

❖ 心脏、血管影像学

Simpson method, region growth method based on threshold and three-dimensional model method for assessing left ventricular function

MENG Qingchao¹, WU Runze², HOU Zhihui¹, GAO Yang¹, HAN Lei¹, LYU Bin^{1*}

(1. Department of Radiology, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Diseases, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China;

2. Siemens Healthineers, Shanghai 200126, China)

[Abstract] **Objective** To compare the difference of Simpson method, region growth method based on threshold (threshold method) and three-dimensional model method (model method) for assessing left ventricular function. **Methods** Sixty patients with suspected coronary artery disease who underwent coronary CT angiography (CCTA) were enrolled. The left ventricular end diastolic volume (EDV), end systolic volume (ESV) and ejection fraction (EF) were calculated with Simpson method, threshold method and model method, respectively, and the results of 3 methods were compared. **Results** EDV was 166.55 (144.55, 209.53) ml, 144.25 (126.25, 186.88) ml and 137.23 (121.78, 159.29) ml respectively in model method, threshold method and Simpson method; ESV was 55.53 (38.34, 80.83) ml, 47.50 (29.00, 74.25) ml and 46.10 (28.68, 67.63) ml; EF was 64.75% (58.25%, 72.35%), 69.15% (60.05%, 76.33%) and 66.70% (58.48%, 77.05%). Significant differences of left ventricular EDV, ESV and EF calculated were found among the results of 3 methods (all $P < 0.001$). Left ventricular EDV and ESV calculated with model method were significantly higher than those with threshold method and Simpson method (both $P < 0.05$), while EF calculated with model method was significantly lower than that with threshold method ($P < 0.05$). The consistencies of left ventricular EF calculated with 3 methods were all good, and the differences of left ventricular EDV and ESV between threshold method and Simpson method were both less than those between Simpson method and model method ($Z = -6.486, -6.574$, both $P < 0.001$). EDV, ESV and EF calculated with 3 methods were all strong positively correlated (all $r > 0.8$, all $P < 0.05$). **Conclusion** Left ventricular EDV, ESV and EF calculated with Simpson method, threshold method and model method were significantly different, but the consistencies of 3 methods were all good. The differences of left ventricular EDV and ESV between threshold method and Simpson method were less than those between model method and Simpson method.

[Keywords] ventricular function, left; tomography, X-ray computer

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.12.017

Simpson 法、基于阈值区域生长法和三维模型法评估左心室功能

孟庆超¹, 吴润泽², 侯志辉¹, 高 扬¹, 韩 磊¹, 吕 滨^{1*}

(1. 中国医学科学院 北京协和医学院 国家心血管病中心 阜外医院放射影像科, 北京 100037; 2. 西门子医疗系统有限公司, 上海 200126)

[摘 要] **目的** 比较 Simpson 法、基于阈值的区域生长法(阈值法)和三维模型法(模型法)评估左心室功能的差异。**方法**

[第一作者] 孟庆超(1995—),男,山东邹城人,在读博士。研究方向:心血管影像诊断。E-mail: mengqc141728@163.com

[通信作者] 吕滨,中国医学科学院 北京协和医学院 国家心血管病中心 阜外医院放射影像科,100037。E-mail: blu@vip.sina.com

[收稿日期] 2020-07-11 **[修回日期]** 2021-09-24

纳入 60 例因疑诊冠状动脉疾病而接受冠状动脉 CT 血管成像(CCTA)患者,分别采用 Simpson 法、阈值法和模型法计算左心室舒张末期容积(EDV)、收缩末期容积(ESV)和射血分数(EF),并观察各值差异。**结果** 模型法、阈值法和 Simpson 法的 EDV 分别为 166.55(144.55,209.53) ml、144.25(126.25,186.88)ml 和 137.23(121.78,159.29)ml,ESV 分别为 55.53(38.34,80.83)ml、47.50(29.00,74.25)ml 和 46.10(28.68,67.63)ml,EF 分别为 64.75%(58.25%,72.35%)、69.15%(60.05%,76.33%)和 66.70%(58.48%,77.05%)。以 Simpson 法、阈值法和模型法所获左心室 EDV、ESV 及 EF 差异均有统计学意义(P 均 <0.001);以模型法所获 EDV 和 ESV 均明显高于阈值法和 Simpson 法(P 均 <0.05),而 EF 明显低于阈值法($P<0.05$)。3 种算法计算左心室 EF 的一致性均好,且阈值法与 Simpson 法所获左心室 EDV 及 ESV 差值均小于模型法与 Simpson 法($Z=-6.486$ 、 -6.574 , P 均 <0.001)。3 种算法所获左心室 EDV、ESV 及 EF 均呈极强相关(r 均 >0.8 , P 均 <0.05)。**结论** 采用 Simpson 法、阈值法和模型法计算的左心室 EDV、ESV 及 EF 均有显著差异,但一致性均好,且 EDV、ESV 及 EF 均呈极强相关;以阈值法与 Simpson 法所获左心室 EDV 及 ESV 的差值均小于模型法与 Simpson 法差值。

