

本文引用: 李晓美, 侯志敏, 乔英艳, 等. 分层应变技术评价糖尿病合并微血管病变患者左心室纵向功能[J]. 中国动脉硬化杂志, 2022, 30(8): 699-704. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2022.08.008.

[文章编号] 1007-3949(2022)30-08-0699-06

· 临床研究 ·

分层应变技术评价糖尿病合并微血管病变患者左心室纵向功能

李晓美^{1,2}, 侯志敏³, 乔英艳^{2,4}, 杨慧娟¹, 毛 荔¹, 张 敏²

(1. 山西医科大学, 2. 山西医科大学第二医院, 山西省太原市 030001; 3. 西安市红会医院, 陕西省西安市 710054;

4. 山西省煤炭中心医院, 山西省太原市 030001)

[关键词] 糖尿病; 微血管病变; 左心室; 分层应变技术; 纵向峰值应变

[摘要] [目的] 应用分层应变技术分析糖尿病合并微血管病变患者左心室收缩期心内膜下、中层及心外膜下心肌纵向峰值应变(LPS), 以评估糖尿病合并微血管病变患者的心肌功能。[方法] 收集 2 型糖尿病(T2DM)患者 40 例, 分为 T2DM 组 20 例、T2DM 微血管病变组 20 例, 选择健康志愿者 20 例设为对照组, 进行常规超声心动图测量, 采集并储存二维动态图像, 导入脱机分析软件 QLab13.0 中, 描记得到左心室收缩期整体纵向应变(GLS); 通过分层应变描记左心室三层心肌, 得到心内膜心肌纵向峰值应变(LPSendo)、中层心肌纵向峰值应变(LPSmid)以及心外膜下心肌纵向峰值应变(LPSepi), 之后通过 LPSendo-LPSepi 得到左心室跨壁应变压差(Δ LS)。[结果] 与对照组相比, T2DM 微血管病变组 GLS 减低 2.15% ($P < 0.05$), 而 T2DM 组 GLS 不存在显著性差异 ($P > 0.05$); 与 T2DM 组相比, T2DM 微血管病变组 GLS 减低 1.79% ($P < 0.05$)。与对照组相比, T2DM 组 LPSendo 减低 3.09% ($P < 0.05$), 而 LPSmid、LPSepi 不存在显著性差异 ($P > 0.05$), T2DM 微血管病变组 LPSendo、LPSmid、LPSepi 分别减低 4.20%、3.38% 及 3.16% ($P < 0.05$); 与 T2DM 组相比, T2DM 微血管病变组 LPSendo、LPSmid、LPSepi 分别减低 1.11%、2.68%、3.19% ($P < 0.05$)。与对照组相比, T2DM 组 Δ LS 减低 2.59% ($P < 0.05$), 而 T2DM 微血管病变组 Δ LS 不存在显著性差异 ($P > 0.05$); 与 T2DM 微血管病变组相比, T2DM 组 Δ LS 减低 1.89% ($P < 0.05$)。相关性分析显示, GLS、LPSendo、LPSmid 及 LPSepi 与糖尿病病程均呈负相关 ($r = -0.491$ 、 -0.546 、 -0.578 和 -0.592 , 均 $P < 0.001$), Δ LS 与糖尿病病程之间不存在线性相关 ($r = 0.305$, $P > 0.05$)。[结论] 应用分层应变技术可以敏感地发现糖尿病患者心内膜心肌损害及糖尿病合并微血管病变患者不同层次心肌的损害, 有助于病情的分析与判断。

[中图分类号] R540.45; R587

[文献标识码] A

Evaluation of left ventricular longitudinal function in patients with diabetes mellitus complicated with microangiopathy by stratified strain technique

LI Xiaomei^{1,2}, HOU Zhimin³, QIAO Yingyan^{2,4}, YANG Huijuan¹, MAO Li¹, ZHANG Min²

(1. Shanxi Medical University, 2. Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan, Shanxi 030001, China; 3. Xi'an Honghui Hospital, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 4. Shanxi Coal Central Hospital, Taiyuan, Shanxi 030001, China)

[KEY WORDS] diabetes mellitus; microvascular disease; left ventricle; stratified strain technique; longitudinal peak strain

