

左室压力-应变环技术评估左室射血分数保留的慢性主动脉瓣关闭不全患者心肌功能

双文娟 陈 勇

摘要 **目的** 应用左室压力-应变环技术评估左室射血分数(LVEF)保留的慢性主动脉瓣关闭不全(CAR)患者主动脉瓣置换或修复(AVR)术前术后心肌功能,探讨其临床应用价值。**方法** 选取扬州大学附属苏北人民医院确诊为中重度CAR并行AVR治疗的LVEF保留患者52例(CAR组),以及同期健康成人40例为健康对照组,检测两组左室整体纵向应变(GLS),并应用左室压力-应变环技术获取无创心肌做功参数,包括整体做功指数(GWI)、整体有效功(GCW)、整体无效功(GWW)、整体做功效率(GWE);比较CAR组术前术后GLS及无创心肌做功参数的差异。分析无创心肌做功参数与GLS、LVEF的相关性。根据术后GLS、GWI损伤情况将CAR患者进一步分为术后GLS及GWI均保留患者15例(I组)、术后GLS损伤而GWI保留患者23例(II组)、术后GLS及GWI均损伤患者14例(III组),比较各亚组超声心动图检查结果的差异。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析GWI预测左室重构的诊断效能。评估观察者内和观察者间测量无创心肌做功参数的一致性。**结果** CAR组术前LVEF、GLS、GWI、GCW、GWW、GWE与健康对照组比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);CAR组术后GLS、GWI、GCW、GWE均较术前减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。相关性分析显示,GWI、GCW与GLS分别呈高度及中度相关($r=0.71, 0.67$, 均 $P<0.05$),与LVEF呈中度相关($r=0.46, 0.43$, 均 $P<0.05$);GWE与GLS、LVEF分别呈中度及高度相关($r=0.63, 0.72$, 均 $P<0.05$)。术后CAR患者各亚组LVEF、GLS、GWI、GCW、GWW、GWE比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。ROC曲线分析显示,取GWI截断值为1280 mm Hg%时,其预测左室重构的曲线下面积为0.9466,灵敏度为89%,特异度为74%。一致性分析显示观察者内和观察者间测量GWI、GCW、GWW、GWE的组内相关系数分别为0.98、0.95、0.94、0.97和0.97、0.92、0.90、0.96,一致性均良好。**结论** 左室压力-应变环技术可有效评估LVEF保留的CAR患者心肌力学和能量学改变,并反映其术后左室逆重构过程,具有较好的临床应用价值。

关键词 超声心动描记术;压力-应变环;心肌做功;主动脉瓣关闭不全;左室重构;主动脉瓣手术
[中图分类号]R540.45 [文献标识码]A

Evaluation of left ventricular pressure-strain loop in myocardial function in chronic aortic valve regurgitation with preserved left ventricular ejection fraction

SHUANG Wenjuan, CHEN Yong

Yangzhou University Medical College, Jiangsu 225001, China

ABSTRACT **Objective** To evaluate the changes of myocardial function in patients with aortic valve regurgitation (CAR) with preserved left ventricular ejection fraction (LVEF) before and after aortic valve replacement or repair (AVR) by left ventricular pressure-strain loop, and to explore its clinical application value. **Methods** A total of 52 patients with moderate and severe CAR who underwent AVR were selected from Subei People's Hospital Affiliated to Yangzhou University, and 40 healthy adults during the same period were selected as control group. Global longitudinal strain (GLS) was measured in both groups, and non-invasive myocardial work parameters were obtained by left ventricular pressure-strain loop, including global work index (GWI), global constructive work (GCW), global wasted work (GWW), and global work efficiency (GWE). The Changes of GLS

