

DOI: 10.3969/j.issn.2096-6113.2024.01.014

引用格式:涂一凡,刘蓉,周军,等.超声分层应变技术评价二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者的左心室收缩功能[J].巴楚医学,2024,7(1):86-91.

# 超声分层应变技术评价二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者的左心室收缩功能

涂一凡 刘蓉 周军 曾华容 董芝芝 陈悦 石豆子

(三峡大学第一临床医学院[宜昌市中心人民医院]超声科 &amp; 缺血性心血管病湖北省重点实验室,湖北宜昌 443003)

**摘要:目的:**应用超声分层应变技术评价二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者左心室心肌收缩功能。

**方法:**收集2021年9月—2022年12月于宜昌市中心人民医院确诊的二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者作为研究组( $n=30$ ),纳入同期健康体检者作为对照组( $n=30$ )。分析两组患者超声应变参数,包括整体纵向应变(GLS)、峰值收缩离散度(PSD)、左心室内膜下心肌GLS(GLSendo)、左心室中层心肌GLS(GLSmid)、左心室外膜下心肌GLS(GLSepi)及各层心肌纵向应变值(LS)等,计算心肌跨壁应变梯度( $\Delta$ GLS),比较两组各参数的差异及各参数间的相关性。采用ROC曲线分析左心室分层应变参数评估二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者左心室收缩功能的效能。**结果:**研究组患者的收缩压、左心房收缩末期内径(LAD)、左心室舒张末期内径(LVDd)及每搏量(SV)均明显高于对照组(均 $P<0.05$ )。研究组患者的 $|GLS|$ 、 $|GLSendo|$ 、 $|GLSmid|$ 、 $|GLSepi|$ 、 $\Delta$ GLS及各节段 $|LS|$ 均显著减低(均 $P<0.05$ )。相关性分析结果显示,研究组患者LAD、LVDd与GLS、GLSendo、GLSmid及GLSepi呈负相关。ROC曲线显示,超声分层应变参数中,GLSendo(AUC=0.869)、GLSmid(AUC=0.801)、GLSepi(AUC=0.781)评价二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者左心室收缩功能具有较高诊断效能(均 $P<0.05$ )。**结论:**超声分层应变技术可评估二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者左心室及各层心肌受累程度,反映左心室收缩功能变化。

**关键词:**二尖瓣脱垂伴中-重度反流; 超声分层应变技术; 左心室收缩功能; 心肌收缩

中图分类号: R542.5

文献标志码: A

文章编号: 2096-6113(2024)01-0086-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Evaluation of Left Ventricular Myocardial Systolic Function in Patients with Mitral Valve Prolapse with Moderate to Severe Regurgitation by Ultrasonic Layer-Specific Strain Technology

Tu Yifan Liu Rong Zhou Jun Zeng Huarong Dong Zhizhi Chen Yue Shi Douzi

(Department of Ultrasound, Yichang Central People's Hospital, The First College of Clinical Medical Science, China Three Gorges University &amp; Hubei Key Laboratory of Ischemic Cardiovascular Disease, Yichang 443003, China)

**Abstract Objective:** To evaluate left ventricular systolic function in patients with mitral valve prolapse with moderate to severe regurgitation by stratified ultrasonic strain technique. **Methods:** Patients with mitral valve prolapse with moderate to severe regurgitation treated in Yichang Central People's Hospital from September

基金项目:湖北省卫生健康委面上项目(No: WJ2017M225)

