

# 心脏实时电影成像数据处理方法研究

周维林<sup>1,2</sup> 江 克<sup>1</sup> 钟耀祖<sup>1</sup> 吴 垠<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院深圳先进技术研究院 深圳 518055)

<sup>2</sup>(东北大学 沈阳 110819)

**摘 要** 心脏磁共振电影成像是临床上测量心脏功能的常规成像方法,需要在测试者多个心脏周期内采集 K 空间数据,因为受呼吸运动影响较大,需要受试者多次屏气才能完成。而心脏磁共振实时电影成像,可在受试者自由呼吸时的一个心动周期内采集完整的 K 空间数据,且图像质量受呼吸运动影响较小,有利于临床心脏功能分析。本文提供了一种在自由呼吸状态下的心脏磁共振实时电影成像数据处理方法,可有效实现在呼气末期时段对心脏舒张末期和收缩末期图像的快速检测。通过在图像中放置适当的参考线,获取整个数据采集过程中受试者的呼吸运动和心脏运动的情况。然后根据胸壁/横膈膜等组织的运动获得呼吸运动状态,快速确定呼气末期对应的时间段;而后再在此区间内根据左心室心腔的大小自动确定心脏舒张末期和收缩末期两个用于量化心脏功能的重要心脏相位。最后将检测到的图像按照指定要求,自动存储,以方便后续心脏功能分析。此方法可大幅度减少数据处理时间,具有很好的临床应用价值和前景。

**关键词** 心脏实时电影成像;自动检测;呼气末期;舒张末期;收缩末期

## Analysis of Real-time Cine Imaging Data Processing Method for Cardiac Function

ZHOU Wei-lin<sup>1,2</sup> JIANG Ke<sup>1</sup> CHUNG Yiu-cho<sup>1</sup> WU Yin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

<sup>2</sup>(Northeast University, Shenyang 110819, China)

**Abstract** Cardiac magnetic resonance cine imaging is more commonly used in clinical imaging method for cardiac function analysis. A real-time free breathing cardiac magnetic resonance cine imaging data processing method, which is an effective way for rapid detection of end-diastolic (ED) and end-systolic (ES) phases at end-expiration graphically, was proposed in this paper. By placing the appropriate reference line in the frames, respiratory motion and cardiac motion could be observed during the entire data collection process of subjects. According to the movements of chest wall/diaphragm and other organs to obtain respiratory motion, the time period of end-expiration could be quickly determined; and then in the time period, cardiac end-diastolic and end-systolic as two important cardiac phases for cardiac function analysis were automatically identified according to the size of the left ventricle chamber. Finally, in accordance with specified requirements, automatically detected images were saved to facilitate subsequent cardiac function analysis. This method significantly reduces data processing time and therefore it has good clinical values and prospects.

**Keywords** real-time cardiac cine imaging; automatic detection; end expiration; end-diastole; end-systole

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(30900387), 深圳市基础研究项目(JC201005270311A), 广东创新团队—低成本医疗技术项目(GIRTF-LCHT)。

**作者简介:** 周维林, 硕士研究生, 研究方向为心脏电影成像; 江克, 研究助理, 研究方向为心脏磁共振功能成像; 钟耀祖, 博士, 研究员, 研究方向为磁共振成像序列开发; 吴垠, 副研究员, 研究方向为心脏磁共振功能成像, E-mail: yin.wu@siat.ac.cn。

## 1 引言

心脏磁共振电影成像是临床上测量心脏功能的常规成像方法, 通常需要在受试者屏气配合下, 在多个心动周期内采集完整的 K 空间数据。然而在患有严重心脏病(如心肌梗塞、冠状动脉病)、呼吸疾病的病人和小儿身上难以实现反复多次屏气的测试要求, 因此该方法临床局限性较大<sup>[1]</sup>。

