

· 临床研究 ·

无创左室压力-应变环定量评估经皮冠状动脉介入治疗患者心肌做功情况

张鹏英 薛婷 陈允安 任斐 袁春苗 于明 赵静 张洁

摘要 **目的** 探讨无创左室压力-应变环(LV-PSL)定量评估冠状动脉粥样硬化性心脏病(CAD)患者经皮冠状动脉介入治疗(PCI)前后心肌做功的应用价值。**方法** 前瞻性选取在我院择期行PCI的CAD患者30例(病例组)和同期健康体检者30例(对照组),应用改良双平面Simpson法测量两组左室舒张末期容积(LVEDV)、左室收缩末期容积(LVESV)及左室射血分数(LVEF),于二维斑点追踪超声心动图(2D-STE)心肌自动功能成像模式下评估左室整体纵向应变(GLS),无创LV-PSL评估左室整体做功指数(GWI)、整体有效做功(GCW)、整体无效做功(GWW)和整体做功效率(GWE),比较对照组与病例组PCI术前、术后3d各参数差异;分析GWI、GCW、GWW、GWE与LVEF和GLS的相关性。**结果** 与对照组比较,病例组PCI术前、术后3d LVEDV、LVESV、GWW均明显升高,LVEF、GLS、GWI、GCW、GWE均明显降低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);与病例组PCI术前比较,术后3d GWW明显降低,GWE明显升高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),而LVEDV、LVESV、LVEF、GLS、GWI、GCW均无明显变化。GWI、GCW、GWW、GWE与LVEF和GLS均显著相关(均 $P=0.00$)。**结论** 无创LV-PSL技术可定量评估CAD患者PCI前后左室心肌做功,为准确评价CAD对心肌功能的影响,以及PCI术后短期内心肌功能的恢复效果提供了一种新方法。

关键词 左室压力-应变环;心肌做功;冠状动脉粥样硬化性心脏病;经皮冠状动脉介入治疗

[中图分类号]R445.1;R825.4

[文献标识码]A

Quantitative assessment of myocardial work in patients undergoing percutaneous coronary intervention by non-invasive left ventricular pressure-strain loop

ZHANG Pengying, XUE Ting, CHEN Yun'an, REN Fei, YUAN Chunmiao, YU Ming, ZHAO Jing, ZHANG Jie
Department of Ultrasound, the Affiliated Lianyungang Hospital of Xuzhou Medical University, Jiangsu 222000, China

ABSTRACT **Objective** To explore the application value of non-invasive left ventricular pressure-strain loop (LV-PSL) in quantitative assessment of myocardial work before and after percutaneous coronary intervention (PCI) in patients with coronary artery disease (CAD). **Methods** Thirty CAD patients (case group) who underwent PCI in our hospital and 30 healthy subjects (control group) were prospectively selected. The left ventricular end-diastolic volume (LVEDV), left ventricular end-systolic volume (LVESV) and left ventricular ejection fraction (LVEF) were calculated by modified biplane Simpson method. The left ventricular global longitudinal strain (GLS) was measured by the two-dimensional speckle tracking echocardiography (2D-STE) myocardial automated functional imaging. The left ventricular global myocardial work index (GWI), global myocardial constructive work (GCW), global myocardial wasted work (GWW) and global myocardial work efficiency (GWE) were assessed by non-invasive LV-PSL. The differences of those parameters were compared between the control group and the case group before and 3 d after surgery. And the correlations of GWI, GCW, GWW, GWE with LVEF and GLS were analyzed. **Results** Compared with the control group, the LVEDV, LVESV and GWW of the case group were significantly increased before

基金项目:连云港市卫生计生科技项目(201805);连云港市第一人民医院医疗技术扶持项目

作者单位:222000 江苏省连云港市,徐州医科大学附属连云港医院超声科(张鹏英、薛婷、陈允安、于明、赵静、张洁),心血管内科(任斐);连云港市第一人民医院灌南院区超声科(袁春苗)

通讯作者:张洁, Email: zj6100@163.com

and 3 d after PCI, and the LVEF, GLS, GWI, GCW and GWE were significantly decreased, and the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). And compared with the case group before PCI, GWW was significantly decreased and GWE was significantly increased 3 d after PCI, and the differences were statistically significant (both $P < 0.05$), while the LVEDV, LVESV, LVEF, GLS, GWI and GCW had no significant changes. GWI, GCW, GWW, GWE were significantly correlated with LVEF and GLS (all $P = 0.00$). **Conclusion** Non-invasive LV-PSL technology can be used to quantitatively evaluate left ventricular myocardial work in CAD patients before and after PCI, and provide a new method to accurately evaluate the effect of CAD on myocardial function and the recovery effect of myocardial function in the short term post-PCI.

