

二维斑点追踪技术评估左心室心内膜回声增强及其与冠状动脉病变的关系

胥莹 杨青艳 王世界 王文渊 朱炜薇 凡正超 夏纪筑

摘要 **目的** 应用二维斑点追踪技术(2D-STI)检测左心室心内膜回声增强患者左心室心内膜下心肌应变参数,探讨左心室心内膜回声增强与心肌缺血及冠状动脉病变的关系。**方法** 收集我院经超声心动图检查存在左心室心内膜回声增强患者80例,根据Gensini评分标准分为无病变组(Gensini评分=0分)28例、轻度病变组(0分<Gensini评分<25分)26例及中重度病变组(Gensini评分≥25分)26例。记录各组左心室心内膜回声增强的发生率、左心室心内膜回声增强处心肌节段与病变冠状动脉供血心肌节段的对应率,测量左心室心内膜回声增强厚度及面积;应用2D-STI获取左心室心内膜下心肌整体峰值纵向应变和环向应变(GLSendo、GCSendo)、心尖四腔心峰值纵向应变(AP4LSendo)、心尖三腔心峰值纵向应变(AP3LSendo)、心尖两腔心峰值纵向应变(AP2LSendo)、心内膜回声增强处心内膜下心肌峰值纵向应变和环向应变(LSendo-ee、CSendo-ee)、左心室短轴基底段峰值环向应变(SAXBCSendo)、左心室短轴中间段峰值环向应变(SAXMCSendo)、左心室短轴心尖段峰值环向应变(SAXACSendo),比较各组上述参数的差异。分析左心室心内膜回声增强厚度及面积、左心室心内膜下心肌应变参数与Gensini评分的相关性。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各参数对中重度冠状动脉病变的诊断效能。**结果** 各组左心室心内膜回声增强的发生率比较,差异无统计学意义。轻度病变组、中重度病变组左心室心内膜回声增强处心肌节段与病变冠状动脉供血心肌节段的对应率均较高(75.0%、72.6%)。与无病变组比较,轻度病变组GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、LSendo-ee、CSendo-ee、SAXACSendo、左心室心内膜回声增强厚度均增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);与无病变组和轻度病变组比较,中重度病变组GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、LSendo-ee、CSendo-ee、SAXBCSendo、SAXMCSendo均增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。相关性分析显示,冠状动脉病变患者GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、SAXBCSendo、SAXMCSendo、左心室心内膜回声增强厚度与Gensini评分均呈正相关(均 $P<0.05$)。ROC曲线分析显示,GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、SAXBCSendo、SAXMCSendo诊断中重度冠状动脉病变的曲线下面积分别为0.788、0.685、0.709、0.813、0.710、0.713、0.780(均 $P<0.05$)。**结论** 2D-STI可通过评估左心室心内膜回声增强患者左心室心内膜下心肌应变参数,初步判定心肌缺血及冠状动脉病变程度,并可通过心内膜回声增强的部位推测可能发生病变的冠状动脉,有一定的临床价值。

关键词 超声心动描记术;斑点追踪,二维;左心室;回声增强;冠状动脉疾病

[中图分类号]R540.45;R541.4

[文献标识码]A

Evaluation of left ventricular endocardial echo enhancement and its relationship with coronary artery lesions by two-dimensional speckle tracking imaging

XU Ying, YANG Qingyan, WANG Shijie, WANG Wenyuan, ZHU Weiwei, FAN Zhengchao, XIA Jizhu

Department of Ultrasound Medicine, Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Sichuan 646000, China

ABSTRACT **Objective** To measure the strain parameters of the subendocardial myocardium in the left ventricle in patients with endocardial echo enhancement by two-dimensional speckle tracking imaging (2D-STI), and to explore the

基金项目:泸州市科技计划项目(2023SYF113)

作者单位:646000 四川省泸州市,西南医科大学附属医院超声医学科

通讯作者:夏纪筑,Email:xjz71@163.com

relationship between the left ventricular endocardial echo enhancement and myocardial ischemia and coronary artery disease.

