

DOI:10. 11798/j. issn. 1007-1520. 201602019

· 新技术 ·

3D 打印在肿瘤整形外科的应用前景分析

周 晓,李 武,曾 勇,盛小伍

(湖南省肿瘤医院 中南大学湘雅医学院附属肿瘤医院,湖南 长沙 410006)

关 键 词:3D 打印,新技术;肿瘤整形外科;临床应用
中图分类号:R622 文献标识码:A 文章编号:1007 - 1520(2016)02 - 0157 - 04

肿瘤整形外科学^[1]是一个融合肿瘤外科、整形外科、显微外科的理论和 技术,以有计划地进行根治性肿瘤切除加一期修复重建为特征的外科交叉和边缘科学,其治疗范围主要是肿瘤切除后的皮肤、黏膜、肌肉、神经、骨骼及某些器官缺损的修复和重建。手术方法有通过自身、异体、异种组织或人造生物材料等来修复组织器官缺损或畸形。每名患者恶性肿瘤癌灶大小、浸润范围不一,市场上通用的人工移植 物等产品不适用;而且某些植入物只能是个性化的,如骨缺损修复体。

1 3D 打印技术概念

3D 打印技术指由数字模型直接驱动,运用金属、塑料、陶瓷、树脂、蜡、纸、砂等可粘合材料,通过增材制造法(又称增量制造法、加成制造法,additive manufacturing,AM)(图 1),在快速成形设备里通过逐层叠加的方式来构造物理实体的技术^[2]。3D 打印最大的优点是满足个性化设计,3D 技术为解决这类问题提供了一条新的思路。

1984 年,Chuck Hull^[3]首先提出“3D 打印”的概念,他设计了“光固化”的工艺流程。此后,3D 打印演化为使用不同原材料的多种类技术(表 1),包括医疗领域在内的众多行业向 3D 打印投来关注目光。本文分析 3D 打印技术在外科领域的临床应用,探讨其在肿瘤整形外科的应用前景。

计算机信息技术促进了影像学的发展。影像学从人们熟悉的 B 超、CR、DR、CT、MRI、PET 以及数

字减影血管造影术(DSA)发展到现在的功能磁共振(fMRI)及分子影像学成像,现代医学影像技术层出不穷,推动了临床诊疗水平的提升。数字化是未来医学影像学发展的必然趋势。3D 建模及打印技术随着计算机技术和工业水平的发展而产生,是“数字化医学”的一项实现技术。总的来说 3D 建模及打印技术与医学领域的结合可概括为以下 5 个方面。

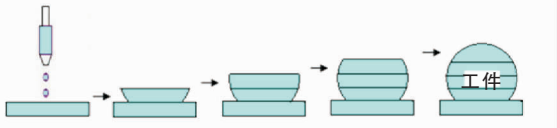


图 1 增材制造法

表 1 3D 打印主要技术种类

3D 打印技术	基本材料
选择性激光烧结(selective laser sintering,SLS)	热塑性塑料、金属粉末、陶瓷粉末
熔融沉积成型(fused deposition modeling,FDM)	ABS、PLA、可食用材料
立体平版印刷(stereolithography,SLA)	ABS、PLA、可食用材料
数字光处理(DLP)	液态树脂
分层实体制造(laminated object manufacturing,LOM)	纸、金属膜、塑料薄膜
粉末层喷头三维打印(powder bed and inkjet head 3d printing,PP)	石膏粉末
polyjet 成型技术	数码光敏材料

1.1 临床诊断及疗效评价

外科医生在疾病诊治的全过程要对病灶局部毗邻的空间关系尽可能多地了解,以达到精确地诊断、手术和术后评价。三维建模是沟通医学影像与外科之间的桥梁,医学影像提供了人体的三维信息,三维建模首先需要在计算机中生成反映组织器官的真实三维结构图像,以便进一步地进行辅助手术设计、手术评估。手术前后的立体图像为了解患者组织器官的结构和功能提供便利,必然会促进外科的发展。

1.2 快速成形技术

快速成形技术是指直接从计算机模型用材料逐

基金项目:湖南省肿瘤整形外科临床医疗技术研究中心(2013TP4087);中南大学中央高校基本科研业务费专项资金(2015zzts325)。
作者简介:周 晓,男,主任医师。
通信作者:周 晓,Email:cccdon@sina.com

层或逐点堆积出三维物体(图 2),近 10 年来已经成功应用于医学领域的诸多方面。医学影像技术与快速成型技术相结合,使医学影像不但从二维平面发展到三维立体,而且发展到目前的器官实物模型。