KEY WORDS Left ventricular pressure-strain loop; Myocardial work; Coronary artery disease; Percutaneous coronary intervention

冠状动脉粥样硬化性心脏病 (coronary artery disease, CAD) 一直是全球非传染性疾病死亡的主要原因^[1]。经皮冠状动脉介入治疗 (percutaneous coronary intervention, PCI) 作为治疗 CAD 的重要手段, 能有效解除冠脉狭窄或闭塞, 使心肌恢复再灌注, 有效改善心肌收缩功能, 从而降低 CAD 患者心血管不良事件的发生率和死亡率^[2]。因此, 准确评估 CAD 患者心肌功能是判断 PCI 治疗效果及预后的关键。无创左室压力-应变环 (left ventricular pressure-strain loop, LV-PSL) 是在二维斑点追踪超声心动图 (two dimensional speckle tracking echocardiography, 2D-STE) 基础上发展的新技术, 通过结合无创动态左室压力构建压力-应变曲线来量化心肌做功, 避免了后负荷对心肌收缩力的影响, 能更敏感、准确地评估左室心肌收缩功能^[3-4]。既往研究^[5-6]表明, 无创 LV-PSL 定量评估的心肌做功测量值与心导管有创评估的测量值高度相关。本研究拟采用无创 LV-PSL 定量评估 CAD 患者 PCI 术前后的左室心肌做功, 旨在探讨 LV-PSL 评价 PCI 术后心肌功能早期恢复效果的可行性及临床应用价值。

资料与方法

一、研究对象

前瞻性选取 2019 年 11 月至 2020 年 5 月在我院心内科住院择期行 PCI 的 CAD 患者 30 例 (病例组), 男 21 例, 女 9 例, 年龄 43~71 岁, 平均 (59.67±7.27) 岁; 其中, 单支血管病变分布包括左前降支 (LAD) 14 例, 左回旋支 (LCX) 6 例, 右冠状动脉 (RCA) 10 例; 多支血管病变分布包括 LAD+LCX 2 例, LAD+RCA 2 例, LCX+RCA 1 例, LAD+第一对角支 1 例; 合并高血压者 17 例, 但均用药控制良好 (血压 < 140/90 mm Hg, 1 mm Hg = 0.133 kPa)。纳入标准: ①窦性心律; ②行冠状动脉造影证实至少有 1 支冠状动脉狭窄程度 ≥ 75%, 并成功施行 PCI 治疗。排除标准: ①左室流出道梗阻或肥厚型心肌病; ②主动脉瓣明显狭窄或其他严重瓣膜疾病;

③起搏器植入或心律不齐; ④有陈旧性心肌梗死或曾经接受 PCI 者; ⑤图像质量不佳者。

另选同期我院体检的健康人群 30 例作为对照组, 男 19 例, 女 11 例, 年龄 42~69 岁, 平均 (57.90±7.53) 岁。均无心血管疾病和其他器质性病变。本研究经我院医学伦理委员会批准, 所有研究对象均签署知情同意书。

二、仪器与方法

1. 仪器: 使用 GE Vivid E 95 彩色多普勒超声诊断仪, M5S 探头, 频率 1.5~4.5 MHz; 配备 Echo PAC 203 工作站。

2. 图像采集: 病例组 PCI 术前和术后 3 d、对照组体检时 (仅采集一次) 行经胸超声心动图检查, 同步连接心电图, 嘱平静呼吸, 适当调节深度、宽度、增益及角度, 确保内外膜心肌显示清晰且完整, 二维图像平均帧频 (57±8) 帧/s, 有肺气干扰者嘱呼气末屏气。在二维显像模式下, 采用美国超声心动图学会推荐的改良双平面 Simpson 法测量左室舒张末期容积 (LVEDV)、左室收缩末期容积 (LVESV) 及左室射血分数 (LVEF); 同时采集心尖四腔心、三腔心和两腔心切面二维动态图像, 记录并存储 3 个以上心动周期, 导入硬盘以便脱机后处理分析。

