

• 超声影像学 •

二维斑点追踪成像评估 2 型糖尿病患者右心功能的价值

夏莉莉, 胡献金, 童陶然, 董崇周, 谢莉萍, 郑慧

【摘要】目的:探讨二维斑点追踪超声心动图(2D-STE)评估 2 型糖尿病患者右心功能的临床价值。**方法:**搜集我院收治的糖尿病患者 127 例,并根据代谢风险因素进行分层,其中低风险组(DM1)60 例,高风险组(DM2)67 例;同时选取同期年龄、性别与之相匹配的健康志愿者 41 例为对照组。搜集所有受试者血压、甘油三酯、BMI 等临床资料;进行常规超声心动图和 2D-STE 检查,离线分析右心室游离壁应变,并进一步对右心室游离壁进行分段分析。比较糖尿病组与正常对照组、DM1 组与 DM2 组各参数的差异,并应用受试者工作特征(ROC)曲线分析相关参数评估右心功能的价值。**结果:**糖尿病组的右心室游离壁厚度、三尖瓣环收缩期速度、右心室心肌工作指数较正常对照组显著增高,三尖瓣 E/A 值、右心室游离壁应变 RVFWS 绝对值、右心室游离壁基底段、中间段及心尖段应变绝对值较对照组明显下降,差异有统计学差异($P < 0.05$)。DM2 组的右心室游离壁厚度及右心室心肌工作指数较 DM1 组增高,右心室游离壁应变绝对值、右心室游离壁中间段及心尖段应变绝对值较 DM1 组显著下降,差异有统计学意义($P < 0.05$)。ROC 曲线分析结果显示,心尖段应变区分 DM1 组与 DM2 组的效能较高,约登指数为 0.389, AUC 为 0.743(95%CI: 0.657~0.829), 敏感度为 0.806, 特异度为 0.583。**结论:**二维斑点追踪成像有助于及时发现糖尿病患者右心室功能变化,且合并高代谢风险因素糖尿病患者的右心室功能变化更明显。

【关键词】 2 型糖尿病; 心脏功能; 右心室; 超声检查; 二维斑点追踪成像

【中图分类号】 R587.1;R445.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)09-1238-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.09.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of two-dimensional speckle tracking imaging on right ventricular function in type 2 diabetes patients with metabolic risk stratification factors XIA Li-li, HU Xian-jin, TONG Tao-ran, et al. Department of Ultrasound, First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China

【Abstract】 Objective: To investigate the clinical value of two-dimensional speckle tracking echocardiography (2D-STE) in evaluating the right ventricular function in type 2 diabetes patients with metabolic risk stratification. **Methods:** 127 patients with diabetes in our hospital were gathered and stratified to 60 cases in the low-risk group (DM1) and 67 cases in the high-risk group (DM2) according to metabolic risk factors. At the same time, 40 healthy volunteers of the same age and gender were selected as the control group. All subjects' entrance and clinical data on hypertension, triglycerides, and BMI, were collected. We performed routine echocardiography and a 2D-STE examination, analyzed the strain of the right ventricular free wall offline, and further performed a segmented analysis of the right ventricular free wall. The differences in parameters between the diabetes group and the normal control group, DM1 group, and DM2 group were compared. **Results:** The right ventricular free wall thickness, tricuspid ring systolic velocity, and right ventricular myocardial working index in the diabetes group were significantly increased compared with the control group, while the E/A value of the tricuspid valve, the absolute value of right ventricular free wall strain RVFWS, the absolute value of the right ventricular free wall strain in the base segment, middle segment, and apex segment were significantly decreased compared with the control group, with statistical difference ($P < 0.05$). The right ventricular

作者单位:230022 合肥,安徽医科大学第一附属医院超声科(夏莉莉、郑慧);244000 安徽,铜陵市人民医院超声科(夏莉莉、胡献金、童陶然),分泌科(董崇周、谢莉萍)

