

自动分割方法分析心脏 MRI 左心室功能的可行性^{*}

杨帆¹, 李洋¹, 陈波¹, 何艳^{1**}, 谢弘², 雷平贵²

(1. 贵州医科大学 生物与工程教研室, 贵州 贵阳 550004; 2. 贵州医科大学附院 影像科, 贵州 贵阳 550004)

[摘要] 目的: 探讨自动分割方法对实时心脏磁共振成像(MRI)左心室功能分析的可行性。方法: 采集 12 名自愿者从心尖层到基底层实时 MRI 心脏成像数据, 运用差异图像、Hough 变换及 K 均值聚类的自动分割方法分割左心室, 由两名具有 1 年以上心脏数据分析经验的观察者(观察者 1 和观察者 2)运用自动分割和手动分割方法获取左心室舒张末期容量(EDV)、收缩末期容量(ESV)、每搏血量(SV)和射血分数(EF)等功能参数, 评价心脏实时 MRI 自动分割方法分析左心室功能的可行性。结果: 自动分割法可以对舒张末期和收缩末期图像进行分割, 但与手动分割方法相比, 实际分割曲线仍存在部分差异; 两位观察者手动或自动分割法采集的 ESV、SV 及 EF 数据差异有统计学意义($P < 0.05$), EDV 差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论: 心脏实时 MRI 自动分割方法能够对左心室 EDV 功能参数进行分析。

[关键词] 心脏; 磁共振成像; 心室功能, 左; 射血分数

[中图分类号] R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-2707(2017)01-0036-04

DOI: 10.19367/j.cnki.1000-2707.2017.01.008

The Feasibility Research of Automatic Segmentation Method on Left Ventricle Function Analysis of Real-time Cardiac MRI

YANG Fan¹, LI Yang¹, CHEN Bo¹, HE Yan¹, XIE hong², LEI Pinggui²

(1. Department of Biomedical Engineering, Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou, China; 2. Department of Medical Imaging, the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] **Objective:** To investigate the feasibility of automatic segmentation method on left ventricle function analysis of real-time cardiac MRI. **Methods:** Cardiac magnetic resonance data of 12 volunteers were collected. The automatic segmentation methods of subtraction image, Hough transformation and K-mean clustering were used to segment left ventricle; two observers(observer 1 and observer 2) with more than one year heart disease data analysis experience to gain EDV, ESV, sSV and EF by means of automatic segmentation and manual segmentation, then evaluating the feasibility of automatic segmentation method on left ventricle function analysis of real-time cardiac MRI. **Results:** The result shows that EDV without statistical significant difference, ESV, SV and EF data collected manually or automatically with statistical significant difference($P < 0.05$). EDV difference showed no statistical significance($P > 0.05$). **Conclusion:** Automatic segmentation method could analyze the EDV function of left ventricle.

[Key words] heart; magnetic resonance imaging; ventricular function, left; ejection fraction

^{*} [基金项目] 国家自然科学基金(81660298); 国家自然科学基金地区科学基金(81460206); 贵州医科大学 2015 年高等学校大学生创新创业训练计划(201510660004)

^{**} 通信作者 E-mail: smileconfidence@163.com

网络出版时间: 2017-01-17 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/52.1164.R.20170117.2125.009.html>