[关键词] 心室功能,左; 体层摄影术,X 线计算机

[中图分类号] R541.4; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2021)12-1830-05

评估左心室收缩功能对判断心血管疾病危险分层及其预测患者预后非常重要^[1-2],射血分数(ejection fraction, EF)为临床最常用的评估指标^[3]。心脏 MRI 是评价左心室 EF 及心室容积的金标准^[4];CT 用于评价左心室功能亦已展现出良好价值^[5-6]。计算心室容积的方法包括 Simpson 法^[7]、基于阈值的区域生长法(阈值法)^[8]和三维模型法(模型法)^[9],其对心室范围的定义有所不同,或可影响心功能评估结果。本研究观察 Simpson 法、阈值法和模型法评估左心室功能的差异。

1 资料与方法

1.1 一般资料 纳入 2008 年 11 月—2009 年 12 月 60 例中国医学科学院阜外医院因疑诊冠状动脉疾病而接受冠状动脉 CT 血管成像(coronary CT angiography, CCTA)患者,男 36 例,女 24 例,年龄 15~77 岁,中位年龄 50 岁。排除图像显示不清者。检查前患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens SOMATOM Definition 双源 CT。嘱患者仰卧,以高压注射器经肘前静脉分 3 期以流率 5 ml/s 注射碘对比剂(碘海醇,350 mgI/ml):首先注射对比剂 50~60 ml,之后按照 3:7 注射对比剂和生理盐水混合液 30 ml,最后注射生理盐水 40 ml。采用团注追踪法,将心房水平升主动脉设为 ROI,其内 CT 值达 100 HU 后延迟 6 s 触发图像采集。扫描参数:采用飞焦点技术,探测器准直 2.0 mm $\times$ 32.0 mm $\times$ 0.6 mm,转速 0.33 s/rot,管电压 120 kV,管电

流 215~400 mAs(自动调整),根据心率自动调整螺距;将心电图 R-R 间期 35%~75%时相设为全值管电流采集;重建层厚 0.75 mm,层间距 0.5 mm,矩阵 512 $\times$ 512,重建卷积核值 B26。对 0~95% R-R 间期以 5% 增量重建图像,产生 20 个相位。

1.3 图像处理 于 Siemens MMWP 专用工作站分析图像。模型法(图 1):将所有心脏 CCTA 导入模型法软件包(syngo. via Cardiac Function prototype)中,自动计算各相位所示左心室体积;软件分割左心室后,由 1 名具有 5 年以上工作经验的放射科医师进行核查,必要时手动调整。分别以左心室最大和最小体积为舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)和收缩末期容积(end-systolic volume, ESV),并记录其心脏相位。阈值法(图 2):将图像导入阈值法软件包(Circulation)计算 EDV 和 ESV。Simpson 法(图 3):导入心脏 CCTA,采用 Simpson 法软件包(Argus),于轴位视图中重建为 8 mm 厚短轴位圆盘。由 2 名具有