作者简介:涂一凡,女,硕士在读,医师,研究方向为超声科心血管疾病。E-mail: 2624224658@qq.com

通信作者:刘蓉,女,博士,主任医师,研究方向为超声科心血管疾病。E-mail: stream0917@163.com

2021 to December 2022 were collected as the study group ( $n=30$ ), and healthy subjects were included as the control group ( $n=30$ ). Ultrasonic strain parameters of the two groups were analyzed, including global longitudinal strain (GLS), peak systolic dispersion (PSD), left ventricular subendocardial myocardium GLS (GLSendo), left ventricular median myocardium GLS (GLSmid), left ventricular subepicardial myocardium GLS (GLSepi) and longitudinal strain values of each myocardium (LS), etc. The myocardial transmural strain gradient ( $\Delta$ GLS) was calculated, and the difference of parameters and the correlation of parameters between the two groups were compared. ROC curve was used to analyze the efficacy of left ventricular stratified strain parameters in evaluating left ventricular systolic function in mitral valve prolapse with moderate to severe regurgitation. **Results:** Systolic blood pressure, left atrial end-systolic diameter (LAD), left ventricular end-diastolic diameter (LVDd) and stroke volume (SV) in study group were significantly higher than those in control group (all  $P<0.05$ ).  $|GLS|$ ,  $|GLSendo|$ ,  $|GLSmid|$ ,  $|GLSepi|$ ,  $\Delta$ GLS and  $|LS|$  of each segment in the study group were significantly reduced (all  $P<0.05$ ). Correlation analysis showed that LAD and LVDd were negatively correlated with GLS, GLSendo, GLSmid and GLSepi. ROC curve showed that GLSendo (AUC=0.869), GLSmid (AUC=0.801) and GLSepi (AUC=0.781) had high diagnostic efficiency in evaluating left ventricular systolic function in patients with mitral valve prolapse with moderate to severe regurgitation (all  $P<0.05$ ). **Conclusion:** Stratified ultrasound strain technique can evaluate the involvement degree of left ventricular and myocardium in mitral valve prolapse with moderate to severe regurgitation, and reflect the change of left ventricular systolic function.

**Keywords** mitral valve prolapse with moderate to severe regurgitation; ultrasonic layered strain technique; left ventricular systolic function; myocardial contraction

二尖瓣脱垂(mitral valve prolapse, MVP)是一种常见的瓣膜病,发病率约为2%~3%,0.8%~2.5% MVP患者会发生致死性心律失常、心脏骤停及心源性猝死等<sup>[1]</sup>。MVP引起的严重二尖瓣反流(mitral regurgitation, MR)会影响左心室(left ventricle, LV)射血功能,从而导致上述不良心血管事件的发生<sup>[2-3]</sup>。既往研究发现<sup>[4]</sup>,重度二尖瓣反流患者左心室整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)明显降低,这提示左心室心肌功能潜在受损。本研究拟采用超声分层应变技术进一步分析二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者左心室各层心肌受累情况。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

选取2021年9月—2022年12月于宜昌市中心人民医院确诊的二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者作为研究组( $n=30$ ),同时期来院就诊的健康体检者作为对照组( $n=30$ )。本研究已通过我院伦理委员会批准(No:2023-112-01)。

纳入标准:①年龄>18岁;②诊断为二尖瓣脱垂伴中-重度反流的患者。根据《中国成人心脏瓣膜病超声心动图规范化检查专家共识》<sup>[5]</sup>进行判断,经二维超声检查显示存在中度及以上二尖瓣反流,二尖瓣

脱垂定义为在二尖瓣矢状切面上二尖瓣一个或两个瓣叶的收缩期位移超出二尖瓣瓣环平面以上 $\geq 2$  mm;③临床资料完整。

排除标准:①合并严重冠状动脉粥样硬化性心脏病、先天性心脏病、原发性心肌病、高血压性心脏病或其他严重瓣膜病等;②出现频发早搏;③临床资料不完整者。

### 1.2 仪器与方法

采用 Philips EPIQ7C 超声诊断仪(探头 X5-1, 频率 1~5 MHz)对所有纳入受检者进行检查。所有受检者取左侧卧位,平静呼吸,连接三导联心电图,根据美国超声心动图学会推荐标准,经胸超声心动图测量左心房收缩末期内径(left atrial diameter, LAD)、舒张期室间隔(intel-entricleseptum, IVS)厚度、舒张期左心室后壁(left ventricular posterior wall, LVPW)厚度、左心室舒张末期内径(left ventricular end diastolic diameter, LVDd)、左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、左心室每搏量(stroke volume, SV)等参数。采集连续3个心动周期左心室长轴切面、心尖四腔心切面、两腔心切面及三腔心切面的动态图像。

