

二维斑点追踪技术及直接二维测量法 评价正常人心肌生物力学参数结果比较

陈琼瑶¹, 叶彩芬², 周绮平², 郑逸², 杨晓红², 王良玉²

[摘要] **目的:**探讨直接二维测量法(D2D)评价心肌应变及心功能的可行性。**方法:**分别应用D2D及二维斑点追踪技术(STI)测量60名正常人收缩期纵向应变(LS)及圆周应变(CS),比较两种方法测量的结果。**结果:**STI及D2D都表现为收缩期LS绝对值从基底段到心尖段逐步递增,CS基底段到心尖段逐步递减;STI及D2D测量结果心肌收缩期LS绝对值及CS绝对值与左心室射血分数(LVEF)即LS-LVEF和CS-LVEF均呈正相关,STI测量LS-LVEF、CS-LVEF的 r 分别是0.693和0.561, $P < 0.05$;D2D测量LS-LVEF和CS-LVEF的 r 分别是0.589和0.457, $P < 0.05$;D2D与STI两种方法LS-LVEF r 和CS-LVEF r 差异无统计学意义,D2D不能分开心室各室壁CS,仅能通过测量整体收缩舒张期内外膜周长变化间接计算整体CS,测量结果绝对值高于STI测量结果。D2D法检测室壁LS为下壁>后间隔>前间隔>后壁>前壁>侧壁,但差异无统计学意义($P > 0.05$);STI法各室壁LS为下壁>侧壁>前间隔>后壁>后间隔>前壁,但差异无统计学意义($P > 0.05$)。STI及D2D检测结果心内膜层心肌CS均高于心外膜层心肌($P < 0.05$),二尖瓣水平显著高于乳头肌及心尖段水平($P < 0.05$),D2D法测量结果绝对值高于STI法,但D2D法及STI法测量的LS-LVEF和CS-LVEF差异无统计学意义($P > 0.05$),说明D2D法测量代替STI法检测心肌应变方法可行,结果接近。**结论:**D2D测量结果与STI相关性高,代替STI法有一定的可行性和准确性,适用于仅有普通设备的基层医院。

[关键词] 直接二维测量法;二维斑点追踪技术;应变;心功能

[中图分类号] R 445.1

[文献标志码] A

DOI:10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2017.09.028

Application of speckle tracking technology and direct two-dimensional measurement in evaluating the normal myocardial biomechanical parameters

CHEN Qiong-yao¹, YE Cai-fen², ZHOU Qi-ping², ZHENG Yi², YANG Xiong-hong², WANG Liang-yu²

(1. Department of Ultrasound, The Shantou Chaoyang District People's Hospital, Shantou Guangdong 515100;

2. Department of Ultrasound, The Affiliated Shantou Hospital of Sun Yat-sen University, Shantou Guangdong 515031, China)

[Abstract] **Objective:**To explore the feasibility of direct two-dimensional(D2D) measurement in evaluating the myocardial strain and cardiac function. **Methods:**The systolic longitudinal strain(LS) and circumferential strain(CS) in 60 normal people were measured using the D2D and STI, respectively. The result between STI and D2D was compared. **Results:**The absolute value of LS and CS detected by STI and D2D gradually increased and decreased from the basal segment to the apical segment, respectively. The absolute value of LS and CS detected by STI and D2D were positive correlation with LS-LVEF and CS-LVEF. The correlation coefficients of LS-LVEF and CS-LVEF detected by STI were 0.693 and 0.561, respectively, the correlation coefficients of LS-LVEF and CS-LVEF detected by D2D were 0.589 and 0.457, respectively, and the differences of the correlation coefficients of LS-LVEF and CS-LVEF detected by two methods were not statistically significant($P > 0.05$). D2D could not separate the CS of ventricular walls, which could indirectly accounted by measuring the circumference changes of systolic diastolic heart inner and outer membrane. The absolute value of the measurement results of D2D was higher than that of STI. The LS detected by D2D in inferior wall, posterior septum, anterior septum, posterior wall, anterior wall and lateral wall gradually decreased, and the differences of those were not statistically significant($P > 0.05$). The LS detected by STI in inferior wall, lateral wall, anterior septum, posterior wall, posterior septum and anterior wall gradually decreased, and the differences of those were not statistically significant($P > 0.05$). The results of STI and D2D methods showed that the endocardial myocardial layers CS was higher than that in the epicardial layer($P < 0.05$), and the level of mitral valve

was significantly higher than that of papillary muscle and apical segment($P < 0.05$). The absolute value of D2D method was higher than that of STI method($P < 0.05$), but there was not significantly different in LS-LVEF and CS-LVEF between STI and D2D methods, which indicated that the D2D method instead of STI method was feasible in detecting myocardial strain, and the results of STI and D2D

