

3D 打印技术在小儿心脏外科中的应用



刘金龙^{1,2} 刘锦纷^{1,2}

3D 打印技术(又称“增材制造”, Additive Manufacturing)是以三维几何模型为基础运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过增加材料逐层打印的方法来制造物体的技术。其涵盖了“快速成型制造”(Rapid Prototyping Manufacturing)相关的所有打印工艺、技术、设备类别^[1]。近年来,3D 打印技术已成为全球制造业的研究焦点。2012 年 4 月,英国《The Economist》杂志《The Third Industrial Revolution》将 3D 打印技术称作为“第三次工业革命的重要标志之一”,美国《Times》周刊将 3D 打印列为“美国十大增长最快的工业”^[2]。与传统制造方法相比,由于 3D 打印技术在个性化和体外生物结构模型制造上具有独特优势。因此,其在生命科学和医学的应用正逐渐形成一个多学科交叉的新兴研究领域,并将此应用在患者个体化医疗之中。

一、3D 打印技术基本原理

3D 打印概念最初源于 18 世纪欧洲雕塑艺术,19 世纪在北美受到重视,20 世纪 90 年代随着计算机与网络技术的快速发展,美国 ZCorp 公司在麻省理工学院的技术支持下开始了第 1 台 3D 打印机的研发,由此迎来了 3D 打印技术真正的发展^[3,4]。3D 打印技术与普通喷墨打印技术原理基本相同,利用光固化成型法、分层实体制造法、选择性激光烧结法或熔融沉积制造法,将电脑上设计完整的三维实体模型,通过控制 3D 打印喷头沿水平与垂直方向移动,把胶体或粉末状的打印材料与支撑材料逐层叠加,最终实现电脑设计 3D 模型的实体化制作。利用 3D 打印方法制作模型精度高,周期短,材料多样,可实现个体化加工,还克服了传统工艺中模具的制作,节省了人力、物力与时间成本,提高了生产效率,缩短了产品的研制周期,是一项革命性的技术^[5]。

3D 打印技术在生命科学与医学领域中的应用,目前主要基于医学临床影像学 DICOM 数据的个体

化三维重建,通过利用计算机图形处理方法将患者个体化影像学数据,包括 CT、MRI、超声等,进行计算机 3D 解剖结构建模与计算机辅助设计(CAD/CAM)处理,并通过选取适合的材料进行 3D 打印,将计算机中构建的数字化模型进行实体化制作,便可得到患者病灶部位的等大个体化模型。

二、3D 打印技术在医学领域中的应用

目前,3D 打印技术在医学领域中的应用主要体现在 3 个方面:一是以医学教学、手术规划或练习,以及标本制作为代表的模型制造;二是用于如骨骼、瓣膜等替换为代表的可移植性假体制造;三是组织工程领域中,以生物材料、生物化学物质和细胞为基础制造的生物 3D 打印^[6]。伴随医用 3D 打印材料的快速发展,3D 打印模型的仿真外观性、机械性和生物相容性等方面有了很大提高,拓宽了 3D 打印技术在医学领域中的应用,已有大量国内外研究报道 3D 打印技术应用于假肢制作、五官整形、颅骨修复、口腔矫治、气管支架、胎儿诊疗、虚拟手术设计、细胞打印,以及血管、器官和活体组织构建,这些研究为患者个体化精准治疗奠定了坚实基础^[7-15]。

个体化精准治疗是目前临床医疗发展的重要方向之一,如何为患者设计个体化最优精准治疗方案,提高患者治愈率,减少并发症,减轻患者病痛,缩短住院时间及节省治疗费用,我国起步较晚。为此,加快深入开展 3D 打印技术在医学领域中的应用具有重要意义。

三、3D 打印技术在小儿心脏外科的应用

3D 打印技术在小儿心脏外科中的应用起步较晚,技术难度较大,发展不平衡。先天性心脏病(以下简称“先心病”)发病率约 7‰,我国每年约有 15 万左右新增病人,加上累发病例,现存病人约有 150 万例,其中复杂先心病占 30%~40%。目前,简单先心病已可以通过外科手术得到根治,效果良好,但复杂先心病的治疗仍是临床医学的一大难题。

在 3D 数字医学技术的支持下,利用虚拟手术设计技术与计算血流动力学、材料力学、结构力学等学科开展医工交叉研究分析,医生可为患者定制个性化、精确化的手术方案,缩小手术创面,减少手术

