

3D 打印技术在结构性心脏病中的应用

倪寅凯 赵金龙 付亮 陈宗辉 励峰

【摘要】 目的:探讨 3D 打印技术制作心脏三维模型在结构性心脏病诊疗中的应用价值。 方法:将心脏增强 CT 图像导入 Mimics 软件进行三维重建,采用 3D 打印机打印出 1:1 心脏模型。根据 3D 打印模型测量所需数据并制定手术方案。 结果:4 例心脏 3D 打印模型均制作成功,包括 1 例心肌梗死后室间隔穿孔合并心尖部室壁瘤、1 例心肌梗死后室间隔穿孔、1 例升主动脉瘤和 1 例法洛四联症。打印的模型能显示心脏各结构的空間位置及毗邻关系。 结论:心脏增强 CT 图像可以打印出完整的心脏三维模型,为结构性心脏病提供术前模拟,对提高手术成功率有较大帮助。

【关键词】 3D 打印技术;心脏模型;结构性心脏病

doi:10.3969/j.issn.1673-6583.2019.01.013

Application of three dimensional printing technology in structural heart disease NI Yinkai, ZHAO Jinlong, FU Liang, CHEN Zonghui, LI Feng. *Department of Cardiovascular Surgery, Sixth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200233, China*

【Abstract】 Objective: To explore the value of three-dimensional heart model made by 3D printing technology in the diagnosis and treatment of structural heart disease. **Methods:** The data of the series of heart sections scanned by CT were imported to Mimics soft for the 3D reconstruction. Then the formation of 1:1 model of heart was printed. Data was collected and surgical plan was made according to the heart models. **Results:** We successfully made four cardiac 3D printing models, including one case of ventricular septal perforation with apical ventricular aneurysm after myocardial infarction, one case of ventricular septal perforation after myocardial infarction, one case of ascending aortic aneurysm and one case of tetralogy of Fallot. The printed model can show the spatial location and adjacent relationship of the structures of heart. **Conclusions:** CT pictures can be converted into a 3D heart model. 3D heart models can provide simulating intervention therapy on the models and improve operation successful rate.

【Key words】 3D printing technology; Heart model; Structural heart disease

3D 打印技术是以三维几何模型为基础,运用粉末状金属或塑料等可黏合材料,通过增加材料、逐层打印的方法来制造物体的技术。3D 打印技术最初只应用于航空航天、工业设计等领域,随着技术的成熟,目前在生命科学与医学领域中也得到广泛应用。临床上 3D 打印技术主要应用于骨科和口腔科,心血管系统解剖更为复杂,其在心血管疾病中的应用刚刚起步。3D 打印技术能精准复制心脏模型,可在直视下全方位、各角度了解病变的解剖学特点。我们在术前

为 4 例复杂心脏、大血管疾病患者打印心脏 3D 模型,通过对病变形态和位置的直观判断,设计手术方案,提高了复杂心脏手术的成功率。

1 对象与方法

1.1 病例资料

纳入 4 例复杂心脏、大血管疾病患者。其中 1 例患者为 65 岁女性,心肌梗死后室间隔穿孔、心尖部室壁瘤形成;1 例患者为 78 岁男性,心肌梗死后室间隔穿孔;1 例患者为 44 岁男性,升主动脉瘤;1 例患者为 20 岁女性,法洛四联症,升主动脉-肺总动脉分流术后。4 例患者均行 256 层心脏增强 CT 扫描。

