

## 三维全自动左心定量技术评价心脏起搏器植入患者的左心功能

王培伟<sup>1</sup>, 吕函璐<sup>1</sup>, 何艳萍<sup>2</sup>, 刘英梅<sup>1</sup>

(1. 中山大学孙逸仙纪念医院心内科, 广东 广州 510120; 2. 佛山市第一人民医院超声诊疗中心, 广东 佛山 528000)

**摘要:**【目的】运用心脏三维全自动左心定量技术(HM)评价心脏起搏器植入患者的左心室容积及射血分数。【方法】对50例心脏起搏器植入患者行超声心动图检查,采集其二维及三维图像,采用双平面Simpson法、HM法及传统三维手动测量(3D-manual)法分别测出左心室舒张末容积(LVEDV)、左心室收缩末容积(LVESV)、左室射血分数(LVEF)。对三种方法的测量结果及后处理时间进行比较。同时评价HM方法组内及组间的重复性。【结果】Simpson、HM、3D-manual法测量LVEDV和LVEF值总体差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。HM测量LVEDV、LVESV均大于3D-manual(均 $P<0.05$ ),而LVEF差异无统计学意义( $P>0.05$ )。HM与3D-manual的测值有极高的相关性和更好的一致性。HM法的后处理时间最少,且观察者内和观察者间的重复性高。【结论】HM法自动评价心脏起搏器植入患者左心室容积及射血分数快速、可行,且具有高度重复性。

**关键词:** 三维超声心动图; 容积定量技术; 左心室容积; 射血分数; 心脏起搏器

**中图分类号:** R445.1; R540.4+5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-3554(2020)05-0815-06

## Quantitative Evaluation of Left Ventricular Volume and Ejection Fraction in Patients with Pacemakers by 3D Echocardiographic Automated Quantification Technique

WANG Pei-wei<sup>1</sup>, LV Han-lu<sup>1</sup>, HE Yan-ping<sup>2</sup>, LIU Ying-mei<sup>1</sup>

(1. Department of Cardiology, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510120, China;  
2. Department of Ultrasound, The First People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, China)

Correspondence to: LIU Ying-mei; E-mail: liuym24@hotmail.com

**Abstract:** 【Objective】 Heart Model (HM) is a new method of 3D automatic left ventricular quantitative technique. This experiment is designed to test the feasibility and reproducibility of HM in evaluating left ventricular volume and ejection fraction of patients with pacemaker. 【Methods】 Echocardiography was performed in 50 patients with pacemaker. All of the two-dimensional and three-dimensional images were collected. Biplane Simpson method, HM method and traditional 3D-manual method were used to measure left ventricular end-diastolic volume (LVEDV), left ventricular end-systolic volume (LVESV) and left ventricular ejection fraction (LVEF), respectively. The measurement results and post-processing time of the three methods were compared. At the same time, the repeatability of HM method within and between groups was evaluated. 【Results】 The differences among Simpson, HM and 3D-manual in the measures of LVEDV and LVEF were statistically significant ( $P<0.05$ ). LVEDV and LVESV measured by HM were larger than those measured by 3D-manual ( $P<0.05$ ), while LVEF had no statistical significance ( $P>0.05$ ). HM and 3D-manual measurements had a very high correlation and consistency. Compared with Simpson and 3D-manual, HM method had the least post-processing time, and the repeatability was good within and between groups. 【Conclusion】 HM method for automatic evaluation of left

收稿日期: 2020-03-19

作者简介: 王培伟, 医师, 研究方向: 心血管超声, E-mail: 547386724@qq.com; 刘英梅, 通信作者, 副主任医师, E-mail: liuym24@hotmail.com

ventricular volume and ejection fraction is rapid, feasible and highly reproducible.

