

· 论 著 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2020.12.002

网络首发 <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.r.20200225.1329.009.html>(2020-02-25)

# 基于中国数字化人体的冠状动脉 CTA 多维可视化应用研究<sup>\*</sup>

刘丽,吴毅,谭立文,张绍祥,李颖<sup>△</sup>

(陆军军医大学生物医学工程与影像医学系数字医学教研室,重庆 400038)

**[摘要]** 目的 探讨一种基于中国数字化人体(CVH)的冠状动脉 CT 血管造影(CTA)多维可视化方法在 CTA 中观察冠状动脉结构和辅助诊断的可行性。方法 获取 CVH 断层数据集和临床冠状动脉 CTA 影像,分别对冠状动脉进行分割、提取中心线和标定,获得右冠状动脉(RCA)、左主干(LM)、前降支(LAD)和回旋支(LCx)等节段,然后使用曲平面重建技术对冠状动脉横断面、冠状面、矢状面、拉伸曲平面和拉直曲平面等多平面进行重建,并在此基础上使用形态学方法计算两者的冠状动脉直径、长度、面积和曲率等影像特征进行比较。结果 该方法实现了 CVH 和 CTA 在二维和三维层面的对照显示。结论 CVH 与 CTA 的冠状动脉多维可视化重建对于临床辅助诊断和影像学教学都具有重要意义。

**[关键词]** 医学可视化;中国数字化人体;冠状动脉 CT 血管造影;医学影像学

**[中图法分类号]** R445      **[文献标识码]** A      **[文章编号]** 1671-8348(2020)12-1898-04

## Research on multi-dimensional visualization application of coronary arterial CTA based on Chinese visible humandigital human body<sup>\*</sup>

LIU Li,WU Yi,TAN Liwen,ZHANG Shaoxiang,LI Ying<sup>△</sup>

(Teaching and Researching Section of Digital Medicine, Faculty of Biomedical Engineering and Imaging Medicine, Army Military Medical University, Chongqing 400308, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the feasibility of a multi-dimensional visualization method of coronary arterial CT angiography(CTA) based on Chinese visible human (CVH) for observing coronary artery structure and assisted diagnosis in CTA. **Methods** The CVH dataset and clinical coronary arterial CTA imaging were obtained respectively, then the coronary artery were segmented, the centerline was extracted and the main branch including the right coronary artery (RCA), left main (LM), left anterior descending (LAD), left circumflex artery (LCx) and so on,,etc. were labeled. Next, the curved planar reconstruction techniques were used to reconstruct the coronary cross-section, coronal, sagittal, stretched planar reformation and straightened planar. On this basis, the morphologic method was used to calculate the image features such as the coronary diameter, length, area and curvature were calculated for conducting the comparison. **Results** This method realized the contrast display of CVH and CTA at the 2D and 3D levels. **Conclusion** The coronary multi-dimensional visualization reconstruction of CVH and CTA is of great significance for clinical assistant diagnosis and imaging teaching.

**[Key words]** multi-dimensional visualization;Chinese visible human;CT angiography;medical imagingimageology

冠状动脉 CT 血管造影(CTA)是当前临床最常用的一种快速、低成本的心血管疾病诊断方式<sup>[1]</sup>,是影像学、心脏介入、心外科医生必须掌握的一门技术。但对于影像科医生的观察而言,因为存在组织间界限不清晰、冠状动脉结构微小等缺点,容易造成管腔管径边界模糊、冠状动脉难识别等问题。有研究表明,可视化技术可实现对医学影像中不容易观察到的角度和部位进行多角度观察,在临床诊断、手术导航和医学教育中均发挥了巨大作用<sup>[2-5]</sup>。特别是加入了具

有人体真彩色、高清晰度的中国数字化人体(CVH)与临床影像的融合,对于目标区域的观察具有重要意义。因此,本研究拟利用多维可视化技术,将高清晰度的 CVH 断层图像与个体冠状动脉 CTA 进行数据融合,帮助冠状动脉 CTA 中冠状动脉的观察,探讨其在临床诊断和影像教学中的应用。