3. 图像分析: 将受检者图像导入 Echo PAC 203 工作站后, 选择心肌自动功能成像 (AFI) 分析模式, 系统可自动识别上述 3 个切面动态图像, 并选择图像质量最佳的心动周期进行心肌运动轨迹的追踪, 如果追踪有偏差, 可手动调整感兴趣区的位置和大小, 以提供整个心动周期内最佳斑点信号的追踪。在心尖三腔心切面完成追踪后分析并确认主动脉瓣关闭时间, 再依次完成其他切面的分析, 最终自动生成 17 节段牛眼图, 系统根据各节段收缩期纵向应变峰值加权平均值得到左室整体纵向应变 (GLS), 统计结果以绝对值表示。然后选择 Myocardial Work 分析模式, 输入受检者血压后点击 Advanced, 系统自动分析并获得 LV-PSL

和心肌做功参数,点击牛眼图单个节段即可显示单个节段LV-PSL。心肌做功参数包括:①左室整体做功指数(GWI),即LV-PSL二尖瓣关闭到二尖瓣开放的总做功,即LV-PSL内的面积;②整体有效做功(GCW),即收缩期心肌缩短和等容舒张期心肌延长所做的功,有利于左室射血;③整体无效做功(GWW),即收缩期心肌延长和等容舒张期心肌缩短所做的功,不利于左室射血;④整体做功效率(GWE),即GCW/(GCW+GWW)×100%,即一个心动周期内做功的效率。本研究所有受检者图像均由接受过规范化培训的超声医师采集,所有图像分析均由同一对造影结果和临床资料不知情的超声医师完成。所有参数均重复测量3次取平均值。

4. 重复性检验:在病例组中随机抽取10例,由两名互不知情的经过规范化培训的超声医师评估GLS及心肌做功参数,行组间重复性检验;其中一名超声医师1d后再次评估GLS及心肌做功参数,行组内重复性检验。

三、统计学处理

应用SPSS 23.0统计软件,服从正态分布的连续变量以 $\bar{x}\pm s$ 表示,符合正态分布且方差齐时,两组比较行独立样本 t 检验;多组比较采用单因素方差分析,两两比较行LSD- t 检验;符合正态分布但方差不齐时,多组比较行Kruskal-Wallis检验,两两比较行Mann-Whitney U 检验。相关性分析采用Pearson相关分析法。GLS及心肌做功参数组内和组间的重复性检验采用相关系数比较。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、两组一般临床资料比较

两组年龄、性别、心率、体表面积、血压(收缩压和

舒张压)比较差异均无统计学意义。见表1。

表1 两组一般资料比较($\bar{x}\pm s$)

组别	男女 (例)	年龄 (岁)	体表面积 (m ²)	心率 (次/min)	收缩压 (mm Hg)	舒张压 (mm Hg)
对照组(30)	19/11	57.90±7.53	1.76±0.07	69.97±9.90	122.10±10.68	73.37±8.43
病例组(30)	21/9	59.67±7.27	1.80±0.08	71.73±5.79	126.47±10.08	74.33±8.19
t 值	0.30	-0.93	-1.88	-0.84	-1.63	-0.45
P 值	0.58	0.36	0.07	0.40	0.11	0.65

1 mm Hg=0.133 kPa

二、两组常规超声心动图参数比较

病例组术前、术后3 d LVEDV、LVESV均显著增大,LVEF均显著降低,与对照组比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);病例组PCI术后3 d LVEDV、LVESV、LVEF与术前比较差异均无统计学意义。见表2。