心脏磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)具有较高的空间分辨率和时间分辨率,能可靠获得心脏与心血管的形态、功能、灌注及心肌活性等综合信息^[1],而实时 MRI 能快速对病人的心脏进行成像,观察心脏形态信息,诊断心脏疾病^[2-4]。与标准心脏 MRI 相比,实时 MRI 不需要病人屏气,可以在受试者自由呼吸状态下采集数据,更适用于不能屏气患者的心脏功能成像^[5-6]。但实时 MRI 中呼吸运动会导致同一层面在不同心脏相位图像以及不同层面之间的图像空间位置不匹配,给后续分析数据带来困难。通用方法是人眼观察所有图像,手动定位心脏在图像中的位置,然后使用舒张末期和收缩末期图像分析心脏功能参数^[7],整个过程非常费时,即使熟练操作软件的医生,分析一个病人的数据也要花费 10~20 min。因此,研究快速的自动分割方法处理这类数据是十分有必要的。目前大多数自动分割方法主要针对标准成像,本研究在分析实时心脏 MRI 图像特征基础上,提出利用心脏舒张末期和收缩末期图像差异信息,结合心脏形状近似圆形的特征,运用 Hough 变换定位心脏的具体位置,然后通过 K 均值聚类方法在极坐标下分割左心室血池,最后通过比较自动分割和手动分割结果验证方法有效性。

1 材料与方法

1.1 资料来源

实验图像来自中科院深圳先进技术研究院,包含 12 名自愿者平均(25 ± 4)岁,男性 7 名,女性 5 名,采集从心尖层到基底层的的心脏成像数据。成像设备为 3.0T TIM TRIO 西门子磁共振仪,成像序列为实时自由呼吸 SSFP,层厚 8 mm,间隙 2 mm,视野为 $340 \text{ mm} \times 287 \text{ mm}$,重复时间/回波时间 = $2.5/1.1 \text{ ms}$, 160×128 像素,带宽为 1 488 Hz/像素。

1.2 方法

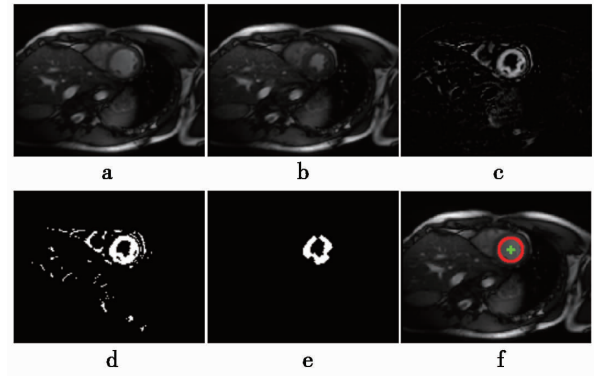
1.2.1 左心室定位 通过计算舒张末期和收缩末期的差值来检测左心室位置,见图 1。采用 otsu 方法将图像转为二值图像,运用形态学腐蚀与膨胀处理,去除周围组织,得到比较完整的左心室区域^[8]。接着运用 Hough 圆检测算法,根据公式:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (1),$$

$$x = a + r \cos \theta, y = b + r \sin \theta \quad (2),$$

a, b 为圆心, r 为半径^[9]。根据公式(2),可

以将 (x, y) 平面上的圆转换到 (a, b, r) 空间,通过检测 (a, b, r) 空间上过圆形最多的交点来确定圆心和半径参数。图 1f 显示了处理后的图像及检测结果。

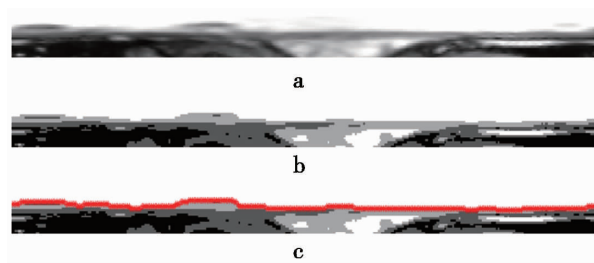


注:a 为舒张末期,b 为收缩末期,c 为差异图像,d 为二值图像,e 为形态学处理结果,f 为 Hough 检测结果

图 1 左心室定位

Fig. 1 The location of left ventricle

1.2.2 左心室分割 通过 Hough 算法定位左心室位置,可以获得左心室中心。以该中心为起点,沿半径方向将图像展开,将直角坐标系下图像转为极坐标图(图 2a)。然后通过 K 均值聚类算法将图像分为 N 类(图 2b)^[10]。遍历图像每一列,找出变化值在图像中所在位置,即是左心室内边界(图 2c)。将获得的边界转为直角坐标系,可以得到直角坐标系下的左心室内边界(图 3a)。心脏容积计算一般将乳突肌包含在血池内,这里采用凸壳算法计算最小外接多边形,使内边界包含乳突肌(图 3b)^[11]。