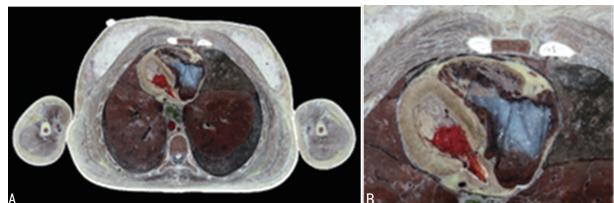
### 1 材料与方法

#### 1.1 材料来源

本文选用中国数字化人体第二套原始断层数据

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(61190122);重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2015shmszx120002)。作者简介:刘丽(1991—),助教,硕士,主要从事数字医学、医学图像处理的研究。<sup>△</sup> 通信作者,E-mail:cqliying@126.com。

集<sup>[5]</sup>,为青年女性数据,来源于陆军军医大学,具有以下特点:(1)非器质性死亡,心脏及冠状动脉无生理及病理病变;(2)采用整体铣切技术,无节段性数据缺损,能够原位展示解剖结构在人体内部的形态和毗邻关系;(3)图像的分辨率为 $3\ 072\times 2\ 048$ ,层间距为0.50 mm,体素大小为( $0.12\times 0.12\times 0.5$  mm<sup>3</sup>),其解剖结构的解析度均高于临床影像;(4)解剖结构自然色成像,便于准确区分心外膜脂肪、心肌层、冠状动脉和冠状静脉等各结构。原始数据为RAW格式,选取上起自主动脉瓣,下至心尖处图像(图1)。



A:30%比例;B:100%比例。

图1 CVH 经胸断层图像

本文选用的冠状动脉CTA影像来自陆军军医大学附属第一医院(西南医院)。使用DSCT扫描仪进行扫描,单幅图像的分辨率为 $512\times 512$ ,像素分辨率为 $0.314\ 2\times 0.314\ 2\times 0.75$ 。上界一般在主动脉弓上1.5 cm处,下界超过心底部1~2 cm,原始数据为标准的DICOM格式。本研究已获得学校伦理委员会批准。

## 1.2 方法

获取CVH和冠状动脉CTA影像原始数据,并且分别对两种数据进行冠状动脉分割、多维重建和可视化显示3个步骤。

### 1.2.1 冠状动脉分割

即从原始数据中提取冠状动脉,主要包括冠状动脉分割、提取中心线和冠状动脉标定。为了详尽展示CVH中冠状动脉及其毗邻关系,根据已有标定文件,提取冠状动脉及其毗邻结构,包括左右室壁、左右房室、心包、室间瓣、三尖瓣、二尖瓣和冠状动脉等;使用Amira软件根据阈值分割和血管区域连通性的方法对冠状动脉CTA进行冠状动脉分割(图2)。在获得CVH和CTA的冠状动脉分割图像后,再提取CVH和CTA的冠状动脉中心线<sup>[6]</sup>。



A:CVH 全心分割,B:CTA 主动脉及冠状动脉分割。

图2 CVH 和 CTA 冠状动脉分割界面

枝操作,并且利用心脏形似倒置圆锥体的特点,以主动脉与冠状动脉血管分叉点为球心建立球坐标系,并按照国际心血管CT协会冠状动脉分段标准标定冠状动脉主要分支,包括右冠状动脉(RCA)、左主(LM)、前降支(LAD)和回旋支(LCx)等<sup>[1]</sup>。

### 1.2.2 多维重建

将得到的冠状动脉数据进行多维重建,包括横断面、冠状面、矢状面、拉伸曲平面重建和血管拉直重建。其中,拉伸曲平面重建是指某段血管投影到平面,保留其空间曲率信息,整体不重叠的显示管腔结构;拉直重建指将血管线性拉直,保存血管直径信息,所得图像高度对应于中心线的长度,更加直观地观察冠状动脉的长度和直径。并利用Marching cubes算法对得到的冠状动脉进行三维重建。

在得到冠状动脉的三维建模后,对管腔结构进行量化分析,包括获取冠状动脉节段长度、节点曲率<sup>[7]</sup>、直径、面积和CT衰减值。其中,CT衰减值的计算主要使用数学形态学的腐蚀和膨胀操作建立体素图,计算冠状动脉三维模型中任意一点的衰减值并进行非钙化斑块和钙化斑块量化分类<sup>[8]</sup>。