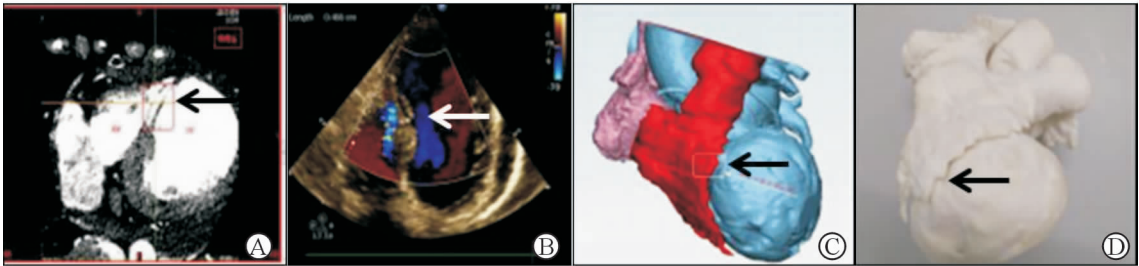
1.2 心脏三维模型的建立及打印

将心脏增强 CT 扫描数据保存为医学数字成像和通信(DICOM)格式,导入三维图像处理软件 Mimics,优化图像,减少呼吸、心跳产生的噪声。根据 CT 成像原理确定心脏造影剂、心肌及脂肪的阈值范围并标示。利用编辑功能分割出心脏、大血管,并精细分割心腔内结构如流出道、瓣膜、腱索和乳头肌等复杂解剖结构。导出 3D 打印机可以识别的 STL 格式文件并输入 3D 打印机,利用尼龙 12 进行成型,制作出与实体 1:1 大小的心脏三维模型。

2 结果

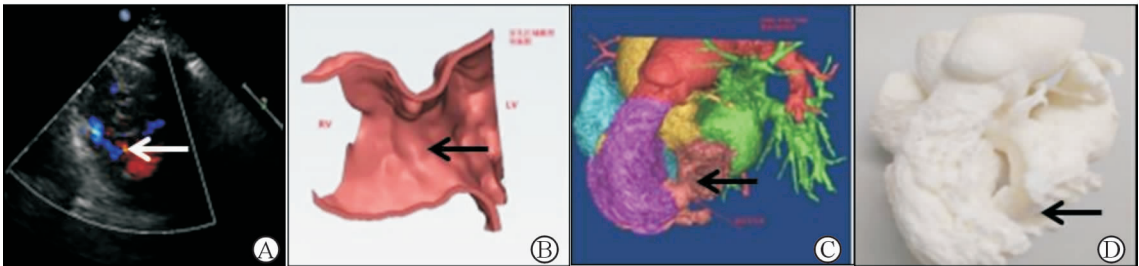
2.1 3D 打印模型

上述 4 例 3D 打印模型均能准确地显示患者心脏、大血管病变,与超声心动图及 CT 图像相符。第 1 例患者室间隔中段近心尖段可见迂曲、隧道样穿孔,左室前壁及心尖部心肌梗死伴室壁瘤形成。第 2 例患者室间隔基底部心肌梗死伴局部室间隔穿孔。第 3 例患者升主动脉见瘤样扩张,大小约为 $4\times3\times2$ cm。第 4 例患者符合先天性心脏病、法洛四联症、主肺动脉分流术后改变,可见患者升主动脉扩张,双侧肺动脉主干明显狭窄。见图 1~4。



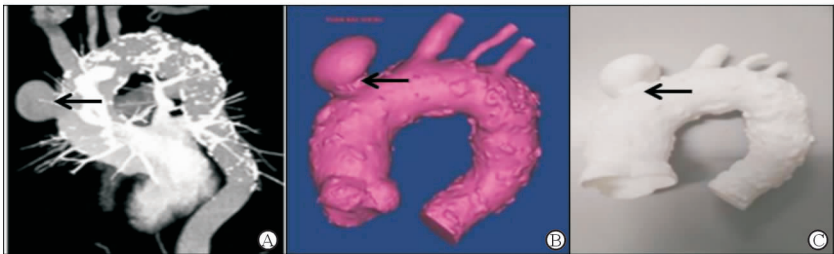
注:A 为心脏增强 CT 图像;B 为胸骨旁切面超声心动图图像;C 为室间隔穿孔及心尖部室壁瘤的心脏三维重建图像;D 为室间隔穿孔及室壁瘤 3D 打印模型;箭头所指为室间隔穿孔部位