[收稿日期] 2016-02-15

[基金项目] 广东省医学科研基金课题(A2010584)

[作者单位] 1. 广东省汕头市潮阳区人民医院 超声科, 515100; 2. 中山大学附属汕头医院 超声科, 广东 汕头 515031

[作者简介] 陈琼瑶(1978-), 女, 主治医师。

[通信作者] 王良玉, 硕士研究生导师, 主任医师. E-mail: 13902747408@139.com

methods were close. **Conclusions:** The correlation of D2D results with result of STI method is high. The STI method has certain feasibility and accuracy, which is suitable for primary hospital with ordinary equipment.

[**Key words**] direct two-dimensional measurement; two-dimensional speckle tracking technique; strain; cardiac function

近年来定量超声心动图发展迅速,心脏运动力学研究已由单纯左心室短轴、长轴方向运动和简单的容积测量射血分数评价心功能转向心室空间形变特征,包括左心室局部心肌运动的组织速度、加速度、位移、应变、应变率成像和心肌扭转或旋转等心肌生物力学参数,应变率显像比组织速度显像更优越^[1-2]。但应斑点追踪技术检测应变及应变率需要仪器设备要求很高,很多基层单位无法提供高端仪器设备,本文尝试应用直接二维测量法(D2D)测量应变,并与二维斑点追踪技术(STI)同步分析比较,探讨D2D法代替STI法的可行性及存在问题。现作报道。

1 资料与方法

1.1 研究对象 随机选取2015年我院门诊健康志愿者60名,其中男38名,女22名,年龄(34.51 ± 10.34)岁,血压收缩压为(112 ± 14.34) mmHg,舒张压为(71 ± 9.51) mmHg,心率(78.09 ± 9.32)次/分。排除冠心病、高血压、糖尿病、心肌病、严重瓣膜病及心律失常,心电图、胸部X线片及超声心动图检查无明显异常。

1.2 仪器与方法 Philips Sonos iE33型,配备经胸超声S3及S5超声探头,频率1.0~3.0 MHz。配备专业软件包Quantification Bundle即“定量分析软件包”,QLAB9.0软件可以进行TMQA-高级组织运动定量分析。

1.3 检查方法 受检者取左侧卧位,平静呼吸,连接心电图,进行常规测量,在普通M型及2D模式下常规二维超声测量后,选取清晰的左心室长轴观,心尖四腔观、五腔观、二腔观、三腔观,胸骨旁二尖瓣水平、乳头肌水平、近心尖部水平短轴观,调整清晰的前间隔、前壁、侧壁、后壁、下壁及后间隔收缩期、舒张期静态灰阶图像并储存供D2D测量。STI分析具体操作方法为进入高级组织运动定量模式(TMQA)插件,开启XRes功能优化图像进行图像的分析。用改良的Simpson's法测得左心室舒张末容积(EDV)、左心室收缩末容积(ESV)、每搏输出量(SV)和左心室射血分数(LVEF)。

1.4 心肌生物力学参数的测量

1.4.1 D2D法测量分析 选取清晰的胸骨旁短轴

观包括二尖瓣水平、乳头肌水平、近心尖部水平收缩及舒张期静态灰阶图像,测量收缩末期心内外膜周长(ECs和ICs)及舒张末期心内外膜周长(ECd和ICd),应变 $S = \Delta C / C_0 = (C - C_0) / C_0$, ΔC 为周长的变化量, C_0 为初始周长;D2D测量收缩末期前间隔、后间隔、下壁、后壁、侧壁、前壁长轴方向长度及舒张末期长轴方向长度,应变 $S = \Delta L / L_0 = (L - L_0) / L_0$, ΔL 为周长的变化量, L_0 为初始周长长度。

1.4.2 斑点追逐技术测量分析方法 选取清晰的左心室长轴观,心尖四腔观、五腔观、二腔观、三腔观,胸骨旁二尖瓣水平、乳头肌水平、近心尖部水平短轴观动态图像,进入TMQA插件,开启XRes功能优化图像。测量左心室壁各节段心肌收缩期平均纵向及应变率、平均速度。