Methods A total of 80 patients with left ventricular endocardial echo enhancement who underwent echocardiography in our hospital were selected. According to the standard of Gensini score, the participants were divided into coronary artery without lesion group (28 cases, Gensini score=0), mild lesion group (26 cases, $0 < \text{Gensini score} < 25$), and moderate to severe lesion group (26 cases, Gensini score ≥ 25). The incidence of left ventricular endocardial echo enhancement in each group was recorded, as well as the correspondence of the segments supplied by the diseased coronary arteries. The thickness and area of left ventricular endocardial echo enhancement were measured. The global peak longitudinal strain and circumferential strain (GLSendo, GCSendo) of left ventricular subendocardial myocardium, apical 4-chamber peak longitudinal strain (AP4LSendo), apical 3-chamber peak longitudinal strain (AP3LSendo), apical 2-chamber peak longitudinal strain (AP2LSendo), and endocardial echo enhancement site peak longitudinal strain and circumferential strain (LSendo-ee, CSendo-ee), short-axis basal segment peak circumferential strain (SAXBCSendo), short-axis mid-segment peak circumferential strain (SAXMCSendo), and short-axis apical segment peak circumferential strain (SAXACSendo) were obtained by 2D-STI. The differences of the above parameters were compared among the groups. The correlation between left ventricle endocardial echo enhancement thickness and area, left ventricular subendocardial myocardial strain parameters and Gensini score were analyzed. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the diagnostic efficiency of each parameter in the diagnosis of moderate and severe coronary artery disease. **Results** There were no statistically significant differences in incidence of left ventricular endocardial echo enhancement among the groups. The correspondence rate between myocardial segments with enhanced left ventricular endocardial echo and the myocardial segments supplied by the diseased coronary artery was relatively high in both the mild lesion group and the moderate to severe lesion group (75.0% and 72.6%), respectively. Compared with the coronary artery without lesion group, GLSendo, GCSendo, AP4LSendo, LSendo-ee, CSendo-ee, SAXACSendo and the thickness of left ventricular endocardial echo enhancement were increased in the mild lesion group, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). Compared with the coronary artery without lesion group and mild lesion group, the GLSendo, GCSendo, AP4LSendo, AP3LSendo, AP2LSendo, LSendo-ee, CSendo-ee, SAXBCSendo, SAXMCSendo were increased in the moderate to severe lesion group, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). Correlation analysis showed that the GLSendo, GCSendo, AP4LSendo, AP3LSendo, AP2LSendo, SAXBCSendo, SAXMCSendo, the thickness of endocardial echo enhancement were positively correlated Gensini score in patients with coronary artery lesions (all $P < 0.05$). ROC curve analysis showed that the area under the curve of GLSendo, GCSendo, AP4LSendo, AP3LSendo, AP2LSendo, SAXBCSendo, SAXMCSendo in the diagnosis of moderate to severe coronary artery were 0.788, 0.685, 0.709, 0.813, 0.710, 0.713, 0.780 (all $P < 0.05$), respectively. **Conclusion** 2D-STI can be used to assess subendocardial myocardial strain parameters in patients with left ventricular endocardial echo enhancement, providing an initial assessment of myocardial ischemia and the degree of coronary artery disease, and it has certain clinical value for predicting the likely coronary artery based on the location of endocardial echo enhancement.

KEY WORDS Echocardiography; Speckle tracking, two-dimensional; Left ventricle; Echo enhancement; Coronary artery disease

近年来我国冠状动脉粥样硬化性心脏病 (coronary heart disease, CHD) 的患病率持续上升^[1], 早期预测、诊断 CHD 并判断病情严重程度是改善患者临床预后的关键。二维超声心动图常通过识别左心室壁节段性运动异常来判断 CHD^[2], 但此时患者冠状动脉病变往往已较严重^[3], 且在部分无明显左心室壁节段性运动异常的患者中可能已发生早期心肌缺血。左心室心内膜回声增强是轻度心肌缺血的超声表现^[4], 较左心室壁节段性运动异常更早发生, 可早期提示心内膜下心肌发生缺血损伤^[5-6]。二维斑点追踪技术 (two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI) 通过定量分析心肌整体、局部的应变参数以反映心肌形态及功能变化^[7-8], 从而准确有效地评估早期心肌病

变^[9]。本研究应用 2D-STI 检测存在左心室心内膜回声增强患者的左心室心内膜下心肌应变参数, 旨在探讨左心室心内膜回声增强与心肌缺血及冠状动脉病变的关系。

资料与方法

一、研究对象

选取 2023 年 1~8 月我院超声心动图检查存在左心室心内膜回声增强并行冠状动脉造影 (coronary angiography, CAG) 的患者 80 例, 存在左心室心内膜回声增强共 209 处。纳入标准: ①年龄 > 18 岁; ②超声心动图检查未见明显心脏结构及室壁运动异常, 且左心室射血分数 (LVEF) $> 50\%$; ③超声心动图检查后 1 周

(AP2LSendo)、心内膜回声增强处心内膜下心肌峰值纵向应变(LSendo-ee);于胸骨旁左心室短轴基底段、中间段、心尖段水平获取左心室心内膜下心肌整体峰值环向应变(GCSendo)、左心室短轴基底段峰值环向应变(SAXBCSendo)、左心室短轴中间段峰值环向应变(SAXMCSendo)、左心室短轴心尖段峰值环向应变(SAXACSendo)、心内膜回声增强处心内膜下心肌峰值环向应变(CSendo-ee)。

6. 临床资料收集:记录患者性别、年龄、体质量指数、心率、既往病史(高血压、糖尿病、高脂血症)、吸烟史、饮酒史等。

7. 重复性检验:随机选取 15 例患者,由一名医师间隔 1 周检测 GLSendo,由另一名医师使用相同方法检测 GLSendo,分析其在观察者内及观察者间的重复性。

三、统计学处理

应用 SPSS 26.0 统计软件,正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组比较采用 t 检验,多组比较采用单因素方差分析;非正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,两组比较采用 Mann-Whitney U 检验,多组比较采用

Kruskal-Wallis H 检验。计数资料以频数或率表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用 Spearman 法分析冠状动脉病变患者左心室心内膜下心肌应变参数、左心室心内膜回声增强厚度及面积与 Gensini 评分的相关性。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各参数对中重度冠状动脉病变的诊断效能。采用组内相关系数(ICC)和 Bland-Altman 图分析 GLSendo 在观察者内和观察者间的重复性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、各组临床资料比较