时间,提高复杂手术的成功率,提高患者生存质量。

术前根据临床医学常规检查,获取患者个体化 DICOM 临床影像数据,如 CT、MRI,利用计算机重建技术 3D 构造患者病灶解剖模型,通过 3D 打印技术制作体外模型,与传统影像学诊断相比,可以更加直观的多角度三维观察个体化心血管解剖学结构,特别是复杂先心病患者个体化情况,精确掌握心脏缺陷的形态、大小、位置、程度,以及周边组织的结构,同时可以对心脏功能进行深入分析。这弥补了常规影像检查中的局限性,更改变了以往复杂心脏手术仅靠主刀医师的经验和临床判断的现状。为在术前规划手术操作流程,改进手术设计,预估术中手术操作特点提供了依据。同时,3D 打印技术也为个体化手术方式的完善、创新提供了一种非常有效的工具,为临床医生深刻掌握患儿生理解剖结构及其血流动力学特性,实施个体化治疗奠定了良好的基础。

2006 年国外已有学者根据患者个体化解剖数据,利用 3D 打印技术制作弹性心脏模型用于手术的规划与研究^[16]。在我国,上海儿童医学中心和上海市小儿先心病研究所是国内最早开展这方面研究工作的单位之一。无论是利用 3D 打印技术制作患者个体化先心病模型用于术前手术规划(如图 1 所示),还是通过 3D 打印与虚拟手术设计结合,并利用计算流体力学研究模拟分析寻找患者个体化最适治疗方案的方面,都取得了良好的效果。

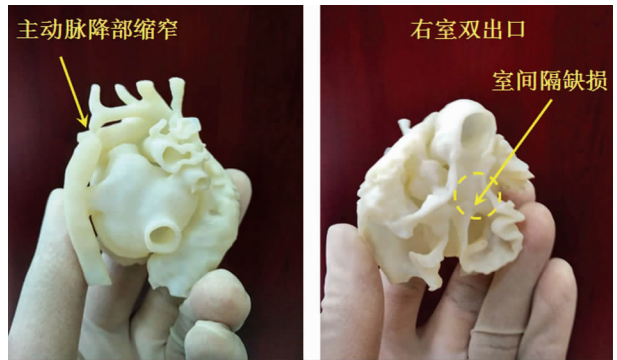


图 1 利用 3D 打印技术制作个体化心血管模型
(左:患者个体化主动脉降部缩窄模型;右:患者个体化右室双出口伴室间隔缺损模型)

Table 1 Individualized cardiovascular modeling using 3-dimensional printing

同时,还将 3D 数字医学研究与 3D 打印技术结合,用于复杂先心病病例模型制作,克服了传统生物标本模型收集、制作、保存中存在的困难,节省人力、物力和财力,为医学教学与展示、病理图谱制作及小儿先心病数字化样本库的建立,做了大量前期开拓性准备工作。特别是对各种罕见的复杂先心病案例

的搜集,数字化建模及 3D 打印实体模型的制作,为相同病理患者之间个体化表现差异的研究,病种图谱建立与模型收集制作等工作的开展,将对我国小儿先心病治疗与研究起到积极推进作用。

在教学与人才培养方面,通过开展 3D 数字医学研究,带动了基础领域研究新的发展,促进组织工程、分子生物学等领域的创新,同时,培养一批既懂医学临床知识,又懂工学研究的医工交叉复合型人才队伍,有利于儿科医学教育、临床应用的现代化改革与创新,带动新的学科建设,构建儿科精品课程培训与教学,推动儿科其他相关专业发展。

基于医学影像及相关数据制作的 3D 打印解剖模型,为诊疗提供直观、能触摸的信息记录,促进了医患之间的沟通与理解,方便医师、患者及其家属对所患疾病与病情的了解。与传统利用二维影像资料相比,3D 模型更加形象生动,降低医患之间的交流障碍,增进理解,减少误会。从而大大减轻医生的工作负担和提高患者满意度。通过对不同病人个体化模型和虚拟手术设计,也为以后扩展到心血管手术训练以及远程手术指导提供研究基础。

四、3D 打印技术的困惑和展望

目前,我国 3D 打印应用于医疗卫生领域处于起步阶段,存在一系列影响其服务于临床,向临床应用转化的关键性问题,譬如:缺乏应用 3D 打印技术的标准化医疗器械法规及监管体系,包括 3D 打印产品的安全性和有效性评估,开发、研制和生产质量体系建立,个性化定制产品管理核准形式,医疗、卫生体系准入许可机制构建等问题。在技术层面上,3D 打印产品应用于临床,尚亟待有更多新型可降解生物材料的研发与应用,同时,需积极开拓利用新兴生物工程手段与最新组织工程技术结合,而开展的 3D 细胞及器官打印技术。在应用层面上,价格体系机制的确立显得尤为重要,将为 3D 打印临床应用的推广产生巨大影响。相信随着 3D 打印临床应用的完善,精准医疗将在临床有更长足的发展。

参考文献

1 Kate Cummins, The rise of additive manufacturing[J], The Engineer, 2010, 05: 24.
2 [美]杰里米·里夫金. 第三次产业革命[J], 张一萌(译), 国际参考研究, 2013, (6): 31-34.
3 Sames WJ, List FA, Pannala S, et al. The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing[J]. International Materials Reviews, 2016, 03: 07. (下转第 216 页)