and non-invasive myocardial work parameters were compared before and after AVR in the CAR group. The correlation between non-invasive myocardial work parameters and GLS, LVEF was analyzed. According to the postoperative GLS and GWI injury, the CAR patients were further divided into three subgroups: patients with preserved GLS and GWI (group I, 15 cases), patients with GLS injury and preserved GWI (group II, 23 cases), and patients with both GLS and GWI injury (group III, 14 cases). The differences of echocardiographic findings among the subgroups were compared. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to evaluate the diagnostic performance of GWI in predicting left ventricular remodeling. The consistency of measurements of non-invasive myocardial work parameters intra- and inter- observers were assessed. **Results** Before AVR, the CAR group showed significant differences in LVEF, GLS, GWI, and GCW, GWW, GWE compared with the control group (all $P < 0.05$). After AVR, GLS, GWI, GCW and GWE were significantly decreased compared with the results before AVR (all $P < 0.05$). Correlation analysis showed that GWI, GCW were highly and moderately correlated with correlated GLS ($r = 0.71, 0.67$, both $P < 0.001$), and moderately correlated with LVEF ($r = 0.46, 0.43$, both $P < 0.05$). GWE was moderately and highly correlated with GLS and LVEF ($r = 0.63, 0.72$, both $P < 0.05$). There were significant differences in LVEF, GLS, GWI, GCW, GWW, GWE among the subgroups (all $P < 0.05$). ROC curve analysis showed that the GWI cutoff value of 1280 mm Hg% had an area under the curve of 0.9466 ($P < 0.01$), with a sensitivity of 89% and specificity of 74% for predicting left ventricular remodeling. Consistency analysis showed good intra-observer and inter-observer agreement for GWI, GCW, GWW and GWE (intra-class correlation coefficients were 0.98, 0.95, 0.94, 0.97, and inter-class correlation coefficients were 0.97, 0.92, 0.90, 0.96, respectively). **Conclusion** Left ventricular pressure-strain loop can effectively evaluate myocardial mechanics and energetics changes in CAR patients with preserved LVEF, and reflect the process of left ventricular reverse remodeling after AVR. It has good clinical application value.

KEY WORDS Echocardiography; Pressure-strain loop; Myocardial work; Aortic valve regurgitation; Left ventricular remodeling; Aortic valve surgery

慢性主动脉瓣关闭不全(chronic aortic regurgitation, CAR)进展隐匿,由于机体的代偿机制,患者可以长期无明显临床症状且保留左室射血分数(LVEF),心肌出现进行性损伤并引起左室重构,临床较难发现^[1]。然而,一旦出现左室明显扩大或进展为左室收缩功能障碍后,患者死亡率明显升高,预后不佳^[2]。2020年美国心脏病学会/美国心脏协会瓣膜性心脏病患者管理指南^[3]建议:对于有症状的重度主动脉瓣反流(aortic regurgitation, AR)的D期患者,应行主动脉瓣置换或修复(aortic valve replacement or repair, AVR);对于无症状的重度AR伴左室收缩功能障碍的C2期患者,若无其他导致左室收缩功能障碍的依据,推荐行AVR。但另有研究^[4]发现,无症状的CAR患者AVR的术中死亡率和术后发病率非常低,而术前有症状的CAR患者手术风险相对较高,AR程度加重及左室重构均会增加手术风险,术前未经干预的中重度AR患者年度死亡率较高^[5]。提示在出现明显临床症状或左室重构前进行手术治疗可能更适用于CAR患者。近年来,多项研究^[2,6]提出可以将左室整体纵向应变(GLS)作为反映心肌损伤的敏感参数,但由于其未考虑后负荷的影响,临床应用有一定局限。研究^[7-8]发现,无创心肌做功可较GLS更全面地反映LVEF保留的CAR患者左

室心肌力学和能量学的改变,有助于进一步了解AVR术后左室逆重构过程,改善患者预后情况。本研究应用左室压力-应变环技术评估LVEF保留的CAR患者AVR术前术后心肌功能的改变,旨在探讨其临床应用价值。

