

基于不同图像分割法构建3D打印右室双出口模型

胡立伟¹, 白凯², 钟玉敏¹, 孙爱敏¹, 王谦¹, 刘金龙³, 邱海嵘¹, 朱铭¹

1.上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心影像诊断中心, 上海 200127; 2.上海交通大学医学院附属新华医院小儿心血管科, 上海 200092; 3.上海市儿童先天性心脏病研究所, 上海 200127

【摘要】目的:通过区域生长法和阈值法分割CT图像并构建3D打印先天性心脏病模型,分析不同图像分割方法打印模型对心内结构显示的精准程度,并探讨3D打印对右室双出口疾病的诊断价值。**方法:**对1例两个月的先天性心脏病患儿行64排前门控增强CT扫描后,基于迭代算法进行重建。将CT的DICOM数据导入Mimics 17.0软件,分别使用区域生长方法进行血池分割以及通过阈值法提取心肌组织图像,得到不同分割图像之后,进行图像处理。模型A:包裹1 mm后对血池强化,进行挖空处理,构建表面模型;模型B:使用分割的心肌组织图像建模并通过平滑处理。将模型A和模型B生成光固化立体造型术文件数据,并将数据导入Objet 260 3D打印机后打印模型,完成建模过程。**结果:**两种不同分割方法构建的3D打印心脏模型都能清晰地显示异常的解剖结构,同时可观察室间隔缺损和两根大血管之间的空间位置关系。模型A和模型B的心内结构准确度没有明显差异,主动脉内径宽度分别为8.44、8.42 mm,肺动脉分别为12.81、12.73 mm,室间隔缺损分别为14.51、14.18 mm。模型A的圆锥组织比模型B的长度更长,分别为7.21、6.32 mm。**结论:**通过挖空和包裹等后处理方法,模型A可清楚地显示大血管的空间位置关系,在图像后处理过程中,3D打印模型可能忽略微小的解剖结构。模型B可精确地显示心脏内的解剖结构,包括心脏圆锥、三尖瓣位置、乳头状肌等。图像处理的关键是将DICOM数据转换成精确的3D打印的心脏模型。对于准确诊断复杂先天性心脏病,基于心脏CT打印的3D模型是一个非常有效的方法。

【关键词】先天性心脏病;3D打印技术;图像分割;区域生长;阈值法

【中图分类号】R816.2;Q819

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)12-1272-04

Three-dimensional printing double-outlet right ventricle model based on different image segmentation methods

HU Liwei¹, BAI Kai², ZHONG Yumin¹, SUN Aimin¹, WANG Qian¹, LIU Jinlong³, QIU Haisheng¹, ZHU Ming¹

1. Diagnostic Imaging Center, Shanghai Children's Medical Center Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China; 2. Department of Pediatric Cardiothoracic Surgery, Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China; 3. Shanghai Institute of Pediatric Congenital Heart Disease, Shanghai 200127, China

Abstract: Objective To analyze the accuracy of three-dimensional (3D) printing cardiac models with different image segmentation methods, and to discuss on the value of 3D printing model in the diagnosis of double-outlet right ventricle by segmenting CT image with region growing method and threshold method, and building a 3D printing model for congenital heart disease (CHD). **Methods** A two-month-old child with CHD was scanned by 64-slice CT scanner (GE Discovery CT750 HD). The obtained CT image was reconstructed based on iterative algorithm. The DICOM data of CT were input into Mimics 17.0 software. Region growing method and threshold method were used for segmenting blood pool image and extracting myocardial image, respectively. For model A, a 1 mm-thick wall was wrapped to the outside of the blood pool and the blood pool was hollowed for creating a surface model. For model B, segmented myocardium image was used for model building and smoothing. The 3D printer, OBJET 260, was utilized to print 3D models. **Results** Two 3D printing cardiac models with

【收稿日期】2016-06-20

【基金项目】上海市卫生局课题(20134306);上海市级医院新兴前沿技术项目(SHDC12015128);上海交通大学科技创新专项(YG2015QN25)