作者简介:夏莉莉(1980—),女,安徽铜陵人,副主任医师,主要从事超声诊断工作。

通迅作者:郑慧,E-mail:zhenghuaiyfysk@163.com

基金项目:蚌埠医学院科研课题(2023byzd044)

free wall thickness and right ventricular myocardial working index in DM2 group were higher than those in DM1 group. The absolute values of the right ventricular free wall strain, middle and apex strains of the right ventricular free wall in DM2 group were significantly lower than those in DM1 group, with statistical significance ($P < 0.05$). ROC curve analysis showed that the efficiency of apical segment strain differentiation between DM1 and DM2 group was higher, with the Yoden index 0.389, the AUC 0.743 (95% CI: 0.657 ~ 0.829), the sensitivity 0.806, and the specificity 0.583. **Conclusion:** Two-dimensional spot tracking imaging parameters can timely detect the impairment of right ventricular function in diabetic patients. The impairment of right ventricular function in diabetic patients with high metabolic risk factors is more serious.

【Key words】 Type 2 diabetes mellitus; Heart function; Right ventricle; Ultrasonography; Two-dimensional spot tracking imaging

糖尿病心肌病是 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)患者主要致死原因之一,尤其是许多糖尿病患者合并了不同的代谢风险因素,进一步使糖尿病患者的心功能变差^[1]。糖尿病心肌病早期包括一个以结构和功能异常为特征的隐性亚临床期,包括心肌肥厚、纤维化和细胞信号异常。相关研究发现即使在糖尿病控制良好的无症状、血压正常的患者中,约 50% 的患者也存在心脏纤维化,表现出一定程度的心脏功能障碍^[2]。既往许多研究证实糖尿病患者左心功能受损,右心因为结构复杂,心脏的大小及功能难以套用简单的几何模型进行计算,因而右心功能早期变化及检测运用常规超声心动图检查手段时受限^[3],对于糖尿病合并相关的代谢危险因素对右心功能影响的研究也相对较少。

二维斑点追踪超声心动图(two-dimensional speckle tracking echocardiography, 2D-STE)是近 20 年来兴起一种很有前途的超声新成像方式,它允许离线计算心肌速度和变形参数,如应变和应变速率(strain rate, SR)。这些参数为心脏的收缩和舒张功能、缺血、心肌力学和许多其他病理生理过程提供了重要的临床依据,显示了良好的应用前景^[4]。本研究主要运用二维斑点追踪成像对合并不同代谢风险因素的 2 型糖尿病患者右心结构和功能进行分析,旨在探讨 STE 在发现糖尿病患者右心室功能改变中的应用价值,评估不同代谢风险因素对糖尿病患者右心功能的影响。

材料与方法

1. 病例资料

选取 2022 年 7 月至 2023 年 1 月住院的 T2DM 患者 127 例,其中男 83 例,女 44 例。记录并搜集患者的临床代谢相关指标,如血压、体质量指数(body mass index, BMI)、糖化血红蛋白、低密度脂蛋白,依据中国 2 型糖尿病防治指南,这 4 个代谢指标的异常标准为:
①血压:收缩压 $\geq 140 \text{ mmHg}$ 和/或舒张压 $\geq 90 \text{ mmHg}$;

