

## · 综 述 General review ·

## 三维打印快速仿形技术在介入医学领域的应用价值

陈 川, 周 耕, 卢 川, 程永德

**【摘要】** 三维打印快速仿形技术是一种新兴科技,对多个行业产生了重要影响。医学领域引入三维打印模型是对传统医学的推动,为手术规划、医学教学等带来了积极作用。介入医学领域中应用三维打印模型,为疾病诊断和治疗提供了更好的辅助手段。该文就三维打印快速仿形技术在介入医学中的应用价值作一简要综述。

**【关键词】** 三维打印; 介入医学; 应用价值

中图分类号:R587.1 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2016)-08-0734-04

**The application value of three-dimensional printing rapid prototyping technology in interventional medical field** CHEN Chuan, ZHOU Geng, LU Chuan, CHENG Yong-de. College of Radiology, Taishan Medical University, Taian, Shandong Province 271000, China

Corresponding author: CHENG Yong-de, E-mail: jrfsxzz@vip.163.com

**【Abstract】** As an emerging technology, three-dimensional printing rapid prototyping has produced an important impact on multiple fields. The introduction of three-dimensional printing model into the medical field has greatly promoted the conventional medicine, it has brought a positive effect for surgical planning, medical teaching, etc. The utilization of three-dimensional printing model in the interventional medical field has provided a better supplementary means for the diagnosis and treatment of diseases. This paper aims to make a brief summary about the application value of three-dimensional printing rapid prototyping technique in the interventional medical field. (J Intervent Radiol, 2016, 25: 734-737)

**【Key words】** three-dimensional printing; interventional medicine; application value

三维打印快速仿形又称为添材制造,简称三维打印,是一种基于离散/堆积成型的新成型技术,它根据零件或物体三维模型数据,快速准确地制造出零件或物体的实体模型<sup>[1]</sup>。三维打印技术自提出至今经历 30 多年发展,已应用于航天工程、汽车工业、建筑设计等诸多领域。随着技术工艺成熟,在临床医学领域的应用也越来越广泛,并逐渐被介入科医师用于辅助手术。本文简要综述三维打印技术在介入医学领域的研究及应用。

## 1 三维打印技术在医学领域应用原理

在医学领域,三维打印技术首先通过计算机辅

助设计(CAD)技术将从 CT 和 MRI 上获得的二维信息转化成所需的三维信息并形成模型,再按照一定规律将该模型离散分区为逐层截面,把原 CAD 三维模型转变成系列二维截面,随后根据每个截面轮廓信息输入加工参数,分层打印,最后由成型系统将二维截面层层粘合,得到一个三维物理实体。

## 2 介入医学领域三维打印技术应用

介入诊断和治疗目前在我国医学领域发展迅速,三维打印模型的引入可能引起介入医学技术又一次进步。三维打印技术在介入医学领域最主要的应用,即为制作感兴趣区实体模型,可更直观、清晰、立体地反映病灶与周边关系,用于制定治疗策略、术前评估和术中导向等。

### 2.1 在神经介入中的应用

塑形良好的微导管对于动脉瘤充分闭塞非常关键,其塑形及到位需要丰富的经验与技巧。Namba

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2016.08.023

作者单位: 271000 山东泰安 泰山医学院放射学院(陈 川、卢 川、程永德-兼职教授);上海交通大学附属第六人民医院介入放射科(周 耕)

通信作者: 程永德 E-mail: jrfsxzz@vip.163.com

等<sup>[2]</sup>报道采用术前三维打印技术确定个体化微导管塑形治疗方案,并在三维颅内动脉瘤模型中成功验证了这种塑形方法的有效性。Yan 等<sup>[3]</sup>研究认为,三维打印技术制定的个体化脑动脉瘤治疗方案作为精准医疗范例,可简化介入手术过程,节约手术时间。Anderson 等<sup>[4]</sup>报道采用丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS) 树脂打印出中空的具有弹性血管壁结构的颅内动脉瘤模型,并进行术前模拟手术操作;认为颅内动脉瘤急症介入手术前三维打印指导手术具有可行性,因为打印过程可控制在 2 h 内。