### 1.3 图像采集后处理

将图像导入 QLAB 10.0 工作站,依次选择心尖三腔心、四腔心及两腔心的二维动态图像,软件系统

根据左心室轮廓自动生成感兴趣区, 获得 GLS 及峰值应变离散度 (peak strain dispersion, PSD)。将图像导入 QLAB 13.0 工作站, 重复上述操作, 该软件根据感兴趣区将左心室壁心肌分为内层、中层和外层, 软件自动追踪获取心肌的纵向应变 (longitudinal strain, LS) 曲线及各节段心肌 LS 牛眼图, 记录左心室收缩期各层心肌基底段、中间段和心尖段的 LS

值, 记录心内膜下心肌整体纵向应变 (global longitudinal strain in the endocardial layer, GLSendo)、中层心肌整体纵向应变 (GLS in the mid myocardial layer, GLSmid) 及心外膜下心肌整体纵向应变 (GLS in the epicardial layer, GLSepi) 值, 计算心肌跨壁应变梯度  $\Delta GLS$ ,  $\Delta GLS = |GLSendo - GLSepi|$ , 见图 1。

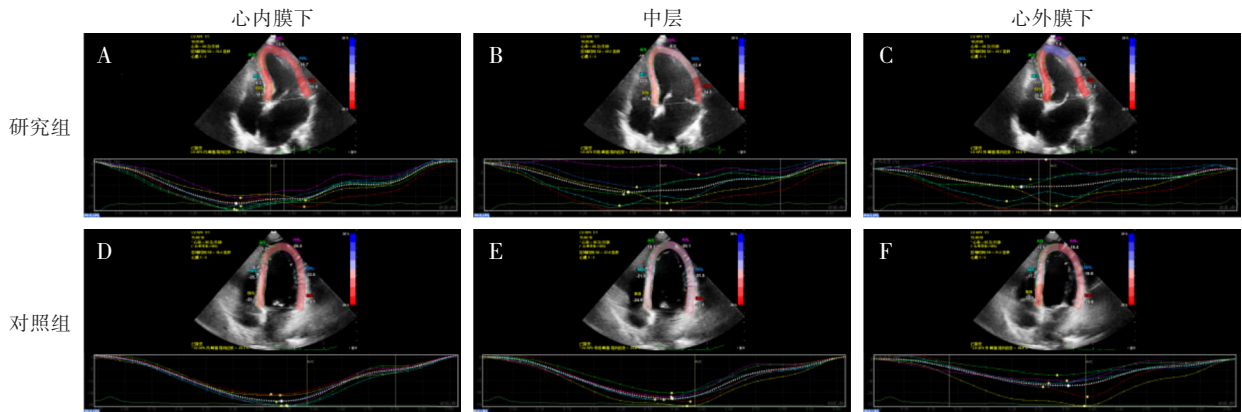


图 1 研究组和对照组心尖四腔心切面左心室心肌纵向应变曲线

### 1.4 统计分析

采用 SPSS 26.0 软件进行数据统计分析, 计数资料采用  $n(\%)$  表示, 组间比较采用  $\chi^2$  检验; 计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示, 组间比较采用独立样本  $t$  检验。采用 Pearson 相关性分析法分析二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者左心室大小与 GLS、GLSendo、GLSmid 及 GLSepi 绝对值的相关性, 采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评价左心室各层心肌 GLS 在评估二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者左心室收缩功能中的诊断价值。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