②BMI $> 23.9 \text{ kg/m}^2$; ③糖化血红蛋白 $\geq 7\%$; ④低密度脂蛋白 $> 3.1 \text{ mmol/L}$ 。根据代谢指标异常个数对患者进行分组^[5],若患者有 1~2 个代谢指标异常,则纳入低风险组(DM1),若有 3~4 个代谢指标异常,则纳入高风险组(DM2)。DM1 组共 60 例,其中男 36 例,女 24 例,平均年龄(61.62 \pm 10.64)岁;DM2 组共 67 例,其中男 47 例,女 20 例,平均年龄(58.30 \pm 12.82)岁。同时选取同期正常体检者 41 例作为对照组,其中男 28 例,女 13 例,平均年龄(58.27 \pm 4.98)岁。纳入标准:所有患者符合 WHO 糖尿病诊断标准(符合以下任意标准即可诊断为糖尿病):①糖尿病症状和随机血浆葡萄糖浓度 $\geq 11.1 \text{ mmol/L}$ (200 mg/dL);②空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG) $\geq 7.0 \text{ mmol/L}$ (126 mg/dL);③口服葡萄糖耐量试验(oral glucose tolerance test, OGTT) 2 h 血糖 $\geq 11.1 \text{ mmol/L}$ (200 mg/dL);④糖化血红蛋白 $\geq 6.5\%$; 或有糖尿病史、服用降糖药或注射胰岛素且血糖正常的患者。经病史、实验室检查、心电图、冠状动脉造影、动态血压、超声心动图等检查排除慢性阻塞性肺疾病、肺动脉高压、肥厚性心肌病、扩张性心肌病、心脏瓣膜病、冠心病、心律不齐及其他器质性心脏疾患。本研究经医院伦理委员会批准。

2. 检查方法

超声检查采用美国飞利浦 EPIQ 7C 超声诊断仪,S5-1 探头,频率 1~5 MHz,配备 Q-Lab10 图像分析工作站。患者联接导联心电图,平静呼吸,左侧卧位,获取清晰、稳定的心电图信号,超声图像采集及参数测量按照相关指南要求进行^[6],所测参数及具体方法见表 1。获取聚焦右心室的心尖四腔心切面,连续采集 3 个心动周期动态图像,存储于 Q-Lab10 工作站,离线分析计算右室游离壁长轴应变,右室游离壁基底段、中间段、心尖段长轴应变(图 1)。所有测量值均测量 3 次取平均值。

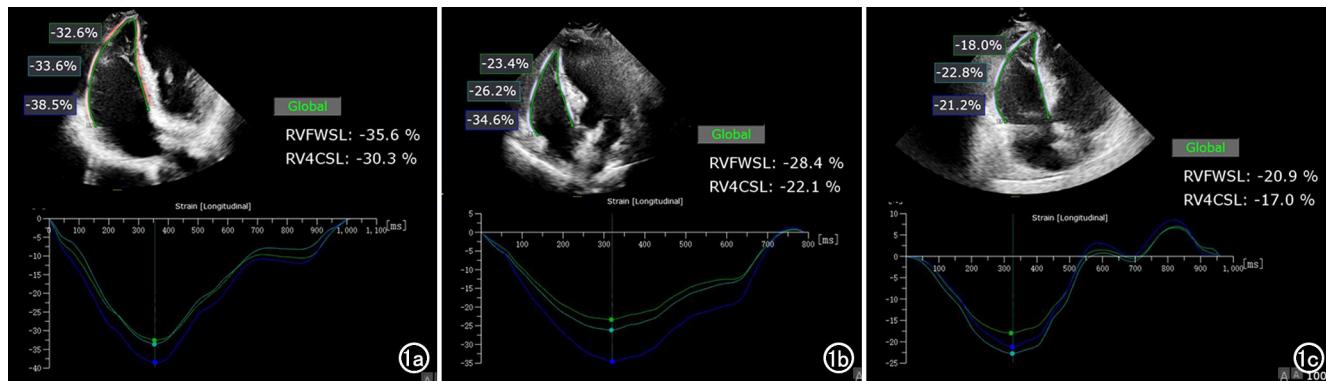


图 1 STE 测量右心室游离壁分段应变示意图。a) 正常组; b) D1 组; c) D2 组。

表 1 常规超声心动图所测参数及测量方法

测量参数	测量方法
RV-m	心尖四腔心切面,舒张末期
RV-fwt	剑突下四腔切面,舒张末期
FAC	四腔心切面,(右室舒张末期面积-右室收缩末期面积)/右室舒张末期面积×100%
RAA	心尖四腔心切面,收缩末期
E/A	心尖四腔心切面
TAPSE	心尖四腔心切面,三尖瓣侧壁瓣环
S	同上
Tei	组织多普勒法,三尖瓣侧壁瓣环