资料与方法

一、研究对象

选取2019年4月至2021年5月于扬州大学附属苏北人民医院行AVR的LVEF保留(LVEF>50%)的中重度CAR患者52例(CAR组),男31例,女21例,年龄40~75岁,平均(58±8)岁。排除标准:①阻塞性冠状动脉疾病、混合性主动脉瓣疾病、伴有中重度二尖瓣关闭不全、急性心内膜炎和主动脉夹层、既往曾接受心脏手术者;②无法完成斑点追踪超声心动图分析或术前、术后随访超声心动图时无法进行无创血压测量者。另选同期健康成人40例为健康对照组,男24例,女16例,年龄32~62岁,平均(46±7)岁。两组一般资料比较差异均无统计学意义。手术治疗的决定基于心脏病专家和心胸外科医师与患者就风险和益处进行讨论后达成共识,本研究经扬州大学附属苏北人民医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. 超声心动图检查:使用GE Vivid E 95彩色多普勒超声诊断仪, M5S探头, 频率1.7~3.4 MHz, 帧频40~80 Hz/s; 配备EchoPAC PC SW-Only工作站。受检者取左侧卧位, 连接同步心电图, 所有切面采集均参照美国超声心动图学会的建议^[9], 于胸骨旁左室长轴切面测量左室舒张末期内径(LVEDD)、左室收缩末期内径(LVESD), 应用双平面Simpson法测量左室舒张末期容积(LVEDV)、左室收缩末期容积(LVESV)、LVEF; 于心尖五腔心切面采集主动脉瓣多普勒血流频谱。于受检者平静呼吸状态下连续采集至少5个心动周期的左室心尖三腔心、四腔心、两腔心切面二维动态图像。记录患者上臂袖带测得的实时血压, 所有图像储存至硬盘。将图像资料导入EchoPAC PC SW-Only工作站, 自动分析并获得GLS, 应用左室-压力应变环技术获得无创心肌做功参数, 包括整体做功指数(GWI)、整体有效功(GCW)、整体无效功(GWW)、整体做功效率(GWE)。其中CAR组超声心动图采集时间为AVR术前及术后2~12个月(每3个月复查1次, 取平均值)。上述操作均由两名经验丰富的超声医师完成, 所有参数均重复测量3次取平均值。比较术前CAR组与健康对照组, 以及CAR组术前术后各参数的差异。

2. 根据术后GLS、GWI有无损伤(损伤定义为: 男性GLS<16.7%, 女性GLS<17.8%; 男性GWI<1270 mm Hg%, 女性GWI<1310 mm Hg%)将CAR患者进一步分为GLS及GWI均保留患者15例(I组)、GLS损伤而GWI保留患者23例(II组)、GLS及GWI均损伤患者14例(III组), 比较各亚组超声心动图检查结果的差异。将LVEDV减少>20%, LVESV减少>15%定义为左室逆重构^[10]。

3. 一致性分析: 随机抽取10例CAR患者, 先由同一超声医师测量并分析无创心肌做功参数, 间隔1周

后使用相同方法再次测量并分析, 分析观察者内测值的一致性; 由另一超声医师使用相同方法测量并分析CAR患者的无创心肌做功参数, 分析观察者间测值的一致性。

三、统计学处理

应用SPSS 25.0统计软件, 先行方差齐性与正态性检验, 服从正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 多组比较采用单因素方差检验, 两组比较采用独立样本 t 检验; 不服从正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 采用非参数秩和检验; 计数资料以例或率表示, 采用 χ^2 检验。采用Spearman相关分析法分析无创心肌做功参数与GLS、LVEF的相关性, r 的绝对值 $\geq 0.70 \sim 0.99$ 为高度相关, $\geq 0.40 \sim 0.70$ 为中度相关, $0.10 \sim 0.40$ 为低度相关, < 0.10 为微弱相关或无相关。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析GWI预测左室重构的诊断效能。观察者内和观察者间测量无创心肌做功参数的一致性采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)进行评价。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、CAR组术前与健康对照组超声心动图检查结果比较

CAR组术前LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV、GWI、GCW、GWW、GWE均高于健康对照组, LVEF和GLS均低于健康对照组, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。见表1。

二、CAR组术前术后超声心动图检查结果比较

CAR组术后LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV、GLS、GWI、GCW及GWE均较术前显著减低, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$); LVEF和GWW比较差异均无统计学意义。见表2和图1。

三、相关性分析

相关性分析显示, GWI、GCW与GLS分别呈高度及中度相关($r = 0.71, 0.67$, 均 $P < 0.05$), 与LVEF呈中度

表1 CAR组术前与健康对照组超声心动图检查结果比较($\bar{x} \pm s$)

