DOI:10.16016/j.1000-5404.2003.07.004
第25卷第7期 第三军医大学学报 Vol. 25, No. 7
2003年4月 ACTA ACADEMIAE MEDICINAE MILITARIS TERTIAE Apr. 2003

文章编号:1000-5404(2003)07-0569-03

论著

首例中国可视化人体心脏三维重建及临床意义

郭燕丽[1],张绍祥[1],刘正津[1],谭立文[1],邱明国[1],李七渝[1],崔高宇[1],李 恺[1],杨晓萍[1],张伟国[2],陈现红[2],陈 伟[3],陆 明[3],王欲 晓[4],邓俊辉[4],唐泽圣[4] [第三军医大学:[1]基础医学部解剖学教研室(计算医学实验室),重庆 400038;[2]附属大坪医院野战外科研究所影像诊断科,重庆 400042;[3]附属西南医院影像诊断科,重庆 400038;[4]清华大学计算机科学与技术系,北京 100084]

提 要:目的 对首例中国数字化可视人体的心脏进行三维重建,为心脏疾病的影像学诊断和外科手术提供三维解剖学依据。方法 将首例中国数字化可视人体心脏部分的薄层断面(层厚1.0 mm)输入SGI工作站,经数据分割、对位重建、平滑处理和三维显示等步骤,完成对心脏结构的三维重建。结果 本研究完整地重建出了心脏结构,重建的结构能够以多结构、多彩色实体模型方式显示,可显示心脏内部各结构的空间位置和毗邻关系,可在三维空间位置上绕任意轴旋转任意角度。结论 重建出的三维图像清晰地显示了心脏内部和整体的结构,实现了心脏的三维可视化。

关键词:可视化人体;心脏;三维重建
中图法分类号:R319;R322.11 文献标识码:A

Three dimensional reconstruction of the heart of the first Chinese digitized visible human

GUO Yan-li, ZHANG Shao-xiang, LIU Zheng-jin, TAN Li-wen, QIU Ming-guo, LI Qi-yu, CUI Gao-yu, LI Kai, YANG Xi-ao-ping, ZHANG Wei-guo, CHEN Xian-hong, CHEN Wei, LU Ming, WANG Yu-su, DENG Jun-hui, TANG Ze-sheng (Department of Anatomy, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To provide three dimensional (3-D) anatomic data for imaging diagnosis and surgical operation of heart diseases by 3-D reconstruction of the first Chinese digitized visible human heart. Methods The data of the series of the thin sections of the first Chinese digitized visible human heart were imported to SGI Workstation and 3-D reconstruction of the heart was performed by several steps. Results Three dimensional structures of heart were reconstructed entirely. All reconstructed structures could be displayed by multiple structural and color modes, individually or jointly, and could be rotated continuously on any plane. Conclusion The internal and entire structures of heart can be clearly shown on the reconstructed 3-D images. The visible heart is therefore achieved.

Key words: visible human; heart; 3-D reconstruction

心脏解剖和生理上的复杂性与特殊性,使心脏的三维重建成为人们研究的热点和难点。近年来,国内外学者分别采用断面解剖、心脏超声、CT及MRI等的二维图像来完成心脏的三维重建,但因受断层厚度、二维图像分辨率的限制,重建出的图像不够精确和完整,特别是利用心脏薄层断面技术完成心内具体结构的清晰重建尚未见报道[1,2]。本研究在中国首例数字化可视人体原始数据集的基础上,进行心脏及相关血管的重建,旨在建立国人心脏三维可视化数据库,为心脏疾病的影像学诊断和外科手术提供三维解剖学依据。

1 材料和方法

1.1 二维图像资料的获取

心脏部分连续断面共计150个层面(从主动脉弓上缘至心尖部消失),层厚1.0 mm[3]。由Cannon高清晰度数码相机摄影,数字化摄影分辨率为6 291 456(3 072×2 048)像素,每个断面图像文件大小为36 MB,整个心脏部分数据量为2.7 GB。每个层面均能连续、完整地显示心内细微结构。在WINDOWS XP操作系统PHOTOSHOP 7.0操作平台上完成精细对位,数字图像传输入SGI工作站上。