**Key Words:** three-dimensional echocardiography; volumetric technique; left ventricular volume; ejection fraction; cardiac pacemaker

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2020, 41 (5): 815-820]

超声心动图是诊断和评估心脏疾病的基本工具,与其他技术相比,超声心动图具有许多优点,如非侵入性和便携性。它为我们提供了详细的解剖,血液动力学和生理信息<sup>[1-2]</sup>。其中最重要的参数就是左室容积及射血分数的测量。目前临床上常用的测量方法是传统二维双平面 Simpson 法、传统三维手动测量(3D-manual)法。这两种方法操作繁琐、处理时间长、对医生经验要求高。而新近出现的一项新的三维全自动左心容积定量技术(heart model,简称HM)可以更快速、简便的测量左室容积及射血分数<sup>[3]</sup>。关于HM的研究在窦性心律、心肌梗死、房颤、主动脉瓣二叶化畸形等人群中取得了可喜的成果,而针对植入心脏起搏器人群的研究尚未报道。本研究旨在评价HM法定量心脏起搏器患者左室容积及射血分数的准确性、可行性及其在病人随访中的临床价值。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究对象

选取中山大学孙逸仙纪念医院心血管内科2017年7月1日至2018年11月30日心脏起搏器植入术后患者。排除标准:①先天性心脏病患者;②三维超声心动图检查中左心室心肌17节段中显示不清节段 $\geq 4$ ;③人工瓣膜;④重度瓣膜狭窄或关闭不全。最终获得50例符合要求病例。男27例,女23例,年龄19~86岁,平均体表面积 $(1.61 \pm 0.17) \text{m}^2$ 。本研究经我院伦理委员会批准,受检者均签署知情同意书。

### 1.2 仪器与方法

**1.2.1 仪器** 应用经胸彩色多普勒超声诊断仪,型号: Philips Epiq 7C, 配备 X5-1 探头, 频率 1-5 MHz, 具备 HMAQ (HeartModel Acquisition Mode) 图像采集模式。检查时连接心电图, 嘱患者左侧卧位, 留取心尖四腔心、心尖两腔心二维动态图像。嘱患者呼气末屏气, 启动 HMAQ 程序, 获取三维全容积图像4个心动周期, 存储以备后续分析。

**1.2.2 双平面 Simpson 法** 根据指南<sup>[4]</sup>用双平面 Simpson 法获得 LVEDV、LVESV、LVEF, 并记录所用时间。

**1.2.3 HM 法** 启动 HM 程序, 适当时可微调边界, 自动计算出 LVEDV、LVESV、LVEF (图 1), 并记录所用时间。

**1.2.4 3D-manual 法** 利用飞利浦公司 QLab10.5 软件脱机分析, 选取 3DQA 插件, 在获取的心尖四腔心、心尖两腔心切面上于舒张末期依据提示分别标记 5 个参考点, 于收缩期重复此步骤, 得出 LVEDV、LVESV、LVEF, 并记录所用时间。

**1.2.5 重复性检验** 随机抽取 25 例受检者图像, 分别对 HM 法、3D-manual 法、双平面 Simpson 法测量的 LVEDV、LVESV、LVEF 进行观察者内和观察者间重复性检验。

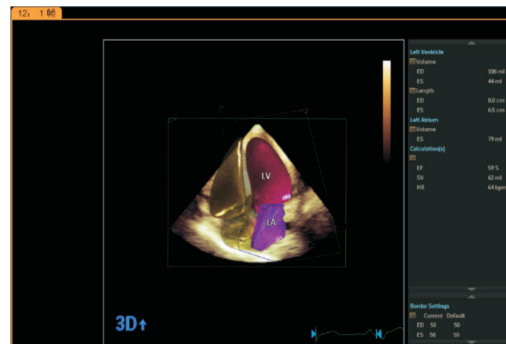


图 1 HM 法测值结果

Fig.1 Results displayed with heart model technology

### 1.3 统计学方法

应用 SPSS 24.0 及 MedCalc18.0 软件进行统计分析。计量资料先进行正态分布检验, 呈正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示, 非正态分布资料以中位数及四分位数间距  $M(P_{25} \sim P_{75})$  描述。双平面 Simpson 法、HM 法、3D-manual 法测值数据经正态分布检验不符合正态分布, 多组之间比较采用 Kruskal-Wallis  $H$  检验。三种方法后处理时间数据经正态分布检验符合正态分布, 方差不齐, 多组之间比较采用 Kruskal-Wallis  $H$  检验。相关

性及一致性分析采用 Pearson 相关分析及 Bland-Altman 一致性检验, 双侧检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。应用组内相关系数 (ICC) 进行重复性检验, ICC 值大于 0.75 说明可重复性较好, 0.4 以下说明可重复性较差。

