

3D打印技术:一种认识先天性心脏病的新方法

胡立伟¹,钟玉敏¹,王谦¹,孙爱敏¹,欧阳荣珍¹,陈冰华¹,邱海嵘¹,刘金龙²,朱铭¹

1.上海交通大学附属上海儿童医学中心影像诊断中心,上海 200127;2.上海市儿童先天性心脏病研究所,上海 200127

【摘要】目的:运用3D打印技术建立具有精准解剖结构的先天性心脏病三维模型。探讨3D打印的心脏模型对于临床诊断和手术计划制定的意义。**材料与方法:**一例4个月的儿童经超声心动图诊断患有复杂先天性心脏病,行64排前门控增强CT扫描后获得图像资料;通过MIMICS 17.0软件将CT DICOM数据导入并对感兴趣区域(ROI)做图像后重建处理;使用区域生长的方法根据CT值的不同来分割图像之后生成标准镶嵌语言(Standard Tessellation Language, STL)文件数据;将数据导入OBJET 260 3D打印机后即完成建模过程。**结果:**3D模型不但能清晰地显示上述解剖畸形,且能更好地展示室间隔缺损位置、室间隔缺损与房室瓣及两大血管的关系、两大血管的空间结构关系及主动脉缩窄的立体展现。**结论:**3D打印技术应用于先天性心脏病,不但能清晰显示解剖畸形,还能更好地显示心内畸形和心外大血管的空间关系,将更有效地辅助诊断并应用于术前手术方案的制定,为先天性心脏病患者带来精准化的治疗。

【关键词】先天性心脏病;3D打印技术;图像后处理

【中图分类号】R816.2;Q819

【文献标识码】B

【文章编号】1005-202X(2016)02-0173-04

Three-dimensional printing technology: new method for understanding congenital heart disease

HU Li-wei¹, ZHONG Yu-min¹, WANG Qian¹, SUN Ai-min¹, OUYANG Rong-zhen¹, CHEN Bing-hua¹, QIU Hai-sheng¹, LIU Jin-long², ZHU Ming¹

1. Diagnostic Imaging Center, Shanghai Children's Medical Center Affiliated to Shanghai Jiao tong University, Shanghai 200127, China; 2. Shanghai Institute of Pediatric Congenital Heart Disease, Shanghai 200127, China

Abstract: Objective To create an accurate anatomical three-dimensional (3D) model for children with congenital heart diseases (CHD) by using 3D printing technology; to explore the guiding significance of the created cardiac model for clinical diagnosis and operation plan design. **Methods** One 4 month-old child was diagnosed with CHD by echocardiography, and the image data were obtained by 64-slice prospective gated enhancement CT scan. The DICOM data of CT were inputted by using Mimics 17.0 software, and the image reconstruction was conducted for the regions of interest. According to different CT values, images were segmented by region growing method, generating file data of standard tessellation language. After the file data were inputted into OBJECT 260 3D printer, the 3D model for CHD was printed. **Results** The 3D printing mode clearly demonstrated the anatomic abnormalities, preferably indicated the location of ventricular septal defect, showed the relationship among ventricular septal defect, atrioventricular valve and two great arteries, the relationship of spatial structure of the great arteries, and the three-dimensional display of aortic coarctation. **Conclusion** The 3D printing technology for CHD clearly demonstrates the anatomic abnormalities, preferably shows the spatial relationship between intracardiac abnormalities and extracardiac large vessels. And 3D printing technology will be more effective in the assist diagnosis and the preoperative plan design, providing accurate treatment for patients with CHD.

Key words: congenital heart disease; three-dimensional printing technology; image post-processing

【收稿日期】2015-11-24

【作者简介】胡立伟(1984-), 硕士, 研究方向: 生物医学工程, 医学影像技术, Tel: 021-38626565; E-mail: huliwei11@hotmail.com。

【通信作者】钟玉敏(1964-), 博士, 主任医师, 硕士生导师, 研究方向: 小儿先天性心脏病、消化系统、泌尿系统等疾病的影像学诊断。Tel: 021-38626565, E-mail: zyumin2002@163.com。