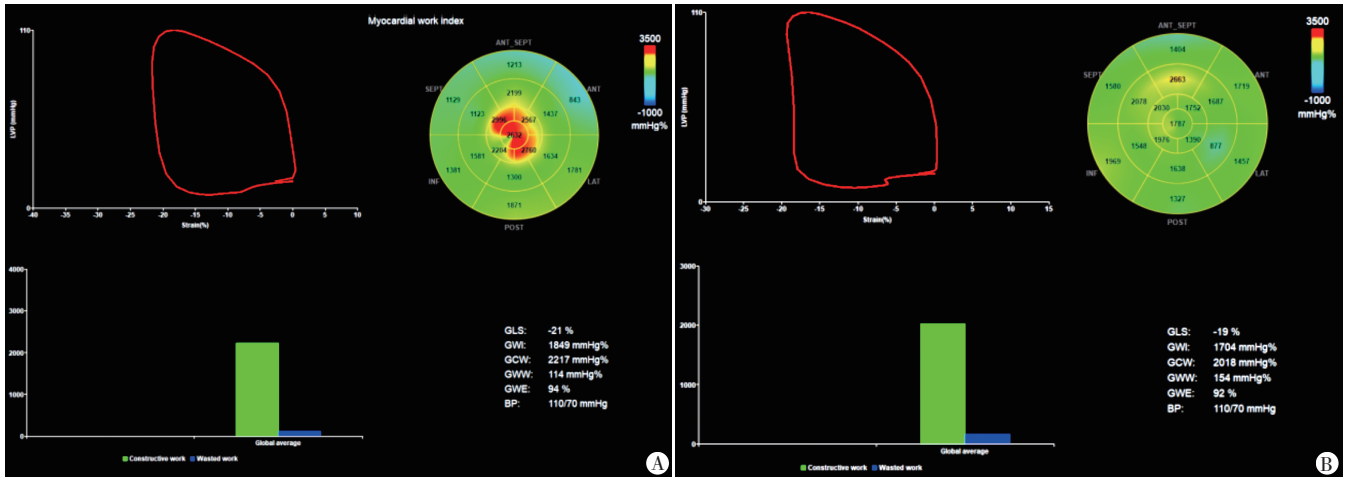
组别	LVEDD(mm)	LVESD(mm)	LVEDV(ml)	LVESV(ml)	LVEF(%)	GLS(%)	GWI(mm Hg%)	GCW(mm Hg%)	GWW(mm Hg%)	GWE(%)
健康对照组	50.1±3.2	32.0±2.2	95.1±10.3	33.4±1.5	60.2±2.4	19.1±3.5	1784.4±263.2	2153.4±306.8	133.9±68.9	90.1±1.5
CAR组	53.9±4.9	32.4±2.5	142.1±15.0	55.7±8.3	56.1±2.9	17.2±1.5	1882.4±186.3	2456.7±253.1	205.1±44.1	92.1±2.4
t 值	5.002	6.510	30.174	29.594	8.021	5.775	3.895	4.340	11.988	10.556
P 值	0.030	0.043	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.040	0.022	0.034	0.046

LVEDD:左室舒张末期内径; LVESD:左室收缩末期内径; LVEDV:左室舒张末期容积; LVESV:左室收缩末期容积; LVEF:左室射血分数; GLS:整体纵向应变; GWI:整体做功指数; GCW:整体有用功; GWW:整体无用功; GWE:整体做功效率

表2 CAR组术前术后超声心动图检查结果比较($\bar{x}\pm s$)

组别	LVEDD(mm)	LVEDS(mm)	LVEDV(ml)	LVESV(ml)	LVEF(%)	GLS(%)	GWI(mm Hg%)	GCW(mm Hg%)	GWV(mm Hg%)	GWE(%)
术前	53.9±4.9	32.4±2.5	142.1±15.0	55.7±8.3	56.1±2.9	17.2±1.5	1882.4±186.4	2456.7±253.1	205.1±44.1	92.1±2.4
术后	51.5±3.2	30.1±5.3	102.1±5.4	45.2±4.3	55.1±5.2	14.3±3.3	1554.2±43.5	2002.3±34.2	206.1±23.9	88.4±5.6
<i>t</i> 值	3.056	5.084	19.232	11.213	2.236	5.712	3.032	10.956	0.041	7.713
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.060	<0.001	<0.001	<0.001	0.070	<0.001

LVEDD:左室舒张末期内径;LVEDS:左室收缩末期内径;LVEDV:左室舒张末期容积;LVESV:左室收缩末期容积;LVEF:左室射血分数;GLS:整体纵向应变;GWI:整体做功指数;GCW:整体有用功;GWV:整体无用功;GWE:整体做功效率



A:术前GWI较高,呈红色高功能区;B:术后GWI减低,红色高功能区消失

图1 CAR组同一患者AVR术前术后左室压力-应变环测量图

相关($r=0.46, 0.43$, 均 $P<0.05$);GWE与GLS、LVEF分别呈中度及高度相关($r=0.63, 0.72$, 均 $P<0.05$)。GWV与GLS、LVEF均无相关性。