## 2 结果

### 2.1 患者的基线资料

最终入选的 50 名患者的临床基本资料及起搏器类型见表 1。

表 1 患者的基本资料  
Table 1 Baseline data of patients  
[median (IQR) or n (%)]

Items	Properties
Age/years	66.5 (56.75~76.0)
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	22.07 (19.96~23.92)
Male	27 (54)
CHD	14 (28)
Hypertension	20 (40)
DM	8 (16)
COPD	2 (4)
AF	5 (10)
Type of pacemaker	
Single chamber pacemaker	12 (24)
Dual chamber pacemaker	30 (60)
Three chamber pacemaker	8 (16)

BMI: body mass index; CHD: coronary heart disease; DM: diabetes mellitus; COPD: chronic obstructive pulmonary disease; AF: atrial fibrillation

### 2.2 三种方法的测量结果比较

三种方法所测得 LVEDV、LVEF 测值差异均有统计学意义 (均  $P < 0.05$ ; 表 2), 所测得 LVESV 测值差异没有统计学意义。以 3D-manual 法测值为基准进行比较, HM 法 LVEDV、LVESV 测值均比其大, 差异有统计学意义 (均  $P < 0.05$ ); LVEF 测值无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。

双平面 Simpson 法与 3D-manual 法进行比较, LVESV 无统计学差异 ( $P > 0.05$ ); LVEDV、LVEF 均较小, 差异有统计学意义 (均  $P < 0.05$ )。

### 2.3 三种方法的相关性和一致性

以 3D-manual 法测值为标准, HM 法与 3D-manual 法相关性极高 (LVEDV  $r = 0.959$ ; LVESV  $r = 0.986$ ; LVEF  $r = 0.926$ , 均  $P < 0.001$ ), 一致性更好 (偏倚 bias; LVEDV (mL) bias = 17.0; LVESV (mL) = 10.3; LVEF (%) = -0.1) (图 2)。双平面 Simpson 法与 3D-manual 法相关性同样极高 (LVEDV  $r = 0.966$ ; LVESV  $r = 0.978$ ; LVEF  $r = 0.923$ , 均  $P < 0.001$ ), 一致性稍差 [偏倚 bias; LVEDV (mL) bias = 28.0; LVESV (mL) = 23.5; LVEF (%) = -5.9]

### 2.4 HM 法重复性

HM 法所测 LVEDV、LVESV 及 LVEF 值, 观察者内 ICC (95% CI) 分别为: 0.98 (0.93~0.99)、0.96 (0.91~0.98)、0.96 (0.90~0.98), 观察者间 ICC (95% CI) 分别为: 0.95 (0.86~0.98)、0.92 (0.84~0.96)、0.91 (0.86~0.95)。HM 法测值观察者内、观察者间可重复性较好。

### 2.5 三种方法后处理时间比较

分别统计这 50 例患者运用 HM 法、双平面 Simpson 法和 3D-manual 法的后处理时间, 得到结果如下。HM 法后处理时间为 30 (27.75~33.0) s,

表 2 HM、Simpson、3D-manual 法测值比较  
Table 2 The results of HM, Simpson and 3D-manual median (IQR)

	LVEDV/mL	LVESV/mL	LVEF/%
HM (n=50)	97 (77.75~122) <sup>1)</sup>	43 (29~71.1) <sup>1)</sup>	59 (35~62.925)
Simpson (n=50)	74.2 (58.8~101.15) <sup>1)</sup>	34.65 (25.025~56.525)	49 (29.75~58) <sup>1)</sup>
3D-manual (n=50)	84.8 (71.35~102.625)	33.7 (27.3~58.325)	55.6 (42.325~62.05)
H values	13.903	1.705	6.141
P values	<0.05	0.426	<0.05

1): compared with 3D-manual group,  $P < 0.05$ .