[ABSTRACT] **Aim** To analyze the longitudinal peak strain (LPS) of left ventricular subendocardial myocardium, middle myocardium and subepicardial myocardium in patients with diabetes mellitus complicated with microangiopathy by speckle tracking stratified strain technique, so as to evaluate the myocardial function in patients with diabetes mellitus complicated with microangiopathy. **Methods** 40 patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) were collected and classified according to whether they had microvascular disease; 20 cases of T2DM group, 20 cases of T2DM microangiopathy group. 20 cases of healthy volunteers were collected as control group. All subjects underwent conventional echocardiographic examination, and the two-dimensional echocardiographic images of at least three cardiac cycles were collected and stored. The collected two-dimensional dynamic images were imported into the offline analysis software QLab13.0. The

[收稿日期] 2022-01-24

[修回日期] 2022-05-09

[基金项目] 山西省卫生健康委科研课题(20211118)

[作者简介] 李晓美, 硕士研究生, 研究方向为心血管超声, E-mail: 894462302@qq.com。通信作者乔英艳, 副教授, 研究方向为心血管超声和胎儿超声心动图, E-mail: qiaoyingyan@163.com。

global longitudinal strain (GLS) of the left ventricle during systole was obtained by recording the endocardium and epicardium. After that, the left ventricular three-layer myocardium was recorded by stratified strain mapping, and the endocardial longitudinal peak strain (LPSendo), middle myocardial longitudinal peak strain (LPSmid) and epicardial longitudinal peak strain (LPSePi) were obtained. Then the transmural strain pressure difference of left ventricle was obtained from the LPS difference between subendocardial and subepicardial myocardium.

Results Compared with control group, GLS in T2DM microangiopathy group significantly decreased by 2.15% ($P<0.05$), but there was no significant difference in GLS in T2DM group. Compared with T2DM group, GLS in T2DM microangiopathy group significantly decreased by 1.79% ($P<0.05$). Compared with control group, the LPSendo in T2DM group significantly decreased by 3.09% ($P<0.05$), but there was no significant difference in the LPSmid and LPSePi in T2DM group ($P>0.05$), and LPSendo, LPSmid and LPSePi in T2DM microangiopathy group significantly decreased by 4.20%, 3.38% and 3.16%. Compared with T2DM group, LPSendo, LPSmid and LPSePi in T2DM microangiopathy group respectively decreased by 1.11%, 2.68% and 3.19% ($P<0.05$). Compared with control group, Δ LS in T2DM group decreased by 2.59% ($P<0.05$), but there was no significant difference in Δ LS in T2DM microangiopathy group, and compared with T2DM microangiopathy group, Δ LS in T2DM group was significantly decreased by 1.89% ($P<0.05$). Correlation analysis showed that GLS, LPSendo, LPSmid and LPSePi were negatively correlated with diabetic course ($r=-0.491, -0.546, -0.578$ and -0.592 , all $P<0.001$), there was no linear correlation between Δ LS and diabetic course ($r=0.305, P>0.05$).

Conclusion The application of stratified strain technique can sensitively detect the damage of endocardium in diabetic patients and different levels of myocardium in diabetic patients with microangiopathy, which can provide clinical diagnostic basis.

糖尿病作为一种慢性疾病,是导致人类死亡的重要原因之一^[1]。微血管病变是糖尿病最常见的并发症,当累及心脏微血管时,则会导致心肌微循环障碍,从而进一步导致心肌细胞肥大,心肌纤维化,甚至局部或者广泛性坏死^[2]。因此,若能早期发现糖尿病患者心肌功能异常,可以及时进行临床干预,减少心血管事件的发生。

斑点追踪分层应变作为一种新技术,不再局限于分析左心室心肌整体应变,通过对左心室各层心肌进行斑点追踪,根据其位移分析得到心肌应变,对左心室心肌功能的检测更加及时、敏感^[3-4]。本研究通过定量分析获得糖尿病及糖尿病合并微血管病变患者左心室整体收缩期纵向应变以及左心室三层心肌即心内膜下、中层以及心外膜下心肌层的纵向峰值应变(longitudinal peak strain, LPS),旨在分析分层应变技术成像下糖尿病及糖尿病合并微血管病变对于左心室各层心肌亚临床功能损伤的敏感性,并探讨其临床应用价值。