计学意义 (均  $P > 0.05$ ), 见表 2。

表 1 两组一般资料比较 [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

项目	对照组 ( $n=30$ )	研究组 ( $n=30$ )	$t/\chi^2$	$P$
年龄(岁)	55.17 $\pm$ 10.53	60.43 $\pm$ 10.57	-1.934	0.058
男性	15(50.00)	17(56.67)	0.268	0.605
身高(cm)	166.57 $\pm$ 5.80	166.27 $\pm$ 6.04	0.196	0.845
体重(kg)	63.60 $\pm$ 9.14	64.63 $\pm$ 8.59	-0.451	0.853
收缩压(mmHg)	108.43 $\pm$ 8.10	126.37 $\pm$ 19.89	-4.573	<0.001
舒张压(mmHg)	73.77 $\pm$ 6.22	79.87 $\pm$ 6.22	-0.943	0.352
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	22.84 $\pm$ 2.48	23.31 $\pm$ 2.31	-0.763	0.449

注: BMI: 身体质量指数

表 2 两组常规超声心动图参数比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

指标	对照组 ( $n=30$ )	研究组 ( $n=30$ )	$t$	$P$
LAD(mm)	34.45 $\pm$ 4.79	46.39 $\pm$ 9.64	-6.075	<0.001
IVS(mm)	9.35 $\pm$ 0.72	9.67 $\pm$ 1.05	-1.392	0.170
LVPW(mm)	9.29 $\pm$ 0.70	9.39 $\pm$ 1.14	-0.377	0.708
LVDd(mm)	46.52 $\pm$ 3.51	53.92 $\pm$ 4.34	-7.259	<0.001
LVEF(%)	63.82 $\pm$ 2.83	62.43 $\pm$ 7.99	0.891	0.379
LVFS(%)	37.01 $\pm$ 3.03	35.27 $\pm$ 5.21	1.652	0.104
SV(mL)	65.16 $\pm$ 13.86	111.35 $\pm$ 26.91	-8.358	<0.001
E/A	1.15 $\pm$ 0.34	1.22 $\pm$ 0.66	-0.493	0.601

注: LAD: 左心房收缩末期内径; IVS: 室间隔; LVPW: 左心室后壁; LVDd: 左心室舒张末期内径; LVEF: 左心室射血分数; LVFS: 左室缩短分数; SV: 每搏量; E/A: 二尖瓣口舒张早、晚期血流速度比值

## 2 结果

### 2.1 两组一般资料比较

两组患者在年龄、性别、身高、体重、身体质量指数 (body mass index, BMI) 及舒张压方面比较, 差异无统计学意义 (均  $P > 0.05$ )。研究组患者收缩压明显高于对照组 (126.37 $\pm$ 19.89 mmHg vs 108.43 $\pm$ 8.10 mmHg),  $P < 0.05$ , 见表 1。

### 2.2 常规超声心动图参数比较

与对照组比较, 研究组患者 LAD (46.39 $\pm$ 9.64 mm vs 34.45 $\pm$ 4.79 mm)、LVDd (53.92 $\pm$ 4.34 mm vs 46.52 $\pm$ 3.51 mm)、SV (111.35 $\pm$ 26.91 mL vs 65.16 $\pm$ 13.86 mL) 均明显高于对照组 (均  $P < 0.05$ ); 两组间 IVS、LVPW、LVEF、LVFS、E/A 无统

### 2.3 左心室纵向分层应变参数比较

分层应变参数比较, 研究组患者的 |GLS| ( $-17.59 \pm 3.73\%$  vs  $-23.12 \pm 1.73\%$ )、|GLSendo| ( $-13.94 \pm 1.43\%$  vs  $-22.21 \pm 1.66\%$ )、|GLSmid| ( $-13.25 \pm 1.51\%$  vs  $-21.00 \pm 1.87\%$ ) 及 |GLSepi| ( $-12.63 \pm$