各组性别比、年龄、体质量指数、心率、既往病史(高血压、糖尿病、高脂血症)、吸烟史、饮酒史比较,差异均无统计学意义。见表 1。

二、各组二维超声心动图参数比较

各组 LVEDd、LVESd、IVSDd、LVPWd、LVEDV、LVESV、LVEF 比较,差异均无统计学意义。见表 2。

三、各组左心室心内膜回声增强的发生率、与病变冠状动脉供血心肌节段的对应率比较

表 1 各组临床资料比较

组别	男/女 (例)	年龄 (岁)	体质量指数 (kg/m ²)	心率 (次/min)	既往病史(例)			吸烟史 (例)	饮酒史 (例)
					高血压	糖尿病	高脂血症		
无病变组(28)	16/12	59.14±8.07	22.41(20.92, 24.88)	74.50(69.25, 81.50)	13	3	11	13	9
轻度病变组(26)	15/11	61.31±10.32	23.53(22.21, 26.67)	72.50(69.00, 79.25)	16	4	10	6	5
中重度病变组(26)	18/8	64.58±7.51	23.81(21.95, 25.59)	68.00(65.00, 76.25)	17	5	10	14	9
$F/\chi^2/H$ 值	1.035	2.651	2.364	5.691	2.239	0.771	0.005	5.555	1.744
P 值	0.596	0.077	0.307	0.058	0.326	0.680	0.997	0.062	0.418

表 2 各组二维超声心动图参数比较

组别	LVEDd(mm)	LVESd(mm)	IVSDd(mm)	LVPWd(mm)	LVEDV(ml)	LVESV(ml)	LVEF(%)
无病变组(28)	45.18±3.93	29.46±3.33	10.00(9.00, 11.00)	9.50(9.00, 10.00)	93.50(81.25, 108.00)	32.50(27.00, 41.00)	65.00(60.50, 68.00)
轻度病变组(26)	46.04±4.61	29.77±3.57	10.00(9.00, 12.00)	9.00(8.75, 10.00)	97.50(86.75, 110.50)	36.00(28.50, 41.50)	64.50(62.50, 68.00)
中重度病变组(26)	45.00±3.97	29.42±2.75	10.00(9.00, 11.00)	10.00(8.75, 10.00)	92.00(80.75, 108.00)	33.00(28.00, 36.25)	65.50(61.50, 67.25)
F/H 值	0.463	0.090	2.395	0.097	1.154	0.731	0.292
P 值	0.631	0.914	0.302	0.953	0.562	0.694	0.864

LVEDd:左心室舒张末期内径;LVESd:左心室收缩末期内径;IVSDd:室间隔舒张末期厚度;LVPWd:左心室后壁舒张末期厚度;LVEDV:左心室舒张末期容积;LVESV:左心室收缩末期容积;LVEF:左心室射血分数

本研究中共 209 处左心室心内膜回声增强,其中 105 处位于后间隔基底段和中间段,37 处位于前壁基底段、中间段及心尖段,32 处位于前间隔基底段和中间段,14 处位于侧壁基底段、中间段和心尖段,13 处位于室间隔心尖段,7 处位于下壁基底段、中间段和心尖段,1 处位于后壁中间段。无病变组、轻度病变组、中重度病变组左心室心内膜回声增强的发生率分别为 29.2%、30.6%、40.2%,各组比较差异无统计学意义。

本研究中共 134 处左心室心内膜回声增强处心肌节段与病变冠状动脉供血心肌节段对应,总对应率为 52.2%。其中轻度病变组和中重度病变组分别有 48 处、61 处心肌节段对应,对应率分别为 75.0%、72.6%。

四、各组左心室心内膜回声增强厚度及面积比较

各组左心室心内膜回声增强厚度比较,差异有统计学意义($P=0.032$)。与无病变组比较,轻度病变组和中重度病变组左心室心内膜回声增强厚度均增大,差

异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。各组左心室心内膜回声增强面积比较,差异无统计学意义。见表3。

表3 各组左心室心内膜回声增强厚度及面积比较[$M(Q_1, Q_3)$]

组别	左心室心内膜回声增强厚度(cm)	左心室心内膜回声增强面积(cm^2)
无病变组(28)	0.308(0.259, 0.354)	0.225(0.157, 0.334)
轻度病变组(26)	0.329(0.294, 0.423)*	0.269(0.178, 0.348)
中重度病变组(26)	0.337(0.253, 0.406)*	0.267(0.168, 0.419)
H值	6.893	1.142
P值	0.032	0.565