前言

3D打印技术, 又称快速成型技术(Rapid Prototyping, RP)或增材制造技术(Additive Manufacturing, AM), 是指应用粉末状、液态塑料或金属等可黏合材料, 通过逐层打印方式来构造物理模型的技术^[1]。近

年来国外已经有大量有关应用于先天性心脏病(先心病)手术计划^[2]、模拟手术^[3]及模型仿真教学报道^[4],但目前国内未有该领域的相关研究报道。本文探讨运用CT前门控低剂量扫描技术模式使用特殊图像处理软件做图像建模^[5],以构建中空CAD心脏模型。通过打印建模、水洗模型、加工处理等流程获得3D打印心脏的物理模型流程图,见图1。报道本院首例3D打印技术在儿童先心病中的应用,探讨3D打印的心脏模型对于临床诊断和手术计划制定的意义。

1 材料与方法

1.1 CT扫描技术

一例患有先天性心脏病的儿童,男孩,4个月,体重5.5 kg,心率135次/min。镇静后行CT检查(GE Discovery CT750 HD),造影剂选用碘帕醇370 mgI/mL,流率依据体质量采用1.5 mL/s。注入10 mL造影剂并跟进10 mL生理盐水,以降低造影剂在血管中堆积引起的图像伪影。采用造影剂跟踪技术在降主动脉或左心房选取感兴趣区测定峰值时间,继而确定扫描延迟时间20 s。心脏CT扫描参数:机架转速0.35 s/圈,准直器宽度0.625 mm*64层,管电压80 kV,管电流150 mA,重建层厚0.625 mm,矩阵512*512。采用前瞻性心电门控技术,设定以5%为时相间隔,将每个心动周期的CT图像分为35%~55%共5个时相,选取40%时相0.625 mm层厚的CT图像为重建数据。

1.2 软件处理

本研究CT扫描图像采用Mimics软件处理,通过对CT、MRI的常用的医学数字影像和通讯(Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM)的格式文件进行图形可视化分割提取,网格化分析并输出计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)、标准镶嵌语言(Standard Tessellation Language, STL)等格式的数据。由于儿童先心病心脏内部血管结构复杂以及造影剂使血管强化后有较高的CT值,选择动态区域生长法来进行图像的预处理。根据血管强化的CT值来分类重建,方式有两种:(1)单个蒙板建模。运用Mimics菜单栏内动态区域生长选取相应的兴趣区对所选取的CT图像进行渲染调节最大值和最小值,来显示血管的预分割情况,对于血管强化不明显的区域根据解剖结构加以手动分割图像。运用

Smart Expand模块对图像进行智能膨胀处理,扩展图像后填充空隙,构建成三维蒙板图像,平滑处理中要注意平滑的强度和频次不宜过度改变整体的解剖结构。对建立的心脏3D模型进行挖空处理,保留1 mm的血管外径后生成STL格式文件,图像处理流程见图2。(2)多蒙板建模。对于血管强化不均匀CT图像,需要建立多个模型。根据肺静脉-左心房-左心室(PV-LA-LV)和腔静脉-右心房-右心室(VC-RA-RV)重复单一蒙板图像处理流程后将两组或者多组蒙板融合后,手动分割二尖瓣和三尖瓣位置,最后生成STL格式文件(图3)。

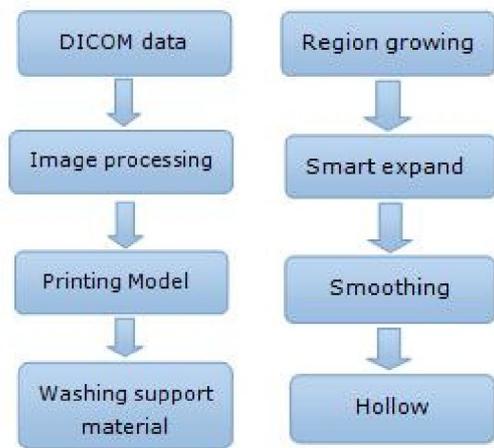


图1 3D打印流程图

Fig.1 Diagram of three-dimensional (3D) printing

图2 图像处理流程图

Fig.2 Diagram of image processing

本案例使用的是单个蒙板建模的方法,单蒙板建模重建对于儿童心脏增强扫描强化效果好的案例非常适用。但对于部分复杂先心病或者先心病术后的患者而言,由于血流动力学的改变,其左心系统和右心系统的强化程度会有较大改变,使用区域生长法选定像素值区间时要注意其CT值的变化。在完成图像分割建模后需对模型进行挖空处理,在此过程中保留1 mm的血管外径是为了降低打印的时间和打印成本。因为CT图像仅能显示大血管和心内的异常,无法做到对心脏功能性的定量分析,所以本案例并无法显示准确的心肌形态。

