

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.02.013

# 三维斑点追踪超声心动图结合心肌应变技术评估 肥厚型心肌病早期心肌功能损伤的研究

段亚森, 陈志勇, 李灵芝

(周口市中心医院 超声科, 河南周口 466000)

**【摘要】目的** 探讨三维斑点追踪超声心动图(three-dimensional speckle tracking echocardiography, 3D-STE)结合心肌应变技术评估肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)早期心肌功能损伤的价值。**方法** 本研究为前瞻性队列研究,选取2023年2月至2026年2月周口市中心医院收治的120例HCM患者,均行3D-STE结合心肌应变技术检查,依据超声心动图(echocardiography, ECHO)评估左心室收缩及舒张功能,根据是否发生心肌功能损伤分为发生组和未发生组。**结果** 120例HCM患者中早期心肌功能损伤发生率为45.00%(54/120)。发生组高血压合并率、房颤合并率、左室壁最大厚度(maximum left ventricular wall thickness, MLVWT)、室间隔厚度(interventricular septum thickness, IVS)、舒张早期二尖瓣血流速度/二尖瓣环运动速度(early diastolic mitral flow velocity/early diastolic mitral annulus velocity,  $E/e'$ )均显著高于未发生组(均 $P < 0.05$ ),整体长轴应变(global longitudinal strain, GLS)、整体圆周应变(global circumferential strain, GCS)、整体面积应变(global area strain, GAS)值均显著低于未发生组(均 $P < 0.05$ )。多因素 Logistic 回归分析显示, MLVWT、IVS、 $E/e'$ 、GLS、GCS、GAS均是HCM患者早期心肌功能损伤的影响因素(均 $P < 0.05$ )。绘制受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线显示, MLVWT、IVS、 $E/e'$ 、GLS、GCS、GAS单独及联合评估的曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为0.758、0.764、0.756、0.772、0.774、0.777、0.942,联合评估价值较高。**结论** 3D-STE结合心肌应变技术对HCM早期心肌功能损伤具有一定评估价值,可为临床防治提供参考。

**【关键词】** 三维斑点追踪超声心动图; 心肌应变技术; 肥厚型心肌病; 心肌功能损伤

**【中图分类号】** R540.45

**【文献标志码】** A

文章编号: 1674-1242 (2026) 02-0060-06

## Study on the evaluation of early myocardial functional injury in hypertrophic cardiomyopathy using three-dimensional speckle tracking echocardiography combined with myocardial strain technology

DUAN Yasen, CHEN Zhiyong, LI Lingzhi

(Department of Ultrasound, Zhoukou Central Hospital, Zhongkou 466000, Henan, China)

**【Abstract】Objective** To explore the value of three-dimensional speckle tracking echocardiography (3D-STE) combined with myocardial strain technique in evaluating the early myocardial functional injury in hypertrophic cardiomyopathy (HCM). **Method** Prospective cohort study, 120 patients with HCM who were admitted to Zhoukou Central Hospital from February 2023 to February 2026 were selected as the research subjects. All of them underwent 3D-STE combined with myocardial strain technique examination. The left ventricular systolic and diastolic functions were evaluated based on echocardiography (ECHO). The patients were divided into the occurrence group and the non-occurrence group according to whether they had myocardial function impairment. **Results** The incidence of early myocardial dysfunction in 120 HCM patients was 45.00% (54/120). The incidence of hypertension, atrial fibrillation, maximum left ventricular wall thickness (MLVWT), interventricular septal thickness (IVS), and early diastolic mitral flow velocity/early diastolic mitral annulus velocity ( $E/e'$ ) in occurrence group were higher than those in the non-occurrence group (all  $P < 0.05$ ), the global longitudinal strain (GLS), global circumferential strain (GCS) were also significantly higher. The in and GAS values were significantly lower than those in the non occurrence group (all  $P < 0.05$ ). Multivariate Logistic regression showed that comorbidities of hypertension, atrial fibrillation, MLVWT, IVS,  $E/e'$ , GLS, GCS, and GAS were all influencing factors of early myocardial dysfunction in HCM patients (all  $P < 0.05$ ). Receiver operator characteristic (ROC) curve showed that the area under the curve (AUC) of MLVWT, IVS,  $E/e'$ , GLS,

收稿日期: 2026-03-01。

作者简介: 段亚森, 主治医师, 研究方向: 肥厚型心肌病早期心肌损伤评估。E-mail: 13703873998@163.com。

GCS, and GAS alone and in combination for evaluating early myocardial functional injury in HCM patients were 0.758, 0.764, 0.756, 0.772, 0.774, 0.777, and 0.942, respectively, indicating a high value for combined evaluation. **Conclusion** The combination of 3D-STE and myocardial strain technology has certain evaluation value for early myocardial functional injury in HCM, and can provide reference for clinical prevention and treatment.