1 资料和方法

1.1 研究对象与分组

收集2021年3月—10月就诊于山西医科大学第二医院内分泌科的糖尿病患者共40例,分为糖尿病组20例,糖尿病合并微血管病变组20例;选择健康志愿者20例,将其设为对照组。糖尿病诊断均符合中国2型糖尿病防治指南(2017版)。糖尿病组

患者纳入标准:符合2型糖尿病诊断标准且无其他例如微血管病变等并发症。糖尿病合并微血管病变组纳入标准:(1)糖尿病肾病;(2)糖尿病视网膜病变;(3)自主神经病变。排除标准:(1)冠心病、心室肥厚、瓣膜疾病、心律失常等患有心脏疾病患者;(2)高血压患者;(3)免疫系统疾病患者;(4)血液系统疾病患者;(5)严重脏器疾病患者。收集所有受检者一般资料,包括年龄、身高、体质指数(body mass index, BMI)、血压及心率。本研究经本院伦理委员会审核通过,所有受检者均知情同意并配合完成本研究。

1.2 方法

(1)连接心电图,患者左侧卧位,采用 Philips EPIQ 7C 多普勒超声诊断仪,使用 S5-1 矩阵探头,频率 1~5 MHz,帧频 60~100 帧/s,采集超声心动图图像。(2)二维超声心动图常规测量:心室收缩期末左房内径(left atrial diameter, LAD)、舒张期末室间隔厚度(interventricular septum thickness, IVS)及左室后壁厚度(left ventricular posterior wall thickness, LVPW)、左室舒张期末内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVEDD)及左室收缩期末内径(left ventricular end-systolic diameter, LVESD)、左室舒张期末容积(end-diastolic volume, EDV)及收缩期末容积(end-systolic volume, ESV)、二尖瓣口舒张早期与晚期峰值流速比值(E/A),再运用 Simpson 法在心尖四腔及两腔心双平面描记获得左室射血分数(left ventricular ejection fraction,

LVEF)。于心尖四腔心、三腔心及两腔心切面采集连续 3 个心动周期的二维超声动态图, 导入 QLab13.0 软件系统工作站。

1.3 图像分析

导入 QLab13.0 软件系统工作站, 将左心室心肌作为整体进行描记分析, 得到各组左心室整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS); 之后再将左心室各层心肌作为感兴趣区域, 系统按照 17 节段划分法自动对其进行描记, 并对描记不准确之处进行

适当手动调整, 分析后可以显示左心室心肌三个不同切面在不同心肌层的纵向峰值应变曲线, 之后再将心尖二、三、四腔心切面上同一层心肌纵向峰值应变相加求平均值, 分别得到左心室心内膜下心肌纵向峰值应变(longitudinal peak strain in endocardium, LPSendo)、中层心肌纵向峰值应变(longitudinal peak strain in mid-cardium, LPSmid)以及心外膜下心肌层纵向峰值应变(longitudinal peak strain in epi-cardium, LPSepi), 见图 1、2、3 及 4。

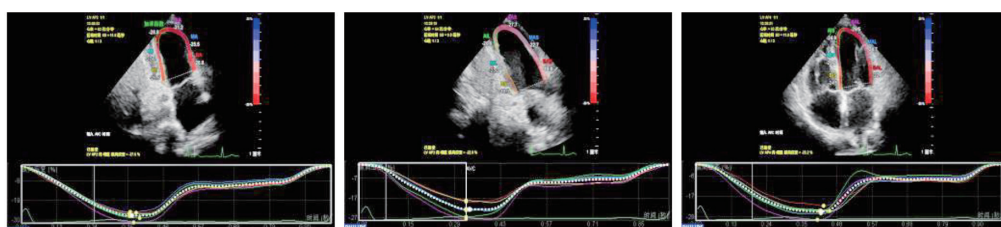


图 1. 正常志愿者心尖二、三、四腔心切面心内膜下心肌纵向峰值应变曲线图

Figure 1. Longitudinal peak strain curve of the subendocardium in the second, third and fourth chambers of normal volunteers