注: RV-m: 右心室中份横径; RV-fwt: 右室游离壁厚度; FAC: 右室面积变化分数; RAA: 右房面积; 三尖瓣 E/A: 三尖瓣舒张早期峰值流速(E)与舒张晚期峰值流速(A)比值; TAPSE: 三尖瓣环收缩期位移; S: 三尖瓣环收缩期速度; Tei: 右心室心肌工作指数

3. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。对计量资料进行正态性检验,符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示; 分类变量以频率和百分比表示,计数资料的组间比较采用卡方检验。应用 t 检验或 Mann-Whitney U 检验进行两组定量参数的比较,同时绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, AUC)曲线,计算并比较各参数的曲线下面积(area under curve, AUC)、敏感度、特异度间的差异。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料比较

糖尿病组与正常对照组的年龄、性别分布及 BMI 比较差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。DM1 与 DM2 组的年龄、性别分布比较差异无统计学意义

($P > 0.05$); 相较于较 DM1 组, DM2 组的 BMI、收缩压、舒张压、低密度脂蛋白及糖化血红蛋白水平显著增高, 差异有统计学意义($P < 0.05$, 表 2)。

2. 糖尿病组与对照组常规二维超声心动图及二维斑点追踪成像参数的比较

常规二维超声心动图检查结果显示, 糖尿病组的右心室游离壁厚度、右心室心肌工作指数较正常对照组显著增高, 三尖瓣 E/A 值较正常对照组降低, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。二维斑点追踪成像结果显示, 糖尿病组的右心室游离壁应变 RVFWS 绝对值较对照组显著下降, 右心室游离壁基底段、中间段及心尖段应变绝对值较对照组也明显下降, 差异有统计学差异($P < 0.05$, 表 3)。

3. 不同代谢风险组常规二维超声心动图及二维斑点追踪成像参数的比较

常规二维超声心动图检查结果显示, DM2 组的右心室游离壁厚度及右心室心肌工作指数较 DM1 组增高, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。二维斑点追踪成像结果显示, DM2 组的右心室游离壁应变绝对值较 DM1 组显著下降, 右心室游离壁中间段及心尖段应变绝对值也较 DM1 组显著下降, 差异均有统计学意义(P 均 < 0.05 , 表 4)。

4. 常规二维超声心动图及二维斑点追踪成像参数区分不同代谢风险患者的效能

以不同代谢风险作为状态变量, 以右心室游离壁厚度、右心室心肌工作指数、右心室游离壁应变、右心室游离壁中间段、心尖段应变作为检验变量进行 ROC

表 2 DM1 与 DM2 组的一般资料比较

指标	DM1 组	DM2 组	t/ χ^2/Z 值	P 值
年龄(岁)	61.62 ± 10.64	58.30 ± 12.82	1.577	0.117
性别(男/女)	36/24	47/20	1.440	0.230
BMI(kg/m^2)	23.26 ± 3.34	26.78 ± 3.52	-5.774	< 0.001
收缩压(mmHg)	128.00 ± 18.17	144.33 ± 19.47	-4.869	< 0.001
舒张压(mmHg)	77.67 ± 11.00	84.97 ± 11.84	-3.588	< 0.001
低密度脂蛋白(mmol/L)	2.13 ± 0.77	2.73 ± 1.14	-3.440	0.001
糖化血红蛋白(%)	8.45(7.32, 9.93)	10.00(8.10, 11.30)	-2.666	0.008

