

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2017.08.010

· 临床研究 ·

## 融合CT和MRI数据构建颌面部3D数字化模型

雷公元<sup>1</sup>, 艾毅龙<sup>1</sup>, 魏巍<sup>1</sup>, 黄达鸿<sup>1</sup>, 罗文平<sup>2</sup>, 李鹏<sup>1</sup>

1. 佛山科学技术学院附属口腔医院/佛山市口腔医院, 广东 佛山(528000); 2. 佛山市智能臻德齿科有限公司, 广东 佛山(528000)

**【摘要】** 目的 探索通过精确、高效配准CT和MRI数据,建立包含颌面部主要肌肉和骨骼组织的3D数字化模型。方法 对1名志愿者行颌面部螺旋CT及MRI扫描,数据分别导入Mimics 15.0中,在3个视窗,即横断面、矢状面、冠状面,分别调整两种数据至同一断层,以树脂球为配准点,至少5个点配准两组数据。再利用CT分割并重建颌骨和面部皮肤3D模型,利用MRI分割重建面部主要肌肉3D模型。结果 建立了包含3对咀嚼肌、12对表情肌、面部皮肤与颌骨组织的3D模型,配准模型具有较高的一致性和相对位置精度。结论 实现了CT与MRI两种影像学数据的配准融合。

**【关键词】** 电子计算机断层扫描; 磁共振成像; 颌面部; 配准; 数字化模型

**【中图分类号】** R814.4 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2017)08-0519-04

**【引用著录格式】** 雷公元,艾毅龙,魏巍,等.融合CT和MRI数据构建颌面部3D数字化模型[J].口腔疾病防治,2017,25(8):519-522.

**Construction of the 3D digital models of maxillofacial region based on CT and MRI images fusion** LEI Gongyuan<sup>1</sup>, AI Yilong<sup>1</sup>, WEI Wei<sup>1</sup>, HUANG Dahong<sup>1</sup>, LUO Wenping<sup>2</sup>, LI Peng<sup>1</sup>. 1. School of stomatology and medicine, Foshan University, Foshan 528000, China; 2. Foshan perfect zhende denture Co., Ltd, Foshan 528000, China  
Corresponding author: LI Peng, Email: lipengfly11@163.com, Tel: 0086-20-84418626

**【Abstract】 Objective** To explore an efficient method for the establishment of three-dimensional (3-D) digital models of maxillofacial region including muscle tissue based on CT and MRI images fusion on a personal computer, integration of CT and MRI data, and provide accurate 3D model for biomechanical analysis. **Methods** A male volunteer was scanned on maxillofacial region by spiral CT and MRI. Two kinds of data obtained were imported into Mimics 15. In the three sections, namely the transverse, sagittal, coronal sections, two kinds of data were adjusted to the same anatomical layers. The most obvious anatomical points on each layer were selected as registration points. Then, the multi-points registration was implemented for data fusion. Then the bone and facial skin were segmented and 3D reconstructed using CT data, the main facial muscles were segmented and 3D reconstructed using MRI data. **Results** The 3D model including 3 pairs of masticatory muscles, 12 pairs of facial expression muscles, facial skin and jaw tissues were established. **Conclusion** The efficient registration and fusion of CT and MRI datas were accomplished. Moreover, this method can be used for further segmentation and reconstruction of other important structures in craniofacial area, such skin, blood vessel, fat, lymph node and the brain tissues.