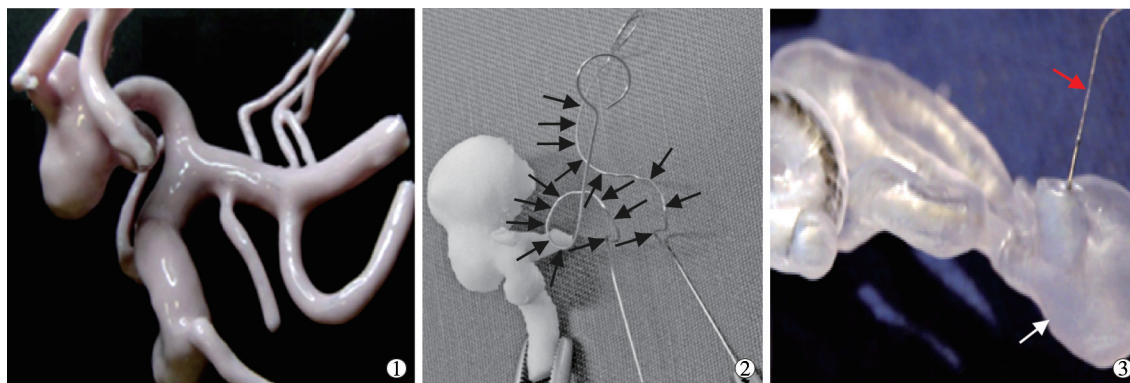
三维打印技术是一种制作动脉瘤模型的新方法,既往已报道多种制作脑动脉瘤的快速仿形技术<sup>[5-7]</sup>。三维打印技术制作的脑动脉瘤血流模型,与 DSA 所示血流动力学数据的一致性及打印精度均令人满意<sup>[4,8]</sup>。三维打印技术制作颅内动脉狭窄模型也有应用报道,其与实际病变的符合性良好<sup>[9]</sup>。

受原始图像空间分辨率及解剖结构的限制,三维打印技术制作的脑血管模型的柔软性、摩擦阻力及易破性与实际动脉血管仍存在差异。

## 2.2 在血管介入中的应用

直视下大血管夹层支架植入术前,通过三维打印技术先制作模型,可全方位了解病变处解剖、破口形态大小和大血管分支情况,便于大血管覆膜支架开窗技术、分支技术、烟囱技术等的应用,以及制作个体化规格支架。袁丁等<sup>[10]</sup>研究三维打印技术辅助主动脉夹层腔内治疗的可操作性、可行性和实用性,认为三维打印技术可清晰显示真假腔关系及其破口位置,模拟腔内手术操作,且术后主动脉弓形态重塑情况与术前模型所示一致,提示三维打印模型评估的准确性。

复杂的血管介入手术通常需要手术医师根据临床经验选择导管导丝,然而仅凭解剖学认识无法确定术中导管走行状况,血管迂曲程度、大小、顺应性等均影响器材到位。Itagaki<sup>[11]</sup>报道采用三维打印技术制作患者血管模型,旨在介入手术前尝试操作不同的微导管及导丝组合,以优化术中器材选择(图 1)。Watson<sup>[12]</sup>报道采用三维打印技术制作个体化肝门静脉和肝静脉模型,让医学生模拟手术过程,并认为对这些模型作模拟手术操作远比被动观察手术帮助大。



①脾动脉三维打印模型;②③箭头显示支架及交换导丝成功通过载瘤动脉动脉瘤远心端

图 1 三维打印技术制作患者血管模型

三维打印技术还可精确仿形出肿瘤病灶形态大小、在组织内位置,还能清晰显示肿瘤供血血管、侧支循环,使得介入医师更好地制定手术方案,更全面有效地对肿瘤进行化疗栓塞。Takagi 等<sup>[13]</sup>、Souzaki 等<sup>[14]</sup>采用三维打印技术分别制作肝胆管癌模型、儿童肝母细胞癌模型并进行术前模拟操作,使介入医师较容易地了解肝脏解剖结构之异常,进而取得手术成功。