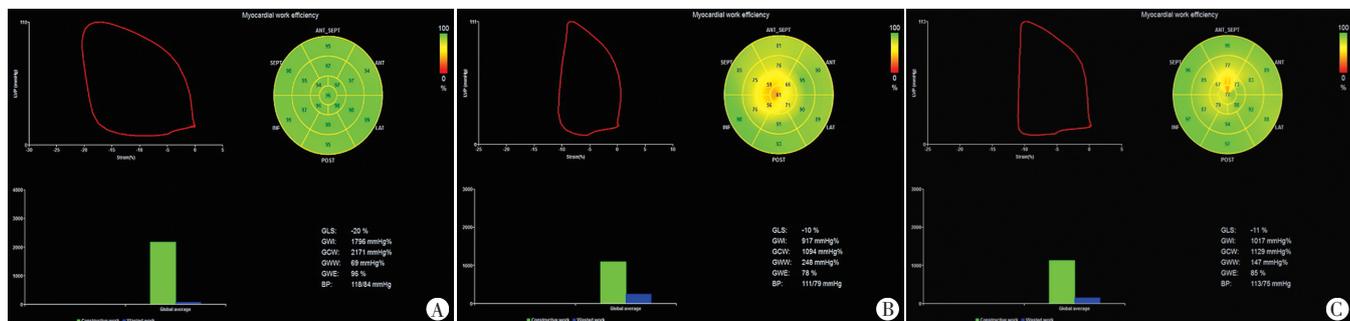
表2 两组常规超声心动图参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	LVESV(ml)	LVEDV(ml)	LVEF(%)
对照组	34.40±7.99	90.29±18.21	61.89±4.25
病例组			
术前	49.60±13.83*	102.27±19.38*	51.96±7.32*
术后3 d	47.80±13.34*	100.18±18.23*	52.64±7.41*
F 值	14.36	3.55	21.92
P 值	0.00	0.03	0.00

与对照组比较,* $P<0.05$ 。LVESV:左室收缩末期内径;LVEDV:左室舒张末期容积;LVEF:左室射血分数

三、两组心肌做功参数及GLS比较

病例组术前、术后3 d GLS、GWI、GCW、GWE均显著降低,GWW显著升高,与对照组比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。与PCI术前比较,病例组术后3 d GWI显著降低($P<0.05$),但仍高于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);GWE显著升高($P<0.05$),但仍低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);术后3 d GLS、GWI、GCW均较术前有所升高,但差异均无统计学意义。见图1和表3。



A: 对照组, GLS: -20%、GWI: 1796 mm Hg%、GCW: 2171 mm Hg%、GWW: 69 mm Hg%、GWE: 96%; B: 病例组术前, GLS: -10%、GWI: 917 mm Hg%、GCW: 1094 mm Hg%、GWW: 248 mm Hg%、GWE: 78%; C: 病例组术后3 d, GLS: -11%、GWI: 1017 mm Hg%、GCW: 1129 mm Hg%、GWW: 147 mm Hg%、GWE: 85%

图1 对照组及病例组同一患者PCI术前、术后3 d无创LV-PSL图

表3 两组左室心肌做功参数及 GLS 比较($\bar{x}\pm s$)

组别	心肌做功参数				GLS (%)
	GWI(mm Hg%)	GCW(mm Hg%)	GWW(mm Hg%)	GWE(%)	
对照组	1883.90±294.57	2200.07±308.82	87.57±33.50	95.50±1.74	20.02±2.23
病例组					
术前	1472.00±359.00*	1801.27±391.13*	240.73±101.35*	86.40±6.26*	14.85±3.58*
术后 3 d	1510.03±389.48*	1814.90±428.78*	173.93±85.39#	89.63±5.24#	15.52±3.28*
F/Z 值	12.70	10.68	45.80	49.78	24.89
P 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

与对照组比较,* $P<0.05$;与病例组术前比较,# $P<0.05$ 。GWI:整体做功指数;GCW:整体有效做功;GWW:整体无效做功;GWE:整体做功效率;GLS:整体纵向应变。1 mm Hg=0.133 kPa

四、左室心肌做功参数与 LVEF 和 GLS 的相关性分析

GWI、GCW、GWE 与 LVEF 均呈正相关($r=0.69$ 、 0.66 、 0.62 , 均 $P=0.00$), GWW 与 LVEF 呈负相关($r=-0.53$, $P=0.00$)。GWI、GCW、GWE 与 GLS 均呈正相关($r=0.89$ 、 0.85 、 0.80 , 均 $P=0.00$), GWW 与 GLS 呈负相关($r=0.61$, $P=0.00$)。见表 4。

表4 左室心肌做功参数与 LVEF 和 GLS 的相关性分析

心肌做功参数	LVEF		GLS	
	r 值	P 值	r 值	P 值
GWI	0.69	0.00	0.89	0.00
GCW	0.66	0.00	0.85	0.00
GWW	-0.53	0.00	-0.61	0.00
GWE	0.62	0.00	0.80	0.00