## 1.3 可视化显示

将CVH与冠状动脉CTA利用冠状动脉节段进行关联,在二维、三维多空间中进行同步可视化,并将得到的量化信息投射到三维模型中。

## 2 结果

### 2.1 实现了CVH和CTA冠状动脉关联的三维可视化

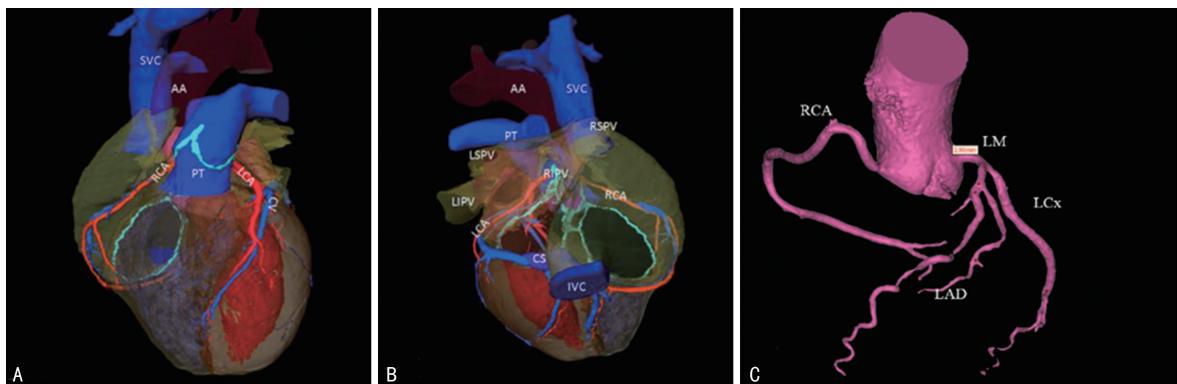
在三维层面上,将CVH与CTA影像数据的三维模型关联,实现了在三维空间立体观察患者冠状动脉开口位置、空间走形和分支节段的路径信息(图3)。

### 2.2 实现了CVH和CTA冠状动脉模型的二维可视化

在二维层面上,实现了冠状动脉CTA与CVH横断面、冠状面、矢状面、拉伸曲平面重建和血管拉直重建等多维对照展示。在横断面上,实现了利用CVH已有详细标注的特点,帮助识别CTA中心包、房间隔、室间隔、房室瓣、左右心房和左右心室等结构及其毗邻关系。特别是通过CVH与CTA的冠状动脉节段关联,实现了CTA与CVH断层图像融合显示,通过设置一定的透明度可以帮助观察者清晰地观察冠状动脉与其毗邻结构的关系(图4)。

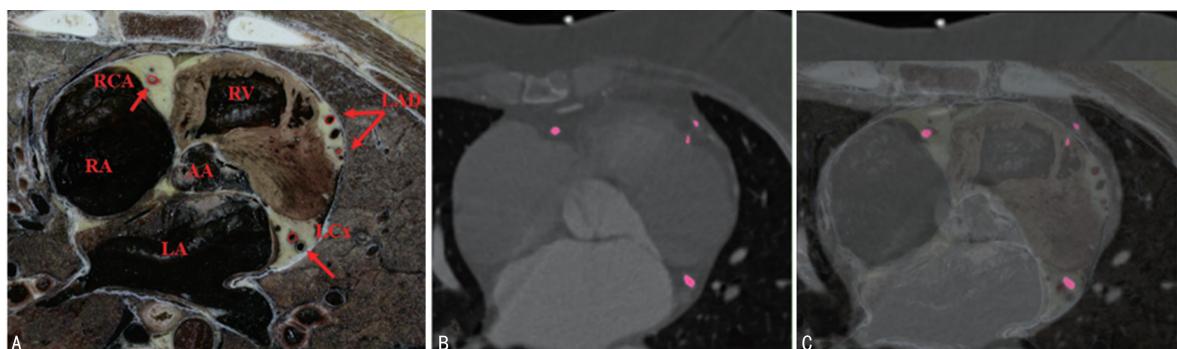
二维层面的拉伸曲平面重建实现了在CVH和CTA冠状动脉节段关联的情况下,将二者冠状动脉的同一节段从三维空间投射到一个二维平面,保留血管的曲率和直径信息,同时同一节段的360°的拉伸曲平面重建可以为冠状动脉与周围组织的观察提供更加直观的角度,特别是为心肌桥的观察提供便利;血管拉直重建同样是在CVH和CTA冠状动脉节段关联的情况下,将在三维空间中弯曲的同一节段冠状动