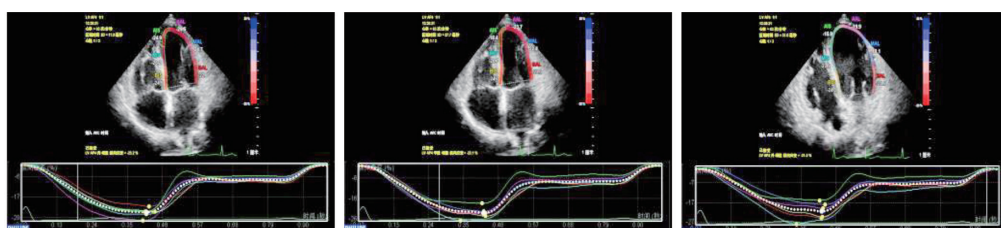


图 2. 正常志愿者心尖四腔心切面心内膜下、中层及心外膜下心肌层纵向峰值应变曲线图

Figure 2. Longitudinal peak strain curve of subendocardial, middle and subepicardial layers of normal volunteers

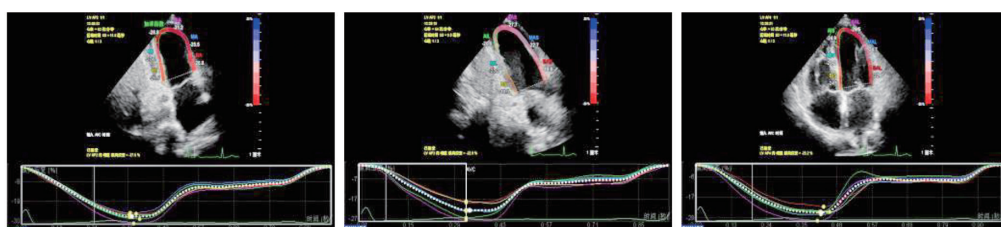


图 3. 糖尿病组患者心尖二、三、四腔心切面心内膜下心肌纵向峰值应变曲线图

Figure 3. Longitudinal peak strain curve of the subendocardial myocardium at the second, third and fourth chambers of patients in the diabetic group

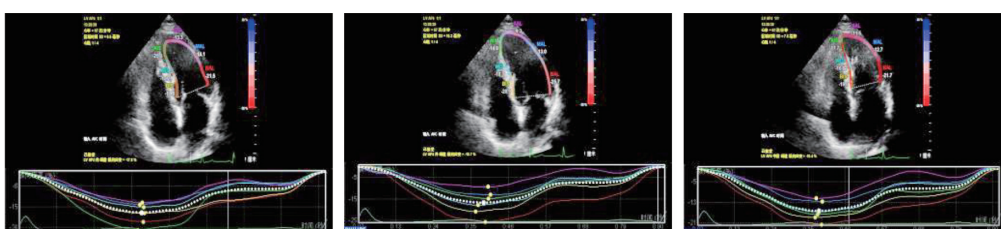


图 4. 糖尿病合并微血管病变患者心尖四腔心切面心内膜下、中层及心外膜下心肌层纵向峰值应变曲线图

Figure 4. Longitudinal peak strain curve of subendocardial, middle, and subepicardial layers of patients with diabetes and microangiopathy

1.4 统计学方法

采用 SPSS 22.0 统计分析软件,所有参数均进行正态检验及方差齐性检验,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用单因素方差分析,两两进一步比较采用 LSD 检验。相关性分析采用 Spearman 相关分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料比较

三组之间相比,年龄、身高、BMI、血压及心率均不存在显著性差异 ($P > 0.05$); T2DM 微血管病变组的糖尿病病程显著长于 T2DM 组 ($P < 0.05$; 表 1)。

表 1. 一般资料比较

Table 1. Comparison of general data

分组	年龄/岁	身高/cm	BMI/(kg/m ²)	收缩压/mmHg	舒张压/mmHg	心率/(次/分)	糖尿病病程/年
对照组 ($n=20$)	56.90 \pm 7.70	169.05 \pm 6.92	22.15 \pm 1.61	131.60 \pm 8.58	86.60 \pm 9.74	82.05 \pm 6.69	
T2DM 组 ($n=20$)	57.70 \pm 7.28	168.80 \pm 5.84	22.42 \pm 1.98	128.10 \pm 9.03	82.15 \pm 9.46	83.45 \pm 7.48	3.75 \pm 1.45
T2DM 微血管病变组 ($n=20$)	61.60 \pm 7.23	168.35 \pm 6.43	21.83 \pm 1.89	128.55 \pm 9.53	82.95 \pm 7.52	83.10 \pm 10.33	5.90 \pm 1.37 ^a
F 值	2.307	0.061	0.481	0.884	1.402	0.154	23.250
P 值	0.109	0.941	0.620	0.419	0.254	0.858	0.000