与心脏磁共振电影成像不同的是, 心脏磁共振实时电影成像不需要受试者屏气配合, 可在自由呼吸状态下进行数据采集, 增强了临床应用推广, 能更好的进行心脏功能的检测和分析。

自由呼吸心脏磁共振实时电影成像通过适当降低空间分辨率、采用并行成像技术及特殊的重建算法(例如滑窗方法、回波共享方法等), 在一个心动周期内即可完成全部 K 空间数据的采集, 因此图像质量受呼吸运动的影响较小。同时, 由于可在受试者自由呼吸状态下实现数据采集, 大大提高了心脏电影成像的临床应用范围<sup>[2]</sup>。但值得注意的是, 实时电影成像中呼吸运动会导致同一层面在不同心脏相位以及不同层面之间的空间位置不匹配, 为后续的心脏功能测量引入误差。

目前的做法通常是在进行实时成像时, 采集至少包含一个呼吸运动周期的图像, 然后依靠人眼观察所有图像, 识别出受试者在呼气末期(即呼吸运动最小时)时段心脏舒张末期(ED)和收缩末期(ES)的图片<sup>[3]</sup>。然而该方法较为繁琐费时, 大大降低了其在临床上的使用效率和应用价值。

本文提出一种高效算法, 旨在能够有效快速检测出呼气末期时段的心脏舒张末期和收缩末期图像, 并大幅度减少数据处理时间, 以提高心脏实时电影成像技术在临床上的使用效率和应用价值。

## 2 心脏磁共振实时电影成像数据处理方法实现

本文提出的方法在 MATLAB 等软件环境中编程实现。

首先选定某个层面, 按照扫描时间顺序自动读取该层所有图像信息, 接着手动放置适当的参考线, 使其经过胸壁、左心室心腔中心、横膈膜等能够反映呼吸和心脏运动信息的组织结构<sup>[2]</sup>(见图 1)。在电影成像中, 参考线上的信号会随时间变化而变化。

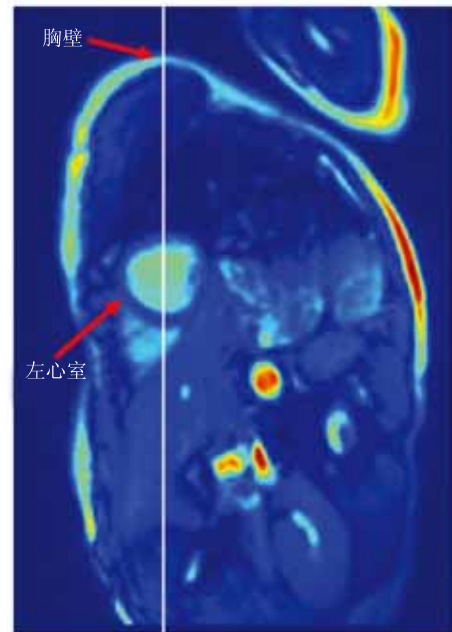


图 1 参考线设置

然后获取参考线信号轮廓随采集时间的动态变化图(图 2), 得到呼吸运动和心脏运动信号。其中, 纵轴方向表示参考线上的信号轮廓, 横轴为采集时间。在呼吸运动中, 胸壁随呼吸运动而产生位置变动, 所以当胸壁达到最低位置时, 或当心脏/横膈膜运动至最高位置时即对应呼气末期阶段。图 2 为手动选择呼气末期开始和结束阶段对应的时间点, 此时需保证所选区间内至少存在一个完整的心动周期。