**【Key words】** Three-dimensional speckle tracking echocardiography; Myocardial strain technique; Hypertrophic cardiomyopathy; Myocardial functional injury

肥厚型心肌病 (hypertrophic cardiomyopathy, HCM) 是一类以心肌非对称性肥厚、肌纤维排列紊乱为主要特征的遗传性心肌病, 其临床症状具有多样性, 疾病进展速度及预后亦存在明显个体差异<sup>[1-2]</sup>。HCM 因微循环障碍和氧供失衡可导致心肌功能损伤, 增加心力衰竭 (简称心衰)、恶性心律失常或猝死风险, 但未受到临床足够重视<sup>[3]</sup>。目前, 临床主要通过超声心动图 (echocardiography, ECHO) 评估心肌损伤情况, 其中 M 型组织多普勒成像可分析心肌组织运动情况, 但其检测结果具有角度依赖性, 同时会受到部分心室负荷及心率波动的影响, 临床应用受限<sup>[4]</sup>。随着 ECHO 技术的不断革新, 斑点追踪超声心动图 (speckle tracking echocardiography, STE) 克服了组织多普勒成像技术的角度依赖性, 可无创定量分析心肌各角度的变化情况, 特别是三维 (three-dimensional, 3D) STE 的应用, 可分析心肌三维运动, 为 HCM 早期心肌微观力学异常的识别提供更优支撑<sup>[5-6]</sup>。超声心肌应变技术基于 STE 原理评估心肌功能, 检测结果不受心脏整体运动干扰, 已成为早期功能评价的重要手段<sup>[7]</sup>。但现有研究多聚焦二维心肌应变技术, 难以全面反映心肌立体力学改变。鉴于此, 本研究分析 3D-STE 结合心肌应变技术在 HCM 早期心肌功能损伤评估中的应用价值, 为临床早期评估及预后判断提供精准影像学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

本研究为前瞻性队列研究, 选取 2023 年 2 月至 2026 年 2 月周口市中心医院收治的 120 例 HCM 患者为研究对象。纳入标准: ①符合 HCM 诊断标准<sup>[8]</sup>, 经 ECHO、计算机断层扫描 (computed tomography, CT) 等影像学检查证实, 无法用负荷异常解释的左室心肌节段增厚, 且增厚程度  $\geq 15$  mm; ②年龄 50 ~ 65 岁; ③意识清楚, 能配合完成 3D-STE 结合心肌应变技术检查。排除标准: ①合并其他类型心肌病; ②合并急性失代偿性心力衰竭, 且同时存在至少 2 个容量超

负荷相关临床症状 (水肿、腹水或胸腔积液); ③存在严重肝肾功能衰竭、恶性肿瘤或经临床确诊的各类白血病、淋巴瘤、骨髓增生异常综合征及需长期抗凝治疗的血栓性疾病; ④存在心脏手术史、介入治疗史; ⑤图像质量较差, 影响检测结果; ⑥检查前 72 h 内服用过  $\beta$  受体阻滞剂、钙通道阻滞剂等可能影响心肌功能的药物。所有患者或其家属均知情同意并签署知情同意书, 本研究经周口市中心医院医学伦理委员会审核通过 (批件号: 2023021511)。

### 1.2 检测方法

所有患者均于就诊后 24 h 内 (未接受 HCM 药物治疗) 完成检查, 检查前静息 10 ~ 15 min, 并保持空腹状态。

#### 1.2.1 ECHO 检查

患者取平卧位或左侧卧位, 使用美国 GE 公司生产的 Voluson E8 型多普勒超声心动图仪, 设置探头频率为 3.5 MHz。常规扫描胸骨旁长轴、胸骨旁短轴、心尖四腔切面, 以及二尖瓣、乳头肌水平心切面, 对扫描图像进行数字化采集并留存。参照相关指南<sup>[9]</sup>, 测量并记录左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、左室壁最大厚度 (maximum left ventricular wall thickness, MLVWT)、室间隔厚度 (interventricular septum thickness, IVS)、舒张早期二尖瓣血流速度/二尖瓣环运动速度 (early diastolic mitral flow velocity/early diastolic mitral annulus velocity,  $E/e'$ )。

