



## 组织追踪MR技术评价正常人左室形变功能的临床研究

李政, 金航, 孙敏敏, 潘翠珍, 曾蒙苏, 舒先红

引用本文:

李政, 金航, 孙敏敏, 等. 组织追踪MR技术评价正常人左室形变功能的临床研究[J]. 中国临床医学, 2020, 27(6): 954–958.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20201715>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 应用二维斑点追踪技术评价正常人左室整体及节段收缩功能

Application of two dimensional speckle tracking echocardiography in evaluation of left ventricular global and segmental systolic function

中国临床医学. 2017, 24(1): 47–50 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2017.20160916>

#### 超声心动图评价心肌做功的研究进展

Research progress of echocardiography in evaluating myocardial work

中国临床医学. 2020, 27(6): 1–5 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20202091>

#### 免疫检查点抑制剂相关心脏不良反应的诊治进展及管理策略

Management of cardiac adverse events related to immune checkpoint inhibitors

中国临床医学. 2020, 27(6): 917–921 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20200561>

#### 二维斑点追踪技术评价高血压兔模型的左心室收缩期应变

Two-dimensional speckle tracking imaging in evaluating left ventricular systolic strain in hypertensive rabbit models

中国临床医学. 2017, 24(6): 900–903 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2017.20170490>

#### 非瓣膜性房颤患者的左心耳特征分析

Characteristics of left atrial appendage in patients with non-valvular atrial fibrillation

中国临床医学. 2020, 27(3): 453–456 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20200986>

DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20201715

# 组织追踪 MR 技术评价正常人左室形变功能的临床研究

李 政<sup>1,2,3</sup>, 金 航<sup>3,4</sup>, 孙敏敏<sup>1,2,3</sup>, 潘翠珍<sup>1,2,3</sup>, 曾蒙苏<sup>3,4\*</sup>, 舒先红<sup>1,2,3</sup>

1. 复旦大学附属中山医院心脏超声诊断科, 上海 200032
2. 上海市心血管病研究所, 上海 200032
3. 上海市影像医学研究所, 上海 200032
4. 复旦大学附属中山医院放射科, 上海 200032

**[摘要]** **目的:**采用心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)电影序列的组织追踪技术探讨正常人左室应变。**方法:**随机入组 2018 年于复旦大学附属中山医院行 CMR 检查的健康志愿者 39 例, 将影像学 Dicom 资料存盘后, 应用 CVI 软件的组织追踪模块分析 CMR 电影序列图像, 比较左室心肌形变指标基底段、中间段与心尖段的差别; 内膜下与外膜下的差别; 性别间、年龄分组间的差别。**结果:**39 例健康志愿者左室内膜下、外膜下及整体心肌应变自基底段至心尖段递增; 自心内膜下至心外膜下左室心肌应变递减, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); 性别对左室应变无明显影响。**结论:**组织追踪 MR 可定量分析左室整体、节段与内膜下、外膜下心肌形变功能, 为临床评价心脏功能提供新的依据。

**[关键词]** 组织追踪; 磁共振成像; 心功能; 应变

**[中图分类号]** R 654.2 **[文献标志码]** A

## Tissue tracking magnetic resonance for evaluation of left ventricular global myocardial deformation in healthy subjects

LI Zheng<sup>1,2,3</sup>, JIN Hang<sup>3,4</sup>, SUN Min-min<sup>1,2,3</sup>, PAN Cui-zhen<sup>1,2,3</sup>, ZENG Meng-su<sup>3,4\*</sup>, SHU Xian-hong<sup>1,2,3</sup>

1. Department of Echocardiography, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
2. Shanghai Institute of Cardiology, Shanghai 200032, China
3. Shanghai Institute of Medical Imaging, Shanghai 200032, China
4. Department of Radiology, Shanghai Institute of Medical Imaging, Shanghai 200032, China

**[Abstract]** **Objective:** To explore the left ventricular (LV) myocardial deformation function in healthy subjects using cardiac magnetic resonance (CMR) tissue tracking imaging derived LV deformation parameters. **Methods:** Thirty nine healthy volunteers who underwent CMR imaging in Zhongshan Hospital, Fudan University in 2018 were randomly enrolled. The LV myocardial deformation was evaluated using tissue tracking analysis module of CVI analyzing software based on cine MR sequences. Comparison of LV deformation was done according to level (LV basal, mid and apical planes), layer (subendocardial and subepicardial myocardium), gender, and age groups. **Results:** LV myocardial systolic deformation function in normal subjects increased from basal plane to apical plane. LV myocardial systolic deformation function decreased from subendocardial myocardium to subepicardial myocardium. Gender had little influence on the LV deformation function. **Conclusion:** MR-based LV global deformation parameters could be a useful method to assess LV myocardial deformation function.