**【Key words】** Computed tomography; Magnetic resonance imaging; Maxillofacial region; Registration; Digital model

**【收稿日期】** 2017-03-22; **【修回日期】** 2017-04-13

**【基金项目】** 国家自然科学基金(51672276);佛山科学技术学院2017博士启动项目(Gg07002)

**【作者简介】** 雷公元,主治医师,专科,Email:550074900@qq.com

**【通信作者】** 李鹏,主治医师,博士,Email:lipengfly11@163.com

三维数字模型<sup>[1-2]</sup>就是利用现代电子信息技术获取生物体解剖结构的影像学数据,再从二维的断层图像得到立体和直观的三维可视化模型,展现生物组织的三维形态和结构,以电子计算机断层扫描(CT)和磁共振成像(MRI)数据应用最为普遍。目前,学者们用连续CT和MRI断面融合图像实现了数字人体头部三维重建,较好地显示了颅骨和脑组织等的解剖结构和形态特点<sup>[3-4]</sup>。本文旨在探索一种可以在个人电脑上实现的,高效配准CT和MRI数据并建立包含颌面部主要肌肉和骨骼组织3D模型的方法,为后续颌面整形手术的软组织容貌预测及有限元分析提供模型基础。

## 1 资料与方法

### 1.1 试验对象

选取1名发育正常的健康男性志愿者,牙列完整,面部组织无瘢痕与畸形。志愿者对试验方案知情且签署同意书,本试验得到医院伦理道德委员会批准。

### 1.2 实验设备

64排螺旋CT(Philips/Brilliance 64, Netherlands);MRI(GE, USA)。个人PC系统配置: Intel(R) Core(M) i7-6500CPU、3.20 GHz处理器、6 G DDR2内存、256 M RADEON显卡、4 TB硬盘, Wind7-SP1操作系统, Mimics15.0(Materialise's Interactive Medical Image Control System, Belgium)。

### 1.3 CT和MRI数据获取

扫描之前,在志愿者颌面部轻轻黏贴上9个带有树脂小球(直径为1 mm)的贴片,部位分别为:矢状面的颞下点、鼻尖点、发际中点,使3点在一条直线上;横断面的两侧耳屏前点和鼻根点;冠状面两侧下颌角点和头皮正中顶点,一共9个点。CT扫描时,志愿者取仰卧息止颌位,采用标准头位,红外线十字定位标志通过鼻根、颞下和发际中点,扫描基线平行于眶耳平面,从眶上缘至下颌下缘进行连续断层扫描(图1)。扫描参数:110 kV, 240 mas,层厚0.9 mm,窗宽2 100 Hu,窗位400 Hu,分辨率 $512 \times 512$ ,获得颅颌面CT断层图片共238层。MRI扫描时,体位同上述,选择普通加权序列,场强为1.5 T(1 T=800 kA/m),采用标准头线圈,参数为:层厚1.0 mm,矩阵 $512 \times 512$ ,FOV 25.6。所有影像学数据以DICOM3.0(Digital Imaging and Communications in Medicine,格式刻录光盘备用<sup>[2]</sup>。



图1 树脂球贴片的位置示意图

Figure 1 Location of resin ball patch

### 1.4 CT和MRI数据的融合

将DICOM格式的CT数据导入Mimics15.0中形成Project 1,将MRI数据导入Mimics15.0中形成Project 2。在Project 2中完成两种数据的配准融合,基本流程如下:①点击image registration模块,进入两组数据的配准界面。界面左边自上而下为CT的3个断面:横断面、矢状面、冠状面,右侧至上而下为MRI的3个断面。②首先手动调整两组数据影像的矢状面,至颞下点、鼻尖点、发际中点的3个小球出现的断面,分别点选3个小球作为3个配准点。③然后分别在横断面和冠状面2个视位,调整至出现一个标志球的断层,各选择至少1个标志球作为配准点。④选择至少5个配准点后,执行多点配准运算,完成两种数据的配准融合。