#### 1.2.2 3D-STE 结合心肌应变技术检查

于 ECHO 检查后转换 4Vc 探头, 采集患者心尖三腔心、四腔心及两腔心切面各 3 个连续心动周期图像, 确保图像清晰、无运动伪影, 数字化保存后用于后续分析。启动机上分析软件, 选取 3 个满意的切面图像, 软件自动追踪心肌运动并勾勒心内膜边界, 对自动勾勒不满意处可手动修正, 使边界与心内膜对应。通过软件自动获取左心室三维整体径向应变 (global radial strain, GRS)、整体圆周应变 (global

circumferential strain, GCS)、整体长轴应变(global longitudinal strain, GLS)、整体面积应变(global area strain, GAS)。所有数据由2名具有10年以上心血管超声诊断经验(每人累计操作病例数 > 1 000例)的放射科副主任医师独立测量3次,取平均值;2名医师分析图像时均不知晓患者临床资料及分组情况(设盲)。随机抽取20例患者,由2名医师独立测量,并由其中1名医师间隔1周后再次测量,计算观察者间及观察者内组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)。结果显示,MLVWT、IVS、E/e'、GLS、GCS、GAS等指标的观察者间ICC均 > 0.85 ( $P < 0.001$ ),观察者内ICC均 > 0.88 ( $P < 0.001$ ),提示测量结果一致性良好。

### 1.2.3 一般资料收集

于患者入院时设计一般资料调查表,统计性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、合并心房颤动(简称房颤)、合并高血压、合并糖尿病、合并高脂血症、吸烟史、饮酒史、HCM病程、HCM分型等。

### 1.2.4 早期心肌功能损伤评估及分组

参照《中国成人肥厚型心肌病诊断与治疗指南2023》<sup>[8]</sup>及《2016年美国超声心动图学会/欧洲心血管影像协会指南》<sup>[9]</sup>制定早期心肌功能损伤判定标准。①收缩功能评估:LVEF < 50%判定为左心室收缩功能异常。②舒张功能评估:采用多参数综合评估法,符合以下任意2条及以上判定为左心室舒张功能异常:二尖瓣环组织多普勒e'(间隔侧) < 7 cm/s或e'(侧壁侧) < 10 cm/s;平均E/e' > 14;左心房容积指数 > 34 ml/m<sup>2</sup>;三尖瓣反流峰值速度 > 2.8 m/s。符合上述收缩功能异常或舒张功能异常任一标准者,判定为存在早期心肌功能损伤。根据是否发生早期心肌功能损伤分为发生组与未发生组。

### 1.3 统计学方法

采用SPSS 23.0软件分析数据。符合正态分布的定量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用独立样本 $t$ 检验;定性资料以例(%)表示,比较采用 $\chi^2$ 检验。采用Logistic回归分析3D-STE结合心肌应变技术对HCM早期心肌功能损伤的影响;基于Logistic回归模型获得联合检查的评估概率,通过绘制受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC)分析该概率对HCM早期心肌功能损伤的评估效能,

并同时汇报比值比(odds ratio, OR)和95%置信区间(95% confidence interval, 95%CI)。  $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组基线资料比较

120例HCM患者中发生早期心肌功能损伤54例,占45.00%(54/120)。发生组高血压合并率、房颤合并率均显著高于未发生组(均 $P < 0.05$ ),两组其他资料特征比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$ )(表1)。

表1 发生组与未发生组基线资料比较

基线资料	发生组 ( $n = 54$ )	未发生组 ( $n = 66$ )	$\chi^2/t$	$P$
年龄( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	57.32±6.41	56.51±6.76	0.668	0.505
性别 [例 (%)]			0.022	0.882
男	31 (57.41)	37 (56.06)		
女	23 (42.59)	29 (43.94)		
BMI ( $\bar{x} \pm s$ , kg/m <sup>2</sup> )	23.91±2.23	23.34±2.19	1.407	0.162
合并房颤 [例 (%)]	49 (90.74)	46 (69.70)	7.974	0.005
合并高血压 [例 (%)]	40 (74.07)	35 (53.03)	5.612	0.018
合并糖尿病 [例 (%)]	6 (11.11)	8 (12.12)	0.029	0.864
合并高脂血症 [例 (%)]	12 (22.22)	14 (21.21)	0.018	0.894
吸烟史 [例 (%)]	7 (12.96)	11 (16.67)	0.320	0.572
饮酒史 [例 (%)]	4 (7.41)	7 (10.61)	0.082	0.775
HCM病程( $\bar{x} \pm s$ , 月)	48.65±12.32	47.92±12.67	0.318	0.751
HCM分型 [例 (%)]			0.013	0.910
梗阻型	21 (38.89)	25 (37.88)		
非梗阻型	33 (61.11)	41 (62.12)		