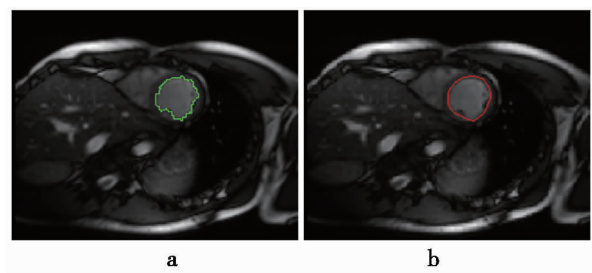


注:a 为极坐标,b 为 K 均值聚类结果,c 为左心室内边界检测

图 2 左心室极坐标

Fig. 2 Polar coordinates of left ventricle

1.2.3 功能分析方法 通过计算每名自愿者舒张末期容量(end-diastole volume, EDV)、收缩末期容量(end-systole volume, ESV)、每搏血量(stroke volume, SV)和射血分数(ejection fraction, EF)参数来进行分析比较。舒张末期容量计算方法:



注:a 为 K 均值方法所得内边界,b 为凸壳方法所得内边界
图 3 左心室分割

Fig. 3 The segmentation of left ventricle

$$EDV = \sum_{i=1}^n S \times H$$

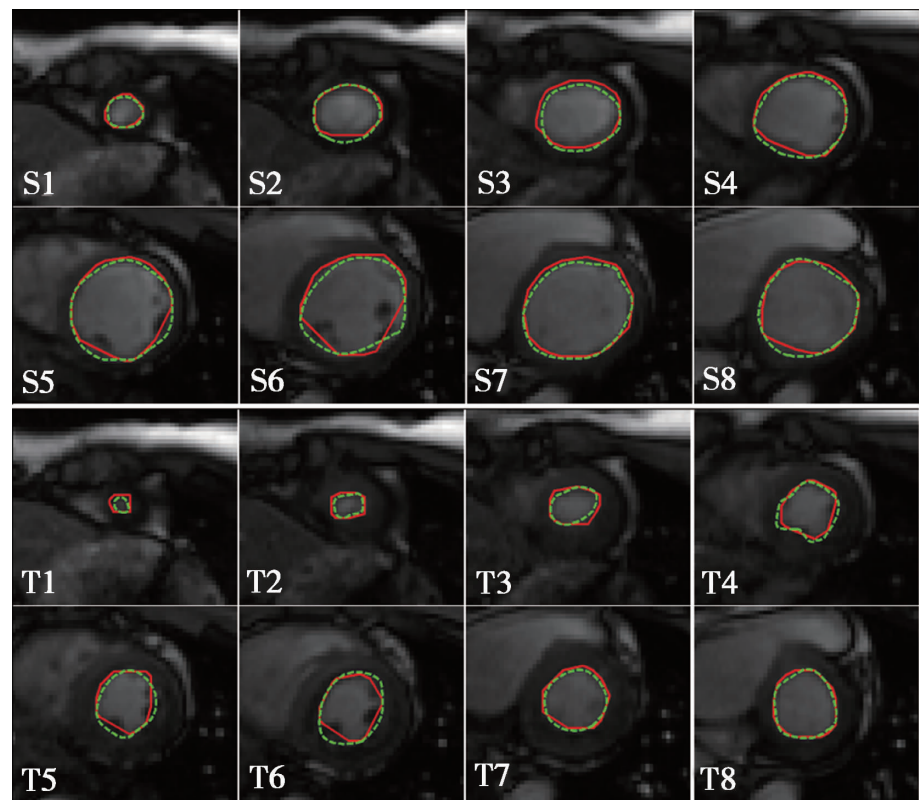
(3)