$1.55\%$  vs  $-19.74 \pm 1.67\%$ )、 $\Delta$ GLS [ $(1.31 \pm 0.95)\%$  vs  $(2.47 \pm 1.40)\%$ ] 较对照组明显降低(均  $P < 0.05$ )。研究组患者左心室基底段、中间段及心尖段的 |LSendo|、|LSmid|、|LSepi| 均较对照组明显降低(均  $P < 0.05$ ), 见表 3。

表 3 两组左心室心肌整体应变参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

指标	对照组( $n=30$ )	研究组( $n=30$ )	$t$	$P$	
GLS(%)	$-23.12 \pm 1.73$	$-17.59 \pm 3.73$	7.364	$<0.001$	
PSD(%)	$31.67 \pm 19.66$	$26.55 \pm 19.66$	1.009	0.482	
GLSendo(%)	$-22.21 \pm 1.66$	$-13.94 \pm 1.43$	20.678	$<0.001$	
GLSmid(%)	$-21.00 \pm 1.87$	$-13.25 \pm 1.51$	17.643	$<0.001$	
GLSepi(%)	$-19.74 \pm 1.67$	$-12.63 \pm 1.55$	17.086	$<0.001$	
$\Delta$ GLS(%)	$2.47 \pm 1.40$	$1.31 \pm 0.95$	3.745	$<0.001$	
基底段	LSendo(%)	$-19.91 \pm 2.46$	$-12.56 \pm 2.64$	11.146	$<0.001$
	LSmid(%)	$-21.64 \pm 3.24^a$	$-14.06 \pm 4.17$	7.869	$<0.001$
	LSepi(%)	$-24.16 \pm 4.16^{ab}$	$-16.00 \pm 5.74^a$	6.302	$<0.001$
中间段	LSendo(%)	$-22.82 \pm 1.93$	$-14.35 \pm 2.62$	14.249	$<0.001$
	LSmid(%)	$-23.25 \pm 2.94$	$-15.42 \pm 4.21$	8.334	$<0.001$
	LSepi(%)	$-23.15 \pm 4.16$	$-17 \pm 29 \pm 4.91$	4.996	$<0.001$
心尖段	LSendo(%)	$-23.64 \pm 2.82$	$-15.13 \pm 2.23$	12.972	$<0.001$
	LSmid(%)	$-18.17 \pm 3.57^a$	$-10.40 \pm 2.99^a$	9.130	$<0.001$
	LSepi(%)	$-13.18 \pm 3.04^{ab}$	$-6.09 \pm 2.80^{ab}$	9.395	$<0.001$

注:与 LSendo 相比,  $^a P < 0.05$ , 与 LSmid 相比,  $^b P < 0.05$ ; GLS: 整体纵向应变; PSD: 峰值收缩离散度; GLSendo: 心内膜下心肌整体纵向应变; GLSmid: 中层心肌整体纵向应变; GLSepi: 心外膜下心肌整体纵向应变;  $\Delta$ GLS: 整体心肌跨壁应变梯度; LSendo: 心内膜下心肌纵向应变; LSmid: 中层心肌纵向应变; LSepi: 心外膜下心肌纵向应变

### 2.4 左心室大小与应变参数的相关性分析

Pearson 相关性分析结果显示, 二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者 LAD、LVDd 与 GLS、GLSendo、GLSmid、GLSepi 呈负相关(均  $P < 0.05$ ), 见表 4。

表 4 左心室大小与应变参数的相关性分析

	LAD		LVDd	
	$r$	$P$	$r$	$P$
GLS(%)	-0.529	$<0.001$	-0.469	$<0.001$
GLSendo(%)	-0.668	$<0.001$	-0.621	$<0.001$
GLSmid(%)	-0.652	$<0.001$	-0.615	$<0.001$
GLSepi(%)	-0.648	$<0.001$	-0.624	$<0.001$
$\Delta$ GLS(%)	-0.321	0.12	-0.236	0.70