1.3 打印流程

将STL格式数据导入Objet 260 3D打印机系统后操作步骤如下:(1)检测3D模型是否满足打印要求;(2)评估打印耗材材料;(3)预计打印时间并开始打印。打印完成后取出3D模型,浸入水中30 min后

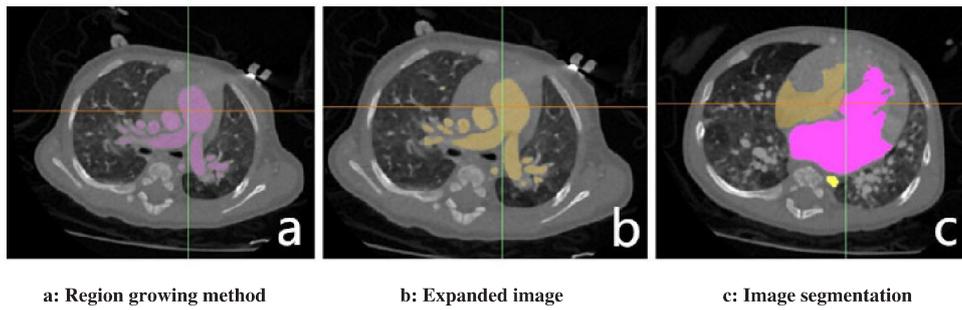


图3 对CT图像进行分割提取

Fig.3 Automatic segmentation of CT images and extraction of vessel

进行水洗操作,冲洗掉支撑材料后经加工处理即完成3D心脏模型打印的整个过程。打印材料使用VeroWhite 树脂材料(Acrylonitrile Butadiene Styren, ABS, Stratasys Ltd),最薄层厚可达1 mm 以下,精准度误差小于1%,该模型重建和打印花费总时间为6个h。

2 结果

此患儿影像诊断是室间隔缺损和主动脉缩窄,室间隔缺损位于膜周,直径约8.6 mm,主动脉峡部处狭窄直径3.2 mm,通过3D心脏模型能清晰地显示心房、心室、肺动脉、右室流出道,并直观地观察到血管畸形(图4)。

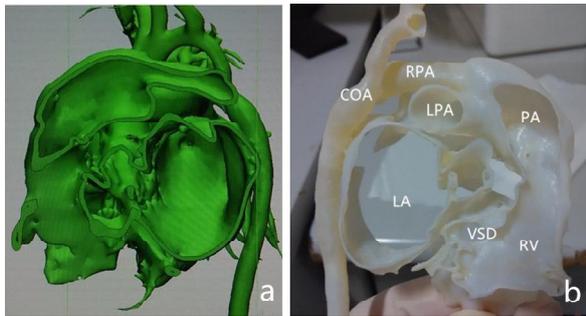


图4 CAD模型与打印物理模型比较

Fig.4 Comparison of CAD model with 3D printing model

Note: RV: Right ventricle; LA: Left atrium; LPA: Left pulmonary artery; RPA: Right pulmonary artery; CAD: Computer-aided design; VSD: Ventricular septal defect; COA: Coarctation of aorta

a: The VSD and COA of congenital heart disease was reconstructed based on heart volume imaging analysis by post-processing software. b: 3D model displayed the anatomy of the heart.