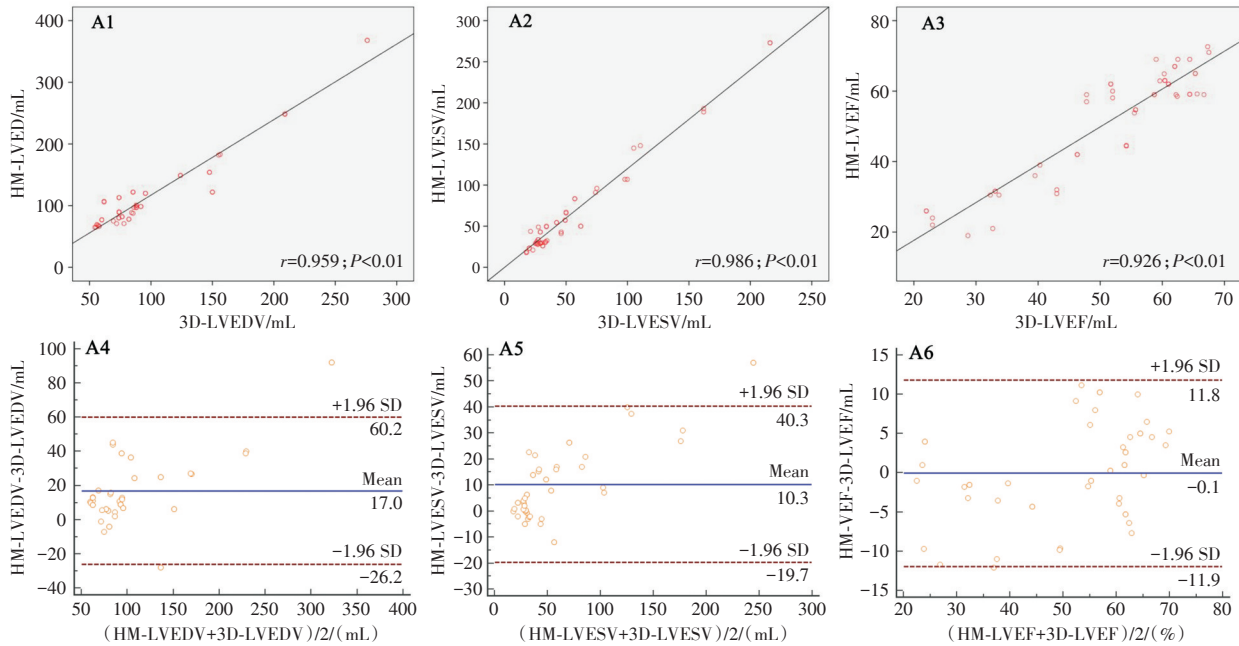


图2 HM与3D-manual法测量LVEDV、LVESV和LVEF的相关性和Bland-Altman一致性检验图

Fig.2 Correlation and Bland-Altman analyses of LVEDV, LVESV and LVEF obtained through HM and 3D-manual

双平面 Simpson 法为  $69(65.0\sim 71.25)s$ , 3D-manual 法为  $160(139.75\sim 170.0)s$ , 总体差异有统计学意义 ( $H=132.572, P<0.001$ )。经过两两比较, HM 法后处理时间均少于其余两种方法后处理时间, 差异均有统计学意义 (均  $P<0.001$ ; 图3)。

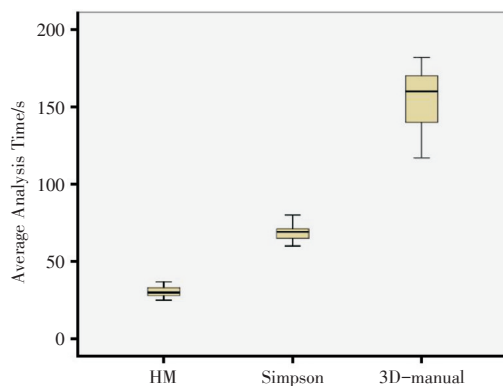


图3 三种方法后处理所需时间

Fig.3 Analysis time of the three methods

### 3 讨论

对左室容积及射血分数的定量测定一直以来是临床医师和超声心动图医师最为关注的问题之一。最初, 二维双平面 Simpson 法测定左室容积及射血分数应用广泛, 由于它是基于左室形态的几