LVEF:左室射血分数;GLS:整体纵向应变

五、重复性检验

GLS、GWI、GCW、GWW、GWE 观察者组间相关系数为 0.93、0.93、0.94、0.92、0.94, 观察者组内相关系数为 0.93、0.92、0.93、0.94、0.95。提示 2D-STE 分析的 GLS 和无创 LV-PSL 评估的左室心肌做功参数均具有良好的重复性。

讨 论

CAD 患者 PCI 血运重建术后, 早期准确评估左室心肌功能是判断 PCI 疗效及预后的关键。LVEF 作为评估左室整体收缩功能最常用的指标, 受几何假设和负荷依赖的限制, 其准确性欠佳^[2]。2D-STE 作为研究心肌学的有效工具, 能早期识别心肌亚临床功能障碍, 但是对后负荷变化高度敏感, 在血流动力学条件发生改变时可能存在一定局限性^[7]。研究^[3,8]表明, 在心肌缺血时, 收缩功能的改变不仅取决于心肌的收缩能力, 还取决于前、后负荷的变化, 后负荷升高可导致收缩期缺血节段心肌缩短进一步减少, 显著影响 GLS

测量的准确性。无创 LV-PSL 是在 2D-STE 基础上发展而来的新技术, 同时结合了无创测量的左室压力与 2D-STE 技术测量的应变指标, 避免了 LVEF 和 GLS 的负荷依赖对心肌收缩力的影响, 重复性好, 能更敏感、准确地评估左室心肌收缩功能^[4,9-10]。研究^[5-6]表明, 无创 LV-PSL 评估的心肌做功与 PET 显示的心肌糖代谢显著相关, 同时还可提供局部和整体心肌做功、残余心肌活力和心肌收缩力等多种信息。本研究应用无创 LV-PSL 对 CAD 患者 PCI 术前后心肌做功行综合定量评估, 旨在探讨该技术评估 CAD 患者 PCI 术前后左室心肌功能的临床应用价值。

在 CAD 患者中, 冠状动脉显著狭窄或闭塞, 引起心肌缺血、缺氧或坏死, 从而导致心肌收缩力下降, 进一步发展出现心肌梗死、室壁运动异常和心室重构, 最终演变为整体收缩功能障碍。本研究结果显示, 病例组 LVEDV、LVESV 均较对照组显著升高(均 $P<0.05$), 表明左室出现重构; LVEF、GLS 均显著降低(均 $P<0.05$), 提示心肌严重缺血、缺氧或坏死, 造成心肌运动和形变的能力下降, 从而导致整体收缩功能降低。PCI 术后 3 d LVEDV、LVESV 均较术前有所降低, LVEF、GLS 均有所升高, 但差异均无统计学意义, 提示即使 CAD 患者成功施行 PCI 血运重建术后, 部分术前出现缺血的心肌在短期内仍无法明显恢复收缩功能; 而部分发生室壁运动异常的节段由于长期灌注不足导致心肌细胞不可逆损伤, 可能出现收缩功能的长期受损。

本研究对照组心肌收缩功能正常且各节段均能同步性收缩, 因此不利于左室射血所做的功较少, 即 GWW 较低, 又因 $GWE=GCW/(GCW+GWW)\times 100\%$, 故 GWE 较高, 与 Manganaro 等^[11]在心肌做功正常值的研究结果相似。本研究发现, 病例组左室 GWI、GCW 和 GWE 均较对照组显著降低(均 $P<0.05$), 与 Edwards 等^[10]研究结果一致, GWI 和 GCW 显著降低可反映 CAD 患者心肌细胞供血减少导致能量代谢减少的病理状态, 此情况可发生在出现室壁运动异常和 LVEF 降低之前。不同的是, 本研究 CAD 患者 GWW 显著升高, 提示严重狭窄的冠状动脉所供应的心肌细胞发生冬眠或坏死, 从而出现心肌收缩不同步, 导致收缩期心肌延长和等容舒张期心肌缩短所做的功显著增加, 即 GWW 增加, 射血效率下降, 因此心肌产生纵向形变所做“功”的效率降低, 即 GWE 降低^[10]。