3 讨论

近几年来,3D打印技术已应用于3D的心脏建

模。相比于传统的影像诊断方法,3D打印心脏模型能够更直观地显示解剖结构,克服了2D图像无法切换视角的缺点。就本病例而言,首先通过3D打印模型能分辨主动脉缩窄的位置,直观峡部的狭窄程度、主动脉弓部、弓降部发育情况,在手术前确定手术切开位置及如何进行狭窄的修补。其次是更加明确室缺的位置与大小,了解室间隔缺损与房室瓣及两大血管的关系、两大血管的空间结构关系,对外科修补手术的方案制定有重要的指导意义,可提高手术的成功率及减少手术所需要的时间。

3D打印可以通过CT或MRI原始DICOM图像进行后处理重建心脏模型。本例病例我们采用的是心脏CT低剂量扫描模式,即前门控扫描技术进行扫描,在有效控制儿童辐射剂量^[6]的同时,能够提高细微解剖结构的显示能力和组织之间的对比噪声比^[7]。最新的CT扫描技术提供精准的原始数据为图像建模带来便捷。但现阶段而言,3D技术在心脏领域的应用还存在以下不足:(1)打印材料昂贵。3D打印材料常用的有橡胶材料和ABS树脂材料,但随着3D打印机的普及,材料价格也会随之下降。(2)构建横板过程繁琐。心脏建模不同于骨骼建模,如无法对心脏内部结构有较好的显示,其对临床意义将很有限。血管强化效果较好的数据可减少重建所需时间,但如图像受到运动伪影、扫描时间、图像信噪比等因素的影响,对于后期图像处理建模将会是一个巨大的挑战。选用优化的CT扫描方案对于重建精准的心脏解剖结构至关重要。(3)无法显示真实的血管壁和心肌结构。3D打印人工血管和心肌的研究还处于起步阶段^[8],由于CT图像限制,3D打印技术打印的心脏血管壁和心肌皆为虚拟仿真结构。如何通过图像分割技术将其更好的显示是研究难点之一。

综上所述,3D打印技术在儿童先天性心脏的应

用是一个全新的领域。现阶段相关的研究工作中, 医生对计算机辅助外科等数字医学工具有强烈的兴趣但缺乏相关的工科基础, 而理工专业对于该领域的研究由于缺乏临床的建议往往事倍功半。随着医生、工程师、专业技术人员共同参与到该领域的研究, 未来3D打印技术在先天性心脏病的应用会有广阔的发展空间。不久的将来, 3D打印技术与计算机辅助外科紧密结合能完成手术评估、手术方案规划、术后随访等。通过提高手术质量、降低患者痛苦, 最终达到精准医疗、个性化治疗的目的。

【参考文献】

[1] LIPSON H, KURMAN M. Fabricated: The new world of 3D printing[M]. New York: John Wiley & Sons, 2013.
 [2] VALVERDE I, GOMEZ G, GONZALEZ A, et al. Three-Dimensional patient-specific cardiac model for surgical planning in Nikaidoh procedure[J]. *Cardiol Young*, 2015, 25(4): 698-704.
 [3] SHIRAISHI 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 Cardiothorac Surg*, 2010, 37(2): 302-306.
 [4] COSTELLO J P, OLIVIERI L J, KRIEGER A, et al. Three-dimensional printing technology to assess the feasibility of High-fidelity synthetic ventricular septal defect models for simulation in medical education[J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2014, 5(3): 421-426.
 [5] 何叶松, 杨华哲, 单晶心, 等. 逆向工程在重构髋关节骨 CAD 模型中的应用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2011, 28(1): 2378-2381.
 HE Y S, YANG H Z, SHAN J X, et al. Application of reverse engineering system in Reconstruction of CAD models of hip joint [J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2011, 28(1): 2378-2381.
 [6] 顾建华, 卓维海. 降低儿童X射线CT检查辐射剂量的研究进展 [J]. *中国医学物理学杂志*, 2014, 31(5): 5105-5108.
 GU J H, ZHUO W H. Measures for reducing radiation dose to children in CT examinations: a review [J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2014, 31(5): 5105-5108.
 [7] 吕滨, 刘玉清, 沈云. CT心脏成像的技术进展[J]. *中华放射学杂志*, 2007, 41(10): 1011-1013.
 Lü B, LIU Y Q, SHEN Y. The development of CT heart imaging [J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2007, 41(10): 1011-1013.
 [8] MOSADEGH B, XIONG G, DUNHAM S, et al. Current progress in 3D printing for cardiovascular tissue engineering [J]. *Biomed Mater Eng*, 2015, 10(3): 034002.