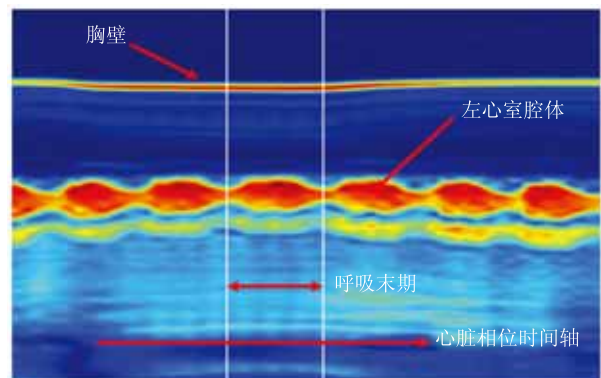


图 2 参考线信号轮廓随采集时间的动态变化图

继而在选择的呼气末期时间区间内, 算法自动计算每层所有图像中心脏相位对应的心腔直径大小。根据心脏舒张和收缩时的特点, 可知心腔直径最大时即为舒张末期心脏相位, 而最小时则为收缩末期心脏相位。

最后将检测到的每层图像中的心脏舒张末期和收缩末期图像保存至指定文件夹, 并将图像按照一定顺序命名排列。依次对每层使用算法识别 ED 和 ES, 直

至所有层面处理完毕。将所有筛选出来的图像导入到分析软件中,进行心脏功能分析。

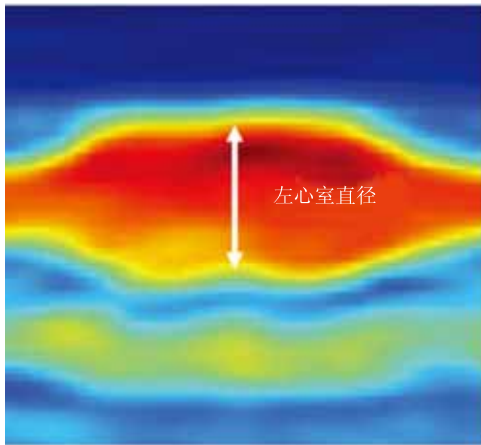


图3 呼气末期的左心室心腔大小动态变化图

### 3 心脏磁共振实时电影成像数据处理方法实验

#### 3.1 心脏实时电影成像实验

为了验证本文所提出数据处理方法的准确性和有效性,在3T磁共振系统(TIM TRIO, Siemens, Germany)上分别对8名健康自愿者(年龄 $26 \pm 3$ 岁)进行结合屏气的标准电影成像和自由呼吸的实时成像试验。具体操作如下:

首先确定定位成像平面为短轴位视野,运用电影成像技术,获取10层短轴位包括心脏基底和心尖的完整图像。其中,成像层厚均为8mm,层间距为2mm,视野为 $340 \times 287 \text{ mm}^2$ 。结合屏气的标准电影成像参数为:TR/TE=3.4/1.5ms,矩阵大小为 $256 \times 216$ ,带宽为977Hz/pixel,时间分辨率为40.7ms。自由呼吸的实时成像参数为:TR/TE=2.5/1.1ms,矩阵大小为

$160 \times 128$ ,带宽为1488Hz/pixel,时间分辨率为59.5ms,每层扫描时间均为5s,以确保涵盖一个完整的呼吸运动周期。运用一个时间方向上的KLT滤波器来提高信号的信噪比<sup>[4]</sup>。

然后,运用本文提出的数据处理方法程序能够半自动定位呼气末期的心脏舒张末期和收缩末期图像,之后将图像导入到图像分析软件中进行心脏功能分析。分析参数有左心室心肌质量(Mass)、舒张末期体积(EDV)、收缩末期体积(ESV)、心搏量(SV)及射血分数(EF),数据由一位测试者独立分析两次。IOV(Inter-Observer Variability)定义为(测试1—测试2)/(两次测试的平均值),对两次测量的结果做相关性分析(r)。用双尾配对t检测(two-tailed paired t-test)做统计分析(P-value),当 $P < 0.05$ 时认为具有显著性差异。