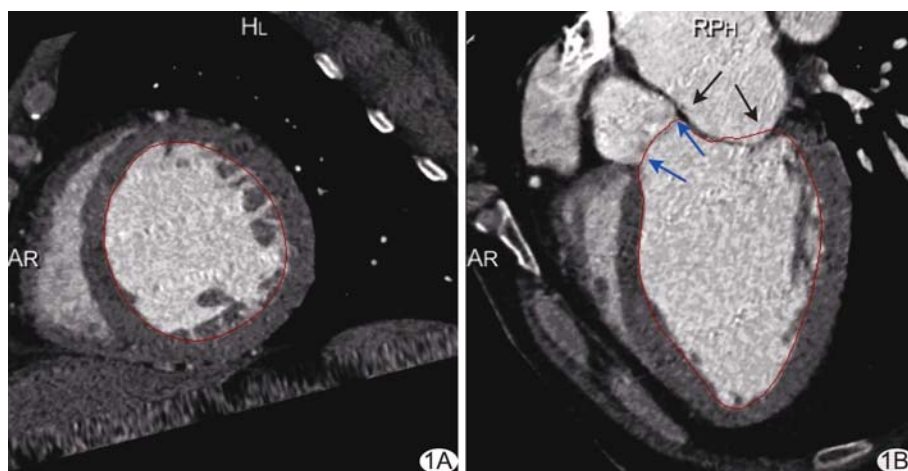


图 1 模型法 于左心室短轴切面图(A)及斜四腔心切面图(B)上,以主动脉瓣环和二尖瓣瓣环为边界勾画左心室(红线),主动脉瓣环(蓝箭)与二尖瓣瓣环(黑箭)不在同一平面上

5 年以上工作经验的放射科医师采用 3 种算法评估左心室功能, 并比较其所测 EDV 和 ESV。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 18.0 统计分析软件。以 *Shapiro-Wilk* 法对计量资料进行正态性检验, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布者, 以中位数(上下四分位数)表示不符合正态分布者; 采用 *Friedman* 检验进行 3 组间比较, 采用 *Bonferroni* 法或 *Wilcoxon* 秩和检验进行 2 组间比较。采用 *Spearman* 相关系数检验 3 种算法的相关性, 以 $|r| \geq 0.8$ 为极强相关。采用组内相关系数 (intra-class correlation coefficient, ICC) 分析 2 名医师测量结果的一致性, 以 $ICC > 0.75$ 为一致性良好。绘制 Bland-Altman 图分析 3 种算法的一致性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

采用模型法、阈值法和 Simpson 法计算所得左心室 EDV、ESV 及 EF 差异均有统计学意义 (P 均 < 0.001); 模型法得出的 EDV 和 ESV 均明显高于阈值法和 Simpson 法 (P 均 < 0.05), 而 EF 明显低于阈值法 ($P < 0.05$)。见表 1。

图 4 显示, 采用阈值法和 Simpson 法计算左心室 EF 的差异为 $(0.74 \pm 5.05)\%$ [95% CI $(-9.16\%, 10.65\%)$], 其中 6 个点 (10.00%, 6/60) 位于 95% CI 外; 以模型法和 Simpson 法所获 EF 的差异为 $(-1.94 \pm 4.97)\%$ [95% CI $(-11.67\%, 7.80\%)$], 其中 5 个点 (8.33%, 5/60) 位于 95% CI 外; 模型法和阈值法计算 EF 的差异为 $(-2.68 \pm 4.23)\%$ [95% CI $(-10.98\%, 5.62\%)$], 其中 4 个点 (6.67%, 4/60) 位于 95% CI 外。3 种方法结果的一致性均较好。阈值法与 Simpson 法所获左心室 EDV 及 ESV 的差值均小于模型法与 Simpson 法差值 ($Z = -6.486, -6.574, P$