**[Key Words]** tissue tracking; magnetic resonance imaging; cardiac function; strain

应变是定量评价心脏形变功能的新指标, 可准确体现心肌主动运动<sup>[1-3]</sup>。基于心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)电影序列的组织追踪技术不需要增加新的检查序列, 可定量分析左室内膜

下、外膜下心肌的分层应变<sup>[4-6]</sup>。本研究应用组织追踪技术评价正常人左室分层应变, 探讨正常人左室心肌形变功能的特征。

**[收稿日期]** 2020-08-04 **[接受日期]** 2020-10-10

**[基金项目]** 上海市自然科学基金(18ZR1436100, 19ZR1450900). Supported by Shanghai Natural Science Foundation(18ZR1436100, 19ZR1450900).

**[作者简介]** 李 政, 博士, 主治医师. E-mail: li.zheng2@zs-hospital.sh.cn

\* 通信作者(Corresponding author). Tel: 021-64041990, E-mail: zeng.mengsu@zs-hospital.sh.cn

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 随机入组 2018 年于复旦大学附属中山医院行 CMR 检查的健康志愿者 39 例,其中男性 24 例,女性 15 例,年龄 35~72 岁,平均(37.13±14.43)岁。按照年龄将志愿者分为 3 组,A 组(15~29 岁),共 14 例,男性 10 例,女性 4 例,平均(22.86±4.31)岁;B 组(30~45 岁),共 14 例,男性 10 例,女性 4 例,平均(36.42±4.38)岁;C 组(46~70 岁),共 11 例,男性 4 例,女性 7 例,平均(56.18±7.61)岁。按患者性别分组:男性组,平均年龄(32.67±10.61)岁;女性组,平均年龄(44.27±16.28)岁。本研究经复旦大学附属中山医院伦理委员会批准(B2018-286),所有患者均知情并签署知情同意书。

纳入标准:经病史、心电图、超声心动图及体格检查严格排除心血管疾病(严重心律失常及传导阻滞、瓣膜病、心肌病及冠心病等)和其他器质性疾病(肝脏、肾脏疾病及糖尿病、高血脂等)。排除标准:(1)不耐受 CMR 检查;(2)CMR 图像质量不佳,不能用分析软件进行分析。

1.2 仪器及分析软件 (1)西门子 1.5T (Magnetom Aera; 西门子医疗系统有限公司,德国)全身磁共振扫描仪,梯度场强为 45 mT/m,梯度切换率 200 T·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>,配备 32 通道全身相控阵线圈和胸前心电图门控 R 波触发、呼吸门控技术。(2)CVI 42(v. 5.2.2; 圆心血管影像有限公司,加拿大)心血管影像分析软件,组织追踪模块。

1.3 CMR 检查与电影序列图像采集 所有志愿者取仰卧位,使用 32 通道心脏相控阵线圈配合心电图门控和呼吸门控,检查开始前训练患者屏气。首先进行定位像采集,在定位像上确定左心房、左心室心尖部、主动脉瓣等位置后,Dot-engine 程序自动对心脏进行定位。应用 True-FISP(true fast image with steady-state precession)脉冲序列在呼气末屏气采集左室四腔心观、两腔心观、三腔心观及 8~10 个连续的左室短轴观电影图像,短轴观要求与左室长轴观垂直,且能将左室从心尖到底完全覆盖。具体参数:重复时间 35.5 ms,回波时间 1.1 ms;层厚 8 mm;翻转角 80°。