注:LAD: 左心房收缩末期内径; LVDd: 左心室舒张末期内径; GLS: 整体纵向应变; GLSendo: 心内膜下心肌整体纵向应变; GLSmid: 中层心肌整体纵向应变; GLSepi: 心外膜下心肌整体纵向应变;  $\Delta$ GLS: 整体心肌跨壁应变梯度

### 2.5 分层应变参数的预测效能

以 LVEF 为左心室收缩功能评价金标准, 二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者的超声分层应变参数中, GLSendo(AUC=0.869)、GLSmid(AUC=0.801)、GLSepi(AUC=0.781) 在评价左心室收缩功能方面具有较高诊断效能(均  $P < 0.05$ )。GLSendo 是预测左心室收缩功能的最佳指标, 灵敏度为 87.5%, 特异度为 77.3%, 见表 5 及图 2。

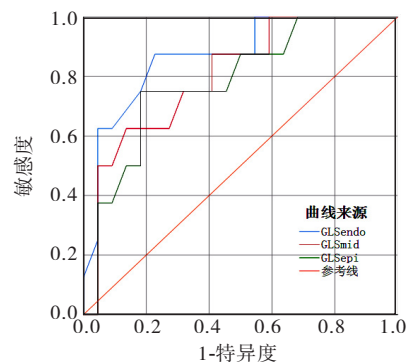


图 2 分层应变参数预测左心室收缩功能障碍的 ROC 曲线

表 5 左心室心肌分层应变参数预测二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者左心室收缩功能障碍

变量	Cut-off	AUC	95%CI	敏感度	特异度	Youden 指数	P
GLSendo(%)	-13.56	0.869	0.725~1.000	0.875	0.773	0.648	0.002
GLSmid(%)	-12.45	0.801	0.628~0.975	0.625	0.864	0.489	0.013
GLSepi(%)	-12.05	0.781	0.596~0.966	0.750	0.818	0.568	0.020

注:GLSendo:心内膜下心肌整体纵向应变; GLSmid:中层心肌整体纵向应变; GLSepi:心外膜下心肌整体纵向应变

### 3 讨论

MVP 是一种常见的瓣膜疾病,常导致不同程度 MR,使左心室负荷加重、功能受损,造成左心室重塑、左心室功能障碍、心律失常、心力衰竭和心源性猝死等不良结局<sup>[6]</sup>。二维应变成像能准确地分析心肌局部和整体的收缩功能,即使 LVEF 正常,也能够早期发现心肌功能障碍<sup>[7]</sup>。分层应变技术在此基础上通过分别跟踪心肌内膜、中膜和外膜的稳定超声斑点<sup>[8-9]</sup>,从而计算出心肌各层的应变,进一步了解心肌受累情况。

MVP 常造成二尖瓣关闭不全,进而出现的二尖瓣反流使得左心室容量负荷加重,从而引起一些继发改变,如左心功能下降、左心室肥大及升主动脉增宽等。与对照组相比,二尖瓣脱垂伴中-重度反流组 LVEF 值并未明显降低,仍在正常范围以内,这可能是由于 LVEF 具有负荷依赖性,即使存在明显的左室收缩功能障碍,但由于慢性容量过载的血流动力学代偿,LVEF 也可维持正常<sup>[10-11]</sup>。既往研究应用二维斑点追踪超声心动图(2D-STI)评估 LVEF 正常的慢性重度二尖瓣反流患者的左心室 GLS,结果表明左心室|GLS|低于正常对照组,这提示慢性重度二尖瓣反流患者存在亚临床心功能障碍<sup>[4]</sup>。因而,相对于常规超声参数,应变参数将能更准确、灵敏地评价患者的心肌功能改变。Huttin 等<sup>[12]</sup>运用心肌应变技术对 100 名二尖瓣脱垂患者进行研究,发现二尖瓣脱垂伴重度反流患者的|LV|、|GLS|显著低于轻度二尖瓣反流患者。而 Teraguchi 等<sup>[13]</sup>纳入 50 名中-重度二尖瓣反流患者,研究表明部分患者|LV|、|GLS|降低,这说明中-重度二尖瓣反流患者的心肌出现潜在损伤。与上述报道一致,本研究发现,二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者|LV|、|GLS|较对照组明显降低,这可能是由于中-重度二尖瓣反流相关的容量过载导致左心室进行性偏心性扩张和心肌质量增加,进而降低心肌收缩力,引起应变绝对值的下降<sup>[14-15]</sup>。