## 2.3 在心脏介入中的应用

心脏疾患尤其是先天性心脏病及瓣膜疾病患者个体差异大、解剖复杂,而三维打印技术制作的个体化实际大小心血管模型,为介入医师提供了术前模

拟患者复杂解剖结构的可能性并用于制定治疗方案,有助于准确评估介入器材与病变结构相互作用关系<sup>[15-17]</sup>。Schmauss 等<sup>[18]</sup>报道采用三维打印技术辅助制定复杂心脏疾患介入手术方案,可降低手术并发症发生率及病死率。有研究<sup>[16,19]</sup>报道在三维瓣膜缺损模型及主动脉瘤模型上模拟介入封堵手术操作,预评估置入器材后效果及弹簧圈与病灶位置关系,并根据三维模具自制封堵器用于临床治疗,以降低并发症发生率及病死率。依托三维模型制作个体化植入体或手术器械是目前热点研究,例如编织型腔内桥梁 (Woven EndoBridge, WEB) 装置就是一种需根据每例患者动脉瘤具体形态特征,个性化制

作的植入动脉瘤腔内的自膨式、扁平形双层镍网抗流装置<sup>[20]</sup>,三维打印技术有望在该治疗方法中发挥作用。主动脉弓介入成形术难度较大,易发生支架移位及大血管开口闭塞。有报道用三维打印模型复制病变解剖,制定支架植入方案<sup>[21]</sup>。

随着光固化成型 (SLA) 及选择性激光烧结 (SLS) 中硅胶打印材料的发展,三维打印模型材料在顺应性、平滑程度、可扩张性及触感等方面,均可适应血管打印和模拟的需要。

#### 2.4 在非血管介入中的应用

由于放射性碘粒子有效范围有限、肿瘤形态差异变化大、需避免影响周围重要组织,准确计算粒子排布仍是临床上亟待解决的难题。三维打印技术制作肿瘤模型,可用于碘粒子植入时排布设计,以替代计算机三维放射治疗计划系统 (TPS)。最近有报道用三维打印模板导向技术为肿瘤患者辅助实施放射性粒子植入术,即根据 CT 数据和肿瘤大小、形状设计导向定位导板,再通过三维打印技术制作导板并将粒子排布于病灶范围内进行辅助“内放疗”,以减少放射剂量分布不均及肿瘤残留、复发风险<sup>[22-23]</sup>。另有报道用三维打印技术制作儿童肿瘤内照射源粒子植入的导向定位导板<sup>[24]</sup>。

在胆道引流术方面,有学者针对不同患者胆管树结构及梗阻情况进行三维打印研究,并指出不同打印材料如聚碳酸酯等,可产生不同的 X 线透视效果;在胆道模型周围包裹动物组织可模拟不同组织间界面,与实际手术操作相似度高<sup>[25]</sup>。

随着三维彩色打印材料的应用,可对肝内动静脉分支以不同颜色作区分,同时采用透明材料打印肝脏实质,建模后可直观、真实、立体地了解肝内动静脉解剖情况,为经颈静脉肝内门体分流术 (TIPS) 规划制定、入路设计、实时导航及提高手术精准性等方面提供了便利 (图 2)。但在打印材料质

地、材料弹性方面尚需完善<sup>[26]</sup>。

伍冬冬等<sup>[27]</sup>通过三维打印技术制作患者狭窄气道模型,直观地展现了气管及支气管形态结构,明确了狭窄位置;可用于准确测量狭窄程度,并对支架定位和大小长短选择提供信息,有助于指导气管支架植入术。

#### 2.5 在介入医学教学中的应用

三维打印模型应用于介入医学教学也逐渐成为热门研究,因为它比传统二维屏幕上的三维图像更加直观和准确,且可动手操作示范,其个体化实体模型让介入医师对正常生理变异有更好了解。至于在临床上施行例次较少的手术或新开展手术教学及训练中的应用,则可避免采用实验动物模拟所产生的时间、费用及相似度等问题。