何假设, 如果心室腔形状偏离了假设模型, 将导致误差较大, 而且因图像的透视缩短现象成像可致低估心室容积。在三维超声心动图问世以后, 欧美各大指南纷纷推荐应用三维超声心动图进行左室容积及射血分数测定的方法。然而传统的 3D-manual 法测量需要超声医师有比较丰富的经验, 且手动输入步骤多、耗时长, 在临床工作中比较难以推广。新近出现的 HM 法, 是基于事先存储于机器的数千个不同形态的左心数据, 根据实时获得的病人左心形态信息, 匹配最合适的模型, 自动描绘左心室内膜边界, 并根据心电图自动识别舒张期和收缩期来计算左室容积及射血分数。该方法大大减少了人工操作步骤, 减少了检查者耗费的时间, 相对于传统 3D-manual, HM 是一种更加方便可行的方法。

目前国内外针对 HM 的研究较多, 主要研究对象为窦性心律患者、节段性室壁运动异常、高血压、主动脉瓣二叶畸形、房颤患者及儿童等<sup>[5-8]</sup>, 均取得令人满意的结果。然而起搏器植入患者这一人群并未纳入目前已知的 HM 相关研究中。正如 Medvedofsky 等<sup>[2]</sup>在其研究中所说, 针对植入心脏起搏器人群的研究是其下一步研究的重点方向。本实验就是针对这一人群展开实验的。心脏起搏器作为一种植入型医疗器械, 无论对右心还是左

心均有明显影响。文献报道,单腔起搏器可导致左心室重构、左室射血分数降低,双腔起搏器可导致心脏的激动收缩顺序改变,导致二尖瓣反流,进而可导致其心排血量下降,损害心脏功能<sup>[9-10]</sup>。因而对植入心脏起搏器人群左室容积及射血分数的准确测定对临床判断和决策有非常重要的意义。

本实验中,与3D-manual法相比,HM法测得LVEF测值无统计学差异( $P>0.05$ ),LVEDV、LVESV值较高(均 $P<0.05$ ),与Tsang等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。其可能原因在于心内膜-血池边界的识别上,HM法的边界比3D-manual法的边界更偏近于心肌处,故舒张期、收缩期容积等比例增大,射血分数基本不变。Levy等<sup>[12]</sup>在研究中发现HM法与MR测得左室射血分数高度相关。Ernest Spitzer等<sup>[13]</sup>在研究中发现HM与3D-manual、MR均有较高的相关性,且HM法测值比3D-manual法更高、更接近MR的测值。本研究结果显示,HM法的LVEDV、LVESV、LVEF的测值与3D-manual法的测值均具有极高的相关性和一致性(见图2)。同时HM法LVEDV、LVESV的测值均大于3D-manual法的测值,由此推测HM法左室容积测值更接近MR的测值,与Spitzer等<sup>[13]</sup>的研究结果相似。

本实验显示HM法测值无论从观察者内、观察者间,重复性均极高, $r$ 值均大于0.9,与李萌等的研究结果一致<sup>[14]</sup>。这一发现对病人随访具有重要意义。由于患者每次进行超声心动图复查时,

面对的检查医师可能不同,故而增加了不同检查者带来的误差。应用了HM软件算法以后,不同的检查医师留取三维图像以后,用同一软件算法计算左心功能,可以减少因不同检查者带来的误差,确保显示出真实的左室容积及射血分数的变化情况,更好的评估左心功能变化情况,有利于指导临床治疗。本实验显示HM法后处理时间是三种方法中最少的。这与Tsang等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。说明HM法可缩短检查时间、提高效率,有利于在临床中推广应用。

本研究表明HM法在评价心脏起搏器植入患者这一特定人群的左心功能测定中快速、可行,与3D-manual具有高度相关性和一致性,且重复性高。在既往其他人群(如窦性心律患者、节段性室壁运动异常、高血压、主动脉瓣二叶畸形、房颤患者及儿童)的研究中显示,以Carvajal-Rivera<sup>[6]</sup>的研究为例,HM法在儿童这一特定人群中测定左心功能与3D-manual法具有高度相关性和一致性,重复性高。故本研究表明HM法在起搏器人群中获得结果与其他人群结果一致。

本实验的局限性:首先,未与心脏MR检查作对照研究,而是采用3D-manual法测值为标准。但相关文献已证明3D-manual法测值与通过心脏MR获得的结果有很好的相关性,许多研究同样以3D-manual法作为比较的基准。其次,纳入研究的病例数偏少,有待下一步扩大样本量。