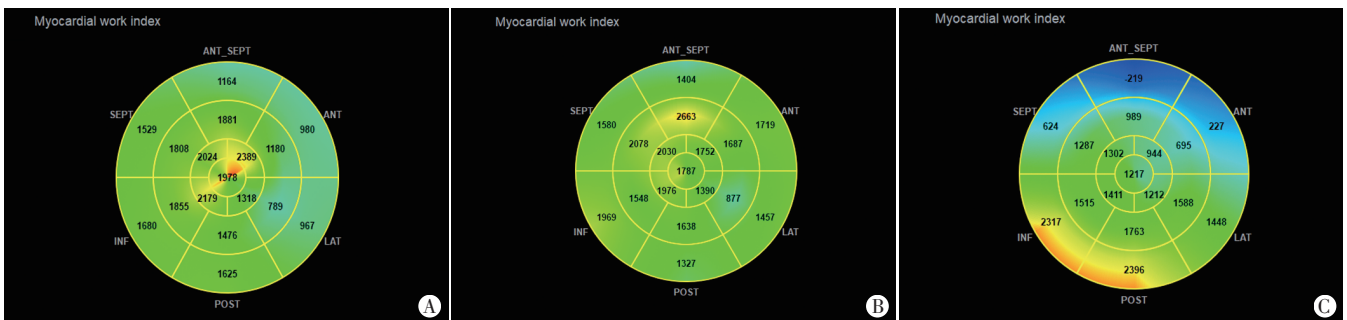
各亚组LVEF、GLS、GWI、GCW、GWE、GWV比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表3和图2。与Ⅲ组比较,Ⅰ、Ⅱ组LVEDV、LVESV、GLS减少程度比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表4。

四、术后CAR患者各亚组超声心动图检查结果比较

表3 术后CAR患者各亚组超声心动图检查结果比较($\bar{x}\pm s$)

组别	LVEDD(mm)	LVEDS(mm)	LVEDV(ml)	LVESV(ml)	LVEF(%)	GLS(%)	GWI(mm Hg%)	GCW(mm Hg%)	GWV(mm Hg%)	GWE(%)
Ⅰ组	50.5±4.4	36.1±5.2	98.2±4.3	35.4±5.2	61.1±1.5	18.1±2.3	1818.4±346.7	2000.5±212.3	98.3±21.5	93.4±1.5
Ⅱ组	52.1±3.3	38.3±2.5	102.3±6.5	50.4±2.4	59.3±3.5	16.3±2.2	1709.7±231.2	1800.3±67.6	100.2±34.3	90.1±2.6
Ⅲ组	55.2±5.4	40.1±5.6	106.2±5.3	56.5±3.2	55.6±6.1	14.1±5.4	1102.5±34.3	1341.3±201.4	150.1±21.5	85.3±1.6
<i>F</i> 值	2.085	3.605	4.017	13.801	20.277	11.165	93.060	33.308	80.354	137.894
<i>P</i> 值	0.030	0.050	0.050	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.030	0.001

LVEDD:左室舒张末期内径;LVEDS:左室收缩末期内径;LVEDV:左室舒张末期容积;LVESV:左室收缩末期容积;LVEF:左室射血分数;GLS:整体纵向应变;GWI:整体做功指数;GCW:整体有用功;GWV:整体无用功;GWE:整体做功效率



A:Ⅰ组GWI为1866 mm Hg%;B:Ⅱ组GWI为1706 mm Hg%;C:Ⅲ组GWI为1187 mm Hg%

图2 术后CAR患者各亚组GWI牛眼图

表4 术后CAR患者各亚组左室逆重构情况 %

组别	LVEDV减少	LVESV减少	GLS减少
I组	30(25,33)	30(27,35)	2.1±2.0
II组	30(28,33)	31(29,32)	4.3±3.1
III组	18(13,33)	12(8,13)	5.6±2.3
P值	0.001	0.001	0.001

五、ROC曲线分析

本研究取GWI作为反映心肌做功能力的代表参数进行ROC曲线分析,结果显示其截断值为1280 mm Hg%时,预测左室重构的曲线下面积为0.9466($P<0.01$),灵敏度为89%,特异度为74%。见图3。