本研究进一步发现,二尖瓣脱垂伴中-重度反流组内、中、外各层心肌|LS|均降低,|GLS|从心肌内

层向外层逐层降低。Bakkestrom 等<sup>[16]</sup>研究发现,二尖瓣反流患者各层心肌、心内膜层和心外膜层之间的应变差异高于健康对照组,且内层和外层之间存在跨度更大的应变梯度,这与本研究结果一致。左心室心肌各层应变存在差异,可能与心肌各层曲率半径不同导致心肌各层张力不同有关,各层心肌组织排列方向不同,收缩时左心室壁增厚率主要来自心内膜收缩,只有 1/3 来自外膜收缩<sup>[17]</sup>。因而,MVP 患者左心室心内膜下心肌受容量负荷影响应力最大,最早发生损伤。心内膜纵向应变分段分布具有梯度特征,由基部段向心尖段逐渐增加,这可能是由于左心室的几何中心是位于心尖,在收缩期间,每个节段的中层和外层的斜螺旋肌束朝着心尖移动,将减少心室腔沿纵向方向移动,心尖产生巨大的形变,以确保最有效的血液泵送,从而心内膜 LS 在心尖段高于中间段及基底段<sup>[18]</sup>。

相关性分析结果显示,二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者 LAD、LVDd 与 GLS、GLSendo、GLSmid 及 GLSepi 均存在相关性,相对于 GLS,分层应变参数与左心室大小相关性更强。除此之外,ROC 分析显示,分层应变参数预测患者左心室收缩功能的价值也强于单纯的整体纵向应变,其中 GLSendo 是预测左心室收缩功能的最佳指标。以往研究报道<sup>[19-20]</sup>,心内膜心肌对缺血更敏感,影响左心室收缩功能,因此 GLSendo 比 GLS 或其他应变参数更适合测定 LV 功能变化,这与本研究结果一致。

本研究存在一定局限性,纳入样本量较小,且仅从左室长轴纵向分层应变角度去分析二尖瓣脱垂伴中-重度反流患者心肌功能,后续需纳入更多样本量,同时结合短轴更全面地分析心肌功能。总之,分层应变技术通过评估各层心肌的 LS 值,有助于临床更早识别左心室机械力学改变,判断各层心肌受累程度,更加及时地对左心室收缩功能障碍患者进行干预。