1.5 统计学方法 采用 t (或 t')检验、方差分析及 q 检验和Pearson相关分析。

2 结果

2.1 D2D法及STI法测量左心室收缩期纵向应变比较 正常人D2D法及STI法测量结果均表现为收缩期纵向应变(LS)从基底段到心尖段逐步递增;STI及D2D测量结果心肌收缩期LS绝对值(收缩期长度应变值从大变小,增长为负值)与左心室射血分数(LVEF)都呈正相关,STI法相关系数(r)为0.693,D2D法 r 为0.589。D2D法各室壁LS为下壁>后间隔>前间隔>后壁>前壁>侧壁,但差异无统计学意义($P > 0.05$);STI法各室壁LS为下壁>侧壁>前间隔>后壁>后间隔>前壁,差异无统计学意义($P > 0.05$),D2D法测量结果绝对值低于STI法($P < 0.05$)。

2.2 D2D法及STI法测量短轴心内膜及心外膜收缩期圆周应变(CS)比较 正常人STI法测量左心室短轴心内膜及心外膜收缩期CS曲线为负向单峰曲线,收缩期由于左心室收缩时心肌纤维在切线方向的缩短(应变值从大变小,增长为负值);D2D不能分开心室各室壁CS,仅能通过测量收缩期心内外膜周长变化间接计算整体CS,测量结果绝对值高于STI测量结果($P < 0.05$)。

2.3 左心室壁心肌收缩期LS、CS与LVEF相关性 STI测量LS绝对值、CS绝对值与LVEF均有显著

表1 D2D 法及 STI 法测量左心室收缩期 LS 比较 ($n_i = 60; \bar{x} \pm s; \%$)

分组	基底段	中间段	心尖段	F	P	MS _{组内}
前间隔						
D2D	-19.01 ± 5.74	-21.16 ± 3.63 ^{**}	-25.85 ± 1.92 ^{***}	44.21	<0.01	16.604
STI	-24.66 ± 5.25	-25.97 ± 4.72	-27.61 ± 3.80 ^{**}	6.12	<0.01	21.427
t	5.63	6.26 [△]	3.20 [△]	—	—	—
P	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	—
后壁						
D2D	-18.86 ± 4.41	-22.99 ± 3.82 ^{**}	-26.73 ± 2.59 ^{***}	68.45	<0.01	13.583
STI	-22.11 ± 3.56	-27.55 ± 3.47 ^{**}	-28.34 ± 4.28 ^{**}	3 494.03	<0.01	14.344
t	55.99	6.84	2.49 [△]	—	—	—
P	<0.01	<0.01	<0.05	—	—	—
前壁						
D2D	-16.20 ± 4.01	-18.58 ± 2.17 ^{**}	-19.76 ± 2.35 ^{**}	22.50	<0.01	8.771
STI	-21.60 ± 5.10	-24.58 ± 4.70 ^{**}	-26.62 ± 3.84 ^{***}	18.26	<0.01	20.949
t	6.45	8.98 [△]	11.80 [△]	—	—	—
P	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	—
下壁						
D2D	-22.10 ± 3.05	-16.45 ± 1.60 ^{**}	-15.25 ± 1.65 ^{***}	165.14	<0.01	4.862
STI	-28.21 ± 3.14	-22.45 ± 3.37 ^{**}	-25.37 ± 4.28 ^{***}	37.77	<0.01	13.178
t	10.81	12.46 [△]	17.09 [△]	—	—	—
P	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	—
侧壁						
D2D	-13.04 ± 2.79	-18.91 ± 3.09 ^{**}	-26.67 ± 1.95 ^{***}	398.09	<0.01	7.045
STI	-25.61 ± 1.32	-22.68 ± 4.81 ^{**}	-26.51 ± 3.42 ^{##}	19.79	<0.01	12.160
t	31.55 [△]	5.11 [△]	0.31 [△]	—	—	—
P	<0.01	<0.01	>0.05	—	—	—
后间隔						
D2D	-20.01 ± 3.74	-19.28 ± 2.39	-25.19 ± 1.28 ^{***}	61.30	<0.01	7.113
STI	-20.11 ± 3.56	-25.25 ± 3.49 ^{**}	-26.27 ± 5.17 ^{***}	59.40	<0.01	17.194
t	0.15	10.93 [△]	4.48 [△]	—	—	—
P	>0.05	<0.01	<0.01	—	—	—