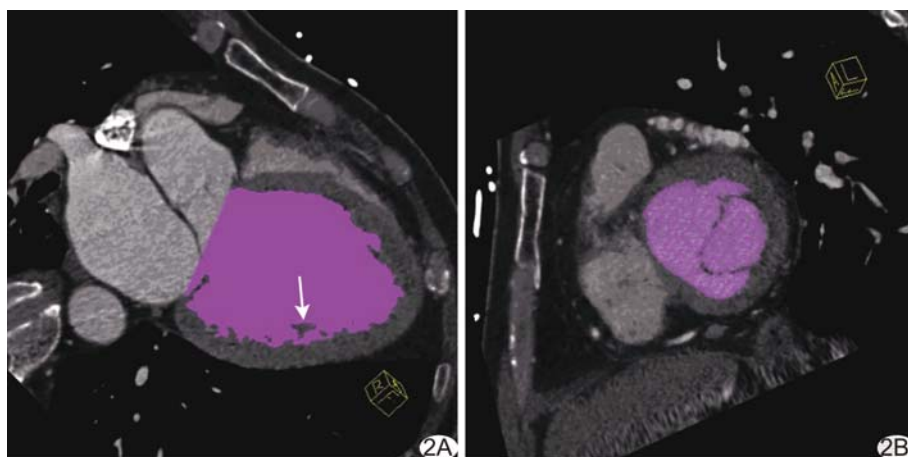


图 2 阈值法 A. 左心室长轴切面图示计算左心室容积时排除乳头肌(箭); B. 左心室短轴切面图示二尖瓣层面 (粉色表示计入心室容积部分)

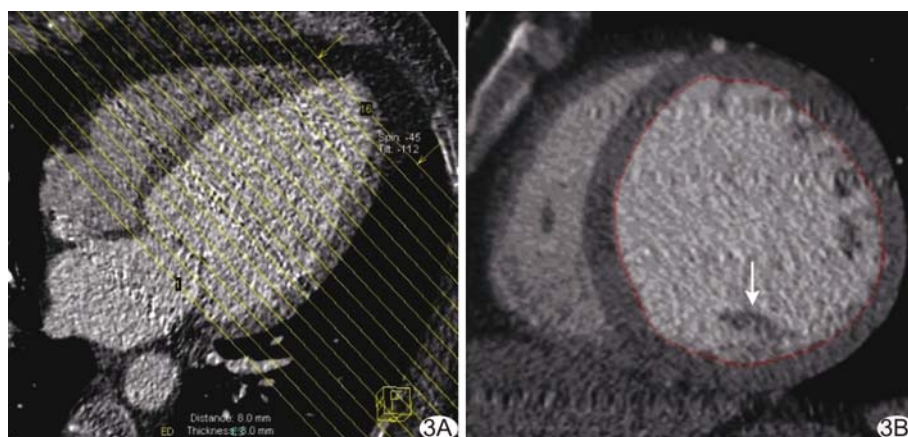


图 3 Simpson 法 根据四腔心切面图(A), 以层厚和层间距均为 8 mm 重建短轴图像(B), 以红线勾画左心室, 计算心室容积时计入乳头肌(箭)

表 1 以模型法、阈值法和 Simpson 法计算的左心室 EDV、ESV 和 EF 比较

方法	EDV (ml)	ESV (ml)	EF (%)
模型法	166.55(144.55, 209.53)	55.53(38.34, 80.83)	64.75(58.25, 72.35)
阈值法	144.25(126.25, 186.88) *	47.50(29.00, 74.25) *	69.15(60.05, 76.33) *
Simpson 法	137.23(121.78, 159.29) *	46.10(28.68, 67.63) *	66.70(58.48, 77.05)
χ^2 值	72.633	76.033	20.033
P 值	< 0.001	< 0.001	< 0.001

注: *: *Bonferroni* 检验, 与模型法相比, 校正后 $P < 0.05$

均 < 0.001 。

以模型法与阈值法、阈值法与 Simpson 法及模型法与 Simpson 法所获左心室 EDV 均呈极强相关 ($r = 0.92, 0.89, 0.90, P$ 均 < 0.05), $ESV (r = 0.96, 0.95, 0.95, P$ 均 $< 0.05)$ 、 EF 亦均呈极强相关 ($r = 0.95, 0.92, 0.94, P$ 均 < 0.05)。2 名医师采用模型法、阈值法和 Simpson 法计算左心室 EDV 及 ESV 的一致性均良好 (ICC 均 > 0.75 , 表 2)。