图 1 室间隔穿孔及室壁瘤形成患者影像学检查结果及 3D 打印模型



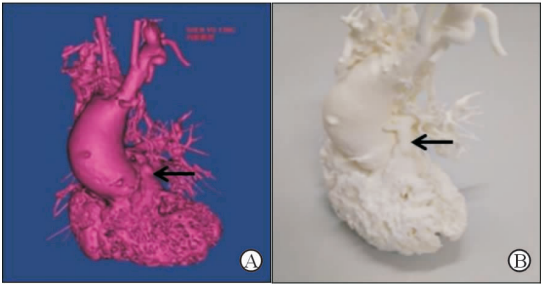
注:A 为胸骨旁切面超声心动图图像;B 为室间隔穿孔三维重建图像;C 为室间隔穿孔的心脏三维重建图像;D 为室间隔穿孔 3D 打印模型;箭头所指为室间隔穿孔部位

图 2 室间隔穿孔患者影像学检查结果及 3D 打印模型



注:A 为升主动脉瘤增强 CT 图像;B 为升主动脉瘤三维重建图像;C 为升主动脉瘤 3D 打印模型;箭头所指为升主动脉瘤体

图 3 升主动脉瘤患者影像学检查结果及 3D 打印模型



注：A 为法洛三联症的心脏三维重建图像；B 为法洛三联症的心脏 3D 打印模型；箭头所指部位为纤维肺动脉

图 4 法洛三联症患者影像学检查结果及 3D 打印模型

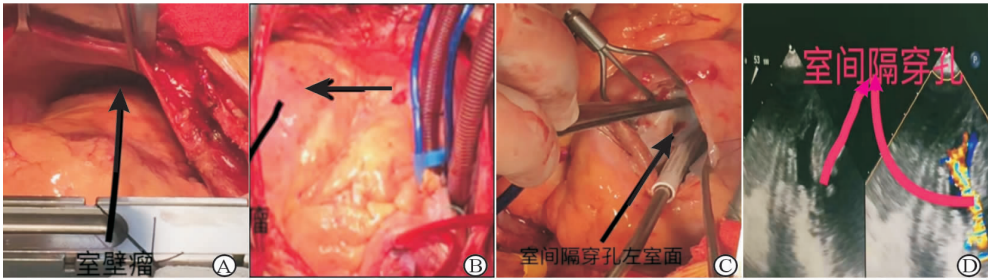
2.2 手术结果

根据 3D 打印结果，考虑第 1 例患者室间隔穿孔迂曲，封堵困难，遂行体外循环下室间隔穿孔修补 + 室壁瘤切除术。术中见心尖部室壁瘤，大小约

为 $5 \times 5\text{ cm}$ ，室间隔心尖部可见一处 3 mm 缺损。带垫片褥式间断缝合，缝闭室间隔穿孔。毛毡条夹闭室壁瘤。见图 5。

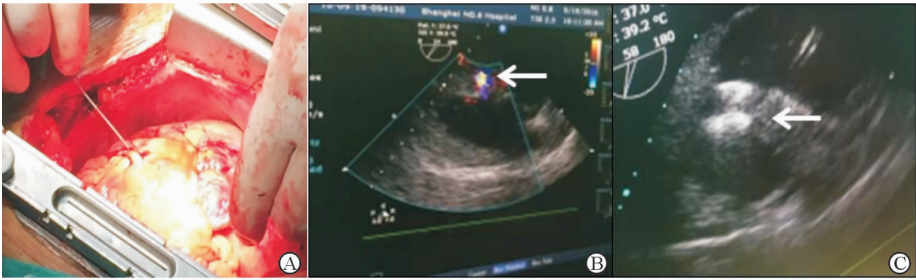
根据 3D 打印结果，考虑第 2 例患者室间隔穿孔行封堵术成功率较高。术中在食管超声引导下，于房室沟下部心室侧以 4-0 prolene 线缝一荷包，针头穿刺后置入导丝，食管超声引导下导丝自右心室经室间隔穿孔进入左心室面。导丝引导下置入鞘管，释放封堵伞。食管超声示封堵器位置可，少量残余分流。见图 6。

根据 3D 打印结果为第 3 例患者定制了封堵器，术中打开心包后见患者升主动脉瘤样扩张，大小约为 $4 \times 3 \times 2\text{ cm}$ ，于瘤壁缝一荷包，食管超声引导下将封堵器释放，食管超声示封堵器位置可，未见残余分流。见图 7。