△示 t'值; q 检验:与基底段比较 **P<0.01;与中间段比较#P<0.05,###P<0.01

表2 D2D 法及 STI 法测量短轴心内膜及心外膜收缩期 CS 比较 ($n_i = 60; \bar{x} \pm s; \%$)

分组	基底段	中间段	心尖段	F	P	MS _{组内}
心内膜						
D2D	-30.45 ± 5.88	-21.97 ± 7.45 ^{**}	-10.20 ± 9.87 ^{***}	99.28	<0.01	62.498
STI	-20.42 ± 5.60	-17.58 ± 7.33 [*]	-11.24 ± 9.18 ^{***}	23.48	<0.01	56.454
t	9.57	3.25	0.60	—	—	—
P	<0.01	<0.01	>0.05	—	—	—
心外膜						
D2D	-16.36 ± 3.91	-10.86 ± 5.26 ^{**}	-7.31 ± 4.85 ^{***}	56.30	<0.01	22.159
STI	-15.31 ± 3.58	-14.28 ± 5.13	-11.03 ± 4.24 ^{***}	15.73	<0.01	19.037
t	1.53	3.61	4.47	—	—	—
P	>0.05	<0.01	<0.01	—	—	—

q 检验:与基底段比较 *P<0.05, **P<0.01;与中间段比较##P<0.01

相关性(r 分别是 0.693 和 0.561, $P < 0.05$); D2D 测量 LS 绝对值、CS 绝对值与 LVEF 均有显著相关性(r 分别是 0.589 和 0.457, $P < 0.05$); D2D 与 STI 两种方法 LS 与 LVEF r 值和 CS 与 LVEF r 值均无差别($P > 0.05$) (见表 3)。

表 3 左心室壁心肌收缩期平均 LS、CS 绝对值与 LVEF 相关系数(r)

分组	n	LS-LVEF	CS-LVEF
D2D	60	0.589	0.457
STI	60	0.693	0.561
u	—	0.95	0.75
P	—	> 0.05	> 0.05

2.4 D2D 法及 STI 法测量分别测量 LS 绝对值及 CS 绝对值相关分析 D2D 法与 STI 法测量的 LS、CS 绝对值均有显著相关性(r 分别为 0.672 和 0.663, $P < 0.05$), 两总体 r 无差别($u = 0.09$, $P > 0.05$), 说明 D2D 法测量代替 STI 法检测心肌应变方法可行, 结果接近。

3 讨论

传统二维超声心动图和 M 型超声心动图是目前临床上评价心肌运动功能最常用和简便的方法。二维超声心动图通过 17 节段室壁运动评分的方法半定量地对左心室心肌运动进行评价, 但其准确性在一定程度上依赖于观察者的经验, 对小面积的心肌运动异常难以发现, 也很难确定局部的心肌运动是主动收缩还是被动牵拉所致^[3]。STI 是通过超声定量分析软件在二维灰阶动态图像上定量检测心肌运动速度和应变的技术。由于斑点追踪技术与组织多普勒频移无关, 不受声束角度限制, 故通过 STI 检测心肌纵向、径向及圆周等多个方向上的应变, 可以准确地了解心肌的运动特性。二维应变超声心动图技术检测心肌运动包括 3 个空间方向: 纵向(心底-心尖方向)、径向(辐射状向心方向)与环向(以收缩“重心”为中心的圆周旋转方向)^[4]。心肌的应变、应变率是由心肌纤维舒缩所致, 反映的是心肌机械特性, 因此可作为评价局部心肌功能的指标。我们运用逐帧斑点追踪技术, 获取组织运动的速度、位移、应变、应变率角度等心肌力学参数。

本研究显示左心室长轴心肌各节段收缩期 LS 峰值从基底段到心尖段逐渐递增, 基底段最小, 心尖段最大, 我们认为原因可能为: (1) 心尖段室壁应力

最小, 所以心尖段心肌的形变最大; (2) 整个左心室大约由 30% 的环形肌纤维和 70% 的纵向肌纤维构成, 每条纵向肌纤维两端均附着于二尖瓣瓣环, 自瓣环向下走行至心尖部形成一扭转, 然后又回到瓣环, 因此左心室心底部心肌纤维以环向走行为主, 而心尖部以斜行走行纤维为主, 由此考虑心尖段纵向应变值比基底段及中间段高的原因可能与心尖段斜行纤维占优势有关^[5]。同时心尖段应变大于基底段应变更有利于将血流推向主动脉瓣口, 符合心脏血流动力学的特点。由于斑点追踪技术不受声束方向与室壁运动方向夹角的影响, 无角度依赖性, 在心尖段同样能追踪位移信号, 可以真实反映心尖段应变^[5]。