注:空白表示不适应。a 为 $P < 0.05$,与 T2DM 组比较。

2.2 常规超声参数比较

三组之间相比, LAD、IVS、LVPW、LVEDD、LVESD、EDV、ESV 及 LVEF 均不存在显著性差异 ($P > 0.05$); 与对照组相比, T2DM 组和 T2DM 微血管病变组 E/A 均减低, ($P < 0.05$), 而 T2DM 组 E/A 与 T2DM 微血管病变组相比差异无统计学意义 ($P > 0.05$; 表 2)。

2.3 应变参数比较

与对照组相比, T2DM 微血管病变组 GLS 减低 2.15% ($P < 0.05$), 而 T2DM 组 GLS 不存在显著性差异 ($P > 0.05$), 与 T2DM 组相比, T2DM 微血管病变

组 GLS 减低 1.79% ($P < 0.05$)。与对照组相比, T2DM 组 LPSendo 减低 3.09% ($P < 0.05$), 而 LPSmid 和 LPSePi 没有显著性差异 ($P > 0.05$), 但 T2DM 微血管病变组 LPSendo、LPSmid 和 LPSePi 分别减低 4.20%、3.38% 和 3.16% ($P < 0.05$); 与 T2DM 组相比, T2DM 微血管病变组 LPSendo、LPSmid 和 LPSePi 分别减低 1.11%、2.68% 和 3.19% ($P < 0.05$)。与对照组相比, T2DM 组 Δ LS 减低 2.59% ($P < 0.05$), 而 T2DM 微血管病变组 Δ LS 无显著性差异 ($P > 0.05$); 与 T2DM 微血管病变组相比, T2DM 组 Δ LS 减低 1.89% ($P < 0.05$; 表 3)。

表 2. 常规超声参数比较

Table 2. Comparison of the conventional ultrasound parameters

分组	LAD/mm	IVS/mm	LVPW/mm	LVEDD/mm	LVESD/mm	EDV/mL	ESV/mL	LVEF/%	E/A
对照组 ($n=20$)	30.83 \pm 2.42	7.94 \pm 0.81	8.34 \pm 0.78	46.07 \pm 1.97	29.87 \pm 2.28	95.61 \pm 5.91	33.88 \pm 3.41	64.97 \pm 3.26	1.38 \pm 0.44
T2DM 组 ($n=20$)	31.41 \pm 2.98	8.28 \pm 1.01	8.31 \pm 1.08	47.21 \pm 3.00	30.98 \pm 3.00	94.46 \pm 11.17	34.80 \pm 5.87	62.88 \pm 4.80	1.11 \pm 0.41 ^a
T2DM 微血管病变组 ($n=20$)	32.19 \pm 1.58	8.20 \pm 1.03	8.34 \pm 0.95	46.19 \pm 2.87	30.38 \pm 3.13	95.09 \pm 10.62	34.36 \pm 5.92	64.09 \pm 4.32	0.89 \pm 0.21 ^a
F 值	0.863	1.545	0.747	2.463	1.177	0.159	0.086	1.335	4.518
P 值	0.431	0.227	0.481	0.100	0.320	0.854	0.918	0.276	0.018

注:a 为 $P < 0.05$,与对照组比较。

表 3. 纵向峰值应变及跨壁压差参数比较

Table 3. Comparison of longitudinal peak strain and transwall pressure parameters

单位: %

分组	GLS	LPSendo	LPSmid	LPSePi	Δ LS
对照组 ($n=20$)	-20.44 \pm 1.27	-21.17 \pm 1.29	-19.54 \pm 0.90	-18.00 \pm 0.90	-3.17 \pm 1.12
T2DM 组 ($n=20$)	-20.08 \pm 1.01	-18.08 \pm 1.11 ^a	-18.84 \pm 0.75	-18.03 \pm 0.67	-0.58 \pm 1.33 ^a
T2DM 微血管病变组 ($n=20$)	-18.29 \pm 1.23 ^{ab}	-16.97 \pm 1.27 ^{ab}	-16.16 \pm 1.55 ^{ab}	-14.84 \pm 1.41 ^{ab}	-2.47 \pm 1.40 ^b
F 值	18.939	62.952	50.431	76.339	32.036
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注:-代表基线下。a 为 $P < 0.05$,与对照组比较;b 为 $P < 0.05$,与 T2DM 组比较。