【作者简介】胡立伟, 硕士, 研究方向: 生物医学工程、医学影像技术, E-mail: huliwei11@hotmail.com

【通信作者】钟玉敏, 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, E-mail: zyumin2002@163.com; 白凯, 博士, 副主任医师, 研究方向: 小儿心脏外科、儿童心血管疾病等, E-mail: kaibai311@hotmail.com

different segmentation methods demonstrated not only the anatomic abnormalities, but also the spatial position of ventricular septal defect and two great arteries. No difference was found between model A and model B in the width of inner diameter in the aorta (8.44 and 8.42 mm, respectively), and pulmonary artery (12.81 and 12.73 mm, respectively), and ventricular septal defect (14.51 and 14.18 mm, respectively). The conus artery of model A was significantly longer than that of model B (7.21 and 6.32 mm, respectively). **Conclusion** Model A clearly shows the spatial position of the great vessels through hollowing and wrapping, but the 3D printing model A might hide or mislead some intracardiac information during the post-processing. Model B precisely shows the intracardiac structure, including conus, the location of tricuspid valve, papillary muscle, etc. Converting the DICOM data into accurate 3D printing cardiac models is the key of image processing. The 3D printing model based on cardiac CT image is very effective for assisting the diagnosis of complex CHD.

Keywords: congenital heart disease; three-dimensional printing technology; image segmentation; region growing method; threshold method

前言

3D打印技术又称快速成型技术,是以数字模型文件为基础,应用粉末状或液态塑料或金属等可黏合材料,通过逐层打印来构造实物的技术^[1]。3D打印的最初发明目的是应用于模具制造和工业设计等。然而随着近年来转化医学的发展,3D打印技术在医学领域已具有广泛的临床应用,包括医学教学^[2]、手术模型规划^[3]、器官生物打印^[4]等领域。在先天性心脏病方面,国外已有使用CT或MRI图像构建3D先天性心脏病模型用于辅助诊断和术前手术规划的应用报道^[5-6]。但目前还没有制定标准化的3D打印心病图像分割和处理流程。如何通过图像分割和处理来构建3D图像,并打印出精准的3D模型用于影像学辅助诊断和指导临床手术是本研究主要探讨的问题。

1 材料与方法

1.1 CT扫描

选用1例患有先天性心脏病的儿童,年龄2月,性别男,体质量4.2 kg,心率144次/min。镇静后行CT检查(GE Discovery CT750 HD),造影剂选用碘帕醇370 mgI/mL,依据体质量,流率采用2 mL/s。注入8.4 mL造影剂,并跟进10 mL生理盐水,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根部选取感兴趣区测定峰值时间,继而确定扫描延迟时间为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120 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45%时相的CT图像为重建数据,对该期相图像进行70%的图像迭代算法重建。

1.2 软件处理

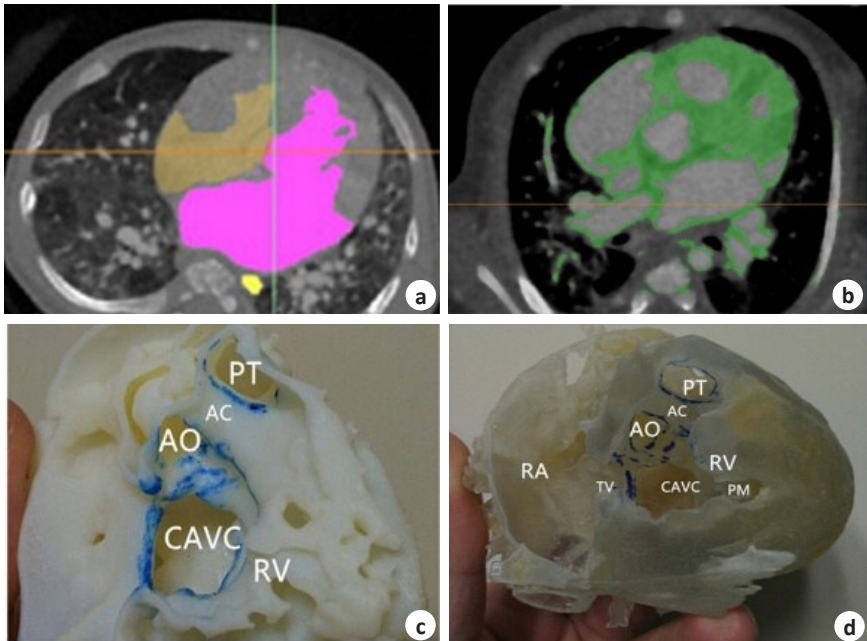
Mimics医学图像软件能处理CT的DICOM格式文件,能对图形可视化分割提取,对医学图像数据进行定量的分析。针对模型A:选择动态区域生长法来分割增强血池图像,运用Mimics菜单栏内动态区域生长选取相应的兴趣区,对整个序列的CT图像进行渲染,调节最大值和最小值,填充3D模型后,先对模型进行包裹1 mm的边界,再进行挖空处理,保留1 mm的面片表面厚度。针对模型B:选择阈值法调节阈值范围,分割增强图像心肌组织的CT值,构建3D模型后,对图像进行手动裁剪和平滑处理(图1)。经过和心血管影像医生讨论后决定通过一个斜切面裁减右心室来显示心内结构,剪裁后将图像保存为光固化立体造型术(STL)格式。