1.2 计算机三维重建方法

重建软件为medview,三维重建的算法采用contours+

基金项目:国家杰出青年基金资助项目(39925022),国家自然科学基金资助项目(30270698)
作者简介:郭燕丽(1971—),女,甘肃省兰州市人,博士研究生,主治医师,讲师,主要从事超声诊断方面的研究,发表论文10篇。电话:(023)68754427
通信作者:张绍祥,电话:(023)68752201
收稿日期:2003-01-05;修回日期:2003-02-23

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

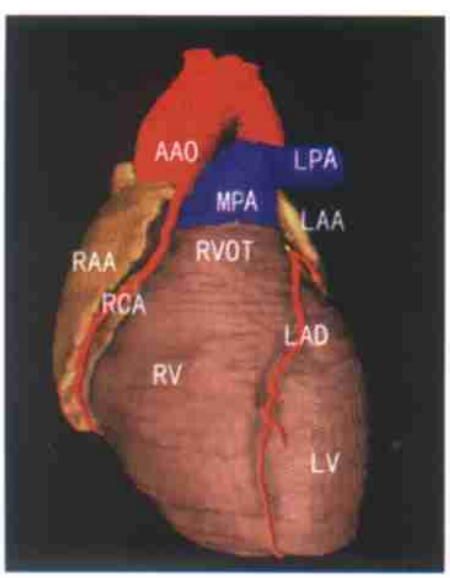
marching cubes 算法，即二维图像先进行轮廓线编辑、修改、储存等操作，得到轮廓线数据，将轮廓线离散，重新填充和分类，形成三维数据场，经移动立方体算法，抽取等值面，然后经简单平滑算法和条带显示处理，进行三维图像重建。三维重建程序用标准 C 语言编写。我们分别对心脏及相关血管整体、局部心脏内部结构进行了三维重建。

2 结果

在 SGI 工作站上获得了心脏及相关血管的三维空间结构，包括左右心室、左右心房、主动脉弓及其分支、降主动脉、肺动脉主干及分支、左右冠状动脉及主要分支。重建结构可以多彩色、多结构显示，也可单独显示，任意搭配显示或总体显示。所有结构均可在三维空间位置上绕任意轴旋转任意角度，对感兴趣的结构还可进行放大观测。

2.1 心脏及相关血管的整体三维重建

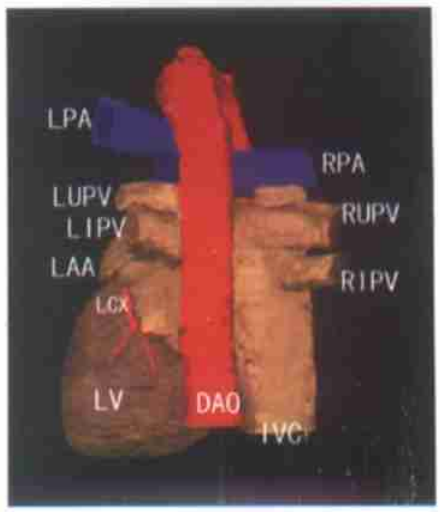
重建出的整体心脏及相关血管图像清晰，从前面观察，可以显示肺动脉主干发自右室并分叉为左右肺动脉，主动脉弓骑跨于肺动脉分叉处，并分出无名动脉、左颈总动脉、左锁骨下动脉，两侧分别为左右心耳，前室间沟和冠状沟清晰可见，见图 1。从后面观察，可以显示四支肺静脉汇入左房，下腔静脉清晰可见，左旋支行走于左冠状沟内，见图 2。冠状动脉的三维重建可以显示右冠状动脉自右冠状动脉窦发出后，向右沿冠状沟环绕心脏走行，左冠状动脉自左冠状动脉窦发出后，主干在左心耳和肺动脉之间分为左前降支、左旋支，见图 3。