与无病变组比较, * $P < 0.05$

五、各组2D-STI参数比较

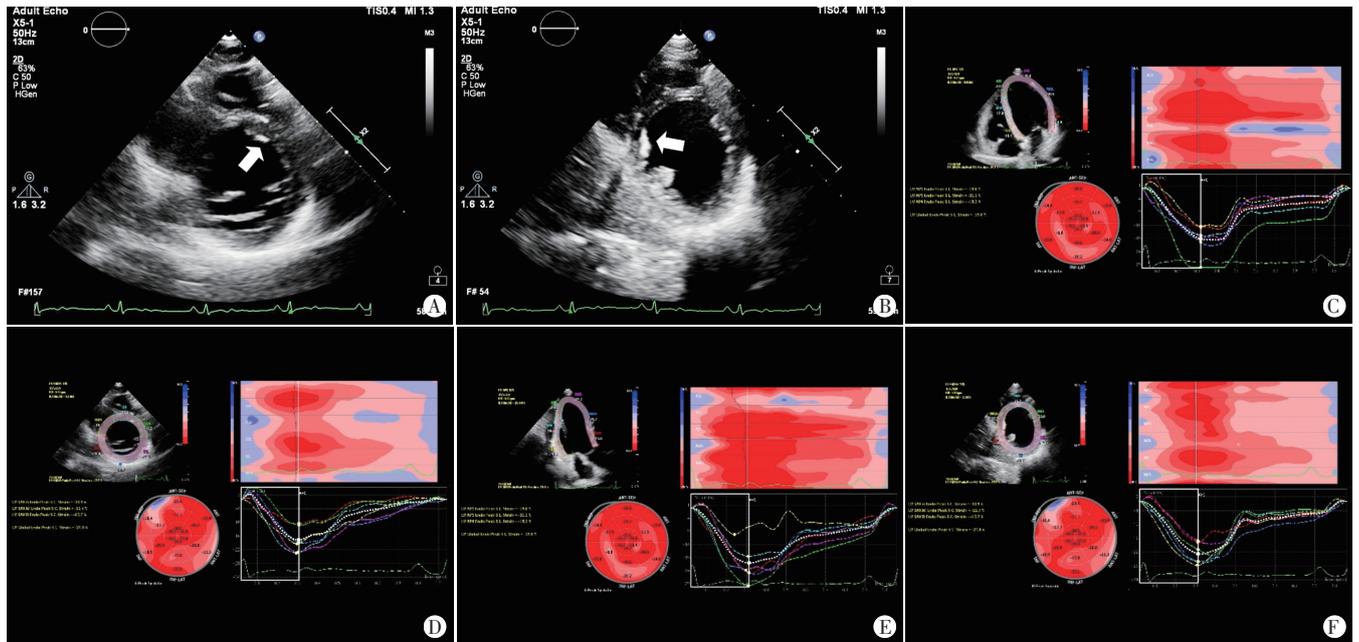
与无病变组比较,轻度病变组 GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、LSendo-ee、CSendo-ee、SAXACsendo 均增大,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);两组 AP3LSendo、AP2LSendo、SAXBCsendo、SAXMCSendo 比较,差异均无统计学意义。与无病变组和轻度病变组比较,中重度病变组 GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、LSendo-ee、CSendo-ee、SAXBCsendo、SAXMCSendo 均增大,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);中重度病变组 SAXACsendo 较无病变组增大,差异有统计意义($P < 0.05$)。见表4和图3~5。

表4 各组2D-STI参数比较

组别	GLSendo	GCSendo	AP4LSendo	AP3LSendo	AP2LSendo	LSendo-ee	%
无病变组(28)	-17.74±2.03	-27.97±2.60	-16.40(-18.13, -14.83)	-19.05(-21.65, -16.40)	-17.54±2.81	-17.17±5.92	
轻度病变组(26)	-16.07±2.06*	-25.97±2.33*	-15.35(-16.70, -13.00)*	-17.15(-18.90, -16.03)	-16.09±2.31	-14.68±5.98*	
中重度病变组(26)	-13.54±2.77*#	-24.33±2.67*#	-12.35(-15.30, -10.53)*#	-13.50(-15.60, -11.78)*#	-14.22±3.94*#	-12.76±6.13*#	
F/H值	22.617	13.976	23.068	22.209	7.814	9.453	
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	

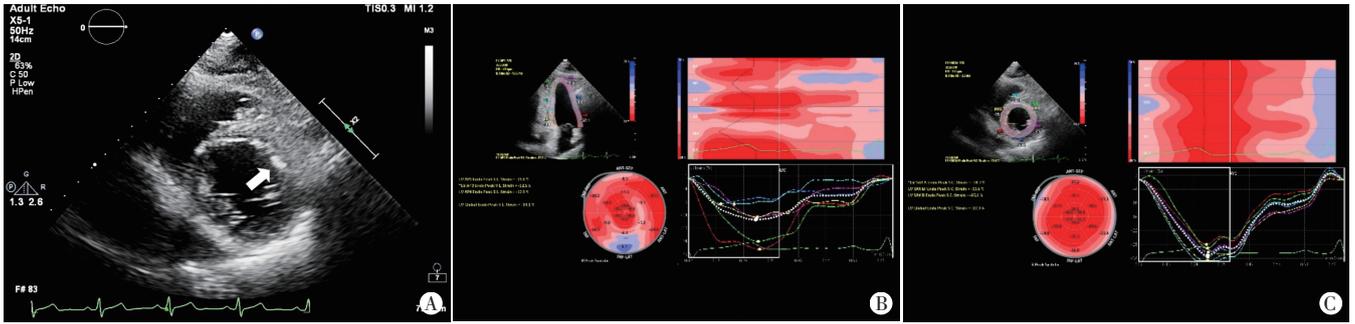
组别	CSendo-ee	SAXBCSendo	SAXMCSendo	SAXACSendo
无病变组(28)	-25.90(-29.45, -20.00)	-23.70(-25.28, -21.60)	-27.85(-29.80, -26.03)	-31.85(-36.13, -28.43)
轻度病变组(26)	-23.40(-26.20, -18.55)*	-22.45(-24.33, -21.45)	-27.80(-28.88, -25.60)	-27.85(-30.98, -26.88)*
中重度病变组(26)	-20.60(-24.40, -16.73)*#	-21.25(-22.43, -19.05)*#	-23.30(-26.58, -21.70)*#	-28.20(-31.03, -24.78)*
F/H值	21.229	11.967	19.414	12.065
P值	<0.001	0.003	<0.001	0.002

与无病变组比较, * $P < 0.05$;与轻度病变组比较, # $P < 0.05$ 。GLSendo:心内膜下心肌整体峰值纵向应变;GCSendo:心内膜下心肌整体峰值环向应变;AP4LSendo:心尖四腔心峰值纵向应变;AP3LSendo:心尖三腔心峰值纵向应变;AP2LSendo:心尖两腔心峰值纵向应变;LSendo-ee:心内膜回声增强处心内膜下心肌峰值纵向应变;CSendo-ee:心内膜回声增强处心内膜下心肌峰值环向应变;SAXBCSendo:左心室短轴基底段峰值环向应变;SAXMCSendo:左心室短轴中间段峰值环向应变;SAXACSendo:左心室短轴心尖段峰值环向应变