快速成型技术可以将解剖毗邻复杂的病变部位变成实物模型,反复进行手术模拟与修正,而且可以制造出与人体解剖结构表面完全匹配的手术导板,缩短手术时间。

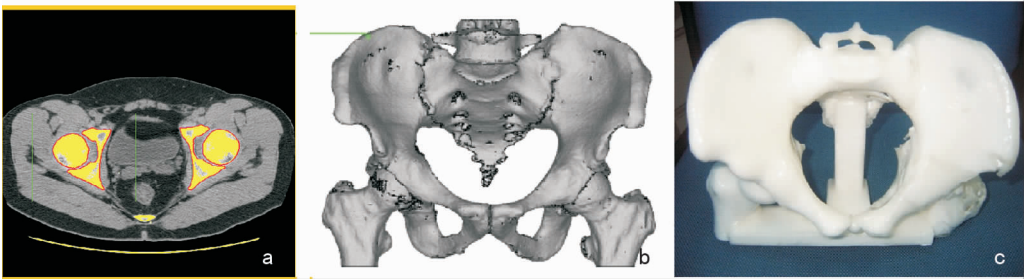


图 2 3D 打印模型的制作流程 a:医学影像获取;b:医学影像处理与三维建模;c:STL 文件格式输送至三维打印机打印模型

1.3 三维有限元分析

由于人体结构的复杂且难以直接测量,所以最初的有限元模型都是二维模型,医学影像科学的进步使得现在的研究者可以借助医学图像来建立三维有限元模型。

1.4 数字解剖学

解剖学是外科的基础,利用连续断层图像进行三维重建,可以精确地实现人体组织复杂的三维解剖结构,并可进行任意旋转、剖切等观察和操作;可以对重建的三维结构进行测量,获得长度、面积、体积和角度等大量精确的解剖参数。高精度的三维人体解剖模型,可以更好地观察人体解剖结构及其毗邻关系。

1.5 虚拟技术

解剖尸体标本是传统人体解剖学教学必不可少的部分,标本的严重缺少影响了教学目标的实现。虚拟现实技术的产生能使学生在虚拟的人体标本上进行解剖观察和学习,可缓解尸体标本短缺,降低教学成本。虚拟现实技术不但对医学和辅助医学专业的解剖教学至关重要,而且虚拟手术可以帮助外科医学进行计算机辅助诊断,手术仿真模拟等操作,从而实现手术的精确和微创。用于模拟、指导医学手术所涉及的各种过程,在时间段上包括了术前、术中、术后,在实现的目的上有计算机辅助手术设计、虚拟手术训练、计算机术中导航、手术预测及评估等。

三维建模利用多模图像数据构建立体的仿真实物,从二维到三维,从平面到立体,从静态到动态,使外科手术更准确、安全和微创,从而提高手术的质

量,减轻患者的痛苦,降低医疗成本,因而 3D 打印已经渗透到外科领域的临床、科研和教学^[4]。

2 3D 打印技术在肿瘤整形外科中的应用

肿瘤整形外科根治性切除肿瘤后,修复重建手术的目的是在保证肿瘤病灶彻底切除干净的基础上,解决肿瘤病灶切除后组织、器官缺损的修复和功能重建问题。

2.1 头颈外科

2012 年 2 月 5 日,世界首例人工下颌骨置换术在比利时实施,Hasselt 大学 BIOMED 研究所基于 MRI 数据,成功为一个 83 岁的女性植入了 3D 打印的下颌骨,该人工下颌骨仅比生理下颌骨重 30 g,手术历时 4 h,比传统的手术节约近 16 h,且患者功能恢复良好。此次 3D 打印成品并未影响患者的语言表达能力,为今后人造器官短缺所面临的困难提供了解决方案^[5]。

2.2 整形外科

1992 年,Stoker 等^[6]首次将该技术运用到整形外科领域,将 3D 打印模型用于颅颌面术前模拟。医者可依据 CT 或 MRI 数据显示,快速精确地制造三维仿真生物模型,使该技术在个性化假体的制作、医学教学中广泛应用,为整形外科手术带来了前所未有的变革。有研究报道 1 例 82 岁的患者行踝关节置换手术,术后并发伤口裂开、感染、假体外露。通过术前 CT 扫描重建出缺损区域的形态,整形外科医生设计、制备前臂桡侧皮瓣更加精确。另有关于骨性翻瓣术的 10 例患者的文献报道,作者认为:

3D 建模与传统的二维 CT 图像相比,可减少手术误差^[7]。

2.3 3D 打印移植

3D 打印在医学上的初步试用是从骨骼开始的,主要是通过使用磷酸钙陶瓷粉、金属等材料,并结合 3D 打印技术制造出用于人工植入的假骨。3D 打印的骨科植入物假体是目前 3D 打印技术在医学领域中最成功的技术之一,利用 3D 打印技术制作的医疗植入物能够更好地融入人体,改善患者的治疗效果。3D 打印技术在医用材料方面能够得到越来越广泛的应用,主要还是它能够根据不同患者的需求,快速精确制备适合不同患者的个性化生物医用高分子材料,并能对材料的微观结构进行精确控制。针对患者个体“量体裁衣、度身定做”的外科植入物可以做到解剖形态、生物力学兼顾的匹配;事实上,成本低、高效率制造的 3D 打印植入物已经成为可能。