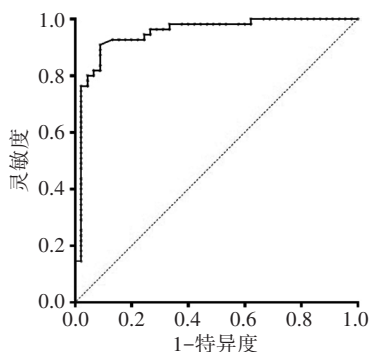


图3 GWI预测CAR患者左室重构的ROC曲线图

六、一致性分析

观察者内和观察者间测量无创心肌做功参数GWI、GCW、GWW、GWE的ICC分别为0.98、0.95、0.94、0.97和0.97、0.92、0.90、0.96,表明一致性均良好。

讨 论

CAR是临床较常见的心脏瓣膜功能不全,其导致的左室容量超负荷及左室扩大均较为隐匿,常规超声心动图难以敏感发现早期心肌损伤,因此,对于CAR的诊断和管理需要更全面、可靠的方法。研究^[2,6,11]提出可以将GLS作为评估LVEF保留的CAR患者心肌损伤的敏感标志物,但GLS未考虑后负荷的影响,具有一定局限性。无创心肌做功整合了心肌应变与血压(后负荷)的测量,是评价心肌功能的新方法,有助于更加全面地了解心肌在能量学方面的改变^[7]。本研究通过分析CAR患者AVR术前术后无创心肌做功参数的变化,旨在为临床早期诊断及制定干预方案提供参考依据。

本研究结果显示,与健康对照组比较,CAR组术前GWI、GCW、GWW、GWE均升高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。与Chan等^[12]研究结论一致。分析原因为CAR早期舒张期左室同时接受来自左房及AR

的血液,每搏输出量增加,导致渐进性容量和压力超负荷,左室心肌代偿性地生成新的肌小节来分担过多的负荷量,以保持正常的心脏收缩功能,患者可以长时间无明显症状。此时CAR患者收缩压升高,加上由于前负荷升高导致的LVEDV升高,引起左室壁压力显著升高^[13]。此情况下GWI和GCW的升高均可反映与增加的后负荷相匹配的代偿机制,心肌做功增多,耗氧量增加,从而保证左室正常的收缩功能。AVR术后,左室容量和压力负荷均得到缓解,左室壁压力降低,从而导致收缩压降低。既往研究^[11]显示,CAR患者心内膜下心肌缺血和纤维化均为左室功能障碍的主要因素。本研究结果显示,CAR组术后LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV、GLS、GWI、GCW、GWE均较术前减低(均 $P<0.05$)。分析原因为AVR术后早期左室负荷得到缓解,腔室内径减小,根据Frank-Starling定律,心肌纤维延长减少,左室心肌应变减低,再加上收缩压降低,导致GWI、GCW、GWE均减低。GWE代表对左室舒张期充盈和收缩期射血无贡献的心肌的矛盾性延长或缩短,本研究术前术后GWE比较差异无统计学意义,分析原因为AVR术后左室壁压力降低和新发间隔不同步引起的平衡效应^[14-15]。

为了进一步分析AVR术后GLS及GWI损伤与左室逆重构的关系,本研究将术后CAR患者分为3个亚组,其中II、III组GLS均损伤,表明术后GLS的损伤较GWI更普遍。但GLS损伤而GWI保留的患者(II组)LVEF和GWE均正常,表现出良好的左室收缩功能。既往研究^[16]显示,GLS较术前减少5%且AVR术后1年内持续减低与无症状的LVEF保留的CAR患者生存率降低相关。本研究中GLS的术后损伤也非常普遍,说明GLS的常规截断值可能并非术后风险分层的最佳阈值。与III组比较,I、II组表现出良好的左室逆重构,提示术后CAR患者的左室不良逆重构可能与GWI损伤关系更密切。

Lewis等^[17]研究显示,间质纤维化的形成在手术后可能不会消退,心肌纤维化的加重将导致术后左室不良逆重构,不利于左室功能的恢复。因此,在心肌出现不可逆的损伤前确定更加准确的干预时机十分重要。本研究ROC曲线分析显示,GWI预测左室重构的曲线下面积为0.9466($P<0.01$),灵敏度为89%,特异度为74%,表明其可作为CAR患者左室重构的预测因子。本研究一致性分析显示,观察者内和观察者间测量无创心肌做功参数GWI、GCW、GWW、GWE的一致