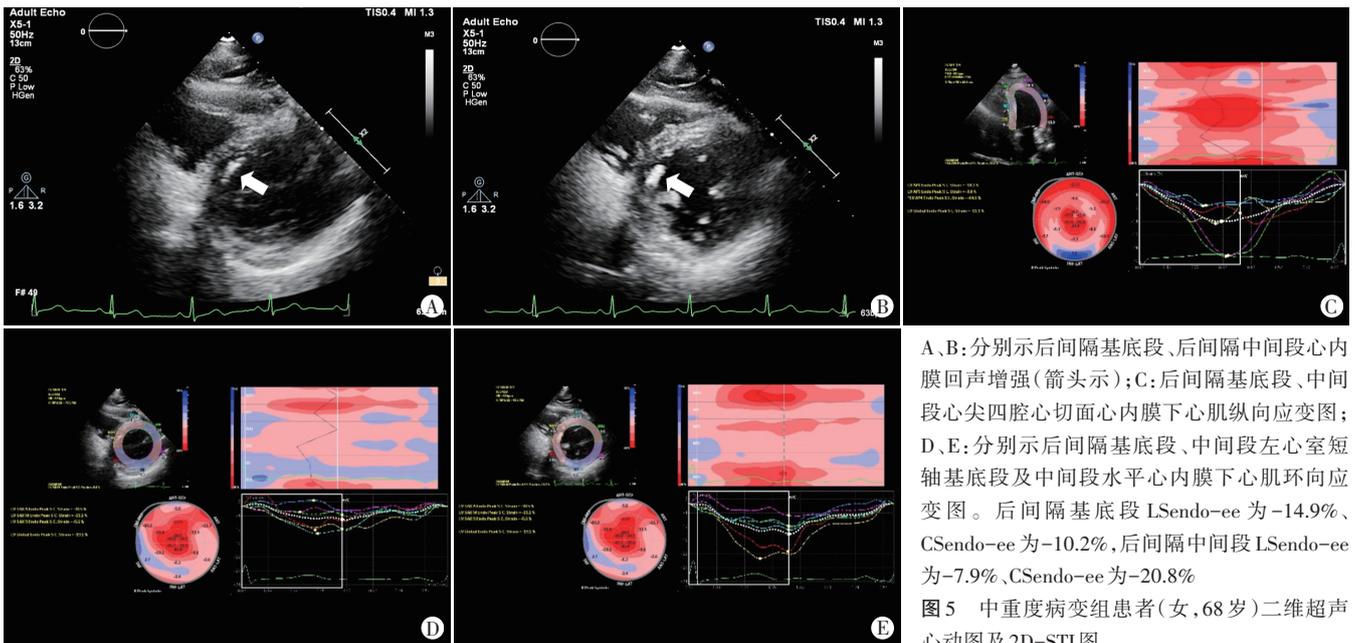
A、B:分别示前间隔基底段和后间隔中间段心内膜回声增强(箭头示);C、D:分别示前间隔基底段心尖四腔心切面心内膜下心肌纵向应变图及左心室短轴基底段水平心内膜下心肌环向应变图;E、F:分别示后间隔中间段心尖三腔心切面心内膜下心肌纵向应变图及左心室短轴中间段水平心内膜下心肌环向应变图。前间隔基底段 LSendo-ee 为-24.8%、CSendo-ee 为-19.4%,后间隔中间段 LSendo-ee 为-17.8%、CSendo-ee 为-25.9%

图3 无病变组患者(男,53岁)二维超声心动图及2D-STI图



A: 前壁中间段心内膜回声增强(箭头示); B、C: 分别示前壁中间段心尖两腔心切面心内膜下心肌纵向应变图及左心室短轴中间段水平心内膜下心肌环向应变图。LSendo-ee为-9.7%、CSendo-ee为-38.1%

图4 轻度病变组患者(男,54岁)二维超声心动图及2D-STI图



A、B: 分别示后间隔基底段、后间隔中间段心内膜回声增强(箭头示); C: 后间隔基底段、中间段心尖四腔心切面心内膜下心肌纵向应变图; D、E: 分别示后间隔基底段、中间段左心室短轴基底段及中间段水平心内膜下心肌环向应变图。后间隔基底段LSendo-ee为-14.9%、CSendo-ee为-10.2%,后间隔中间段LSendo-ee为-7.9%、CSendo-ee为-20.8%

图5 中重度病变组患者(女,68岁)二维超声心动图及2D-STI图

六、相关性分析

相关性分析显示,冠状动脉病变患者GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、SAXBCSendo、SAXMCSendo、左心室心内膜回声增强厚度与Gensini评分均呈正相关($r=0.499, 0.320, 0.363, 0.542, 0.364, 0.369, 0.486, 0.176$, 均 $P<0.05$), SAXACSendo、LSendo-ee、CSendo-ee、左心室心内膜回声增强面积与Gensini评分均无相关性。

七、ROC曲线分析

ROC曲线分析显示, GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、SAXBCSendo、SAXMCSendo诊断中重度冠状动脉病变的曲线下面积(AUC)分别为0.788、0.685、0.709、0.813、0.710、0.713、0.780(均 $P<0.05$), 其中AP3LSendo的AUC最高, GLSendo次之。见图6、7和表5。