注: BMI: 体重指数; HCM: 肥厚型心肌病。

### 2.2 两组3D-STE结合心肌应变技术检查指标比较

发生组MLVWT、IVS、E/e'均显著高于未发生组(均 $P < 0.05$ ),GLS、GCS、GAS值均显著低于未发生组(均 $P < 0.05$ );两组LVEF、GRS比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$ )(表2)。

表2 两组3D-STE结合心肌应变技术检查指标比较( $\bar{x} \pm s$ )

影像学参数	发生组 ( $n = 54$ )	未发生组 ( $n = 66$ )	$t$	$P$
LVEF (%)	58.54±4.82	60.39±5.91	1.851	0.067
MLVWT (mm)	14.10±6.16	8.73±3.92	5.552	< 0.001
IVS (mm)	13.44±4.72	9.53±3.21	5.183	< 0.001
E/e'	13.37±4.84	9.38±3.80	5.057	< 0.001
GLS (%)	-10.85±3.17	-13.17±2.49	4.496	< 0.001
GCS (%)	-25.27±4.48	-28.17±3.63	3.911	< 0.001
GRS (%)	21.56±3.48	22.87±3.76	1.963	0.052
GAS (%)	-27.96±6.46	-35.29±7.78	5.536	< 0.001

注: 3D-STE: 三维斑点追踪超声心动图; LVEF: 左心室射血分数; MLVWT: 左室壁最大厚度; IVS: 室间隔厚度; E/e': 舒张早期二尖瓣血流速度/二尖瓣环运动速度; GLS: 整体长轴应变; GCS: 整体圆周应变; GRS: 整体径向应变; GAS: 整体面积应变。

### 2.3 HCM早期心肌功能损伤的多因素 Logistic 回归分析

以患者是否发生早期心肌功能损伤为因变量(未发生=0,发生=1),将表1、表2单因素分析中 $P < 0.05$ 的指标为自变量并赋值(表3),进行多因素 Logistic 回归分析,得到回归方程模型:  $\text{Logit}(P) = 1.889 + 0.168 \times \text{MLVWT}(\text{mm}) + 0.264 \times \text{IVS}(\text{mm}) + 0.371 \times \text{E/e}'(\text{比值}) + 0.259 \times \text{GLS}(\%) + 0.200 \times \text{GCS}(\%) + 0.135 \times \text{GAS}(\%)$ ,结果显示,MLVWT、IVS、E/e'、GLS、GCS、GAS是HCM患者早期心肌功能损伤的独立影响因素(均 $P < 0.05$ )(表4)。

表3 自变量赋值表

因素	变量说明	赋值情况
合并房颤	分类变量	“否”=0,“是”=1
合并高血压	分类变量	“否”=0,“是”=1
MLVWT	连续变量	实测值
IVS	连续变量	实测值
E/e'	连续变量	实测值
GLS	连续变量	实测值
GCS	连续变量	实测值
GRS	连续变量	实测值
GAS	连续变量	实测值

表4 HCM早期心肌功能损伤的多因素 Logistic 回归分析

因素	$\beta$	SE	Wald $\chi^2$	P	OR	95%CI
合并房颤	1.625	0.860	3.569	0.059	5.079	0.941 ~ 27.413
合并高血压	0.883	0.754	1.370	0.242	2.418	0.551 ~ 10.605
MLVWT	0.168	0.073	5.235	0.022	1.183	1.024 ~ 1.366
IVS	0.264	0.090	8.626	0.003	1.302	1.092 ~ 1.554
E/e'	0.371	0.103	13.107	<0.001	1.449	1.186 ~ 1.772
GLS	0.259	0.108	5.699	0.017	1.295	1.047 ~ 1.602
GCS	0.200	0.077	6.809	0.009	1.222	1.051 ~ 1.420
GAS	0.135	0.051	7.174	0.007	1.145	1.037 ~ 1.264