AAO: Ascending aorta; LAA: Left atrial appendage; LAD: Left anterior artery; IPA: left pulmonary artery; LV: left ventricle; MPA: main pulmonary artery; RAA: Right atrial appendage; RCA: Right coronary artery; RV: Right ventricle; SVC: Superior vena cava

图 1 心脏的前面观

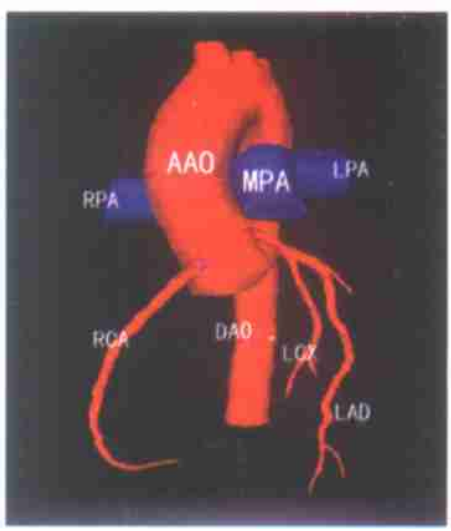
Fig 1 Anterior view of heart



DAO: Descending aorta; IVC: Inferior vena cava; LAA: Left atrial appendage; LCX: Left circumflex; LIPV: Left inferior pulmonary vein; LPA: Left pulmonary artery; LUPV: Left upper pulmonary vein; LV: Left ventricle; RIPV: Right inferior pulmonary vein; RPA: Right pulmonary artery; RUPV: Right upper pulmonary vein; RV: Right ventricle; SVC: Superior vena cava

图 2 心脏的后面观

Fig 2 Posterior view of heart



AAO: Ascending aorta; LAD: Left anterior artery; LPA: left pulmonary artery; MPA: main pulmonary artery; RCA: Right coronary artery; DAO: Descending aorta; LCX: Left circumflex; RPA: Right pulmonary artery

图 3 冠状动脉及其分支

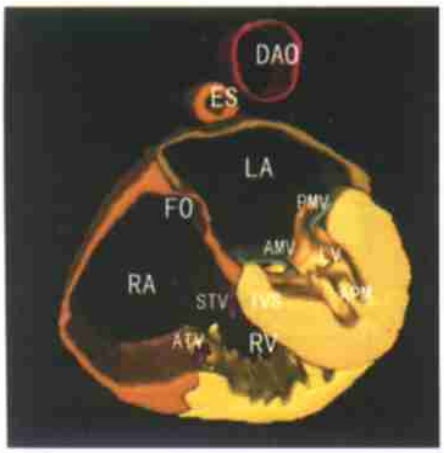
Fig 3 Anterior view of left, right coronary artery and its branches

2.2 心脏内部结构的重建

本研究对心脏内部的结构进行了空间三维重建，重建出了左心室及心室内的乳头肌、右心室及其丰富的肉柱、部分二三

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

尖瓣、房间隔及其卵圆窝、室间隔等结构，清晰地显示了心内结构的空间位置和毗邻关系，见图 4。



AMV：Anterior mitral value；APM：Anterior papillary muscle；ATV：Anterior tricuspid value；ES：Esophagus；FO：Fossa ovalis；LA：Left atrial；LV：Left ventricle；PMV：Posterior mitral value；PPM：Posterior papillary muscle；STV：Septal tricustid value；RA：Right atrium；RV：Right ventricle

图 4　心脏内部结构的三维重建

Fig 4　Three-dimensional reconstruction of internal structure of heart

3　讨论

3.1　断面图像的采集和三维重建算法的选择

三维图像的重建是以二维图像为基础，二维图像提供的原始数据越充分，则重建出的三维图像失真度就越小，本研究的心脏连续断面数据取自于中国首例数字化可视人体数据集，该数据集的获取是由高精度的数控铣床(铣切精度为 0.001 mm)从头到脚逐层铣切，每层厚为 1.0 mm，厚薄均匀，并采用高清晰度的数码相机摄影，每个断面图像文件大小为 36 MB；同时由于是对人体整个胸部的完整铣切，确保了心脏原来的位置，避免了既往研究中将心脏单独分离所造成的心脏变形。因此该套数据的连续性、完整性、精确性及所含丰富解剖信息量上均超过了以往的报道，为心脏三维重建及可视化研究提供了对位更为准确、信息量更大的原始二维图像数据。