对得到的CVH和CTA血管中心线进行平滑、剪



A:CVH 心脏三维模型侧面观;B:CVH 心脏三维模型后面观;C:CTA 冠状动脉三维模型。

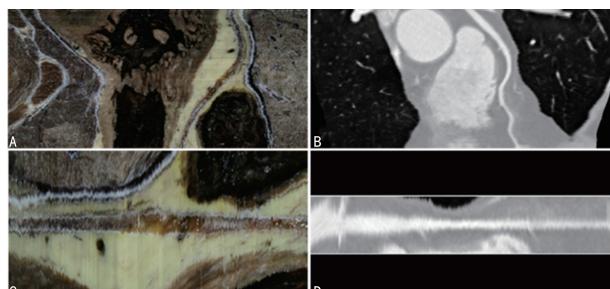
图 3 CVH 与冠状动脉 CTA 三维图



A:CVH 横断面;B:CTA 横断面;C:CVH 和 CTA 横断面融合。

图 4 CVH 与临床 CTA 冠状动脉二维对照图

脉拉直到一个二维平面中,保留了血管的长度和直径信息,冠状动脉节段的关联可以帮助 CVH 与 CTA 冠状动脉进行对比观察(图 5)。



A:CVH 冠状动脉拉伸重建;B:CTA 冠状动脉拉伸重建;C:CVH 冠状动脉拉直重建;D:CTA 冠状动脉拉直重建。

图 5 CVH 与 CTA 冠状动脉拉伸、拉直曲平面重建图

### 3 讨 论

冠状动脉作为心脏血管网,为心肌供应动脉血,是人体中非常重要的器官,其中由冠状动脉狭窄引起的冠状动脉粥样硬化、心肌桥等疾病严重危害人类健康。冠状动脉 CTA 可清晰地显示冠状动脉的解剖结构和病变信息,特别是能提供不易被肉眼发现的早期斑块的成分信息,对冠状动脉疾病诊断具有重大意义,已被广泛应用于冠状动脉疾病的诊断、筛查和预后<sup>[9-10]</sup>。然而,传统的临床观察方式主要是通过将 CTA 中的冠状动脉进行多平面重建,需要观察者具备扎实的解剖基础、二维影像与三维解剖形态的空间对应关系等知识,并且在冠状动脉粥样硬化中,管腔

内非钙化斑块与正常组织通常差异较小、不易被肉眼察觉,为疾病诊断增加了难度。

医学可视化技术主要是指从二维影像数据中提取目标区域,并重建成三维模型,同时进行定性、定量分析的技术<sup>[11]</sup>,可为临床诊断提供更逼真的显示和定量的功能分析,也为医学教学提供了更加丰富的教学资料和观察视角,使得整个过程更加灵活<sup>[12]</sup>,对冠状动脉的形态、疾病诊断等也发挥了重要作用。YAPRAK 等<sup>[11]</sup>使用可视化技术实现了冠状动脉造影中的血管三维重建,并在此基础上进行了血管内血液与弹性管壁相互耦合效应的分析;岳树坤<sup>[13]</sup>通过对冠状动脉 CT 中的冠状动脉进行三维重建并进行流体力学与粥样硬化板块形成、进展关系的研究;郭燕丽等<sup>[14]</sup>在三维超声心动图中利用可视化及时重建冠状动脉模型,进行冠状动脉粥样硬化性心脏病的辅助诊断研究。以上研究均实现了基于医学影像的冠状动脉三维重建的功能与疾病分析,但在临床中,二维影像,特别是与三维模型的融合对于细节的观察更为精准。因此,本文将 CVH 与冠状动脉 CTA 进行对照观察,实现了冠状动脉的三维可视化,并将三维模型与 CVH 和 CTA 的二维图像进行联合空间展示和影像特征提取等,实现了低解析度、无知识表达的冠状动脉 CTA 数据与高解析度、具有知识表达的 CVH 数据之间的多平面同步展示。因此,本研究具有以下优点:(1)利用 CVH 为冠状动脉 CTA 中冠状动脉结构