此外,三维打印模型可以保存稀有病例模型,扩充教学资源;还可以让患者和家属了解更多关于疾病和手术的信息,减少医患矛盾发生。

#### 3 三维打印技术不足之处

三维打印技术也面临很大挑战。首先,打印材料是影响三维打印技术无法广泛应用的最关键因素。目前用于医学打印的材料有塑料、树脂和金属,但这些材料均有各自缺点,生物相容性不足。若要使三维打印技术在介入医学领域及临床医学领域更为广泛地应用,开发出适合医学应用特点的材料,如模拟软组织特性、模拟器官硬度和质感的材料等,就显得尤为重要。其次,现存打印设备尚未能满足医学领域需求,对于结构复杂的组织和器官分辨不足。再次,有关三维打印的相应法律法规尚未完善,其商业模式及费用问题还不明朗。目前尚未形成完整产业链,其打印一次须花费数百美元。

总之,三维打印快速仿形技术是一种新兴科技,对多个行业产生了重要影响。医学领域中引入三维打印模型是对传统医学的推动,为手术规划、医学教

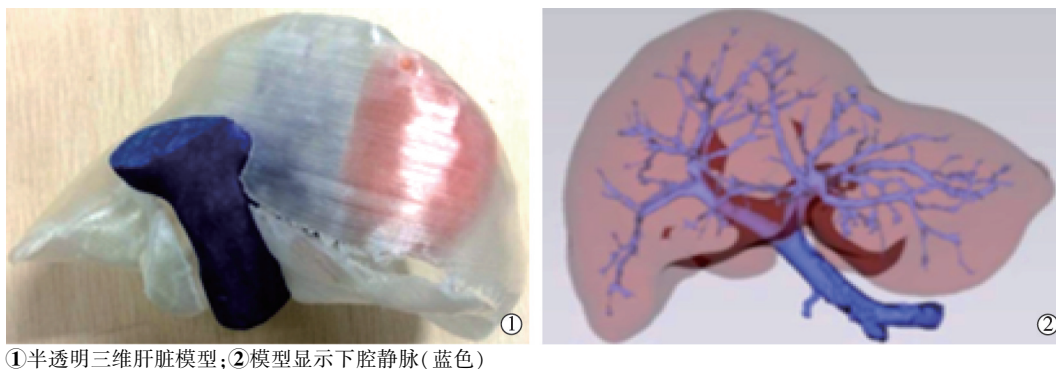


图 2 透明材料三维打印肝脏实质图



学等带来了积极作用。尤其是在介入医学领域,三维打印模型为疾病诊断和治疗提供了更好的辅助手段。尽管目前的三维打印技术并不成熟,存在一些技术缺陷需要克服,其应用受到了限制,但三维打印模型提供的可视化效应依然为其发展前景奠定了基础。相信三维打印技术在广大研究人员及临床医师的共同努力下必将不断完善,在医学领域进一步发展,在介入医学中发挥更大的作用。