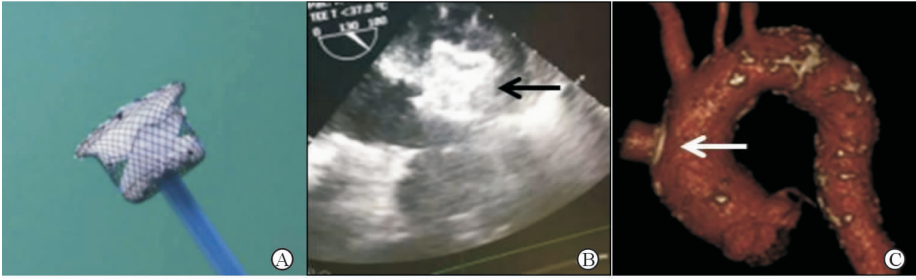
注：A、B 为室壁瘤大体观箭头所指为室壁瘤；C 为室间隔穿孔术中所见，箭头所指为室间隔穿孔处；D 为室间隔穿孔术中食管超声图像

图 5 室间隔穿孔及室壁瘤形成患者术中所见



注：A 为术中选择穿刺点位置；B 为室间隔穿孔术中食管超声图像，箭头所指为室间隔穿孔处；C 为室间隔穿孔封堵后术中食管超声图像，箭头所指为封堵器形态

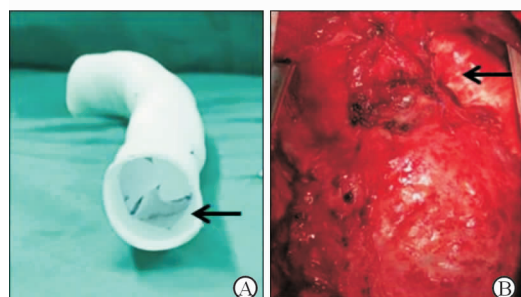
图 6 室间隔穿孔患者术中所见



注：A 为封堵器形态；B 为升主动脉瘤封堵术后食管超声图像，箭头所指为封堵器形态；C 为升主动脉瘤封堵术后 CT 三维重建图像，箭头所指为封堵后的升主动脉瘤

图 7 升主动脉瘤患者术中所见

根据 3D 打印结果,考虑第 4 例患者肺动脉纤细,肺动脉瓣严重狭窄,遂手工缝制带肺动脉瓣人工血管,将其吻合于右室流出道及左右肺动脉分叉前主肺动脉,同时术中缝闭原主动脉-肺动脉分流管道,修补室间隔缺损。见图 8。



注:A 为术中缝制带肺动脉瓣人工血管,箭头所指为缝制的肺动脉瓣;B 为带瓣血管吻合后大体观图,箭头所指为吻合后的带瓣血管

图 8 法洛四联症患者术中所见

3 讨论

3D 打印技术诞生于 20 世纪 90 年代,由美国 Zcorp 公司开始了第一台 3D 打印机的研发。3D 打印享有“第三次工业革命”的盛名,目前正逐步应用于医学领域^[1]。通过影像学 DICOM 数据的三维重建,选取适合的材料进行 3D 打印,可以将计算机构建的数字化模型进行实体化制作,得到病灶部位的等大模型。

在目前临床上收集、保存心脏标本十分困难的情况下,将心脏标本通过 3D 打印的方法制作成完全一样的心脏模型,可以供更多的临床医师学习。同时,3D 打印制作出的个体化心脏模型,可以让患者及家属直观地看到患者的疾病情况,从而达到良好的医患沟通效果。

心脏的解剖结构复杂,构建其空间结构需要很强的思维能力。目前 CT、磁共振成像、超声等检查只能提供二维视图,有时会导致医师对心脏病变的判断发生偏差,造成术中实际情况与术前判断不符。3D 打印能 1:1 重建心脏模型,更直观、形象地展示心血管解剖结构,为确定患者的治疗方案、评估手术难度等提供临床依据。术者还可在模型上进行模拟操作,提前预测手术效果。庞英等^[2]采用 3D 打印技术为 1 例下腔型房间隔缺损患者打印心脏模型,并尝试使用动脉导管未闭封堵器,最终手术成功,避免了行开胸手术和介入手术。刘坤等^[3]采用 3D 打印技术为 1 例主动脉瓣重度狭窄并轻度关闭不全患者打印左心室和主动脉模型,指导医生进行经导管主动脉瓣置入术。目前,3D 打印已应用在以下结构性心脏病中:房间隔缺损、室间隔缺损、