在三维重建方法上，本研究选择了 Contours＋marching cubes 方法，即从轮廓线出发，利用立方体算法抽取等值面，这种方法对表现复杂生物结构空间位置具有优越性，克服了轮廓线连接算法和移动立方体算法各自的不足。高质量的二维图像和合适的三维重建方法提高了本研究中的三维图像的真实性和精确性。

3.2　心脏及相关血管三维重建的意义

断层标本的断面图像、二维超声心动图及 MRI 等二维图像均难于反映心内各结构和大血管的空间位置与毗邻关系，根据二维图像来想象心脏各结构的空间关系，往往要经历困难的思维过程，而且存在较大的主观性[4]。随着计算机技术的发展，计算机辅助三维重建技术广泛应用于医学领域，其优点在于三维立体解剖结构可从任意角度、任意方向上观察，并可任意切割，详细了解心脏内结构及相关血管的空间关系，能为影像诊断学和心脏外科手术提供重要的形态学依据。在既往的研究中，国内外许多学者应用螺旋 CT 完成了左心室和冠状动脉的重建，应用经食道超声心动图技术完成了心脏内部局部结构的重建，这些研究与富含解剖信息的心脏薄层断面解剖学三维重建相比，存在重建出的心脏内部结构不够完整和不够清晰的缺点[5,6]。本研究完整地重建出了整体心脏及相关血管、心脏的内部结构，清晰地显示了心内结构如大动脉瓣、房室间隔、房室口、房室瓣、肺静脉和下腔静脉入口处、肺动脉主干及分支、升主动脉、冠状动脉等的空间位置和毗邻关系。重建心脏三维结构提供了三维立体视觉，使心内复杂的结构便于理解，重建结构能够以多结构、多彩色、多实体方式显示，能任意搭配或总体显示，所有结构均可在三维空间位置上绕任意轴旋转任意角度，对感兴趣的部位可进行放大，或用透明技术显示内部的结构位置。可以按照不同的要求，从不同的角度对某一结构进行多角度、多方位的观察，为心脏疾病的影像学检查和心外科手术提供三维解剖学基础。心脏数据分割和三维重建是建立虚拟心脏手术计算机模型的重要步骤。准确的二维断面图像分割是建立优质的三维图像的基础，而优质的三维图像数据则是计算医学深入研究的平台。在本研究建立的三维心脏图像数据的基础上，可进一步做心脏外科手术模拟的研究。

参考文献：

[1] Franke A P, Kuhl H P, Rulands D, *et al*. Quantitative analysis of the morphology of secundum-type atrial septal defects and their dynamic change using transesophageal three-dimensional echocardiography[J]. Circulation, 1997, 96(9 Suppl): 323－327.

[2] 李文生，宋志坚，赵淑民，等. 基于网络的心脏和冠状动脉计算机三维重建[J]. 解剖学报，2001，32(2)：181－183.

[3] 张绍祥，刘正津，谭立文，等. 首例中国数字化可视人体完成[J]. 第三军医大学学报，2002，24(10)：1231－1232.

[4] 宋志坚，吴国强，左焕琛. 人心连续组织切片的计算机三维重建[J]. 解剖学杂志，1996，19(5)：377－379.

[5] Li J, Sanders S P. Three-dimensinal echocardiography in congenital heart disease[J]. Curr Opin Cardiol, 1999, 14(1): 53－59.

[6] Taratorin A M, Sideman S D. 3D functional mapping of left ventricular dynamics[J]. Comput Med Imaging Graph, 1995, 19(1): 113－129.

（编辑　汪勤俭）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net