#### [参考文献]

- [1] 杨继全,戴 宁,侯丽雅.三维打印设计与制造[M].北京:科学出版社,2013:1-3.
- [2] Namba K, Higaki A, Kaneko N, et al. Microcatheter shaping for intracranial aneurysm coiling using the 3-Dimensional printing rapid prototyping technology: preliminary result in the first 10 consecutive cases[J]. World Neurosurg, 2015, 84: 178-186.
- [3] Yan L, Han X. 3-dimensional printing rapid prototyping for intracranial aneurysm coiling: a good example of precise medicine [J]. World Neurosurgery, 2016, 86: 8.
- [4] Anderson JR, Thompson WL, Alkattan AK, et al. Three-dimensional printing of anatomically accurate, patient specific intracranial aneurysm models[J]. J Neurointerv Surg, 2016, 8: 517-520.
- [5] Mashiko T, Otani K, Kawano R, et al. Development of three-dimensional hollow elastic model for cerebral aneurysm clipping simulation enabling rapid and low cost prototyping[J]. World Neurosurg, 2015, 83: 351-361.
- [6] Wurm G, Tomancok B, Pogady P, et al. Cerebrovascular stereolithographic biomodeling for aneurysm surgery. Technical note[J]. J Neurosurg, 2004, 100: 139-145.
- [7] Erhano BO, Opolski AC, Olandoski M, et al. Rapid prototyping of three-dimensional biomodels as an adjuvant in the surgical planning for intracranial aneurysms[J]. Acta Cir Bras, 2013, 28: 756-761.
- [8] Van Ooij P, Schneiders JJ, Marquering HA, et al. 3D cine phase-contrast MRI at 3T in intracranial aneurysms compared with patient-specific computational fluid dynamics[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2013, 34: 1785-1791.
- [9] Xu WH, Liu J, Li ML, et al. 3D printing of intracranial artery stenosis based on the source images of magnetic resonance angiograph[J]. Ann Transl Med, 2014, 2: 74.
- [10] 袁 丁,赵纪春,康裕建,等. 3D 打印技术辅助复杂主动脉夹层腔内治疗[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2015, 22: 852-854.
- [11] Itagaki MW. Using 3D printed models for planning and guidance during endovascular intervention: a technical advance[J]. Diagn Interv Radiol, 2015, 21: 338-341.
- [12] Watson RA. A low-cost surgical application of additive fabrication [J]. J Surg Educ, 2014, 71: 14-17.
- [13] Takagi K, Nanashima A, Abo T, et al. 3-dimensional printing model of liver for operative simulation in perihilar cholangiocarcinoma[J]. Hepatogastroenterology, 2014, 61: 2315-2316.
- [14] Souzaki R, Kinoshita Y, Ieiri S, et al. 3-dimensional liver model based on preoperative CT images as a tool to assist in surgical planning for hepatoblastoma in a child[J]. Pediatr Surg Int, 2015, 31: 593-596.
- [15] Shiraiishi I, Yamagishi M, Hamaoka K, et al. Simulative operation on congenital heart disease using rubber-like urethane stereolithographic biomodels based on 3D datasets of multislice computed tomography [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2010, 37: 302-306.
- [16] Vaquerizo B, Theriault-Lauzier P, Piazza N. Percutaneous transcatheter mitral valve replacement: patient-specific 3-dimensional computer-based heart model and prototyping [J]. Rev Esp Cardiol (Engl Ed), 2015, 68: 1165-1173.
- [17] De Backer O, Piazza N, Banai S, et al. Percutaneous transcatheter mitral valve replacement: an overview of devices in preclinical and early clinical evaluation[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2014, 7: 400-409.
- [18] Schmauss D, Haeberle S, Hagl C, et al. 3-dimensional printing in cardiac surgery and interventional cardiology: a single-centre experience[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2015, 47: 1044-1052.
- [19] Sodian R, Schmauss D, Schmitz C, et al. 3-dimensional printing of models to create custom-made devices for coil embolization of an anastomotic leak after aortic arch replacement[J]. Ann Thorac Surg, 2009, 88: 974-978.
- [20] Mine B, Pierot L, Lubicz B. Intracranial flow-diversion for treatment of intracranial aneurysms: the Woven EndoBridge[J]. Expert Rev Med Devices, 2014, 11: 315-325.
- [21] Valverde I, Gomez G, Coserria JF, et al. 3D printed models for planning endovascular stenting in transverse aortic arch hypoplasia [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2015, 85: 1006-1012.
- [22] 刘 丹. 数字化 3D 打印开启创新医疗新时代——北京工业大学数字化医疗 3D 打印技术开发记 [J]. 海峡科技与产业, 2015: 90-92.
- [23] 郝永强. 3D 打印技术在骨肿瘤外科中的应用及前景 [A]. 第九届上海国际骨科前沿技术与临床转化学术会议论文集 [C], 2015.
- [24] 胡立伟, 钟玉敏. 3D 打印技术在临床儿科学中的应用进展 [J]. 中国医疗设备, 2015, 30: 75-77.
- [25] Dhir V, Itoi T, Fockens P, et al. Novel ex vivo model for hands-on teaching of and training in EUS-guided biliary drainage: creation of "Mumbai EUS" stereolithography/3D printing bile duct prototype (with videos) [J]. Gastrointest Endosc, 2015, 81: 440-446.
- [26] 方驰华, 方兆山, 范应方, 等. 三维可视化、3D 打印及 3D 腹腔镜在肝肿瘤外科诊治中的应用 [J]. 南方医科大学学报, 2015, 35: 639-645.
- [27] 伍冬冬, 顾其华, 潘频华, 等. 3D 打印技术引导气道狭窄支架置入术一例 [J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2014, 13: 610-612.

(收稿日期:2016-01-04)

(本文编辑:边 洁)