S 表示每层左心室血池面积,H 表示层厚,n 表示层数。同理可计算 ESV 容量。SV 可以通过 EDV 和 ESV 之差获得,EF 可以通过 SV 与 EDV 之比获得。为了验证分割结果是否正确,需要将自动分割结果同手动分割结果进行比较,选择两名具有 1 年以上心脏数据分析经验的观察者(观察者 1 和观察者 2)的独立分析数据,并收集 EDV、ESV、SV、

EF 等左心室功能参数。
1.3 统计学分析
数据采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析,两种方法分割结果均采用平均值 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,统计方法为双尾成对 *t* 检验, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

对 12 名自愿者心脏 MRI 分别采用自动和手动方法进行分割,其中 1 名自愿者从心尖到基底层,舒张末期分割结果如图 4 所示,可见自动分割法可以对舒张末期和收缩末期图像进行分割,但与手动分割方法相比,实际分割曲线仍存在部分差异。观察者 1 和观察者 2 采集的数据显示,手动和自动分割法在采集左心室功能参数时,ESV、SV 及 EF 差异有统计学意义($P < 0.05$),EDV 差异无统计学意义($P > 0.05$)。两名观察者手动和自动方法分割左心室所得心脏数据比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。



注:S1 ~ S8 分别表示不同层面的心脏舒张末期图像,T1 ~ T8 分别表示不同层面的心脏收缩末期图像,
实线表示自动分割结果,虚线表示手动分割结果

图 4 自动和手动分割心脏舒张末期

Fig. 4 The results of automatic and manual segmentation

表 1 两位观察者手动或自动分割法采集的左心室功能参数

Tab. 1 Comparison of left ventricle function analysis between automatic segmentation method and manual segmentation method by the two observers

功能参数	观察者 1			观察者 2			P
	手动分割	自动分割	P	手动分割	自动分割	P	
EDV (mL)	98.1 ± 10.1	100.3 ± 9.6	0.130	98.3 ± 10.3	100.3 ± 9.6	0.141	0.592
ESV (mL)	39.7 ± 7.7	37.8 ± 7.3	0.013	40.0 ± 7.6	37.8 ± 7.3	0.007	0.430
SV (mL)	58.4 ± 4.2	62.5 ± 5.4	0.002	58.4 ± 5.7	62.5 ± 5.4	0.002	0.974
EF (%)	59.9 ± 4.3	62.6 ± 4.6	0.000	59.6 ± 4.8	62.6 ± 4.6	0.000	0.603

3 讨论

为了避免观察者手动分割出现误差,研究中采用两名具有 1 年以上心脏数据分析经验的观察者,独立分析数据。分割图像时,采用统一标准进行分割,即乳突肌包含在血池内计算左心室容积,本研究结果显示两名观察者所得数据没有明显差异。同时,为了验证自动分割方法分析实时心脏 MRI 数据的可行性,收集两名观察者采集的 EDV、ESV、SV 及 EF 数据进行统计分析,结果显示,EDV 无明显差异,然而 ESV、SV 及 EF 等参数出现明显差异。其中一个原因可能是在分割收缩末期图像时,自动分割方法是根据心肌和血池灰度差异进行分割,而乳突肌在收缩末期常常和心肌内壁相连接,这样在分割时没有将乳突肌包含在血池内,导致 ESV 参数普遍低于手动分割结果,因此 ESV 参数出现明显差异。而 SV、EF 参数由 EDV、ESV 计算所得,因此同样出现明显差异。另一个原因是由于实时心脏 MRI 同标准心脏成像不同,不需要屏气,成像时间通常 1 min 左右,由于呼吸运动及快速成像导致图像分辨率较低。实时成像血池和心肌边界模糊,这对自动精确分割左心室血池造成一定困难,因此在图 4 中自动分割曲线和手动分割曲线存在部分差异,没有完全重合,导致部分心脏功能参数出现偏差。最新的运动矫正实时心脏 MRI 技术能提供较高的空间和时间分辨率,将有望解决这个问题^[12]。