#### 参考文献:

[1] Chehab O, Roberts-Thomson R, Ng Y L C, et al. Sec-

- ondary mitral regurgitation: pathophysiology, proportionality and prognosis[J]. *Heart*, 2020, 106(10): 716-723.
- [2] Boudoulas K D, Pitsis A, Triposkiadis F, et al. Floppy mitral valve/mitral valve prolapse and sudden cardiac death[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2022, 74: 89-98.
- [3] Muthukumar L, Jahangir A, Jan M F, et al. Association between malignant mitral valve prolapse and sudden cardiac death: a review[J]. *JAMA Cardiol*, 2020, 5(9): 1053-1061.
- [4] de Isla L P, de Agustin A, Rodrigo J L, et al. Chronic mitral regurgitation: a pilot study to assess preoperative left ventricular contractile function using speckle-tracking echocardiography [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009, 22(7): 831-838.
- [5] 郭颖, 张瑞生. 中国成人心脏瓣膜病超声心动图规范化检查专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(2): 109-125.
- [6] Sabbag A, Essayagh B, Barrera J D R, et al. EHRA expert consensus statement on arrhythmic mitral valve prolapse and mitral annular disjunction complex in collaboration with the ESC Council on valvular heart disease and the European Association of Cardiovascular Imaging endorsed cby the Heart Rhythm Society, by the Asia Pacific Heart Rhythm Society, and by the Latin American Heart Rhythm Society[J]. *Europace*, 2022, 24(12): 1981-2003.
- [7] Tsugu T, Postolache A, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal left ventricular layer-specific strain: results from the EACVI NORRE study[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(8): 896-905.
- [8] Pastore M C, De Carli G, Mandoli G E, et al. The prognostic role of speckle tracking echocardiography in clinical practice: evidence and reference values from the literature[J]. *Heart Fail Rev*, 2021, 26(6): 1371-1381.
- [9] 张戈, 刘冲, 付昕, 等. 分层应变技术评价乳腺癌患者序贯化疗后左室收缩功能的研究[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2020, 31(3): 192-195.
- [10] Beaufils A L C D, Huttin O, Jobbe-Duval A, et al. Replacement myocardial fibrosis in patients with mitral valve prolapse: relation to mitral regurgitation, ventricular remodeling, and arrhythmia[J]. *Circulation*, 2021, 143(18): 1763-1774.
- [11] Pastore M C, Mandoli G E, Dokollari A, et al. Speckle tracking echocardiography in primary mitral regurgitation: should we reconsider the time for intervention? [J]. *Heart Fail Rev*, 2022, 27(4): 1247-1260.
- [12] Huttin O, Pierre S, Venner C, et al. Interactions between mitral valve and left ventricle analysed by 2D speckle tracking in patients with mitral valve prolapse: one more piece to the puzzle[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18(3): 323-331.
- [13] Teraguchi I, Hozumi T, Takemoto K, et al. Assessment of decreased left ventricular longitudinal deformation in asymptomatic patients with organic mitral regurgitation and preserved ejection fraction using tissue-tracking mitral annular displacement by speckle-tracking echocardiography[J]. *Echocardiography*, 2019, 36(4): 678-686.
- [14] Ueyama H, Kuno T, Takagi H, et al. Prognostic value of left ventricular global longitudinal strain in mitral regurgitation: a systematic review[J]. *Heart Fail Rev*, 2023, 28(2): 465-483.
- [15] Hirji S A, Cote C L, Javadikasgari H, et al. Atrial functional versus ventricular functional mitral regurgitation: prognostic implications[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 164(6): 1808-1815. e4.
- [16] Bakkestrom R, Christensen N L, Wolsk E, et al. Layer-specific deformation analysis in severe aortic valve stenosis, primary mitral valve regurgitation, and healthy individuals validated against invasive hemodynamic measurements of heart function[J]. *Echocardiography*, 2018, 35(2): 170-178.
- [17] Ancedy Y, Ederhy S, Jean M L, et al. Does layer-specific strain using speckle tracking echocardiography improve the assessment of left ventricular myocardial deformation? A review[J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2020, 113(11): 721-735.
- [18] Wu J, Ni Y, Gu C J, et al. Study of effects of anthracycline drugs on myocardial function in breast cancer patients by quantitative analysis of layer-specific strain via 2D-STI technology[J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(3): 1184-1196.
- [19] Jiang Z, Zhang M, Qin Y Y, et al. Usefulness of layer-specific strain for evaluating and predicting recovery of left ventricular myocardial function in patients undergoing hybrid coronary revascularization[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2023, 39(3): 491-499.
- [20] Grund F F, Kristensen C B, Myhr K A, et al. Layer-specific strain is preload dependent: comparison between speckle-tracking echocardiography and cardiac magnetic resonance feature-tracking[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2021, 34(4): 377-387.

[收稿日期 2023-09-22]