八、重复性检验

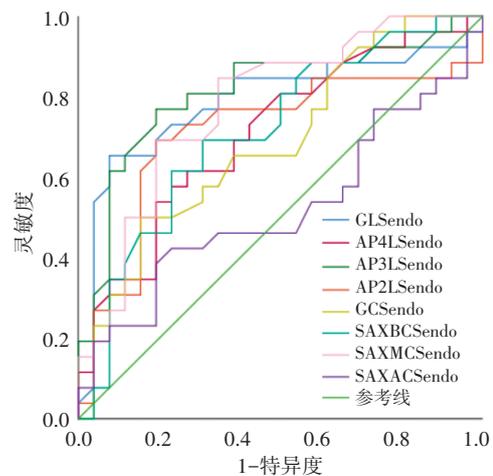


图6 GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、SAXBCSendo、SAXMCSendo、SAXACSendo诊断中重度冠状动脉病变的ROC曲线图

重复性检验显示, GLSendo在观察者内和观察者间一致性均良好, ICC分别为0.971(95%CI: 0.940~

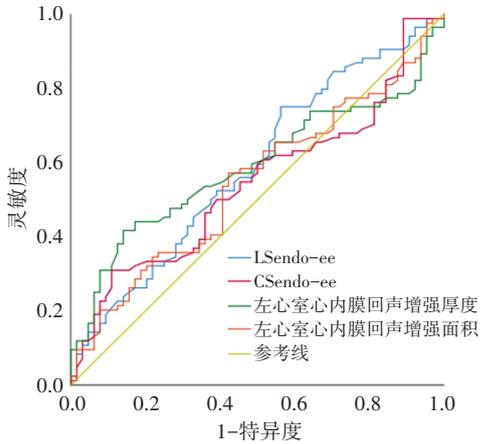


图7 LSendo-ee、CSendo-ee、左心室心内膜回声增强厚度及面积诊断中重度冠状动脉病变的ROC曲线图

表5 左心室心内膜下心肌应变参数、左心室心内膜回声增强厚度诊断中重度冠状动脉病变的效能

参数	AUC及其95%可信区间	P值	截断值 (%)	灵敏度 (%)	特异度 (%)
GLSendo	0.788(0.654~0.921)	<0.001	-14.25	65.4	92.3
GCsendo	0.685(0.540~0.830)	0.022	-24.30	50.0	84.6
AP4LSendo	0.709(0.568~0.850)	0.010	-12.55	53.8	80.8
AP3LSendo	0.813(0.690~0.936)	<0.001	-15.60	76.9	80.8
AP2LSendo	0.710(0.559~0.861)	0.009	-14.90	69.2	80.8
SAXBCSendo	0.713(0.571~0.855)	0.008	-21.50	61.5	76.9
SAXMCSendo	0.780(0.654~0.907)	0.001	-27.15	84.6	65.4

AUC: 曲线下面积

0.986)和0.978(95%CI:0.955~0.990); Bland-Altman图分析显示观察者内和观察者间检测 GLSendo的95%一致性界限分别为-1.228~1.815、-1.219~1.406,所有点均位于相应的95%一致性界限内。见图8。

讨论

冠状动脉从心外膜发出分支向心内膜供血,正常成人心内膜血流量较心外膜高约40%,而心内膜冠状动脉血流储备低于心外膜,且心内膜位于冠状动脉灌注的远端,当发生缺血缺氧时,心内膜较心外膜更敏感,首先消耗冠状动脉血流储备,因此心内膜更易发生缺血损伤^[11-12]。既往研究^[4,13-14]应用超声声学密度定量技术对缺血心肌及心内膜平均回声强度、超声背向散射积分进行探究,发现缺血心肌心内膜与相邻心肌回声比值增高,证实了心内膜下胶原含量增加可能是导致心内膜回声增强的主要原因,并发现心内膜回声增强与心肌缺血密切相关,可能是早期轻度心肌缺血的一项临床新指标。马秀丽和刘书丽^[15]在此基础上应用脉冲组织多普勒测量CHD患者左心室下壁基

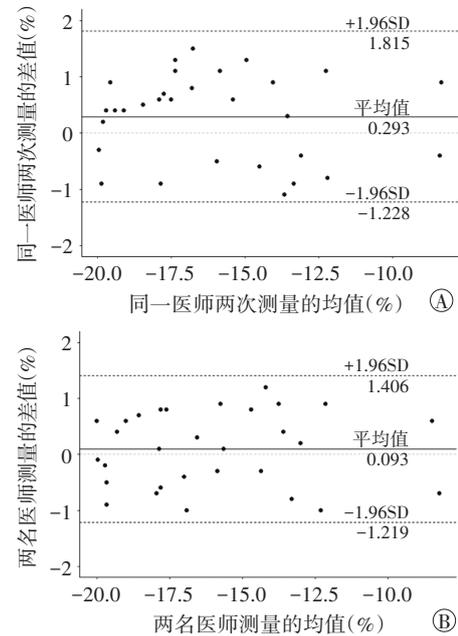


图8 观察者内(A)及观察者间(B)检测GLSendo的Bland-Altman图

底段、后间隔基底段心内膜回声增强处心内膜下与心外膜下心肌的运动速度,结果显示二者运动速度阶差消失,提示心内膜下心肌收缩功能受损,受缺血影响明显。目前国内外关于心内膜回声增强的研究报道较少,缺少对心内膜回声增强定性、定量分析的相关指南及专家共识,且少有研究对左心室心内膜回声增强厚度及面积、心内膜回声增强处心肌的应变进行检测并分析其与冠状动脉病变程度的相关性。基于此,本研究应用2D-STI检测存在左心室心内膜回声增强患者的左心室心内膜下心肌应变参数,旨在探讨左心室心内膜回声增强与心肌缺血及冠状动脉病变的关系。