注: HCM: 肥厚型心肌病; OR: 比值比; 95%CI: 95%置信区间; MLVWT: 左室壁最大厚度; IVS: 室间隔厚度; E/e': 舒张早期二尖瓣血流速度/二尖瓣环运动速度; GLS: 整体长轴应变; GCS: 整体圆周应变; GAS: 整体面积应变。

### 2.4 3D-STE结合心肌应变技术相关参数对HCM早期心肌功能损伤的评估价值

绘制ROC曲线,结果显示,MLVWT、IVS、E/e'、GLS、GCS、GAS单独及联合评估HCM早期心肌功能损伤的AUC分别为0.758、0.764、0.756、0.772、0.774、0.777、0.942,联合指标的AUC均显著大于MLVWT、IVS、E/e'、GLS、GCS、GAS各单一指标( $Z$ 分别为3.689、3.520、3.746、3.423、3.322、3.448,均 $P < 0.001$ ),联合评估价值较高(表5、图1)。

表5 3D-STE结合心肌应变技术相关参数对HCM心肌病早期心肌功能损伤的评估效能

项目	AUC	95%CI	P	最佳阈值	敏感度	特异度	约登指数
MLVWT	0.758	0.667 ~ 0.849	< 0.001	11.380	0.648	0.803	0.451
IVS	0.764	0.675 ~ 0.854	< 0.001	10.785	0.722	0.818	0.540
E/e'	0.756	0.668 ~ 0.845	< 0.001	9.785	0.833	0.636	0.469
GLS	0.772	0.683 ~ 0.860	< 0.001	-12.200	0.759	0.773	0.532
GCS	0.774	0.683 ~ 0.865	< 0.001	-26.250	0.759	0.788	0.547
GAS	0.777	0.694 ~ 0.861	< 0.001	-32.345	0.778	0.712	0.490
联合	0.942	0.901 ~ 0.984	< 0.001	—	0.852	0.864	0.716

注: 3D-STE: 三维斑点追踪超声心动图; HCM: 肥厚型心肌病; AUC: 曲线下面积; 95%CI: 95%置信区间; MLVWT: 左室壁最大厚度; IVS: 室间隔厚度; E/e': 舒张早期二尖瓣血流速度/二尖瓣环运动速度; GLS: 整体长轴应变; GCS: 整体圆周应变; GAS: 整体面积应变。

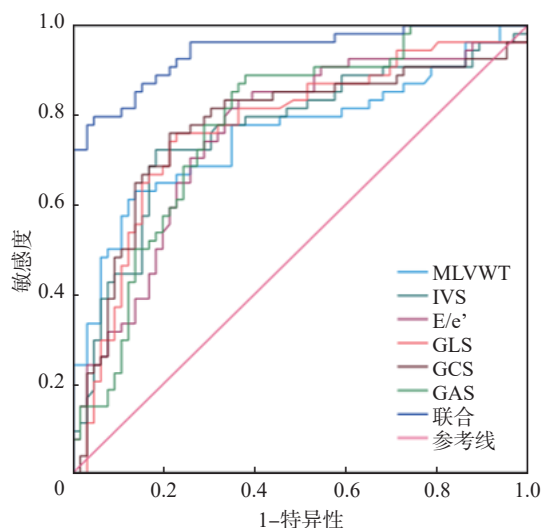


图1 3D-STE结合心肌应变技术相关参数单独及联合评估HCM早期心肌功能损伤的ROC曲线

注: 3D-STE: 三维斑点追踪超声心动图; HCM: 肥厚型心肌病; ROC: 受试者操作特征; MLVWT: 左室壁最大厚度; IVS: 室间隔厚度; E/e': 舒张早期二尖瓣血流速度/二尖瓣环运动速度; GLS: 整体长轴应变; GCS: 整体圆周应变; GAS: 整体面积应变。

### 3 讨论

室壁肥厚引发的心肌细胞肥大、间质纤维化及心室腔形态改变,会通过破坏心肌力学平衡、影响心肌血液灌注,进一步诱发心肌收缩与舒张功能的协同异常,最终加速早期心肌功能损伤<sup>[10]</sup>。因此,从心肌形变角度出发可有效评估HCM患者的早期心肌