1.3 3D打印流程

将STL格式数据导入Stratasys公司的Objet 260 3D打印机操作系统,检测3D模型。分别选用Verowihite刚性不透明材料和Med610生物相容性透明材料,打印层面厚度为30~50 μm,数小时后打印模型即可完成。取出模型,并将其浸入浓度为10%的氢氧化钠中(10 min),进行水洗操作,清洗支撑材料,经后加工处理即完成3D心脏模型打印的整个过程。

2 结果

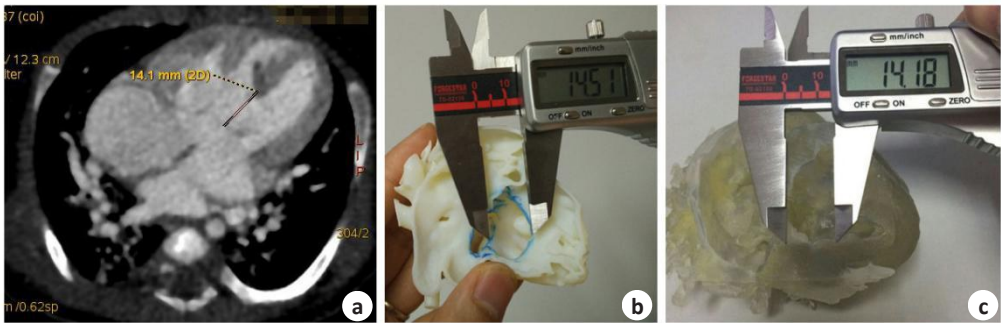
两种不同分割方法所构建的3D打印心脏模型都能清晰显示异常的解剖结构,同时可观察到室间隔缺损和两根大血管之间的空间位置关系(图2)。模型A和模型B的测量准确度没有明显差异,主动脉内径宽度分别为8.44、8.42 mm,肺动脉分别为12.81、12.73 mm,室间隔缺损分别为14.51、14.18 mm。模型A心脏圆锥组织比模型B的长度更长,分别为7.21、6.32 mm(表1)。



a: Blood pool image segmented by region growing method; b: Myocardial image segmented by threshold method; c: Anatomical structure of the heart of model A from the right ventricular section); d: Anatomical structure of the heart of model B from the right ventricular section

图1 比较两种分割模型的3D心内结构

Fig.1 Comparison of the three-dimensional (3D) cardiac structure of two segmentation models



a: Measuring ventricular septal defect of CT transverse image; b: Measuring the size of ventricular septal defect in model A with vernier caliper; c: Measuring the size of ventricular septal defect in model B with vernier caliper

图2 测量室间隔缺损长度

Fig.2 Measuring the length of ventricular septal defect

表1 比较不同图像分割方法构建右室双出口3D模型的精度 (mm)

Tab.1 Comparison of the accuracy of 3D double-outlet right ventricle models with different image segmentation methods (mm)

Item	Model A	Model B	Measurement of CT
Aortic inside diameter	8.44	8.42	8.45
Pulmonary artery	12.81	12.73	12.77
Ventricular septal defect	14.51	14.18	14.10
Conic	7.21	6.32	6.63

3 讨论

右室双出口影像诊断中,室间隔缺损和大动脉的空间关系一直是影像诊断的难点,诊断的准确与否直接影响手术方式的选择。CT和MRI中传统的3D重组方式无法全方位地显示右心室双出口中的多重复杂畸形,尤其是室间隔缺损与主动脉肺动脉的关系。3D打印的出现为提高右室双出口诊断的准确率提供一个全新方法。