本研究结果显示,各组左心室心内膜回声增强的发生率比较差异无统计学意义;所有患者左心室心内膜回声增强处心肌节段与病变冠状动脉供血心肌节段的对应率仅52.2%,但轻度病变组和中重度病变组左心室心内膜回声增强处心肌节段与病变冠状动脉供血心肌节段的对应率分别为75.0%、72.6%,且中重度病变组高于轻度病变组,表明当冠状动脉发生病变时,通过左心室心内膜回声增强处心肌节段预测可能发生病变的冠状动脉主要分支的准确率较高。本研究无病变组也存在较多左心室心内膜回声增强,分析其原因:①存在心内膜回声增强处心肌节段供血冠状动脉“无病变”的情况。CAG仅能显示直径>400~500 μm的大血管,而冠状动脉微血管占整个冠状动脉树的90%以上,CAG无法显示^[16],且即使CAG结果提

示正常,也可能存在冠状动脉微血管疾病(coronary microvascular disease, CMVD)^[17-18]。②存在病变冠状动脉供血心肌节段心内膜回声无增强的情况,分析可能为冠状动脉虽存在狭窄但尚未引起心肌缺血所致。

本研究中重度病变组和轻度病变组左心室心内膜回声增强厚度均大于无病变组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),分析原因可能为:随冠状动脉病变程度加重,心肌缺血程度加重,心内膜下胶原沉积增加,导致该处心内膜厚度增加。而中重度病变组与轻度病变组左心室心内膜回声增强厚度比较差异无统计学意义,分析原因可能为:实际临床中冠状动脉重度病变患者较轻度和中度病变患者少,本研究纳入的样本量较小,故将 $25\text{分}\leq\text{Gensini评分}<50\text{分}$ 的冠状动脉中度病变患者和Gensini评分 $\geq 50\text{分}$ 的冠状动脉重度病变患者列为一组,使该组患者的冠状动脉病变程度差异较大,导致左心室心内膜回声增强厚度在两组中比较差异无统计学意义。各组左心室心内膜回声增强面积比较差异无统计学意义,分析原因可能为:心内膜回声增强的范围具有空间性,本研究仅测量左心室短轴基底段、中间段、心尖段水平3个平面的心内膜回声增强面积,并未包含整个左心室完整的心内膜信息,具有片面性。

在评估不同冠状动脉病变程度患者左心室心内膜下心肌应变方面,本研究轻度病变组GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、LSendo-ee、CSendo-ee、SAXACSendo均较无病变组增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),表明冠状动脉发生轻度病变时,心内膜下心肌已发生缺血导致应变能力降低。中重度病变组GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、LSendo-ee、CSendo-ee、SAXBCSendo、SAXMCSendo均较无病变组和轻度病变组增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),表明随冠状动脉病变程度加重,心肌缺血程度加重,左心室心内膜下心肌收缩功能进一步受损,心内膜下心肌在纵向和环向的应变能力降低。其中LSendo-ee、CSendo-ee在各组中变化由大到小依次为中重度病变组、轻度病变组、无病变组,表明随着冠状动脉病变程度增加,左心室心内膜回声增强处心内膜下心肌缺血程度加重,心肌应变受损程度亦随之增加,与既往研究^[19-20]中心肌缺血部位应变降低的结论一致。

本研究相关性分析显示,冠状动脉病变患者GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、SAXBCSendo、SAXMCSendo、左心室心内膜回声增强

厚度与Gensini评分均呈正相关(均 $P<0.05$),而SAXACSendo、LSendo-ee、CSendo-ee、左心室心内膜回声增强面积与Gensini评分均无相关性,与本课题组前期预测LSendo-ee、CSendo-ee、左心室心内膜回声增强面积均与Gensini评分有良好相关性的结果不一致。分析原因可能为:①仅纳入左心室短轴基底段、中间段、心尖段水平3个平面显示的心内膜回声增强,并未包含整个左心室完整的心内膜信息,对心内膜回声增强面积的测量方式存在片面性,导致心内膜回声增强面积与Gensini评分无相关性;②未将左心室心内膜回声增强处心肌节段进行分组,从而未分节段评价心内膜下心肌应变,导致LSendo-ee、CSendo-ee与Gensini评分均无相关性。

ROC曲线分析显示,GLSendo、GCSendo、AP4LSendo、AP3LSendo、AP2LSendo、SAXBCSendo、SAXMCSendo对中重度冠状动脉病变均有一定的诊断价值,其中AP3LSendo的诊断效能最佳,GLSendo次之,表明2D-STI获得的心内膜下心肌纵向应变参数^[21]在评估冠状动脉病变严重程度方面具有一定的临床价值。本研究结果与既往研究^[22]认为心肌整体峰值纵向应变(GLS)为评估冠状动脉病变心肌功能最有价值指标的结论不完全一致,但并无充分证据表明GLS适用于所有CHD人群,且GLS代表整体心肌,GLSendo代表心内膜下层心肌,本研究仅探讨了心内膜下心肌应变,故本研究结果也是合理的。

此外,本研究中共209处左心室心内膜回声增强,其中右冠状动脉供血的后间隔、下壁基底段及中间段心肌发现心内膜回声增强最多,左前降支供血的前壁、前间隔基底段及中间段、心尖段心肌发生心内膜回声增强次之,左回旋支供血的后壁、侧壁基底段及中间段心肌发生心内膜回声增强最少。分析原因可能为:后间隔、前壁、前间隔受超声声束入射角度影响小,而下壁、后壁、侧壁受超声声束入射角度影响大、回声衰减更多,导致对心内膜回声增强的判定更困难。