虽然自动分割方法只对 EDV 参数没有统计差异,但相比手动分割方法极大减少了后处理时间,平均分割 1 名志愿者数据,只需要 1 min,医生可以通过对自动分割所得结果进行调整,直到满足分析要求。虽然增加部分手动操作,但与手动分割相比,还是节省处理时间。

本研究探讨了自动分割方法对实时心脏 MRI 功能参数分析的有效性,并同手动分割方法进行比

较,结果表明自动分割方法对 EDV 参数没有显著差异,但其他一些参数存在统计差异,因此对于这些参数分析还需要进一步研究。虽然自动分割方法存在部分缺陷,但可以减少了医生处理数据的时间,未来通过改进成像质量,以及交互式分割的方法将会改善分割的精度,能够更加快速便捷地分析左心室功能。

4 参考文献

[1] Myerson SG, Holloway CJ, Francis JM, et al. Cardiovascular magnetic resonance (CMR)-An update and review [J]. Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, 2011(3):213-222.

[2] Matsumoto H, Matsuda T, Miyamoto K, et al. Feasibility of free-breathing late gadolinium-enhanced cardiovascular MRI for assessment of myocardial infarction: Navigator-gated versus single-shot imaging[J]. International Journal of Cardiology, 2013(1):94-99.

[3] Zhu XM, Schwab F, Marcus R, et al. Feasibility of free-breathing, GRAPPA-based, real-time cardiac cine assessment of left-ventricular function in cardiovascular patients at 3T[J]. European Journal of Radiology, 2015(84):849-855.

[4] Moghari MH, Chan RH, Hong SN, et al. Free-breathing cardiac MR with a fixed navigator efficiency using adaptive gating window size[J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2012(6):1866-1875.

[5] Rasper M, Gramer BM, Settles M, et al. Dual-source RF transmission in cardiac SSFP imaging at 3 T: systematic spatial evaluation of image quality improvement compared to conventional RF transmission[J]. Clinical Imaging, 2015(2):231-236.

[6] Moghari MH, Chan RH, Hong SN, et al. Free-breathing cardiac MR with a fixed navigator efficiency using adaptive gating window size[J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2012(6):1866-1875.

表 3 最小抑菌浓度 MIC(mg/L)
Tab.3 The minimum inhibitory concentrations
of chemicals tested

药物 (mg/L)	枝孢菌	歧皱青霉菌	杂色曲霉菌	坚强芽胞杆菌
山梨酸钾	1 000	16 000	1 000	8 000
苯甲酸钠	1 000	4 000	4 000	4 000
壳聚糖	2 000	4 000	1 000	32 000
壳聚糖香草醛席夫碱	1 000	1 000	500	4 000
两性霉素 B	2	0.125	0.125	
庆大霉素				1

歧皱青霉菌、杂色曲霉菌、坚强芽胞杆菌。分析认为这些污染菌可能来源于果实、加工容器和加工环境,因巴氏消毒不能完全将其杀灭而残留在果汁饮料中,在环境适宜的条件下大量繁殖。杂色曲霉菌会代谢产生杂色曲霉毒素,在生产过程中需要重点防治。防治果汁污染措施包括:采用新鲜无腐烂的猕猴桃果实,防止污染菌从原料带入果汁;回收的饮料空瓶要严格清洗杀菌,加强加工车间、容器、管道的消毒。