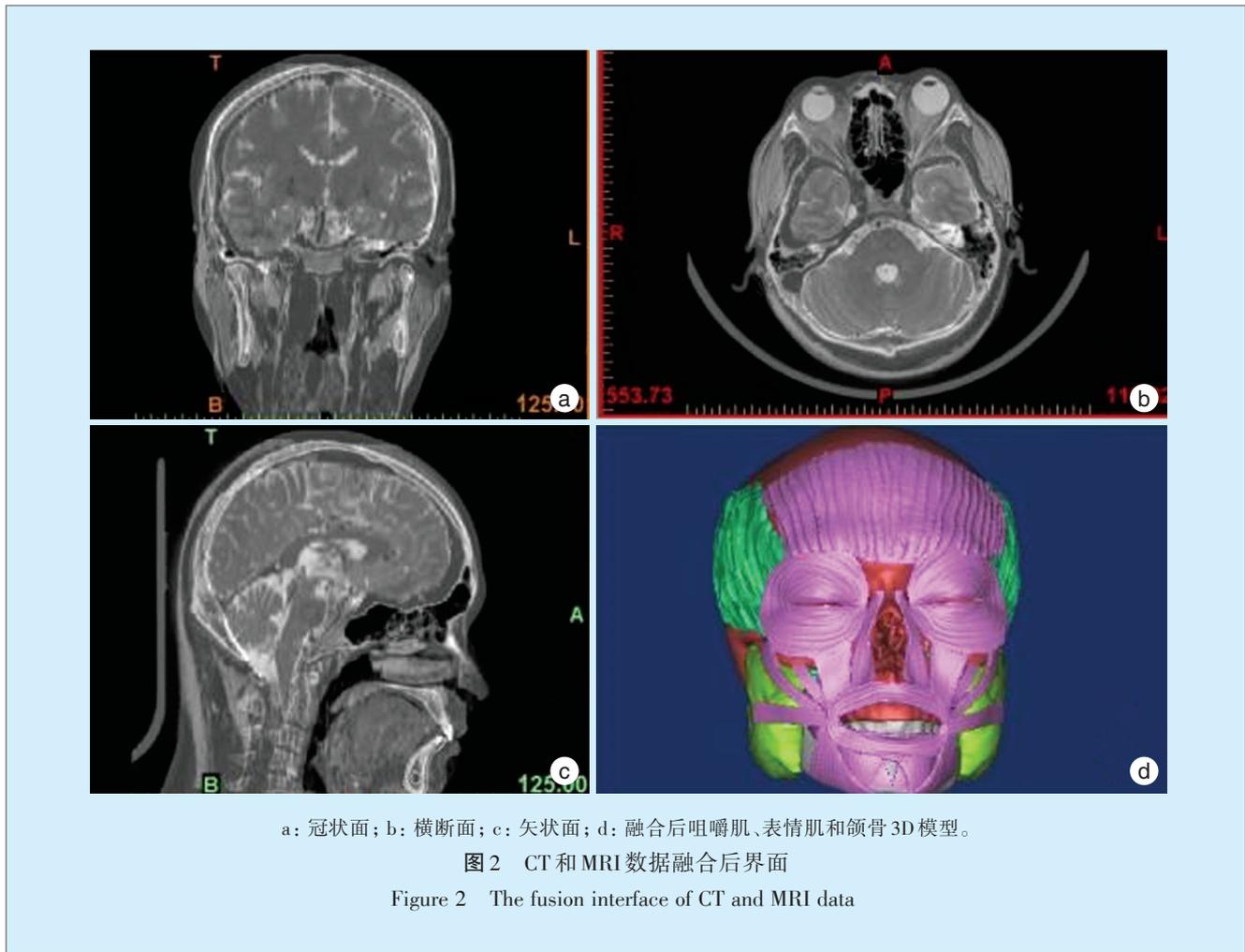
### 1.5 三维几何模型重建

在完成两种数据融合后的Project 2中,首先隐藏MRI数据,利用CT数据重建颌骨和皮肤3D模型:在“分割模块”中,利用阈值选取(Thresholding)、区域增长(Region Growing)操作分离颌骨和面部皮肤蒙罩(Mask),阈值范围分别是226~2976和-718~177 Hounsfield单位;在断层图像上确定上下颌骨及上下颌牙列的边界,逐层编辑蒙罩,使上下颌牙列和颞下颌关节窝结构不连续,分离上下颌骨,再逐层手工补全骨骼中未被标记的空洞部分及去除与皮肤相连的头枕等部位蒙罩;使用Calculate 3D建立完整上下颌骨、面部皮肤组织的三维几何表面模型。