性均良好(均 ICC>0.9),表明可信度及稳定性均较高。

本研究的局限性:①为回顾性、单中心研究,样本量较小;②未分析无创心肌做功参数在风险分层或临床结局预测方面是否优于 GLS;③本研究患者纳入的周期较短。今后应针对上述不足进一步深入探讨。

综上所述,左室压力-应变环技术可有效评估 LVEF 保留的 CAR 患者心肌力学和能量学改变,并反映其术后左室逆重构过程,有助于早期发现隐匿性心肌损伤,在制定临床决策、改善患者长期生存率方面均具有重要价值。

参考文献

- [1] 龚敏,吴娟,裴勇凯,等.慢性重度主动脉瓣反流患者左室心肌纵向分层应变特点及其与左室构型的相关性分析[J].临床超声医学杂志,2022,24(2):106-111.
- [2] Alashi A, Mentias A, Abdallah A, et al. Incremental prognostic utility of left ventricular global longitudinal strain in asymptomatic patients with significant chronic aortic regurgitation and preserved left ventricular ejection fraction [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2018, 11(5):673-682.
- [3] Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, et al. 2020 ACC/AHA Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: Executive Summary: a Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines [J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 77(4):450-500.
- [4] Hansen JW, Foy A, Yadav P, et al. Death and dialysis after transcatheter aortic valve replacement: an analysis of the STS/ACC TVT Registry [J]. JACC Cardiovasc Int, 2017, 10(20):2064-2075.
- [5] Mentias A, Feng K, Alashi A, et al. Long-term outcomes in patients with aortic regurgitation and preserved left ventricular ejection fraction [J]. J Am Coll Cardiol, 2016, 68(20):2144-2153.
- [6] Xu Y, Shi J, Zhao R, et al. Anthracycline induced inconsistent left ventricular segmental systolic function variation in patients with lymphoma detected by three-dimensional speckle tracking imaging [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2019, 35(5):771-779.
- [7] 薛婷,张鹏英,陈允安,等.超声心动图研究新视角:无创左室压力-应变环[J].临床心血管病杂志,2021,23(6):507-511.
- [8] Meucci MC, Butcher SC, Galloo X, et al. Noninvasive left ventricular myocardial work in patients with chronic aortic regurgitation and preserved left ventricular ejection fraction [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2022, 35(7):703-711.
- [9] Mitchell C, Rahko PS, Blauwet LA, et al. Guidelines for performing a comprehensive transthoracic echocardiographic examination in adults: Recommendations from the American Society of Echocardiography [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2019, 32(1):1-64.
- [10] Mullens W, Auricchio A, Martens P, et al. Optimized implementation of cardiac resynchronization therapy: a call for action for referral and optimization of care: a joint position statement from the Heart Failure Association (HFA), European Heart Rhythm Association (EHRA), and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) of the European Society of Cardiology [J]. Eur J Heart Fail, 2020, 22(12):2349-2369.
- [11] 张利霞,丛洪良,关欣,等.二维斑点追踪技术对左心室射血分数正常的主动脉瓣反流患者手术指征的评价[J].中华高血压杂志,2020,21(6):563-567.
- [12] Chan J, Edwards NFA, 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.
- [13] LaCombe P, Tariq MA, Lappin SL. Physiology, afterload reduction [M]. StatPearls [Internet], 2022, PMID:29630226.
- [14] Duchenne J, Cvijic M, Turco A, et al. Stress-strain loop area better represents regional myocardial work than pressure-strain loop area in the dyssynchronous and remodelled left ventricle [J]. Eur Heart J, 2019, 40(Suppl 1):619.
- [15] Vollema EM, Singh GK, Prihadi EA, et al. Time course of left ventricular remodelling and mechanics after aortic valve surgery: aortic stenosis vs. aortic regurgitation [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2019, 20(10):1105-1111.
- [16] Duchenne J, Turco A, Ünlü S, et al. Left ventricular remodeling results in homogenization of myocardial work distribution [J]. Circ Arrhythm Electrophysiol, 2019, 12(5):e007224.
- [17] Lewis GA, Rosala-Hallas A, Dodd S, et al. Impact of myocardial fibrosis on cardiovascular structure, function and functional status in heart failure with preserved ejection fraction [J]. J Cardiovasc Transl Res, 2022, 15(6):1436-1443.

(收稿日期:2022-09-22)