本研究的局限性:①为单中心研究,样本量较小;②未对患者高血压、糖尿病、高脂血症程度及用药情况进行分析;③未纳入心电图结果、心肌损伤标记物等实验室指标进行研究;④仅对心内膜下心肌纵向、环向应变进行分析,未探究心内膜下心肌径向、旋转应变及中层心肌、心外膜下心肌、整体心肌应变情况,未将心内膜回声增强处心肌节段进行分组并分析应变差异;⑤缺乏心内膜活检结果,尚未提供心内膜回声增强的病理学证据。今后可扩大样本量,进行多中

心、多指标的前瞻性研究进一步探讨。且为了减小观察者的主观影响,后续本课题组拟建立一种识别心内膜回声增强的人工智能模型,以期提高心内膜回声增强判定的准确性。

综上所述,应用 2D-STI 评估存在左心室心内膜回声增强的患者心内膜下心肌应变参数,可初步判定心肌缺血与冠状动脉病变程度,并可通过心内膜回声增强的部位推测可能发生病变的冠状动脉,有一定的临床价值。

参考文献

- [1] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2022 概要[J]. 中国循环杂志, 2023, 38(6): 583-612.
- [2] Lin X, Yang F, Chen Y, et al. Echocardiography-based AI detection of regional wall motion abnormalities and quantification of cardiac function in myocardial infarction[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9(2): 903660.
- [3] Gupta K, Kakar TS, Gupta A, et al. Role of left ventricle deformation analysis in stress echocardiography for significant coronary artery disease detection: a diagnostic study Meta-analysis [J]. Echocardiography, 2019, 36(6): 1084-1094.
- [4] 刘学兵, 尹立雪, 邓燕, 等. 声学密度定量技术评价轻度心肌缺血的价值探讨[J]. 临床超声医学杂志, 2014, 16(12): 817-819.
- [5] Lin J, Gao L, He J, et al. Comparison of myocardial layer-specific strain and global myocardial work efficiency during treadmill exercise stress in detecting significant coronary artery disease [J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8(1): 786943.
- [6] Upton R, Mumith A, Beqiri A, et al. Automated echocardiographic detection of severe coronary artery disease using artificial intelligence [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(5): 715-727.
- [7] Skaarup KG, Lassen MCH, Johansen ND, et al. Age- and sex-based normal values of layer-specific longitudinal and circumferential strain by speckle tracking echocardiography: the Copenhagen city heart study [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2022, 23(5): 629-640.
- [8] Akhan O, Demir E, Dogdus M, et al. Speckle tracking echocardiography and left ventricular twist mechanics: predictive capabilities for noncompaction cardiomyopathy in the first degree relatives[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2021, 37(2): 429-438.
- [9] 林艺霞, 张丽, 谢明星, 等. 超声斑点追踪成像在射血分数保留的心力衰竭中的应用进展[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(3): 291-295, 305.
- [10] Rampidis GP, Benetos G, Benz DC, et al. A guide for Gensini score calculation[J]. Atherosclerosis, 2019, 287(8): 181-183.
- [11] Heusch G. Coronary blood flow in heart failure: cause, consequence and bystander[J]. Basic Res Cardiol, 2022, 117(1): 1.
- [12] Taqueti VR. Coronary flow reserve: a versatile tool for interrogating pathophysiology, and a reliable marker of cardiovascular outcomes and mortality[J]. Eur Heart J, 2022, 43(16): 1594-1596.
- [13] Fujimoto S, Mizuno R, Nakagawa Y, et al. Ultrasonic tissue characterization in patients with dilated cardiomyopathy: comparison with findings from right ventricular endomyocardial biopsy [J]. Int J Card Imaging, 1999, 15(5): 391-396.
- [14] Picano E, Pelosi G, Marzilli M, et al. In vivo quantitative ultrasonic evaluation of myocardial fibrosis in humans[J]. Circulation, 1990, 81(1): 58-64.
- [15] 马秀丽, 刘书丽. TDI 等容收缩期参数评价冠心病节段性心内膜回声增强与心肌缺血关系[J]. 中国医疗设备, 2017, 32(12): 76-79.
- [16] O'Driscoll JM, Hawkes W, Beqiri A, et al. Left ventricular assessment with artificial intelligence increases the diagnostic accuracy of stress echocardiography [J]. Eur Heart J Open, 2022, 2(5): 1-10.
- [17] Vancheri F, Longo G, Vancheri S, et al. Coronary microvascular dysfunction[J]. J Clin Med, 2020, 9(9): 2880.
- [18] 张运, 陈韵岱, 傅向华, 等. 冠状动脉微血管疾病诊断和治疗的专家共识[J]. 中国循环杂志, 2017, 32(5): 421-430.
- [19] Hanafy A, Ibrahim SG, Mansour HMM, et al. Validity of resting strain/strain rate in prediction of myocardial viability [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2022, 38(3): 507-514.
- [20] Hu B, Zhou Q, Yao X, et al. Layer-specific strain for long-term outcome prediction after first-onset myocardial infarction[J]. Ultrasound Med Biol, 2020, 46(6): 1435-1441.
- [21] 石紫旋, 赵田英, 申晴, 等. 二维斑点追踪技术评估痛风患者左室收缩功能[J]. 临床超声医学杂志, 2023, 25(2): 126-130.
- [22] Plana JC, Galderisi M, Barac A, et al. Expert consensus for multimodality imaging evaluation of adult patients during and after cancer therapy: a report from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2014, 27(9): 911-939.

(收稿日期: 2024-03-13)