1.4 图像分析 应用 CVI 分析软件上组织追踪模块在左室长轴和短轴图像上半自动勾画左室内外膜,在短轴图像上确定上插入点和下插入点后,软件自动按左室 16 节段牛眼图对左室心肌进行追踪并分段,见图 1。软件分析后生成左室整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)、左室整体环向应变(global circumferential strain, GCS)、左室整体径向应变(global radial strain, GRS)峰值;左室基底段、中间段及心尖段纵向应变(longitudinal strain, LS)、环向应变(circumferential strain, CS)和径向应变(radial strain, RS)。比较左室 LS、CS 和 RS 在基底段、中间段与心尖段的差别,内膜下与外膜下的差别,性别间的差别及根据年龄分组后各组间的差别。



图 1 CVI 软件组织追踪模块生成左室 16 节段应变曲线和牛眼图

A:左室 16 节段纵向应变曲线(上),左室 16 节段纵向应变牛眼图(下);B:左室 16 节段环向应变曲线(上);左室 16 节段环向应变牛眼图(下);C:左室 16 节段径向应变曲线(上);左室 16 节段径向应变牛眼图(下)

1.5 可重复性检验 随机选取10例健康志愿者的CMR电影图像,应用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)对CVI软件分析结果行可重复性检验。观察者内重复性要求同一操作者间隔2周以上对图像再次分析;观察者间重复性要求另一独立的操作者对选中的图像进行分析。

1.6 统计学处理 采用SPSS 25.0进行数据分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料以 $n(\%)$ 表示。两组以上组间差异分析采用ANOVA单因素方差分析(正态分布数据)或Kruskal-Wallis  $H$ (非正态分布数据)检验;两组间差异分析采用配对 $t$ 检验(正态分布数据)或Mann-Whitney  $U$ (非正态分布数据)检验。检验水准( $\alpha$ )为0.05。

## 2 结果

2.1 临床及磁共振容量指标 39例健康志愿者心率为 $(70.36 \pm 14.03)$ 次/min,体表面积 $(1.73 \pm 0.18)\text{m}^2$ ,左室舒张末容积(体表面积标准化值)为 $(76.26 \pm 12.49)\text{mL}/\text{m}^2$ ,左室收缩末容积(体表面积标准化值)为 $(32.57 \pm 7.79)\text{mL}/\text{m}^2$ ,每搏输出量(体表面积标准化值)为 $(43.69 \pm 6.71)\text{mL}/\text{m}^2$ ,左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)为 $(57.93 \pm 5.61)\%$ 。

2.2 左室应变 结果(表1、图2)显示:健康志愿者GLS、GCS、GRS分别为 $-(14.74 \pm 2.93)\%$ 、 $-(19.86 \pm 2.30)\%$ 、 $(39.02 \pm 8.98)\%$ 。LS、CS自基底段到心尖段递增(图2)。中间段、心尖段与基底段应变值(LS、CS和RS)差异有统计学意义( $P < 0.01$ ),但中间段与心尖段应变值差异无统计学意义(表1)。

结果(表2)显示:健康志愿者左室内外膜下GLS、GCS和GRS值的差异均有统计学意义( $P < 0.01$ )。左室基底段、中间段和心尖段CS内外膜下值的差异和RS内外膜下值的差异有统计学意义( $P < 0.01$ )。

表1 左室应变值基底段、中间段及心尖段间差异

应变(%)	基底段	中间段	心尖段
LS	$-10.87 \pm 3.63$	$-16.43 \pm 4.98^*$	$-17.68 \pm 2.86^*$
CS	$-17.50 \pm 2.78$	$-21.50 \pm 2.41^*$	$-22.04 \pm 3.63^*$
RS	$50.58 \pm 11.95$	$32.94 \pm 6.04^*$	$36.48 \pm 13.93^*$