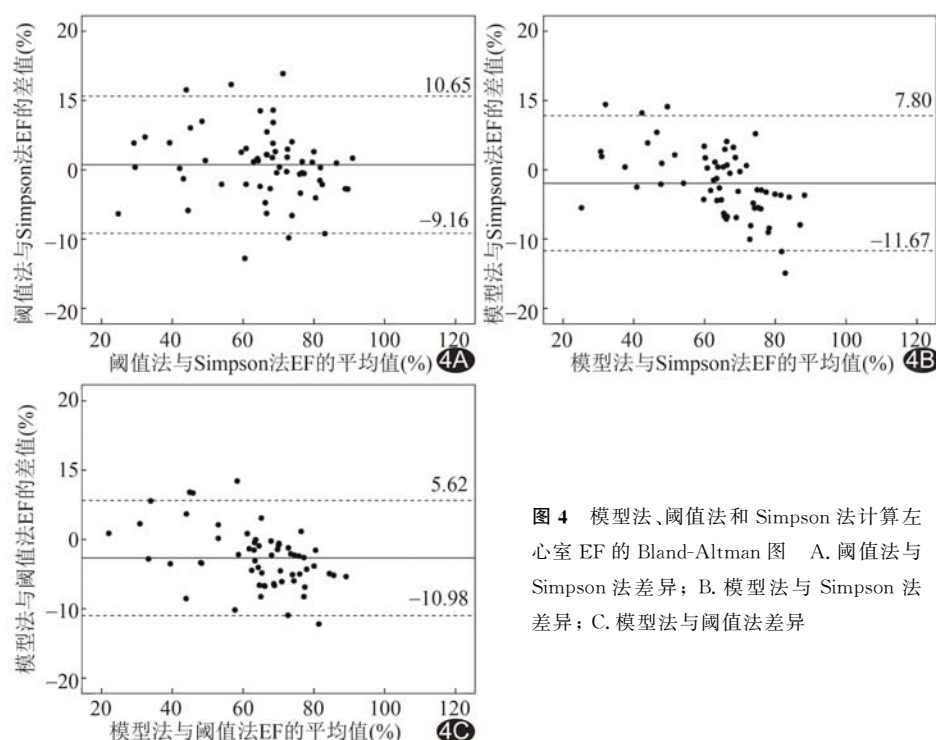


图 4 模型法、阈值法和 Simpson 法计算左心室 EF 的 Bland-Altman 图 A. 阈值法与 Simpson 法差异; B. 模型法与 Simpson 法差异; C. 模型法与阈值法差异

表 2 2 名医师采用模型法、阈值法和 Simpson 法计算左心室 EDV 及 ESV 结果的一致性分析

方法	参数	ICC	95% CI
模型法	EDV	0.996	0.993, 0.998
	ESV	0.991	0.985, 0.994
阈值法	EDV	0.985	0.975, 0.991
	ESV	0.995	0.992, 0.997
Simpson 法	EDV	0.983	0.971, 0.990
	ESV	0.992	0.986, 0.995

3 讨论

CT 采用 Simpson 法评估心功能系由心脏 MRI 演变而来。心脏 MRI 中,短轴电影图像通常层厚 6~8 mm、层间隔 2~4 mm,二者之和为 10 mm^[10];而心脏 CT 则采集轴位图像,故需将薄层轴位图像重建为厚层短轴位图像。阈值法为半自动方法,利用 CT 的采集容积特性,在心肌壁和心脏瓣膜环组成的空间内,通过设定阈值区分心腔与心肌,可准确描绘心室,且重复性好^[11]。模型法则为自动四腔分割方法^[12],根据心脏图像数据,通过训练得到左、右心室及心房模型并进行适当调整。上述 3 种算法处理心脏解剖细节有所不同,尤其对主动脉瓣环和二尖瓣瓣环及对乳头肌的处理不同,导致评估心功能时存在差异。

本研究中,采用阈值法与 Simpson 法所获左心室 EDV 及 ESV 的差值均小于模型法与 Simpson 法的差

值。分析原因,主要在于模型法和 Simpson 法计算左心室容积时均包含乳头肌,而阈值法不计入乳头肌;此外,采用模型法评估心功能,主动脉瓣和二尖瓣可能不在同一平面内;将心室腔定义为主动脉瓣、二尖瓣和心室壁构成的封闭空间,并以圆柱体代表心室腔时,可致模型法与 Simpson 法计算的 EDV 及 ESV 产生差异。

最近研究^[13]表明,根据心肌收缩储备(负荷与静息测试间左心室 EF 差异)可预测扩张型心肌病患者左心室 EF 改善情况,即左心室 EF 储备每增加 1%,1 年后左心室 EF 增加 0.4%。本研究结果显示,采用模型法、阈值法和 Simpson 法计算所得左心