复杂先天性心脏病、主动脉假性动脉瘤、主动脉夹层、左心室室壁瘤、瓣膜置换术后瓣周漏等^[4-8]。

3D 打印技术目前仍存在局限性,如精度受制于影像学检查水平、原材料有限、成本较高、缺乏医疗器械法规及监管体系等^[1]。不同于骨科已经能为患者打印个性化骨块并植入体内,3D 打印技术在心血管领域中的应用还仅仅局限于医学教学、手术规划以及模型制作等方面^[9]。心血管领域的植入设备相对复杂,如心脏瓣膜要有良好的血流动力学性能,经导管植入设备需可以压缩,这导致 3D 打印技术在心血管领域的应用受到了极大限制。

生物材料打印是 3D 打印技术日后的发展方向。用于 3D 打印的生物材料必须具备良好的组织相容性、可降解性以及组织活性等特点。目前能应用于 3D 打印的生物材料不多,亟待更多新型可降解生物材料的研发。Hockaday 等^[10]利用含藻酸盐的聚乙二醇二丙烯酸酯水凝胶成功打印了 3 种大小的主动脉瓣膜,并且在支架内埋植了猪主动脉瓣间质细胞,培养 21 d 后间质细胞存活率接近 100%。Duan 等^[11]利用丙烯酸甲酯交联透明质酸和丙烯酸甲酯交联明胶建立混合水凝胶支架,埋植人主动脉瓣间质细胞后,成功打印三尖瓣瓣膜。未来有望利用 3D 打印技术,为患者定制特异性瓣膜、左心耳封堵器、血管分叉型支架和先天性心脏病封堵器等,并通过导管技术植入体内。

总之,3D 打印技术可以用于心脏外科术前诊断、手术模拟和疾病治疗,为患者定制个性化、精确化的手术方案,从而减少手术时间,提高复杂手术的成功率。相信 3D 打印技术最终可以实现组织器官打印,提高心血管疾病的诊疗效果,为更多心血管病患者服务。

参 考 文 献

- [1] 刘金龙,刘锦纷. 3D 打印技术在小儿心脏外科中的应用[J]. 临床小儿外科, 2016, 15(3):212-214.
- [2] 庞英,梁明亭,杨帆,等. 应用 3D 打印技术实施下腔型房间隔缺损封堵术 1 例[J]. 临床心血管病杂志, 2016, 32(1): 97-98.
- [3] 刘坤,吕滨,任心爽,等. 3D 打印技术应用于经导管主动脉瓣置入术前评估一例[J]. 中华心血管病杂志, 2015, 7(43): 634-635.
- [4] Kim MS, Hansgen AR, Wink O, et al. Rapid prototyping: a new tool in understanding and treating structural heart disease[J]. Circulation, 2008, 117(18):2388-2394.
- [5] Jacobs S, Grunert R, Mohr FW, et al. 3D-imaging of cardiac structures using 3D heart models for planning in heart surgery: a preliminary study[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2008, 7(1):6-9.
- [6] Kim MS, Hansgen AR, Carroll JD. Use of rapid prototyping in the care of patients with structural heart disease[J].

- Trends Cardiovasc Med, 2008, 18(6):210-216.
- [7] Riesenkampff E, Rietdorf U, Wolf I, et al. The practical clinical value of three-dimensional models of complex congenitally malformed hearts[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2009, 138(3):571-580.
- [8] Schievano S, Migliavacca F, Coats LA, et al. Percutaneous pulmonary valve implantation based on rapid prototyping of right ventricular outflow tract and pulmonary trunk from MR data[J]. Radiology, 2007, 242(2):490-497.
- [9] 潘湘斌. 3D 打印技术在心脏领域的应用前景和挑战[J]. 中华医学杂志, 2017, 97(16):1201-1203.
- [10] Hockaday LA, Kang KH, Colangelo NW, et al. Rapid 3D printing of anatomically accurate and mechanically heterogeneous aortic valve hydrogel scaffolds [J]. Biofabrication, 2012, 4(3):035005.
- [11] Duan B, Kapetanovic E, Hockaday LA, et al. Three-dimensional printed trileaflet valve conduits using biological hydrogels and human valve interstitial cells [J]. Acta Biomater, 2014, 10(5):1836-1846.
- (收稿:2018-08-01 修回:2018-12-21)
(本文编辑:胡晓静)