2.4 相关性分析

GLS、LPSendo、LPSmid 及 LPSepl 与糖尿病病程均呈负相关($r=-0.491$ 、 -0.546 、 -0.578 和 -0.592 ,

均 $P<0.001$), ΔLS 与糖尿病病程之间不存在线性相关($r=0.305$, $P>0.05$; 图 5)。

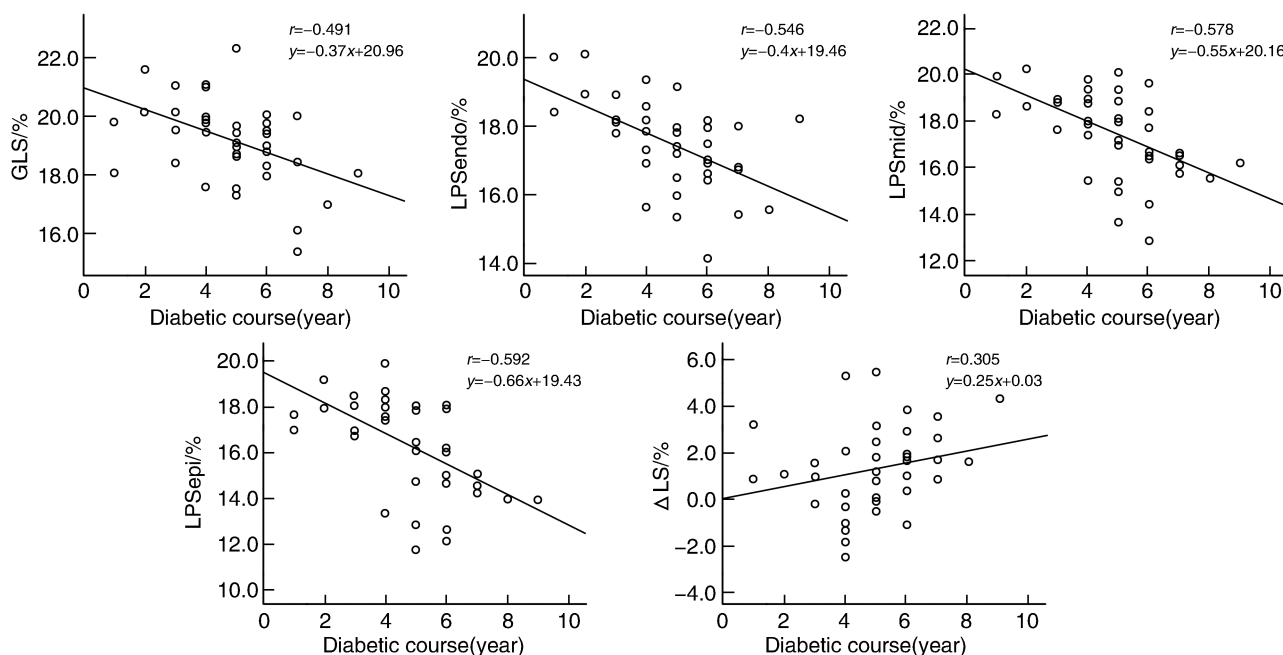


图 5. GLS、LPSendo、LPSmid、LPSepl 及 ΔLS 与糖尿病病程的散点图

Figure 5. Scatter plot of GLS, LPSendo, LPSmid, LPSepl and ΔLS and diabetic course

3 讨论

糖尿病是引起心血管意外事件的重要原因之一,可能与心肌细胞缺血缺氧、胰岛素抵抗、心肌能量代谢以及炎症因素有关^[5]。以往研究证实,糖尿病心肌损伤在 LVEF 未发生明显改变之前,主要表现为左心室舒张功能障碍^[6],本研究结果与其相一致。分层应变技术突破左心室整体的局限性,可以对左心室每一层心肌进行分析,从而更加敏感地识别心肌出现的亚临床功能障碍^[7]。先前的研究表明,在左心室的三层心肌中,心内膜下心肌层对损伤更为敏感,因此,相比较而言,更容易在早期即表现出受损^[8-9]。