隐藏CT数据,利用MRI数据重建面部主要肌肉3D模型:在“分割模块”中,利用蒙罩编辑(Mask edit)工具,在3个断面上逐层勾画编辑肌肉的轮廓蒙罩,包括3对咀嚼肌(咬肌、颞肌、翼内肌)和12对表情肌(额肌、眼轮匝肌、口轮匝肌、提上唇肌、提口角肌、颧肌、降口角肌、降下唇肌、颊肌等),并三维重建面部肌肉组织的几何表面模型。

## 2 结果

在Mimics15.0软件中完成了CT与MRI两种影像学数据的配准融合(图2),建立了颌面部3对咀嚼肌、12对表情肌和颌骨组织的3D模型。通过多次实验的对比研究显示,本文采用的配准新方案具有较高的一致性和重复性。



## 3 讨论

### 3.1 意义和优点

精确建立颌面软硬组织三维虚拟模型是数字化颌面疾病诊疗的前提。CT与MRI数据融合的图片可同时显示骨骼和软组织结构,信息较单一的CT或MRI更加丰富,为临床医生提供更全面、可靠的影像学信息,在医学各个学科均有较大的应用价值<sup>[5-10]</sup>。CT和MRI数据的融合除了便于临床诊断和术前设计外,在力学检测和模型分析等方面也有重要价值<sup>[4]</sup>。本研究在Mimics软件中重建的3D模型形态逼真,结构精确,进而可利用Magics模块进行

自由面网格划分,做smooth和mesh处理后导出STL文件,模型的空间坐标位置关系也随同保存,还可利用布尔运算估算脂肪层的位置和厚度,为进一步的颌面部三维有限元研究奠定模型基础<sup>[11,12]</sup>。

本研究使用Mimics软件中诸多功能,图像分割根据掌握的颌面解剖知识和MRI中软硬组织差异,通过形态学编辑工具,在每个断层对特定肌肉轮廓做精确的编辑。与区域增长等半自动编辑方式相比,手动编辑虽然工作量大,但建立3D模型的精度高,可分割感兴趣的肌肉组织,包括面部主要12对表情肌和3对咀嚼肌,也可利用增强CT数

据来分割重建血管的3D模型。由于CT和MRI都是断层成像,其层厚决定了三维重建模型的光滑度和精度,实验中采用了比常规临床应用更薄的层厚参数。

### 3.2 医学影像学配准的分类

配准是图像融合的关键,根据标志点位置可将配准分为内部和外部特征配准两大类<sup>[13,14]</sup>。内部特征配准又可分为3类:特殊标记、图像分割以及像素特性配准法。何巍等<sup>[15]</sup>提出了一种基于点云的三维CT与MRI图像膝关节胫骨配准方法,采用MC算法进行点云重建,并改进ICP算法来进行点云配准。该方法配准精度高,计算量较小,但其配准步骤较复杂,不适合常规临床应用。总体来说,图像的内部特征多受图像灰度值的影响且缺乏判断标准,在操作上不如外部特征配准精确。所谓外部特征配准,即在头皮或面部皮肤加上可显像的标记等在检查对象上设置一些外在标志点的方法。

### 3.3 本研究的配准原理和过程

CT、MRI配准的基本条件是要能够在同一断层内找到同样位置的配准点,两种扫描层厚不同,如何能保证选点时图像位于同一断层?本研究中采用在CT和MRI图像中均能显影的树脂球作为同一断层的标志。CT、MRI两次扫描时,以矢状面3个树脂球为扫描中线,保证了3个配准点能同时出现在正中矢状面上。当然两次扫描时头位可能不完全一致,在横断面和冠状面可能不会同时出现3个树脂球,但由于两种影像扫描的层厚均小于1.0 mm,保证了在横断面/冠状面均能找到至少一个树脂球。这样从理论上讲,本研究的配准方法在3个不同视图断面至少能选择到5个配准点,保证了两种影像数据的配准精度在1.0 mm左右。