功能损伤情况。3D-STE技术结合了三维成像和斑点跟踪技术:三维成像可从任何空间角度提供心脏结构的实时三维图像;斑点追踪是一种通过跟踪超声窗口内自然声反射和干涉图样来分析心肌运动的图像处理算法,二者结合可分析心肌三维空间运动,并提供新的变形参数,使心肌功能评估更为准确。心肌应变技术则利用超声追踪心肌内自然声学斑点,精准捕捉心肌在纵向、圆周、径向3个维度的运动轨迹,从而判定心肌功能状态。因此,3D-STE结合心肌应变技术获可进一步提高心肌功能损伤的评估价值。

本研究结果显示,发生组MLVWT、IVS、E/e'值均显著高于未发生组,GLS、GCS、GAS值均显著低于未发生组,提示常规超声心动图指标及3D-STE心肌应变参数在HCM早期心肌功能损伤评估中可能具有一定作用,与田园等<sup>[11]</sup>研究结果一致。HCM早期即存在心肌间质纤维化加重、正常心肌组织结构破坏及肌纤维排列紊乱,上述病理改变可直接破坏心肌力学传导完整性,降低心肌收缩与舒张的协同性,进而导致整体心肌形变能力下降;且纤维化程度越重、胶原沉积越多、心肌细胞排列越紊乱,心肌微观力学功能受损越显著。加之心肌纵向肌纤维对病理损伤更为敏感,故反映纵向形变的GLS绝对值降低最为显著;而心肌肥厚可造成心室腔形态缩小,使圆周方向收缩运动受限,进而导致反映圆周形变的GCS降低。本研究中GAS的AUC最高,提示其对早期心肌功能损伤的识别能力优于GLS和GCS。这可能是因为GAS整合了纵向和圆周2个方向的应变信息,能更全面地反映心肌在三维空间整体力学异常,其降低综合体现了多向性力学损伤,评估效能更优<sup>[12-13]</sup>。同时,MLVWT、IVS升高直接反映HCM特征性心肌病理性肥厚、心肌细胞肥大及结构失衡,肥厚心肌可压迫心肌内微小血管,引发心肌灌注不足、缺血缺氧,进一步加重纤维化与功能损伤;E/e'升高则与HCM早期间质纤维化所致的左心室舒张顺应性下降密切相关,能够精准捕捉左心室舒张功能的细微异常<sup>[14-15]</sup>。由此可见,3D-STE结合心肌应变技术能全面反映心肌三维运动与力学传导,可有效提示早期心肌功能损伤情况。

本研究进一步绘制ROC曲线,结果显示,MLVWT、IVS、E/e'、GLS、GCS、GAS单独及联合评估

HCM心肌病早期心肌功能损伤的AUC分别为0.758、0.764、0.756、0.772、0.774、0.777、0.942,联合指标的AUC显著大于各单一指标,提示联合评估价值更高。其机制在于,联合指标整合了形态学、舒张功能及力学应变指标,实现了从“结构-功能-力学”3个维度对心肌功能的全面评估;MLVWT和IVS反映HCM特征性心肌病理性肥厚这一结构基础;E/e'敏感捕捉左心室舒张功能的细微异常;GLS、GCS、GAS则定量评估心肌在纵向、圆周及面积方向上的形变能力。多参数联合应用使各指标间形成协同互补,弥补了单一指标信息量不足的局限,显著提升了整体评估效能。值得注意的是,本研究GLS的AUC为0.772,略低于部分既往研究报道的0.808<sup>[16]</sup>。原因可能为:首先,本研究采用3D-STE技术,虽能更全面反映心肌三维运动,但其应变值通常低于2D-STE测量结果,可能导致AUC存在差异;其次,不同HCM亚型心肌力学特征存在差异,梗阻型患者因左室流出道压差存在,心肌应变受损通常更显著,而本研究中非梗阻型患者占比较高,可能影响GLS的判别效能;最后,本研究以LVEF及舒张功能多参数作为心肌功能损伤的判定标准,而部分研究采用复合终点(如心血管死亡、心衰住院等)作为结局事件,终点定义不同也直接影响AUC的可比性。