本研究结果表明,在糖尿病患者还未出现微血管病变时,其射血分数等常规指标尚无明显的变化,通过对 GLS 研究分析,发现 T2DM 组与对照组相比无明显差异,但是随着病程的进展,T2DM 微血管病变组相对于对照组及 T2DM 组而言,GLS 均显著减低。这与本研究的分层应变分析研究结果有所不同:分层应变技术分析左心室三层心肌发现,T2DM 组患者 LPSendo 相对于对照组已出现显著减

低;随着此类患者病程进一步发展,T2DM 微血管病变组患者的三层心肌纵向峰值应变都较对照组和 T2DM 组显著减低,这项结果表明心内膜下心肌对于糖尿病造成的心肌损伤最为敏感,在早期即出现了损伤,这可能是由于心内膜下心肌是左心室心肌整体收缩的主要力量、因而受到的应力最大^[10-11]。在病程进展到一定程度时,病变开始累及左心室中层心肌以及心外膜下心肌,使其纵向峰值应变也开始减低。这也证明了分层应变技术的敏感性和优越性。并且,Qiao 等^[12]通过对不同病程的糖尿病兔心肌纵向及周向应变以及左心室三层应变进行分析,发现随着病程增长,心肌损伤呈由内至外的透壁性,并且纵向的应变结果在心内膜下心肌层中表现出的损伤更早,表明心内膜对于损伤更加敏感。

左心室是一个具有复杂运动方式的结构^[13-15],纵向运动是决定左心室纵向应变的主要因素,其次,中层心肌纤维主要是环向走形,心外膜下心肌层主要是径向走形,这几种肌纤维相互交叉走行,不仅如此,左心室心肌还存在螺旋式的运动^[16],心内膜下心肌是以心尖方向向基底部方向为主的,而心外膜下心肌恰好相反,则是以基底部朝向心尖

方向为主的螺旋式运动,这种运动方式则产生了心外膜下心肌与心内膜下心肌之间的跨壁压差 ΔLS ,使其运动更加具有协调性与同步性。既往研究认为跨壁应变压差这一指标也可以相对敏感地评估左心室收缩功能异常^[17]。

本研究结果显示,T2DM 组 ΔLS 较对照组显著减低,与分层应变研究结果一致,由于心内膜下心肌出现损伤,因此其纵向峰值应变减低,而 LPSepi 没有出现显著变化,故导致 ΔLS 出现减低;然而 T2DM 微血管病变组的这一指标变化相对于对照组却没有统计学意义,这可能是由于糖尿病合并微血管病变患者的病程延长,LPSepi 与 LPSendo 同时减低,所以 ΔLS 没有明显变化。本研究认为, ΔLS 并不能单独作为一个指标反映左心室心肌收缩功能是否出现异常。通过相关性分析结果显示,GLS、LPSendo、LPSmid 及 LPSepi 与糖尿病病程呈负相关, ΔLS 与糖尿病病程之间不存在线性相关关系,这与应变参数检测结果相一致。

综上所述,糖尿病随着病程进展,对心肌功能造成的损伤也逐步加重,分层应变技术可以更敏感地识别糖尿病患者左心室心肌亚临床功能障碍,发现常规超声不能检测到的心肌功能障碍,敏感而有效地发现心内膜层的心肌损伤,为临床及早干预提供依据,进而减少心血管疾病所带来的危害。

[参考文献]