同时本研究发现, 病例组 PCI 术后 3 d GWW 显著降低, GWE 显著升高, 与术前比较差异均有统计学意

义(均 $P<0.05$);提示PCI术后短期内心肌功能迅速改善,其原因可能为PCI术后短期内部分可逆性损伤心肌恢复再灌注,使心肌收缩不同步较早得到改善,因而GWW降低,GWE升高,表明PCI血运重建术疗效较显著。而GLS和LVEF无明显变化,表明LV-PSL能更早检测出PCI术后心肌功能的改善,而常规超声心动图和2D-STE对心肌功能的轻微变化不敏感^[10]。病例组PCI术后3 d GWW、GWE与对照组比较差异仍有统计学意义(均 $P<0.05$),可能与部分心肌细胞做功能力的恢复需要更长时间或心肌细胞已经发生不可逆损伤有关,这将会在以后的研究中进一步探讨。本研究还发现心肌做功参数与LVEF和GLS均高度相关,表明心肌做功可用于收缩功能的评估,与崔存英等^[12]研究结果相似。

本研究局限性:①纳入的病例数较少且随访时间较短,未根据心功能分级、冠状动脉狭窄程度和狭窄相关动脉进行分组比较,也未长期随访观察心肌做功的恢复效果和心血管不良事件的发生情况,后续研究有待进一步扩大样本量、细化分组、延长随访时间;②使用肱动脉压力代替左室压力并不精准,当患者患有肱动脉疾病时,测量的肱动脉压力可能并不真实;③无创LV-PSL是一种基于2D-STE的新技术,同样受图像质量的限制,且依赖于供应商的测量值,而目前该软件仅由GE一家供应商提供,其数据的精准性尚有待进一步研究。

综上所述,CAD患者成功施行PCI术后短期内左室心肌功能得到显著改善。应用无创LV-PSL更全面、真实地反映CAD患者PCI术前后心肌功能,为临床准确评估PCI术后短期疗效提供了一种新的无创方法。

参考文献

- [1] Wong MC, Zhang DX, Wang HH. Rapid emergence of atherosclerosis in Asia: a systematic review of coronary atherosclerotic heart disease epidemiology and implications for prevention and control strategies [J]. *Curr Opin Lipidol*, 2015, 26(4): 257-269.
- [2] Dalen JE, Alpert JS, Goldberg RJ, et al. The epidemic of the 20(th) century: coronary heart disease [J]. *Am J Med*, 2014, 127(9): 807-812.
- [3] Boe E, Skulstad H, Smiseth OA. Myocardial work by echocardiography: a novel method ready for clinical testing [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(1): 18-20.
- [4] Chan J, Edwards N, Khandheria BK, et al. A new approach to assess myocardial work by non-invasive left ventricular pressure-strain relations in hypertension and dilated cardiomyopathy [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(1): 31-39.
- [5] Russell K, Eriksen M, Aaberge L, et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work [J]. *Eur Heart J*, 2012, 33(6): 724-733.
- [6] Hubert A, Le Rolle V, Leclercq C, et al. Estimation of myocardial work from pressure-strain loops analysis: an experimental evaluation [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19(12): 1372-1379.
- [7] Marwick TH, Gillebert TC, Aurigemma G, et al. Recommendations on the use of echocardiography in adult hypertension: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) and the American Society of Echocardiography (ASE) [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(7): 727-754.
- [8] Boe E, Russell K, Eek C, et al. Non-invasive myocardial work index identifies acute coronary occlusion in patients with non-ST-segment elevation-acute coronary syndrome [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16(11): 1247-1255.
- [9] Mansour MJ, Aljaroudi W, Mansour L, et al. Value of myocardial work for assessment of myocardial adaptation to increased afterload in patients with high blood pressure at peak exercise [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(9): 1647-1656.
- [10] Edwards N, Scalia GM, Shiino K, et al. Global myocardial work is superior to global longitudinal strain to predict significant coronary artery disease in patients with normal left ventricular function and wall motion [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(8): 947-957.
- [11] Manganaro R, Marchetta S, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal non-invasive myocardial work indices: results from the EACVI NORRE study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(5): 582-590.
- [12] 崔存英, 李欣, 李亚南, 等. 超声心动图左室压力-应变环对冠脉搭桥术患者心肌做功的定量研究 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2019, 28(12): 1025-1030.

(收稿日期: 2020-07-07)