综上,3D-STE结合心肌应变技术对HCM早期心肌功能损伤具有一定评估价值。但本研究存在以下局限性:首先,本研究为单中心设计,样本量有限(120例),研究对象来源单一,可能存在选择偏倚;其次,检查设备单一,结果外推性受限;再次,未结合心脏钆延迟增强磁共振(late gadolinium enhancement cardiac magnetic resonance, LGE-CMR)技术按心肌纤维化程度进行亚组分析,亦未对合并症严重程度分层比较,也未考虑HCM患者基因突变类型对心肌力学的影响;最后,本研究为横断面观察,仅行单次3D-STE检查,缺乏动态随访数据。后续需开展多中心、大样本研究,纳入多种设备进行比较,结合LGE-CMR技术进行分层分析,细化合并症分级,联合基因检测探讨不同突变亚型的心肌应变特征,并进行纵向随访以观察应变参数变化与心功能进展的关系。

#### 参考文献

- [1] 胡睿涵,何国祥. 心肌蛋白抑制剂治疗肥厚型心肌病的研究进展[J]. 中国心血管杂志, 2023, 28(4): 395-398.

- [2] 柳叶, 吴强. 梗阻性肥厚型心肌病治疗新进展[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2024, 32 (11): 653-657.
- [3] OTTAVIANI A, MANSOUR D, MOLINARI L V, *et al.* Revisiting Diagnosis and Treatment of Hypertrophic Cardiomyopathy: Current Practice and Novel Perspectives[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(17):5710.
- [4] 闵伟, 张景发. 心脏超声检查缺血性心肌病与扩张型心肌病的特征分析[J]. 生物医学工程学进展, 2020, 41 (4): 221-224.
- [5] 王洪杰, 夏娟, 马小静. 二维斑点追踪成像技术评估肥厚型心肌病患者左心房功能[J]. 心肺血管病杂志, 2023, 42 (1): 63-68.
- [6] 段奕全, 梁青青, 徐艳萍, 等. 基于二维经胸超声心动图与三维斑点追踪成像相关参数特征构建家族肥厚型心肌病突变基因携带者的列线图预测模型[J]. 中华超声影像学杂志, 2023, 32 (9): 773-781.
- [7] HUBERT E, DAINS J E. The Role of Echocardiogram and Cardiac Rhythm Analysis for Early Detection of Cardiac Amyloidosis[J]. *J Adv Pract Oncol*, 2022, 13(7):695-704.
- [8] 国家心血管病中心心肌病专科联盟, 中国医疗保健国际交流促进会心血管病精准医学分会“中国成人肥厚型心肌病诊断与治疗指南2023”专家组. 中国成人肥厚型心肌病诊断与治疗指南2023[J]. 中国循环杂志, 2023, 38 (1): 1-33.
- [9] NAGUEH S F, SMISETH O A, APPLETON C P, *et al.* Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(4): 277-314.
- [10] LANG R M, BADANO L P, MOR-AVI V, *et al.* Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(1):1-39. e14.
- [11] 何泽明, 郑敏文, 赵宏亮, 等. CT心肌应变参数在肥厚型心肌病左心房功能评估与鉴别诊断中的应用[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2024, 22 (6): 636-642.
- [12] 田园, 闫媛媛, 史海宏. 超声心动图联合三维斑点追踪成像技术对心肌淀粉样变和肥厚型心肌病的诊断价值[J]. 新乡医学院学报, 2024, 41 (9): 840-846.
- [13] 李慕子, 李慧, 孟红, 等. 实时三维超声心动图自动定量技术评价肥厚型心肌病患者左心房容积及功能的应用价值[J]. 中国循环杂志, 2022, 37 (5): 487-493.
- [14] 中国超声心动图学会, 中华医学会超声医学分会, 国家超声诊断专业质控中心, 等. 肥厚型心肌病激发/负荷超声心动图临床应用指南(2024版)[J]. 中华超声影像学杂志, 2024, 33 (8): 645-658.
- [15] 崔丽萍, 段奕全, 梁青青, 等. 三维斑点追踪超声心动图早期识别家族性肥厚型心肌病无症状突变基因携带者的临床价值[J]. 临床超声医学杂志, 2023, 25 (10): 800-805.
- [16] 吉洪花, 吴雨歌, 侯冬梅, 等. 超声斑点追踪技术在肥厚型心肌病患者心功能评估及心肌纤维化预测中的作用[J]. 临床误诊误治, 2023, 36 (1): 61-64.
- [17] KARACA ÖZER P, AYDUK GÖVDELI E, ENGIN B, *et al.* Role of global longitudinal strain indiscriminating variant forms of left ventricular hypertrophy and predicting mortality[J]. *Anatol J Cardiol*, 2021, 25(12):863-871.