gastrointestinal stromal tumors[J]. *N Engl J Med*, 2013, 368(21): 2042–2043.
- [18] Abouzeid RE, Khiari R, Beneventi D, et al. Biomimetic mineralization of three-dimensional printed alginate/TEMPO-Oxidized cellulose nanofibril scaffolds for bone tissue engineering[J]. *Biomacromolecules*, 2018, 19(11): 4442–4452.
- [19] Miller JS, Stevens KR, Yang MT, et al. Rapid casting of patterned vascular networks for perfusable engineered three-dimensional tissues[J]. *Nat Mater*, 2012, 11(9): 768–774.
- [20] Mostafavi A, Abudula T, Russell C S, et al. In situ printing of scaffolds for reconstruction of bone defects[J]. *Acta Biomater*, 2021, 127: 313–326.
- [21] Jardini AL, Larosa MA, Maciel Filho R, et al. Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2014, 42(8): 1877–1884.
- [22] Ghai S, Sharma Y, Jain N, et al. Use of 3-D printing technologies in craniomaxillofacial surgery: a review[J]. *Oral Maxillofac Surg*, 2018, 22(3): 249–259.
- [23] Wanibuchi M, Noshiro S, Sugino T, et al. Training for skull base surgery with a colored temporal bone model created by three-dimensional printing technology[J]. *World Neurosurg*, 2016, 91: 66–72.
- [24] Muelleman TJ, Peterson J, Chowdhury NI, et al. Individualized surgical approach planning for petroclival tumors using a 3D printer[J]. *J Neurol Surg B Skull Base*, 2016, 77(3): 243–248.
- [25] Chen G, Jiang M, Coles-Black J, et al. Three-dimensional printing as a tool in otolaryngology training: a systematic review[J]. *J Laryngology Otolaryngology*, 2019, 134(1): 14–19.
- [26] Low CM, Choby G, Viozzi M, et al. Construction of three-dimensional printed anatomic models for frontal sinus education[J]. *Neuroradiol J*, 2020, 33(1): 80–84.
- [27] Low CM, Morris JM, Matsumoto JS, et al. Use of 3D-printed and 2D-illustrated international frontal sinus anatomy classification anatomic models for resident education[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2019, 161(4): 705–713.
- [28] 徐希康, 王珮华, 许晨婕, 等. 3D 打印鼻骨复位器在骨折复位手术中主观疗效的临床分析[J]. *中国耳鼻咽喉颅底外科杂志*, 2019, 25(2): 131–134.
- [29] Zaoui K, Schneider MH, Neuner O, et al. Prosthetic treatment of

- nasal septal perforations: Results with custom-made silicone buttons[J]. HNO, 2016, 64(12): 897–904.
- [30] Le Clerc N, Baudouin R, Carlevan M, et al. 3D titanium implant for orbital reconstruction after maxillectomy[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2020, 73(4): 732–739.
- [31] Ahmed S, Vankoevinger KK, Kline S, et al. Middle cranial fossa approach to repair tegmen defects assisted by three-dimensionally printed temporal bone models[J]. Laryngoscope, 2017, 127(10): 2347–2351.
- [32] Abdel Hay J, Smayra T, Moussa R. Customized polymethylmethacrylate cranioplasty implants using 3-dimensional printed polylactic acid molds: technical note with 2 illustrative cases[J]. World Neurosurg, 2017, 105: 971–979.
- [33] Vankoevinger KK, Gao RW, Ahmed S, et al. A 3D-printed lateral skull base implant for repair of tegmen defects: a case series[J]. Otol Neurotol, 2020, 41(8): 1108–1115.
- [34] 刘晓云. 3D 打印技术构建干细胞仿生支架用于软骨及脊髓损伤修复的研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2021.
- [35] Ganguli A, Pagan-Diaz GJ, Grant L, et al. 3D printing for preoperative planning and surgical training: a review[J]. Biomedical Microdevices, 2018, 20(3): 65.
- [36] Mcmillan A, Kocharyan A, Dekker SE, et al. Comparison of materials used for 3D-printing temporal bone models to simulate surgical dissection[J]. Ann Otol Rhinol Laryngol, 2020, 129(12): 1168–1173.
- [37] 薛亮, 魏梁锋, 张尚明, 等. 鞍区病变 3D 打印模型的临床应用观察[J]. 中华解剖与临床杂志, 2018, 23(6): 513–517.
- [38] 吴昆旻, 吴建, 朱春晖, 等. 3D 打印技术在鼻窦恶性肿瘤外科中的应用[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2018, 24(4): 361–365.
- [39] Grau S, Kellermann S, Faust M, et al. Repair of cerebrospinal fluid leakage using a transfrontal, radial adipofascial flap: an individual approach supported by three-dimensional printing for surgical planning[J]. World Neurosurg, 2018, 110: 315–318.
- [40] Alrasheed AS, Nguyen LHP, Mongeau L, et al. Development and validation of a 3D-printed model of the ostiomeatal complex and frontal sinus for endoscopic sinus surgery training[J]. Int Forum Allergy Rhinol, 2017, 7(8): 837–841.
- [41] Chang DR, Lin RP, Bowe S, et al. Fabrication and validation of a low-cost, medium-fidelity silicone injection molded endoscopic sinus surgery simulation model[J]. Laryngoscope, 2017, 127(4): 781–786.
- [42] Chan HH, Siewerdsen JH, Vescan A, et al. 3D rapid prototyping for otolaryngology-head and neck surgery: applications in image-guidance, surgical simulation and patient-specific modeling[J]. PLoS One, 2015, 10(9): 136–141.
- [43] Hsieh TY, Cervenka B, Dedhia R, et al. Assessment of a patient-specific, 3-dimensionally printed endoscopic sinus and skull base surgical model[J]. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg, 2018, 144(7): 574–579.
- [44] Tai BL, Wang AC, Joseph JR, et al. A physical simulator for endoscopic endonasal drilling techniques: technical note[J]. J Neurosurg, 2016, 124(3): 811–816.
- [45] Malik HH, Darwood AR, Shaunak S, et al. Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications[J]. J Surg Res, 2015, 199(2): 512–522.
- [46] Stewart MA. Effective physician-patient communication and health outcomes: a review[J]. CMAJ, 1995, 152(9): 1423–1433.
- [47] Low CM, Morris JM, Price DL, et al. Three-dimensional printing: current use in rhinology and endoscopic skull base surgery[J]. Am J Rhinol Allergy, 2019, 33(6): 770–781.
- [48] Sanjay P, Dodds A, Miller E, et al. Cancelled elective operations: an observational study from a district general hospital[J]. J Health Organ Manag, 2007, 21(1): 54–58.
- [49] Tack P, Victor J, Gemmel P, et al. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review[J]. Biomed Eng Online, 2016, 15(1): 115.

(收稿日期:2021-09-27)

本文引用格式:游莉华,吴剑,李军政. 3D 打印技术在鼻-颅底外科中的应用研究进展[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2022, 28(5): 113–118. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.20221360

Cite this article as: YOU Lihua, WU Jian, LI Junzheng. Progress of researches on the application of 3D printing technology in nose-skull base surgery[J]. Chin J Otorhinolaryngol Skull Base Surg, 2022, 28(5): 113–118. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.20221360