#### 参考文献

- [1] Aguilera M, Dummer K. Concordance of fetal echocardiography in the diagnosis of congenital cardiac disease utilizing updated guidelines [J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2017, 1-6. doi: 10.1080/14767058.2017.1297791.
- [2] Medvedofsky D, Mor-Avi V, Amzulescu M, et al. Three-dimensional echocardiographic quantification of the left-heart chambers using an automated adaptive analytics algorithm: multicentre validation study [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2018, 19(1): 47-58.
- [3] Sun L, Feng H, Ni L, et al. Realization of fully automated quantification of left ventricular volumes and systolic function using transthoracic 3D echocardiography[J]. Cardiovasc Ultrasound, 2018, 16(1): 2. doi:10.1186/s12947-017-0121-8.
- [4] Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2015, 16(3):233-270.
- [5] 王江涛,吕秀章,蔡绮哲,等. 三维超声心动图自动定量节段性室壁运动异常患者左心功能的临床研究[J]. 中国超声医学杂志, 2018, 34(10): 37-40.

- Wang JT, Lv XZ, Cai QZ, et al. Evaluation of left ventricular volume and ejection fraction in patients with segmental wall motion abnormalities: Using a 3-dimensional automated algorithm [J]. *Chin J Ultrasound Med*, 2018, 34(10):37-40.
- [6] Carvajal-Rivera JJ, López-Quintero JC, González-Menchén C, et al. Left ventricular volumes and ejection fraction quantification using an automated three-dimensional adaptive analytic echocardiographic algorithm in pediatric population [J]. *Echocardiography*, 2018, 35(11):1827-1834.
- [7] van den Hoven AT, Mc-Ghie JS, Chelu RG, et al. Transthoracic 3D echocardiographic left heart chamber quantification in patients with bicuspid aortic valve disease [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2017, 33(12):1895-1903.
- [8] Cai Q, Wang J, Li H, et al. Measurement of left ventricular volumes and ejection fraction in patients with regional wall motion abnormalities using an automated 3D quantification algorithm [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2018, 44(11):2274-2282.
- [9] 韩莹,敖梦,王志刚,等. 二维斑点追踪成像与实时三维超声心动图评价不同部位起搏器植入术后左心室收缩功能与同步性[J]. *中国医学影像学杂志*, 2017, 25(11):831-835.
- Han Y, Ao M, Wang ZG, et al. Left ventricular systolic function and synchronicity after pacemaker implantation on different locations by two-dimensional speckle tracking imaging and real-time three-dimensional echocardiography [J]. *Chin J Med Imag*, 2017, 25(11):831-835.
- [10] 姚静,许迪,张艳娟,等. DDD起搏器植入患者房室顺序下传及右室心尖部起搏模式下左心室功能评估[J]. *中华超声影像学杂志*, 2016, 25(2):93-98.
- Yao J, Xu D, Zhang YJ, et al. Study of left ventricular function in patients with DDD pacemaker implantation during atrioventricular conduction and right ventricular apex pacing mode [J]. *Chin J Ultrasonogr*, 2016, 25(2):93-98.
- [11] Tsang W, Salgo IS, Medvedofsky D, et al. Transthoracic 3D echocardiographic left heart chamber quantification using an automated adaptive analytics algorithm [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(7):769-782.
- [12] Levy F, Dan SE, Iacuzio L, et al. Performance of new automated transthoracic three-dimensional echocardiographic software for left ventricular volumes and function assessment in routine clinical practice: Comparison with 3 tesla cardiac magnetic resonance [J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2017, 110(11):580-589.
- [13] Spitzer E, Ren B, Soliman OI, et al. Accuracy of an automated transthoracic echocardiographic tool for 3D assessment of left heart chamber volumes [J]. *Echocardiography*, 2017, 34(2):199-209.
- [14] 李萌,金炫佚,马春燕,等. 三维全自动左心容积定量技术评价左心室容积及射血分数的可行性及影响因素[J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(1):68-73.
- Li M, Jin XY, Ma CY, et al. Feasibility and impact factors of quantitative evaluation on left ventricular chamber volumes and ejection fraction with 3D automated left ventricular quantification technique [J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2019, 35(01):68-73.

(编辑 孙慧兰)