由于CT、MRI影像中软硬组织的图像灰度值是完全不同的,经过融合获得的图像是无法再次利用阈值选取、区域增长的方法来重建模型的。所以本研究利用Project2来单独分离颌面部主要肌肉组织,整体保存为STL格式文件,文件中自动带有肌肉3D模型的位置信息;再与Project1(主要利用CT数据建立颌骨和皮肤的3D模型)进行配准融合后,导入的肌肉3D模型自动与颌骨3D模型形成了准确的相对位置关系。

### 参考文献

- [1] Katsumura S, Sato K, Ikawa T, et al. "High-precision, reconstructed 3D model" of skull scanned by conebeam CT: Reproducibility verified using CAD/CAM data[J]. *Leg Med (Tokyo)*, 2016, 18: 37-43.
- [2] 黄宏, 张弓, 彭忠凯, 等. 下颌骨个性化手术钛板的设计与制造技术研究[J]. *口腔疾病防治*, 2016, 24(7): 402-406.
- [3] 王娇, 刘洋, 李旭, 等. PC机上基于CT、MRI图像构建的颌面部三维数字模型[J]. *中国组织工程研究*, 2014, 18(36): 5788-5792.
- [4] 叶鹏程, 方一鸣, 张琳琳, 等. 颌面部包括咀嚼系统的数字解剖学有限元建模初步研究[J]. *医学研究杂志*, 2016, 45(4): 36-41.
- [5] Kitamoto E, Chikui T, Kawano S, et al. The application of dynamic Contrast-Enhanced MRI and Diffusion-Weighted MRI in patients with maxillofacial tumors[J]. *Acad Radiol*, 2015, 22(2): 210-216.
- [6] Koulis TA, Doll CM, Brown D, et al. Implementation and validation of a combined MRI-CT-based cervical cancer brachytherapy program using existing infrastructure[J]. *Brachytherapy*, 2016, 15(3): 319-326.
- [7] Wang Y, Liu ZY, Dou WC, et al. Application of preoperative CT/MRI image fusion in target positioning for deep brain stimulation [J]. *Chin Med Sci J*, 2016, 31(3): 161-167.
- [8] 张翔圣, 张鑫, 张庆荣, 等. 三维DSA与MRI或CT融合技术在颅内动静脉畸形治疗中的应用价值[J]. *中国脑血管病杂志*, 2015(9): 449-455.
- [9] Hlubek RJ, Theodore N, Chang SW. CT/MRI fusion for vascular mapping and navigated resection of a paraspinal tumor[J]. *World Neurosurg*, 2016, 89: 732.e7-732.e12.
- [10] Liu X, Mei W, Du H. Structure tensor and nonsubsampling shearlet transform based algorithm for CT and MRI image fusion[J]. *Neurocomput*, 2017, 235: 131-139.
- [11] 李鹏, 梁瑞, 申龙朵, 等. 应用Mimics和ANSYS软件建立下颌骨三维有限元模型的方法学研究[J]. *实用口腔医学杂志*, 2012, 28(6): 709-713.
- [12] 王维, 谭锡涛, 池宇峰. 颌骨动脉瘤样骨囊肿的临床分析[J]. *口腔疾病防治*, 2017, 25(1): 37-40.
- [13] 陈刚, 钱玲玲, 张慧滔, 等. 基于MRI及CT融合技术的膝关节PCL影像重建初探[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2015, 46(3): 453-457.
- [14] Li P, Li Z, Tian W, et al. A strategy for removal of foreign body in mandible with navigation system[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2015, 44(7): 885-888.
- [15] 何巍, 魏国栋, 师为礼, 等. 基于点云的膝关节胫骨三维CT与MRI图像配准[J]. *长春理工大学学报(自然科学版)*, 2015, 38(5): 131-135.

(编辑 罗燕鸿, 刘曙光)