#### 3.2 实验结果分析

运用本文提出的检测方法获取呼气末期的舒张末期和收缩末期图像,并与作为金标准的屏气状态下获得的电影成像图像进行对比(见图4)。

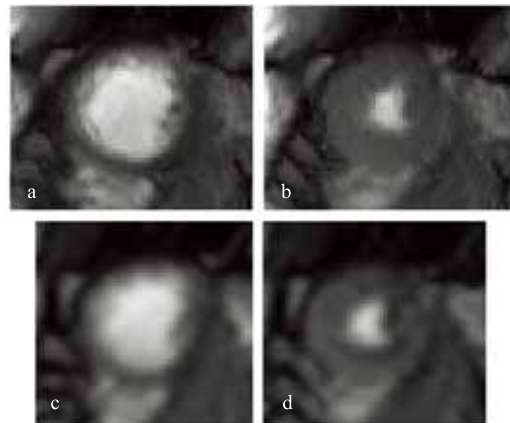


图4 ED(a, c)和ES(b, d)图像  
(a, b为屏气标准成像, c, d为实时自由呼吸成像)

表1 两种成像方法所得的心脏功能

Items	Comparison of the two protocols				IOV(%)	
	Standard	Real-time	p-value	r	Standard	Real-time
EDV(mL)	120.8±11.7	119.2±11.0	0.23	0.96	1.3±1.3	1.1±1.0
ESV(mL)	47.1±7.4	47.1±7.6	0.94	0.97	-1.9±3.2	0.8±3.1
SV(mL)	73.6±5.9	72.1±5.2	0.14	0.92	3.1±3.5	1.2±2.0
EF(%)	61.1±3.2	60.7±3.5	0.37	0.95	1.8±2.5	0.2±1.8
Mass(g)	90.1±8.0	90.9±7.6	0.23	0.98	-0.8±2.5	-0.7±1.5

心脏功能的定量分析结果如表 1, 数据显示由两种成像方法获得的舒张末期心腔体积(EDV)、收缩末期心腔体积(ESV)、心搏量(SV)、射血分数(EF)和心肌质量(Mass)值非常地接近, 且统计分析显示无显著性差异, 相关系数达 0.92 以上, 两次测量的差异较小( $< \pm 5\%$ ), 其中实时成像方法的 IOV 要小于屏气方法。表明本文所提供数据处理方法具有较好的准确性和有效性。

## 4 总 结

心脏实时电影成像以无需测试者屏气配合的优势, 为临床上快速有效地测量心脏功能提供了全新的途径, 具有重要的应用潜力和研究价值。然而目前繁琐的图像处理流程极大地制约了其在临床上的应用推广。本文提出了一种半自动的数据处理方法, 可以有效地实现呼气末期心脏舒张末期和收缩末期图像的快速检测, 大大减少了数据处理时间。初步研究结果显示, 该方法可以较为准确的获取心脏功能信息<sup>[5]</sup>, 有利于推动心脏实时电影成像技术的发展, 同时也还需

在临床上进一步验证和完善。

## 参 考 文 献

- [1] Wintersperger B J, Nikolaou K, Dietrich O, et al. Single breath-hold real-time cine MR imaging: improved temporal resolution using generalized autocalibrating partially parallel acquisition (GRAPPA) algorithm [J]. *European Radiology*, 2003, 13(8): 1931-1936.
- [2] Wu Y, Zhang N, Yang F, et al. An efficient approach for analysis of real-time cine for LV function quantification [J]. *ISMRM*, 2013.
- [3] Beer M, Stamm H, Machann W, et al. Free breathing cardiac real-time cine MR without ECG triggering [J]. *International Journal of Cardiology*, 2010, 145(2): 380-382.
- [4] Ding Y, Chung Y C, Raman S V, et al. Application of the Karhunen-Loeve transform temporal image filter to reduce noise in real-time cardiac cine MRI [J]. *Physics in Medicine and Biology*, 2009, 54(12): 3909.
- [5] Yamamuro M, Tadamura E, Kanao S, et al. Cardiac functional analysis by free-breath real-time cine CMR with a spatiotemporal filtering method, TSENSE: comparison with breath-hold cine CMR [J]. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 2006, 8(6): 801-807.