从抑菌实验结果看壳聚糖香草醛席夫碱的抑菌效果表现最好,比壳聚糖本身好,说明壳聚糖经过化学修饰后抑菌效果得到增强,壳聚糖香草醛席夫碱的抑菌活性可能与其生产的亚胺键有关^[3]。山梨酸钾抑菌作用较弱,在达到最大使用量 2 g/kg 时仍不能有效的抑制果汁中歧皱青霉菌和坚强芽胞杆菌,这与其他报道青霉菌和芽胞杆菌是果汁饮料中主要的污染菌相一致^[11]。苯甲酸钠的抑菌活性比山梨酸钾好,但其具有一定的副作用。

因此,保证猕猴桃果汁质量需要提高原材料质量,改善生产环境和生产工艺,要针对污染菌寻找合适的防腐剂,自制药物壳聚糖香草醛席夫碱对污

染菌的抑制作用较好,具有应用潜力,需要进一步研究其毒理效果。

4 参考文献

[1] 王丽,徐红,黄亚励,等. 三种壳聚糖涂膜剂的抑菌效果及对猕猴桃的防腐保鲜作用[J]. 贵阳医学院学报, 2013 (10):501 – 504.

[2] Ana B, Daniel R, Barat JM, et al. Orange juices enriched with chitosan: Optimisation for extending the shelf-life [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009(2009):690 – 700.

[3] Marta S, Anicuta SG, Gabriela I, et al. Chitosan-vanillin composites with antimicrobial properties [J]. Food Hydrocolloids, 2015 (2015):62 – 71.

[4] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1979:133 – 134.

[5] 刘丽,张永军,许长征,等. 一种改良的 CTAB 法提取产多糖真菌 DNA[J]. 中国生物工程杂志, 2014 (5):75 – 79.

[6] Martin KJ, Rygiewicz PT. Fungal-specific PCR primers developed for analysis of the ITS region of environmental DNA extracts [J]. BMC Microbiology, 2005(1):243 – 272.

[7] 王虎玄,岳田利,胡仲秋,等. 陕西浓缩苹果汁中高渗透酵母的分离鉴定[J]. 农业机械学报, 2015(4):246 – 251.

[8] 江玺,黄亚励,张奇龙,等. 壳聚糖希夫碱的合成及其对灰霉菌抑菌活性研究[J]. 化学研究与应用, 2015 (3):343 – 348.

[9] 蔡晴,王乐,葛一平. 微量稀释法检测念珠菌对抗真菌药物敏感性的两种观察结果方法的比较[J]. 临床检验杂志, 2011(6):416 – 418.

[10] 食品添加剂使用标准 GB2760—2011[S]. 北京:中华人民共和国卫生部, 2011.

[11] 吴治海,蒲彪. 引起果蔬汁变质的微生物概述[J]. 四川食品与发酵, 2005(125):40 – 42.

(2016-11-20 收稿,2016-12-17 修回)
中文编辑: 吴昌学; 英文编辑: 苏晓庆

(上接第 39 页)

[7] Beer M, Stamm H, Machann W, et al. Free breathing cardiac real-time cine MR without ECG triggering[J]. Int J Cardiol, 2010(2):380 – 382.

[8] Otsu, N. Athreshold selection method from gray-level histograms[J]. Automatica, 1975(11):23 – 27.

[9] Limberger FA, Oliveira MM. Real-time detection of planar regions in unorganized point clouds[J]. Pattern Recognition, 2015(6):2043 – 2053.

[10] Dhanachandra N, Manglem K, Chanu YJ. Image segmentation using K -means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm [J]. Procedia Computer Science, 2015(54):764 – 771.

[11] Nguyen C, Kuoy E, Ruehm S, et al. Reliability and reproducibility of quantitative assessment of left ventricular function and volumes with 3-slice segmentation of cine steady-state free precession short axis images[J]. European Journal of Radiology, 2015(7):1249 – 1258.

[12] Cross R, Olivier L, O' Brien K, et al. Improved workflow for quantification of left ventricular volumes and mass using free-breathing motion corrected cine imaging [J]. Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance, 2016(1):1 – 12.

(2016-10-29 收稿,2016-12-16 修回)
中文编辑: 文箬颖; 英文编辑: 赵毅