在相同的CT原始图像和同样的3D打印机参数下,如何优化图像分割方法和标准化图像后处理流程是精准打印右室双出口模型的关键所在。本研究选取了1例患儿的CT图像,分别使用不同的图像分割和图像后处理方法建模。通过对两个模型的血管和心内结构尺寸的测量,发现不同的图像分割方式在显示解剖结构中的优势。模型A更直观、清晰地显示了大血管的空间位置关系,模型B在观察先心解剖结构细节的效果更佳(图1和图2)。模型A能更直观地观察到两支大血管与室间隔缺损的空间位置关系,为准确诊断右室双出口疾病提供帮助;模型B可以观察到更细致的心内解剖学关系,特别是三尖瓣位置、心内圆锥厚度,能为手术方案的设计提供更全面的信息。在同一操作者的情况下,模型A的图像分割建模时间为2 h,图像B的图像分割建模时间为1 h;模型A的打印时间约为4 h,模型B的打印时间约为6 h。按照实际临床需求打印右室双出口模型不但能够提高打印效率,同时有助于创建标准化3D打印先心病流程。在医学领域广泛应用的3D打印是一门交叉学科,包括影像学、图像分割、图像建模、3D打印机的类型和参数选择。任何一个步骤都可能对最后模型的打印精度有巨大的影响^[7]。目前还没有统一标准化的先天性心脏病图像分割和图像处理流程^[8-9],有待在未来的研究中开发。

3D打印技术现已成为构建医学辅助模型的主要技术手段,其在医学诊断、手术方案设计、个性化可植入材料的定制、临床医学的教学中都有广泛的应用^[10]。上海儿童医学中心“儿科3D数字化中心”自2015年6月安装3D打印机以来,已完成20例3D解剖模型的打印,其中包括9例的3D先天性心脏病打印模型,有肺静脉异位引流、右室双出口、肺动脉吊带等复杂先天性心脏病。3D打印对于复杂的先天性心脏病及其亚型分类的影像学鉴别诊断有着重要的临床价

值。通过3D打印模型能直观地观察大血管的空间关系,为影像诊断、手术治疗提供全面的信息^[11-12]。

综上所述,随着图像分割和处理的标准化,打印速度的提升和打印材料的普及,3D打印技术在先心病的辅助诊断和治疗中将有更广泛的应用。

【参考文献】

- [1] LIPSON H. Fabricated: new world of 3-D printing offers "completely new ways of thinking": Q&A with author, engineer, and 3-D printing expert Hod Lipson[J]. IEEE Pulse, 2013, 4(6): 12-14.
- [2] ABOUHASHEM Y, DAYAL M, SAVANAH S, et al. The application of 3D printing in anatomy education[J]. Med Educ Online, 2015, 16(20): 29847.
- [3] PFAFF M J, STEINBACHER D M. Plastic surgery applications using three-dimensional planning and computer-assisted design and manufacturing[J]. Plast Reconstr Surg, 2016, 137(3): 603-616.
- [4] PATRA S, YOUNG V. A review of 3D printing techniques and the future in biofabrication of bioprinted tissue[J]. Cell Biochem Biophys, 2016, 74(2): 93-98.
- [5] VRANICAR M, GREGORY W, DOUGLAS W I, et al. The use of stereolithographic hand held models for evaluation of congenital anomalies of the great arteries[J]. Stud Health Technol Inform, 2008, 132: 538-543.
- [6] MOTTI-LINK S, HÜBLER M, KÜHNE T, et al. Physical models aiding in complex congenital heart surgery[J]. Ann Thorac Surg, 2008, 86(1): 273-277.
- [7] IBRAHIM A M, JOSE R R, RABIE A N, et al. Three-dimensional printing in developing countries[J]. Plast Reconstr Surg Glob Open, 2015, 3(7): 443.
- [8] OLIVIERI L, KRIEGER A, CHEN M Y, et al. 3D heart model guides complex stent angioplasty of pulmonary venous baffle obstruction in a mustard repair of D-TGA[J]. Int J Cardiol, 2014, 172(2): 297-298.
- [9] RYAN J R, MOE T G, RICHARDSON R, et al. A novel approach to neonatal management of tetralogy of fallot with pulmonary atresia and multiple aortopulmonary collaterals[J]. JACC Cardiovasc Imag, 2015, 8(1): 103-104.
- [10] GAREKAR S, BHARATI A, CHOKHANDRE M, et al. Clinical application and multidisciplinary assessment of three dimensional printing in double outlet right ventricle with remote ventricular septal defect[J]. World J Pediatr Congenit Heart Surg, 2016, 7(3): 344-350.
- [11] FAROOQI K M, NIELSEN J C, UPPU S C, et al. Use 3-dimensional printing to demonstrate complex intracardiac relationships in double outlet right ventricle for surgical planning[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2015, 8(5): 887-897.
- [12] 杨帆, 郑宏, 李世国, 等. 3D打印技术在特殊类型房间隔缺损诊疗中的应用[J]. 中国介入影像与治疗学, 2016, 13(5): 284-288.
YANG F, ZHENG H, LI S G, et al. Three-dimensional printing in diagnosis and treatment of speiceal atrial septal defect[J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2016, 13(5): 284-288.

(编辑:谭斯允)