室 EF 差异有统计学意义,模型法计算的 EF 明显低于阈值法;且 Bland-Altman 图显示采用不同算法计算 EF 的差值最多可有 10.00% 位于 95% CI 之外。因此,需要多次评估心功能时,应尽可能采用同种算法;以影像学评估心功能时,除考虑不同检查手段带来的差异之外,还应考虑所用算法有无不同。

本研究的局限性:①样本量小;②单中心研究;③未与“金标准”心脏 MRI 进行对比;④采用回顾性心电图全心动周期扫描,管电压设定为 120 kV,辐射剂量偏高。

综上所述,以模型法、阈值法和 Simpson 法计算得出的左心室 EDV、ESV 及 EF 均存在显著差异,但其计算 EF 的一致性均好,且 EDV、ESV 及 EF 均呈极强相关;阈值法与 Simpson 法计算左心室 EDV 及 ESV 的差值均小于模型法与 Simpson 法的差值。

[参考文献]

- [1] SIONTIS G C, BRANCA M, SERRUYS P, et al. Impact of left ventricular function on clinical outcomes among patients with coronary artery disease[J]. Eur J Prev Cardiol, 2019, 26 (12): 1273-1284.
- [2] GEBHARD C, MAREZDIK M, MESSERLI M, et al. Increased long-term mortality in women with high left ventricular ejection fraction: Data from the CONFIRM (coronary CT

- angiography evaluation for clinical outcomes: An international multicenter) long-term registry [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(4):363-374.
- [3] 刘红艳,王勤,杨栋梁,等. 320 排 CT 低剂量冠状动脉成像评价左心功能[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2019, 28(6):417-421.
- [4] PONIKOWSKI P, VOORS A A, ANKER S D, et al. 2016 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC[J]. *Eur J Heart Fail*, 2016, 18(8):891-975.
- [5] KANIEWSKA M, SCHUETZ G M, WILLUN S, et al. Noninvasive evaluation of global and regional left ventricular function using computed tomography and magnetic resonance imaging: A meta-analysis [J]. *Eur Radiol*, 2017, 27 (4): 1640-1659.
- [6] 谢玮慧,郭辰,姚小芬,等. 320 排宽探测器 CT 评估儿童先天性心脏病术后心功能[J]. *中国医学影像技术*, 2020, 36(9):1314-1318.
- [7] MARANO R, MERLINO B, NATALE L, et al. Cross-modality accuracy of dual-step, prospectively electrocardiography-triggered dual-source computed tomography compared with same-day echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging in the follow-up of heart-transplant patients [J]. *J Thorac Imaging*, 2018, 33(4):217-224.
- [8] GOO H W. Semiautomatic three-dimensional threshold-based cardiac computed tomography ventricular volumetry in repaired tetralogy of Fallot: Comparison with cardiac magnetic resonance imaging[J]. *Korean J Radiol*, 2019, 20(1):102-113.
- [9] ROZENBAUM Z, ARBEL Y, GRANOT Y, et al. An association between volumes of the cardiac chambers and troponin levels in individuals submitted to cardiac coronary computed tomography[J]. *Clin Cardiol*, 2017, 40(10):879-885.
- [10] KRAMER C M, BARKHAUSEN J, BUCCIARELLI-DUCCI C, et al. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020, 22(1):17.
- [11] STOJANOVSKA J, PRASITDUMRONG H, PATEL S, et al. Reference absolute and indexed values for left and right ventricular volume, function and mass from cardiac computed tomography[J]. *J Med Imaging Radiat Oncol*, 2014, 58(5):547-558.
- [12] ECABERT O, PETERS J, WALKER M J, et al. Segmentation of the heart and great vessels in CT images using a model-based adaptation framework [J]. *Med Image Anal*, 2011, 15 (6): 863-876.
- [13] TAYAL U, WAGE R, NEWSOME S, et al. Predictors of left ventricular remodelling in patients with dilated cardiomyopathy—a cardiovascular magnetic resonance study[J]. *Eur J Heart Fail*, 2020, 22(7):1160-1170.