2.4 手术器械打印

通过 3D 打印,制作专属的手术器械已经变成可能。有研究证实:3D 打印出来的手术器械其强度可以满足手术要求,但有待于长期的临床大样本的调查研究验证^[8]。

3D 打印技术应用于肿瘤整形外科学的具体方面包括:钛或钛合金个性化植入物;三维模型辅助下的自体移植;辅助皮瓣设计、制备;癌灶的局部解剖毗邻的模型制作等。上述方面都将有利于术前演练,减少手术时间,提高手术准确率,降低手术风险;降低患者伤口感染风险,减小切口,有利于患者康复。

3 3D 打印技术在非肿瘤整形外科中的应用

3.1 手术设计

传统的二维影像,需要术者结合空间想象在大脑中重建解剖关系。3D 打印技术不但可以为临床医生提供静态的三维信息,而且可以提供动态的三维成像,这对于复杂的手术案例尤为有用。3D 可视化因其生动地显示器官和空间结构,外科专家们开始运用此工具解决临床实际问题^[9-11]。术前医学影像的三维建模有助于手术设计、缩短手术时间及减少术后并发症^[12]。

3.2 神经外科

3D 打印在神经外科同样得以应用。2 例患者的病变位于运动皮层的附近,颅脑部 MRI 扫描数据进行三维重建并打印,模型的建立有助于设计手术

入路,避免损害正常脑组织;直视下观察肿瘤的大小和深度;另外也利于医患沟通^[13]。

3.3 心脏外科

一位 70 岁的老年患者,从升主动脉到降主动脉有动脉硬化并动脉瘤形成,病变范围广同时患有高血压和糖尿病。心脏外科专家决定通过 3D 打印模型决策手术方案。CT 扫描获得的影像数据精确地重建并 3D 打印出患者心脏模型,辅助计算支架及着陆区的深度和直径,有效地帮助临床医生们制定治疗方案。另有 2 例患者,其中 1 例为左心发育不全的 2 岁男童,外科干预后仍存在三尖瓣关闭不全和心衰;另 1 例患者因肺动脉闭锁和右心室发育不全,出生后 1 个月行中央分流术,14 岁时因“蛋白丢失性肠病”再次入院,急需接受心脏移植。外科医生 3D 打印上述两患者的心脏,并带入手术室,直接观察解剖变异,并用于匹配供体心脏、下腔静脉、肺动脉和主动脉弓的大小尺寸^[5-7]。

3.4 关节外科

关节是运动枢纽,人的一举一动都离不开关节。对于髋关节严重畸形的患者来说,要恢复受损的关节,运用传统手术方案,具有挑战性。关节供应是否短缺、异体是否发生排斥、供体型号、位置安放的准确性和畸形矫正度,都是术前不得不考虑的困难。与传统技术相比,3D 打印可在术前为医生打印实体模型进行模拟训练,提供安全实际的信息,进而提高高难度手术的成功率。有文献^[14]首次将该技术应用于复杂髋关节翻修术,此次手术成功地表明 3D 打印技术的精确性。

3.5 外科教学

3D 打印的不同病理类型和解剖变异模型,有助于医学生和住院医师直观了解,并进行模拟操作^[15]。也可以用于针对患者的科普宣传或者手术谈话。

4 3D 打印技术的局限性

虽然三维建模及打印可以使外科手术更加精确和容易,但是也存在制约因素:

三维建模及打印的基础和临床应用研究领域,属于理工科学和医学的交叉学科,传统教育模式培养下的医生缺乏必要的理工科背景知识,而相关工科专业人员,又很难掌握医学知识。在临床中发现问题的医生缺乏解决问题的相关计算机知识,而具有解决问题能力的工科人员又很难找到真正有研究

价值的临床问题。医学研究者的解剖学先验知识,使其能判断图像分割的准确性,也能评价三维重建的效果。而工科背景的研究人员是无法对计算机自动分割的结果进行修正的,所以医学三维建模起码应该有医学研究人员的参与。三维建模及打印的临床研究工作需要高要求的硬件支撑,比如计算机手术导航系统、虚拟现实系统、快速成型设备等。制约三维重建在医学领域应用的关键是图像分割,在临床上应用最多的基于 CT 的三维重建,除了少数 Hounsfield 值与周围对比明显的组织,如骨骼、肺、造影后的血管外,其他组织器官均无法自动分割。即使是这些组织,由于受扫描层厚和容积效应的影响,计算机自动分割的轮廓也常常不能令医学研究者满意。3D 桌面型打印机的不断普及使得 3D 打印有望走进千家万户^[16]。这也使得假冒的医疗设备和仪器,医疗药物的生产变成可能。因此,也有学者建议应该严格管理 3D 打印的许可证^[17]。