\*  $P < 0.01$  与基底段相比。LS:纵向应变;CS:环向应变;RS:径向应变

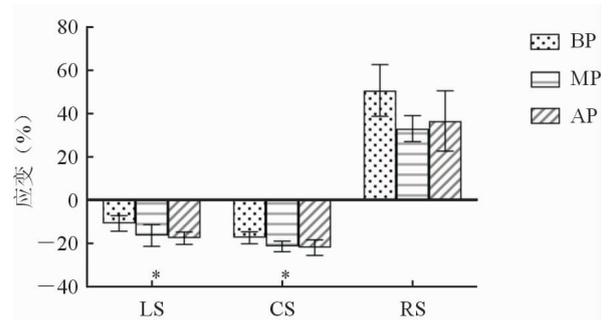


图2 左室应变值基底段、中间段及心尖段间差异

\*  $P < 0.01$  基底段、中间段及心尖段相比。LS:纵向应变;CS:环向应变;RS:径向应变;BP:基底段;MP:中间段;AP:心尖段

表2 左室内膜下及外膜下心肌应变值

应变(%)	内膜下心肌	外膜下心肌	$P$ 值
基底段 CS	$-16.21 \pm 9.25$	$-12.08 \pm 6.81$	$<0.01$
基底段 RS	$44.79 \pm 15.44$	$30.38 \pm 9.89$	$<0.01$
中间段 CS	$-16.88 \pm 5.56$	$-11.96 \pm 4.76$	$<0.01$
中间段 RS	$39.56 \pm 9.52$	$27.36 \pm 5.63$	$<0.01$
心尖段 CS	$-21.59 \pm 6.95$	$-14.86 \pm 6.13$	$<0.01$
心尖段 RS	$66.28 \pm 16.03$	$38.75 \pm 8.43$	$<0.01$
GLS	$-18.34 \pm 2.39$	$-17.90 \pm 2.35$	$<0.01$
GCS	$-22.79 \pm 3.10$	$-18.17 \pm 2.47$	$<0.01$
GRS	$44.81 \pm 9.29$	$31.71 \pm 5.97$	$<0.01$

GLS:左室整体纵向应变;GCS:左室整体环向应变;GRS:左室整体径向应变;LS:纵向应变;CS:环向应变;RS:径向应变

2.3 年龄及性别对应变的影响 结果(表3、表4)显示:男性组和女性组间各应变指标差异均无统计学意义。C组较B组GLS、GRS、中间段LS、心尖段LS、心尖段RS升高;内膜下和外膜下心肌GRS升高,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。B组较A组心尖段LS和外膜下GLS降低,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。其余年龄组间指标差异均无统计学意义。

2.4 可重复性分析 结果(表5)显示:GLS、GCS和GRS在观察者内部观察者之间均表现出较高的一致性,观察者内部GLS、GCS和GRS的ICC分别为0.959、0.967和0.977,观察者之间GLS、GCS和GRS的ICC分别为0.924、0.961和0.952。

表3 组织追踪 MR 左室应变指标性别间差异

应变(%)	$\bar{x} \pm s$		P 值
	男性(n=24)	女性(n=15)	
GLS	-14.26±2.67	-15.51±3.26	0.20
GCS	-20.04±2.59	-19.56±1.77	0.53
GRS	38.02±8.76	40.62±9.41	0.39
基底段 LS	-18.19±3.71	-11.96±3.34	0.14
中间段 LS	-15.67±4.43	-17.66±5.70	0.23
心尖段 LS	-17.38±2.60	-18.17±3.28	0.41
基底段 CS	-17.28±3.00	-17.84±2.45	0.55
中间段 CS	-21.47±2.54	-21.54±2.26	0.93
心尖段 CS	-22.59±3.82	-21.15±3.22	0.23
基底段 RS	50.82±9.98	50.18±14.95	0.87
中间段 RS	31.82±5.93	34.74±5.97	0.14
心尖段 RS	34.44±15.26	39.75±11.20	0.25
内膜下 GLS	-18.61±2.19	-17.90±2.70	0.38
外膜下 GLS	-18.24±2.16	-17.36±2.62	0.26
内膜下 GCS	-22.28±3.20	-23.61±2.85	0.20
外膜下 GCS	-17.69±2.39	-18.93±2.49	0.13
内膜下 GRS	44.07±8.53	46.00±10.58	0.54
外膜下 GRS	31.16±5.35	32.59±6.95	0.48