- [1] 王俊力,朱在翰,杨军. 超声心动图评价糖尿病患者心脏损害的研究进展[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(1): 52-54.
WANG J L, ZHU Z H, YANG J. Progress of echocardiography in assessment of cardiac damage in diabetes mellitus patients[J]. J Clin Ultrasound, 2020, 22(1): 52-54.
- [2] RAKHA S, ABOELENIN H M. Left ventricular functions in pediatric patients with ten years or more type 1 diabetes mellitus: conventional echocardiography, tissue doppler, and two-dimensional speckle tracking study[J]. Pediatr Diabetes, 2019, 20(7): 946-954.
- [3] BEREZIN A E. Prognostication of clinical outcomes in diabetes mellitus: emerging role of cardiac biomarkers[J]. Diabetes Metab Syndr, 2019, 13(2): 995-1003.
- [4] HAGEMANN C A, HOFFMANN S, HAGEMANN R A, et al. Usefulness of layer-specific strain in diagnosis of coronary artery disease in patients with stable angina pectoris[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2019, 35(11): 1989-1999.
- [5] 邱俊霖,罗说明,周智广. 糖尿病性心脏病研究进展[J]. 中国动脉硬化杂志, 2020, 28(8): 679-687.
QIU J L, LUO S M, ZHOU Z G. Research progress of diabetic heart disease[J]. Chin J Arterioscler, 2020, 28(8): 679-687.
- [6] GILCA G E, STEFANESCU G, BADULESCU O, et al. Diabetic cardiomyopathy: current approach and potential diagnostic and therapeutic targets[J]. J Diabetes Res, 2017: 1310265.
- [7] LERVIK L C N, BREKKE B, AASE S A, et al. Myocardial strain rate by anatomic doppler spectrum: first clinical experience using retrospective spectral tissue doppler from ultra-high frame rate imaging[J]. Ultrasound Med Biol, 2017, 43(9): 1919-1929.
- [8] MELE D, TREVISAN F, D'ANDREA A, et al. Speckle tracking echocardiography in non-ST-segment elevation acute coronary syndromes[J]. Curr Probl Cardiol, 2021, 46(3): 100418.
- [9] VAVERKA J, BURŠA J, ŠUMBERA J, et al. Effect of transmural differences in excitation-contraction delay and contraction velocity on left ventricle isovolumic contraction: a simulation study[J]. Biomed Res Int, 2018, 2018: 4798512.
- [10] HE M, LEONE D M, FRYE R, et al. Longitudinal assessment of global and regional left ventricular strain in patients with multisystem inflammatory syndrome in children (MIS-C)[J]. Pediatr Cardiol, 2022, 43(4): 844-854.
- [11] HIOKI A, ASANUMA T, MASUDA K, et al. Detection of abnormal myocardial deformation during acute myocardial ischemia using three-dimensional speckle tracking echocardiography[J]. J Echocardiogr, 2020, 18(1): 57-66.
- [12] QIAO Y Y, HOU Z M, LI X M, et al. RETRACTED: diagnosis of early left ventricular systolic dysfunction by layer-specific strain echocardiography in diabetic rabbits[J]. Ultrasound Med Biol, 2021, 47(6): 1528-1535.
- [13] LIU C, YAN Z N, FAN L, et al. Layer-specific speckle tracking analysis of left ventricular systolic function and synchrony in maintenance hemodialysis patients[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2020, 20(1): 126.
- [14] BRAININ P. Myocardial postsystolic shortening and early systolic lengthening: current status and future directions[J]. Diagnostics (Basel), 2021, 11(8): 1428.
- [15] 冯津宏. 心肌分层应变技术在临床中的应用进展[J]. 中国医疗器械信息, 2021, 27(5): 44-45.
FENG J H. Progress in the clinical application of layer-specific strain analysis[J]. Chin Med Dev Inf, 2021, 27(5): 44-45.
- [16] 周佳,周启昌,蒲大容,等. 速度向量成像技术评价兔基础状态下左心室心肌力学特征[J]. 中国现代医学杂志, 2013, 23(35): 7-11.
ZHOU J, ZHOU Q C, PU D R, et al. Velocity vector imaging quantitatively evaluate myocardial mechanics characteristic of the rabbits in basic condition[J]. Chin J Mod Med, 2013, 23(35): 7-11.
- [17] 罗玲,尹立雪,郭智宇. 超声分层应变成像技术可视化评价系统性红斑狼疮患者左心室机械力学变化[J]. 中华超声影像学杂志, 2019, 28(7): 581-587.
LUO L, YIN L X, GUO Z Y. Visual evaluation of left ventricular mechanical changes in patients with systemic lupus erythematosus by ultrasound layered strain imaging[J]. Chin J Ultrasonography, 2019, 28(7): 581-587.

(此文编辑 文玉珊)