的识别提供共性解剖信息。CVH 具有人体真彩色、高分辨率、高对比度、血管毗邻结构清晰可见等特点，帮助克服影像数据中因为灰度值差异较小而引起的血管及其毗邻结构不可分的情况。同时，CVH 也可以为 CTA 冠状动脉开口、分支和走形等解剖变异情况的诊断提供参考；(2)该方法实现了基于节段关联的三维模型和二维影像的融合显示。冠状动脉的三维重建可以从宏观提供血管的走形、形态等信息，冠状动脉的二维重建可以从微观显示血管的直径、毗邻结构等信息，特别是拉伸曲平面重建可以提供更多的血管曲率信息，拉直重建提供更多的直径信息，实现了冠状动脉的多角度观察，辅助疾病诊断；(3)该方法中对冠状动脉节段的定量分析为冠状动脉形态病变提供诊断依据。本文中实现了自动计算冠状动脉长度、直径、曲率和钙化积分等管腔管径等信息，其中，冠状动脉直径、钙化积分直接反映了冠状动脉是否存在狭窄及软硬斑块信息，冠状动脉中曲率较大的部分是斑块容易堆积的部分，在临床中通常需要引起关注。

本研究中存在以下问题：(1)因为冠状动脉结构微小，因此分割算法的选择对于三维模型重建的精度影响较大；(2)CVH 只能提供冠状动脉解剖共性特征，无法实现冠状动脉 CTA 那样反映患者个性化对照观察。特别是对于冠状动脉远端的观察，因为 CVH 中可能因为尸体血管存在萎缩现象、灌注液体没有很好地渗透到其远端等原因造成冠状动脉远端直径相对较小，与 CTA 中冠状动脉直径差异较大；(3)在进行 CVH 和 CTA 的冠状动脉多维对照前需要进行图像配准，解剖差异过大时存在一定位移。

综上所述，本研究中提出的基于 CVH 的冠状动脉 CTA 多维可视化方法，将三维具有丰富的空间信息的优点和二维具有清晰的血管路径的优点相结合，将三维解剖结构与二维局部细节相结合，将解剖知识与临床诊断相结合，为临床诊断提供了更为便利的方法。同时，本研究同样可应用到影像学教学中，克服案例式教学因为时间和患者个性化差异造成的局限，同时帮助初入临床的医学生快速地建立三维解剖形态和影像之间的关联，对于临床实习生的自主学习具有重要意义，为构建影像学的信息化教学手段、提高教学效率提供了一种新的技术方法和思路。

## 参考文献

- [1] LEIPSIC J, ABBARA S, ACHENBACH S, et al. SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography: A report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2014, 8(5):342-358.
- [2] 万丽丹, 伍洪昊. 数字化虚拟人解剖学教学平台的应用现状[J]. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 2017, 26(6):625-628.
- [3] 解鑫, 王铁梅, 刘澍, 等. 基于 CBCT 的体绘制可视化技术在上颌后牙区种植术前评估中的应用[J]. *口腔医学研究*, 2017, 33(4):396-399.
- [4] 孙涛, 韩善清. 3D 可视化在胰腺肿瘤精准手术的应用[J]. *医学影像学杂志*, 2019, 29(1):93-96.
- [5] 张绍祥, 刘正津, 谭立文, 等. 首例中国女性数字化可视人体数据集完成[J]. *第三军医大学学报*, 2003, 25(4):371.
- [6] 2D/3D 冠状动脉血管分割与配准方法研究[D]. 沈阳: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [7] TUNCAY V, VLJEGENTHART R, DEKKER M A M D, et al. Non-invasive assessment of coronary artery geometry using coronary CTA[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2018, 12(3):257-260.
- [8] LI Y, CHEN W, LIU K J, et al. A voxel-map quantitative analysis approach for atherosclerotic noncalcified plaques of the coronary artery tree[J]. *Comput Math Methods Med*, 2013(9):957195.
- [9] 张强军, 张晓明. 冠脉 CTA 在冠心病临床诊断中的应用[J]. *临床医学研究与实践*, 2017, 2(16):158-159.
- [10] 中华医学会放射学分会心胸学组,《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排 CT 临床应用指南写作专家组. 心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范化应用中国指南[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(10):732-743.
- [11] YAPRAK E, KAYAALTI Y S. Preliminary evaluation of near-infrared vein visualization technology in the screening of palatal blood vessel[J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2018, 23(1):e98.
- [12] 夏永智. 新形势下可视化手段在神经外科临床实习教学中的应用[J]. *现代医药卫生*, 2016(24):144-145.
- [13] 岳树坤. 冠脉血管三维建模与血液动力学研究[D]. 沈阳: 吉林大学, 2017.
- [14] 郭燕丽, 黄海韵, 钟春燕, 等. 人体冠状动脉三维可视化模型在经胸实时三维超声心动图诊断冠心病中的应用[J]. *中国数字医学*, 2011, 6(12):30-34.