本研究斑点追踪技术测量结果显示正常人左心室壁各节段心肌收缩期平均应变与左心室收缩功能参数有较好的相关性: 收缩期 LS、CS 与 LVEF 间 r 分别为 -0.693、-0.457, 从中可见收缩期平均纵向应变与 LVEF 间 r 最大, 说明在左心室收缩过程中, 长轴方向的纵行心肌运动占主导地位^[6]。长轴方向上的心肌运动在左心室收缩中的重要作用进一步验证了心肌纤维带理论: 收缩期心室射血是由于降段心肌纤维收缩引起心室底部下降、心室整体缩短而产生, 而降段心肌纤维走行是以纵向为主^[7]。

D2D 直接依赖于图像的质量, 不需要任何复杂的软件技术, 只要在连接心电图后直接调整图像清晰度, 根据心电图时相, 移动光标测量二维图像室壁纵向长度以及短轴心内外膜下心肌周长, 通过计算室壁纵向长度以及短轴心内外膜下心肌周长的变化即为应变。目前国内外用此方法测量应变未见报道, 本研究也只是对这种方法做尝试。本研究结果不同节段收缩期基底段 LS 表现为下壁 $>$ 后间隔 $>$ 前间隔 $>$ 后壁 $>$ 前壁 $>$ 侧壁, 但结果差异无统计学意义, 结果与 STI 测值有不同。D2D 测量前壁、侧壁应变及应变率较 STI 测值低, 可能是运用 D2D 测量下壁、室间隔长度相对短而且线条较其他室壁直, 测量误差相对小, 而其他游离室壁长度较长, 且测量过程有弯度, 误差相对多。D2D 法测量结果显示收缩期 LS 与左心室收缩功能参数间有一定相关性, 左心室短轴观心内膜层心肌收缩期 CS 及均显著高于心外膜层心肌 ($P < 0.01$), 结果与 STI 一样。这种变化可能是左心室心肌收缩时, 心肌纤维的增厚、缩短以及旋转导致心内膜层心肌朝向心腔内运动, 此时心外膜层的心肌处于相对静止状态, 所以心内膜层

实质或空腔脏器管壁占位也具有肯定的价值,一次操作中,EUS-FNA 在实时超声监控下可对多个部位病灶进行,安全性高、并发症小,值得临床重视。

[参 考 文 献]

- [1] 刘戈,唐震,刘学刚,等. 肺鳞状细胞癌 251 例淋巴结转移规律分析[J]. 蚌埠医学院学报,2015,40(2):155.
- [2] 周传江,崔金敏,王运峰,等. 非小细胞肺癌淋巴结转移规律的研究[J]. 山西医药杂志,2012,41(1):63.
- [3] 占义军,童旭东,丁祥武,等. 内镜超声引导下细针穿刺活检对纵隔和腹腔淋巴结结核的诊断价值[J]. 胃肠病学,2015,20(2):85.
- [4] 丁祥武,骆忠华,吕飞,等. 内镜超声引导下细针抽吸术对食管旁占位的诊断价值[J]. 中华消化内镜杂志,2016,33(10):667.
- [5] SRINIVASAN R, BHUTANI MS, THOSANI N, *et al.* Clinical impact of EUS-FNA of mediastinal lymph nodes in patients with known or suspected lung cancer or mediastinal lymph nodes of unknown etiology[J]. *J Gastrointest Liver Dis*, 2012, 21(2):145.
- [6] 黄强,刘臣海,彭斌,等. 超声内镜引导下细针穿刺活检(EUS-FNA)在胰腺占位性病变中的诊断价值及安全性评估[J]. 肝胆外科杂志,2016,24(3):175.
- [7] 曾祥鹏,王凯旋,金震东,等. 胆胰疾病内镜超声介入治疗研究进展[J]. 中华消化内镜杂志,2016,33(7):498.
- [8] SONGÜR N, SONGÜR Y, BIRCAN S, *et al.* Comparison of 19-

and 22-gauge needles in EUS-guided fine needle aspiration in patients with mediastinal masses and lymph nodes[J]. *Turk J Gastroenterol*, 2011, 22(5):472.