GLS:左室整体纵向应变;GCS:左室整体环向应变;GRS:左室整体径向应变;LS:纵向应变;CS:环向应变;RS:径向应变

表4 组织追踪 MR 左室应变指标年龄分组间差异

应变(%)	$\bar{x} \pm s$		
	A组 (15~29岁, n=14)	B组 (30~45岁, n=14)	C组 (46~70岁, n=11)
GLS	-15.13±2.98	-13.18±2.40	-16.22±2.77 <sup>△</sup>
GCS	-20.13±2.81	-19.70±1.96	-19.72±2.15
GRS	39.22±8.19	35.41±7.88	43.36±9.99 <sup>△</sup>
基底段 LS	-10.38±3.96	-10.01±3.42	-12.60±3.14
中间段 LS	-16.76±4.94	-13.53±3.57	-19.70±4.71 <sup>△</sup>
心尖段 LS	-18.40±2.41	-16.16±1.87*	-18.70±3.73 <sup>△</sup>
基底段 CS	-17.41±3.14	-17.44±2.40	-17.68±3.01
中间段 CS	-21.29±2.52	-20.78±2.09	-22.68±2.40
心尖段 CS	-22.30±4.46	-22.38±3.25	-21.27±3.09
基底段 RS	50.49±8.11	47.19±8.83	54.99±17.84
中间段 RS	34.86±5.99	31.01±5.85	32.96±6.08
心尖段 RS	37.80±16.49	29.64±8.47	43.53±12.94 <sup>△</sup>
内膜下 GLS	-19.15±2.16	-17.41±2.09	-18.48±2.81
外膜下 GLS	-18.84±2.19	-16.94±1.98*	-17.92±2.67
内膜下 GCS	-22.64±4.03	-21.81±1.83	-24.23±2.74
外膜下 GCS	-18.09±3.15	-17.36±1.76	-19.30±2.01
内膜下 GRS	46.56±8.96	39.92±6.85	48.80±10.80 <sup>△</sup>
外膜下 GRS	32.92±6.17	28.89±4.47	33.75±6.49 <sup>△</sup>

\*P<0.05与A组相比;<sup>△</sup>P<0.05与B组相比。GLS:左室整体纵向应变;GCS:左室整体环向应变;GRS:左室整体径向应变;LS:纵向应变;CS:环向应变;RS:径向应变

表5 观察者内差异与观察者间差异分析

指标	观察者内部		观察者之间	
	ICC	95%CI	ICC	95%CI
GLS	0.959	0.883~0.986	0.924	0.789~0.974
GCS	0.967	0.905~0.989	0.961	0.887~0.987
GRS	0.977	0.932~0.992	0.952	0.863~0.984

ICC:组内相关系数;GLS:左室整体纵向应变;GCS:左室整体环向应变;GRS:左室整体径向应变

### 3 讨论

目前临床上评价心功能最常用的方法是基于超声心动图的LVEF,但超声心动图不仅受患者超声条件影响,且有左室几何形状假设的弊端。研究<sup>[1,7]</sup>表明,LVEF的评估不敏感,当患者LVEF降低时,心功能已有不可逆的损害。应变是评价心脏功能的新指标,反映固体在外力作用下形态上的改变,根据空间方向不同,心肌应变可分为纵向、径向和环向3种<sup>[1,8]</sup>。

CMR空间分辨率较高,其电影序列具有较高的心肌-血池对比度。基于CMR的电影序列图像的组织追踪技术可跟踪心动周期中的每帧图像上的心肌组织<sup>[5-6]</sup>,国内外多项研究<sup>[5-6,9-11]</sup>将其应用于

评价不同病理状态下心肌整体或节段收缩功能,证实该技术的临床应用价值。

由于心内膜下心肌位于冠状动脉循环的末端,对缺血和纤维化敏感<sup>[10]</sup>;动脉硬化和神经激素等因素对左室各层可能产生的影响不同,理论上心内膜下心肌收缩活动异常出现较外膜下心肌早<sup>[12-15]</sup>。组织追踪MR可分别跟踪左室内膜下与外膜下心肌运动,为研究多种心脏疾病心肌分层收缩及舒张功能改变提供新的途径。

本研究发现,心肌应变自基底段向心尖段递增,这不仅与左室运动以心尖为几何中心、各节段收缩期朝向心尖运动、舒张期背离心尖运动这一规律相符,且与既往基于超声心动图的多项研究<sup>[13-15]</sup>结果一致,基底段心肌应变低可能是由基底环受瓣

环牵拉导致;由于心尖部没有纤维瓣环结构的牵拉,因此形变较基底段大<sup>[13-15]</sup>。

本研究在对性别、年龄分组后,还发现各应变指标在性别间差异无统计学意义,这与既往结果<sup>[14]</sup>一致,说明应变体现的是心肌本身形变的能力,主要与心肌的病理生理状态有关。而本研究中C组部分指标较B组升高,可能与老年患者动脉粥样硬化导致的外周阻力升高有关。