计算机辅助下医学影像三维建模,有助于肿瘤整形外科医生开展肿瘤术后缺损修复的科学研究。临床遇到的问题可能具有代表性,通过与理工科相关专业人员的合作来完成感兴趣区域的三维建模,总结形成一个合作课题而进一步地研究分析。

“个性化、精准化”是肿瘤整形外科学的追求目标,也是现代医学发展方向。临床病例的复杂多变,使得无论多么高明的模式化、规范化设计,都无法满足临床复杂多变的需求。CT、MRI 等影像设备的普及,使临床上累积大量的断层数据,这些数据除了提供影像学诊断外,还包含着大量的三维解剖学信息和临床病理信息,如果充分挖掘利用这些信息,外科医生将在术前、术中、术后获得人体生理和(或)病理的三维信息,从而实现对患者的个性化和精准化治疗。

基于医学影像学、数字医学运用于临床已经成为现实,3D 打印结合组织工程技术利用成体干细胞诱导分化、增殖,体外“再生”一个新的器官,替代衰老或者病损的脏器,将会给医学发展带来革命性的变化。

参考文献:

- [1] 周晓,胡炳强,罗以. 论肿瘤整形外科学的产生[J]. 岭南现代临床外科,2002,2(1):10-12.
- [2] Cohen A, Laviv A, Berman P, et al. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2009, 108(5):661-666. DOI:10.1016/j.tripleo.2009.05.023.
- [3] Hull CW. Apparatus for production of three-dimensional object by stereolithography[M]. US patent 4 575 330 A.1986.
- [4] Hoy MB. 3D printing: making things at the library[M]. Med Ref Serv Q, 2013,32(1):94-99. DOI:10.1080/02763869.2013.749139.
- [5] Klein GT, Lu Y, Wang MY. 3D printing and neurosurgery--ready for prime time[J]. World Neurosurg, 2013,80(3-4):233-235.
- [6] Stoker NG, Mankovich NJ, Valentino D. Stereolithographic models for surgical planning: preliminary report[J]. J Oral Maxillofac Surg,1992,50(5):466-471.
- [7] DanielM,WatsonJ,HoskisonE,etal. Frontal sinus models and onlay templates in osteoplastic flap surgery[J]. J Laryngol Otol, 2011, 125(1):82-85. DOI:10.1017/s0022215110001799.
- [8] Rankin TM, Giovinco NA, Cucher DJ, et al. Three-dimensional printing surgical instruments: are we there yet[J]. J Surg Res, 2014,189(2):193-197. DOI:10.1016/j.jss.2014.02.020.
- [9] Schmauss D, Gerber N, Sodian R. Three-dimensional printing of models for surgical plan-ning in patients with primary cardiac tumors[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2013,145(5):1407-1408. DOI:10.1016/j.jtcvs.2012.12.30.
- [10] Schmauss D, Juchem G, Weber S, et al. Three-dimensional printing for perioperative planning of complex aortic arch surgery[J]. Ann Thorac Surg, 2014,97(6):2160-2163. DOI:10.1016/j.athoracsur.2014.2.11.
- [11] Schmauss D, Schmitz C, Bigdeli AK, et al. Three-dimensional printing of models for preopera-tive planning and simulation of transcatheter valve replacement[J]. Ann Thorac Surg, 2012,93(2):e31-33. DOI:10.1016/j.athoracsur.2011.09.031.
- [12] Chae MP, Lin F, Spychal RT, et al. 3D-printed haptic “reverse” models for preoperative planning in soft tissue reconstruction: a case report[J]. Microsurgery, 2015,35(2):148-153. DOI:10.1002/micr.22293.
- [13] Spottiswoode BS, Van den Heever DJ, Chang Y, et al. Preoperative three-dimensional model creation of magnetic resonance brain images as a tool to assist neurosurgical planning[J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2013, 91(3):162-169. DOI: 10.1159/000345264.
- [14] Blumenfeld TJ, Bargar WL. Surgical technique: a cup-in-cup technique to restore offset in severe protrusio acetabular defects [J]. Clin Orthop Relat Res,2012,470(2):435-441.
- [15] Watson RA. A low-cost surgical application of additive fabrication [J]. J Surg Educ, 2014,71(1):14-17. DOI:10.1016/j.jsurg.2013.10.012.
- [16] Rengier F, Mehndiratta A, VonTengg-Kobligk H, et al. 3D printing based on imaging data: review of medical applications[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2010,5(4):335-341. DOI:10.1007/s11548-010-0476-x.
- [17] Bartlett S. Printing organs on demand[J]. Lancet Respir Med, 2013,1(9):684.

(收稿日期:2016-02-01)