中国科协、教育部、科技部、卫生计生委、中科院、工程院、自然科学基金会 关于印发《发表学术论文“五不准”》的通知

科协发组字〔2015〕98 号

近年来,我国科技事业取得了长足的发展,在学术期刊发表论文数量大幅增长,质量显著提升。在取得成绩的同时,也暴露出一些问题。今年发生多起国内部分科技工作者在国际学术期刊发表论文被撤稿事件,对我国科技界的国际声誉带来极其恶劣的影响。为弘扬科学精神,加强科学道德和学风建设,抵制学术不端行为,端正学风,维护风清气正的良好学术生态环境,重申和明确科技工作者在发表学术论文过程中的科学道德行为规范,中国科协、教育部、科技部、卫生计生委、中科院、工程院、自然科学基金会共同研究制定了《发表学术论文“五不准”》。根据中央领导意见,现将《发表学术论文“五不准”》印发给你们,请遵照执行。

各有关单位要组织深入学习、广泛宣传,结合实际制定和完善相关规定,建立学术不端行为调查处理机制,进一步改革完善科技评价体系,为科技工作者创新创业提供良好的政策和环境保障;要采取切实有效的措施对被撤稿作者开展调查,对违反“五不准”的行为视情节作出严肃处理,并将处理结果报上级主管部门备案。广大科技工作者应加强道德自律,共同遵守“五不准”,认真开展自查,发现存在违反“五不准”的行为要主动申请撤稿,坚决抵制“第三方”学术不端行为。各全国学会(协会、研究会)要发挥科学共同体作用,做好教育引导,捍卫学术尊严,维护良好学风。

中国科协、教育部、科技部、卫生计生委、中科院、工程院、自然科学基金会将加强沟通协调和联合行动,落实“五不准”,督促有关单位对撤稿事件进行调查处理,逐步建立科研行为严重失信记录制度和黑名单信息共享机制,推动科技评价体系改革,规范科研诚信管理,维护科技工作者合法权益。

中国科协 教育部 科技部
卫生计生委 中科院 工程院
自然科学基金会
2015 年 11 月 23 日

发表学术论文“五不准”

1. 不准由“第三方”代写论文。科技工作者应自己完成论文撰写,坚决抵制“第三方”提供论文代写服务。
2. 不准由“第三方”代投论文。科技工作者应学习、掌握学术期刊投稿程序,亲自完成提交论文、回应评审意见的全过程,坚决抵制“第三方”提供论文代投服务。
3. 不准由“第三方”对论文内容进行修改。论文作者委托“第三方”进行论文语言润色,应基于作者完成的论文原稿,且仅限于对语言表达方式的完善,坚决抵制以语言润色的名义修改论文的实质内容。
4. 不准提供虚假同行评审人信息。科技工作者在学术期刊发表论文如需推荐同行评审人,应确保所提供的评审人姓名、联系方式等信息真实可靠,坚决抵制同行评审环节的任何弄虚作假行为。
5. 不准违反论文署名规范。所有论文署名作者应事先审阅并同意署名发表论文,并对论文内容负有知情同意的责任;论文起草人必须事先征求署名作者对论文全文的意见并征得其署名同意。论文署名的每一位作者都必须对论文有实质性学术贡献,坚决抵制无实质性学术贡献者在论文上署名。

本“五不准”中所述“第三方”指除作者和期刊以外的任何机构和个人;“论文代写”指论文署名作者未亲自完成论文撰写而由他人代理的行为;“论文代投”指论文署名作者未亲自完成提交论文、回应评审意见等全过程而由他人代理的行为。