- [9] 李凯述,李新军,姜淑娟,等. 快速现场细胞学评价的染色方法[J]. 中华结核和呼吸杂志,2015,38(6):472.
- [10] RONG L, KIDA M, YAMAUCHI H, *et al.* Factors affecting the diagnostic accuracy of endoscopic ultrasonography guided fine-needle aspiration (EUS-FNA) for upper gastrointestinal submucosal or extraluminal solid mass lesions[J]. *Dig Endosc*, 2012, 24(5):358.
- [11] 罗瑞,朱正志,李静,等. 颈部淋巴结肿大 180 例临床病理分析[J]. 蚌埠医学院学报,2014,39(4):484.
- [12] 王刚,凯撒尔·吾普尔,周旭东. 外科治疗 1168 例颈部淋巴结结核的 1 临床分析[J]. 临床肺科杂志,2012,17(1):86.
- [13] 童旭东,丁祥武,邱丽,等. 内镜超声引导下细针穿刺活检术对影像学拟诊肝脏恶性肿瘤的诊断价值[J]. 中华消化内镜杂志,2013,30(8):429.
- [14] 覃山羽,姜海行,李萍,等. 细胞块结合免疫组化在内镜超声引导下穿刺诊断胰腺实性占位中的应用价值[J]. 中华消化内镜杂志,2014,31(6):312.
- [15] 余保平,冯秋曲,丁祥武,等. 超声内镜引导下细针穿刺活检对胰腺占位病变的诊断价值[J]. 临床消化病杂志,2016,28(2):67.

(本文编辑 刘梦楠)

(上接第 1247 页)

心肌的运动幅度高于心外膜层,二者之间产生跨壁的位移和速度阶差。

理论上由于室间隔缺乏纵向心肌纤维且运动受到左右心室血流动力学影响,而游离壁心肌运动相对远离心肌纤维支架附着点,运动相对自由。

左心室短轴观心内膜层心肌收缩期 CS 高于心外膜层心肌,可能是左心室心肌收缩时,心肌纤维的增厚、缩短以及旋转导致心内膜层心肌朝向心腔内运动,此时心外膜层的心肌处于相对静止状态,所以心内膜层心肌的运动幅度高于心外膜层,二者之间产生跨壁的位移和速度阶差^[6];另外,在心脏的传导系统中,除窦房结位于右心房心外膜深部,其余的部分均分布在心内膜下层,传导过程内膜层心肌先于外膜层心肌,收缩时间相对增多,收缩产生的机械力也稍增多。

综上所述,本研究只是从方法学的角度将传统的方法与先进技术进行同步比较,我们认为 D2D 能通过直接测量左心室长轴、短轴方向收缩期心内膜、心外膜心肌周长与长轴方向心肌长度、短轴方向心肌厚度的变化,间接测量 CS、LS,测量结果接近于 SIT。D2D 使用传统技术,操作简单、快捷、明了,不

需要复杂的转换和运算,不需要昂贵高端仪器设备及专门技术处理软件,特别适应基层医院,可以进一步推广。

[参 考 文 献]

- [1] 张焯,李治安,杨娅,等. 二维应变超声心动图定量评价左心室整体和局部心肌应变的价值[J]. 中华超声影像学杂志,2007,16(3):564.
- [2] YOON AJ, BELLA JN. New options in noninvasive assessment of left ventricular torsion[J]. *Future Cardiol*, 2013, 5(1):51.
- [3] RÜSSEL IK, GÖTTE MJ, BRONZWAER JG, *et al.* Left ventricular torsion: an expanding role in the analysis of myocardial dysfunction[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012, 2(5):648.
- [4] NASIRAEI-MOGHADDAM A, GHARIB M. Evidence for the existence of a functional helical myocardial band[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2009, 296(1):127.
- [5] BALLESTER M, FERREIRA A, CARRERAS F. The myocardial band[J]. *Heart Fail Clin*, 2008, 4(3):261.
- [6] 杨颖,陈峰,张宝妮,等. 二维应变左心室整体应变与应变率的研究[J]. 中国医学影像技术,2006,22(7):1018.
- [7] AISSAOUI N, GUEROT E, COMBES A, *et al.* Two-Dimensional Strain Rate and Doppler Tissue Myocardial Velocities: Analysis by Echocardiography of Hemodynamic and Functional Changes of the Failed Left Ventricle during Different Degrees of Extracorporeal Life Support[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012, 3(14):50.

(本文编辑 刘璐)