本研究存在一定的局限性:(1)样本量较小,今后需加大样本量进一步分析;(2)由于技术所限,不能对左室基底段至心尖段内外膜下纵向应变进行分析;(3)没有与其他磁共振心肌应变技术(如心肌标记技术)进行对比。

综上所述,基于CMR电影序列的组织追踪技术评价健康人群左室应变,显示该技术具有较好的可重复性,左室内膜下、外膜下及整体心肌应变自基底段至心尖段递增,自心内膜下至心外膜下左室心肌应变递减,性别对左室应变无明显影响。

## 参考文献

- [1] 康 瑜. 斑点追踪显像监测隐匿性心功能不全及预测心脏再同步化治疗效果的临床和实验研究[D]. 上海:复旦大学, 2013.
- [2] HALAND T F, ALMAAS V M, HASSELBERG N E, et al. Strain echocardiography is related to fibrosis and ventricular arrhythmias in hypertrophic cardiomyopathy[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(6): 613-621.
- [3] SONG F Y, SHI J, GUO Y, et al. Assessment of biventricular systolic strain derived from the two-dimensional and three-dimensional speckle tracking echocardiography in lymphoma patients after anthracycline therapy [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2017, 33(6): 857-868.
- [4] RUIVO C, VILELA E M, LADEIRAS-LOPES R, et al. Myocardial deformation measures by cardiac magnetic resonance tissue tracking in myocarditis: relationship with systolic function and myocardial damage [J]. *Rev Port Cardiol*, 2019, 38(11): 767-776.
- [5] WAN K, SUN J, YANG D, et al. Left ventricular myocardial deformation on cine MR images: relationship to

severity of disease and prognosis in light-chain amyloidosis [J]. *Radiology*, 2018, 288(1): 73-80.

- [6] XU H Y, CHEN J, YANG Z G, et al. Early marker of regional left ventricular deformation in patients with hypertrophic cardiomyopathy evaluated by MRI tissue tracking; the effects of myocardial hypertrophy and fibrosis [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2017, 46(5): 1368-1376.
- [7] SONG F Y, SHI J, GUO Y, et al. Assessment of biventricular systolic strain derived from the two-dimensional and three-dimensional speckle tracking echocardiography in lymphoma patients after anthracycline therapy [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2017, 33(6): 857-868.
- [8] 李 政, 潘翠珍, 舒先红. 应用二维斑点追踪技术评价正常人左室整体及节段收缩功能[J]. *中国临床医学*, 2017, 24(1): 47-50.
- [9] PU C, HU X, YE Y, et al. Evaluation of myocardial deformation pattern of left ventricular noncompaction by cardiac magnetic resonance tissue tracking [J]. *Kardiol Pol*, 2020, 78(1): 71-74.
- [10] 任宇婧. 利用磁共振定量心肌三维应变的方法及临床应用 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2012, 20(4): 317-320.
- [11] TAO S, CIUFFO L A, LIMA J A C, et al. Quantifying left atrial structure and function using single-plane tissue-tracking cardiac magnetic resonance [J]. *Magn Reson Imaging*, 2017, 42(10): 130-138.
- [12] KIM D, SHIM C Y, HONG G R, et al. Differences in left ventricular functional adaptation to arterial stiffness and neurohormonal activation in patients with hypertension: a study with two-dimensional layer-specific speckle tracking echocardiography [J]. *Clin Hypertens*, 2017, 23(1): 21.
- [13] 薛衍敏, 潘翠珍, 李 政, 等. 分层二维斑点追踪显像技术评价糖尿病患者左室心肌各层收缩功能的变化 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2015, 24(12): 1024-1027.
- [14] 史 静, 潘翠珍, 舒先红, 等. 二维斑点追踪显像技术定量评价正常成年人左心室心肌分层应变 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2015, 23(5): 378-381.
- [15] BERCEANU M, MIREA O, DONOIU I, et al. Myocardial function assessed by multi-layered two-dimensional speckle tracking analysis in asymptomatic young subjects with diabetes mellitus type 1 [J]. *Cardiology*, 2020, 145(2): 80-87.

[本文编辑] 王 迪, 贾泽军