表 3 糖尿病组与对照组常规二维超声心动图及二维斑点追踪成像参数的比较

参数	对照组	DM 组	t 值	P 值
RV-m(mm)	23.43±3.40	23.73±2.95	-0.536	0.593
RV-fwt(mm)	3.46±0.58	3.91±0.69	-3.771	<0.001
FAC(%)	46.42±7.62	43.93±5.54	1.929	0.059
右房面积(mm^2)	12.59±3.40	12.23±2.48	0.736	0.463
三尖瓣 E/A	1.28±0.26	1.08±0.29	4.307	<0.001
TAPSE(mm)	22.37±4.11	22.00±3.48	0.556	0.579
S(cm/s)	13.77±1.93	14.10±2.86	-0.848	0.398
Tei	0.39±0.07	0.48±0.10	-5.459	<0.001
RVFWSL(%)	-29.93±4.28	-24.25±3.40	-8.717	<0.001
基底段应变(%)	-34.56±5.87	-26.97±5.08	-8.004	<0.001
中间段应变(%)	-28.90±5.49	-23.24±3.66	-7.554	<0.001
心尖段应变(%)	-24.96±8.35	-22.02±5.17	-2.688	0.008

表 4 DM1 与 DM2 组常规二维超声心动图及二维斑点追踪成像参数的比较

参数	DM1 组	DM2 组	t 值	P 值
RV-m(mm)	23.66±2.76	23.80±3.13	-0.267	0.790
RV-fwt(mm)	3.70±0.63	4.10±0.70	-3.417	0.001
FAC(%)	44.04±6.00	43.84±5.14	0.200	0.842
右房面积(mm^2)	11.83±2.54	12.58±2.40	-1.722	0.088
三尖瓣 E/A	1.12±0.32	1.04±0.26	1.586	0.115
TAPSE(mm)	22.01±3.69	21.99±3.32	0.036	0.971
S(cm/s)	13.77±2.64	14.41±3.03	-1.255	0.212
Tei	0.47±0.10	0.50±0.10	-2.013	0.046
RVFWSL(%)	-25.41±3.57	-23.22±2.88	-3.774	<0.001
基底段应变(%)	-27.48±4.74	-26.50±5.36	-1.089	0.278
中间段应变(%)	-23.95±3.93	-22.61±3.31	-2.082	0.039
心尖段应变(%)	-24.24±5.32	-20.04±4.16	-4.990	<0.001

表 5 常规二维超声心动图及二维斑点追踪成像参数的诊断效能

参数	最佳临界值	P 值	AUC	95%置信区间	敏感度	特异度
RV-fwt(mm)	4.05	0.001	0.669	0.575~0.762	0.537	0.733
Tei	0.45	0.048	0.602	0.504~0.700	0.746	0.383
RVFWSL(%)	-25.95	0.001	0.671	0.577~0.764	0.821	0.433
Mid(%)	-24.95	0.085	0.589	0.488~0.690	0.776	0.433
Apical(%)	-22.80	<0.001	0.743	0.657~0.829	0.806	0.583

曲线分析,结果显示心尖段应变区分 DM1 组与 DM2 组的效能较高,约登指数为 0.389, AUC 为 0.743(95% CI: 0.657~0.829), 敏感度为 0.806, 特异度为 0.583(表 5、图 2)。

讨 论

2013 年,美国心脏病学会基金会(ACCF)、美国心脏协会(AHA)、欧洲心脏病学会(ESC)与欧洲糖尿病研究协会(EASD)将糖尿病心肌病定义为糖尿病患者在没有冠状动脉粥样硬化和高血压的情况下发生心室功能障碍的临床情况^[1]。流行病学研究发现即使在糖尿病控制良好的无症状、血压正常的患者中,约 50% 的患者也被认为表现出一定程度的心脏功能障碍,同时糖尿病女性(5 倍)较男性(2.4 倍)的心力衰竭发生率更高^[7]。对于糖尿病患者,葡萄糖氧化在中心肌减少,脂肪酸代谢增加,通过改变细胞内信号,兴奋-压缩耦合被破坏,能量缺乏加剧,进而加剧了糖尿病心肌病的发生和发展^[8]。Tadic 等^[9]使用二维超声心电

图对糖尿病早期患者研究发现,糖尿病患者早期左心

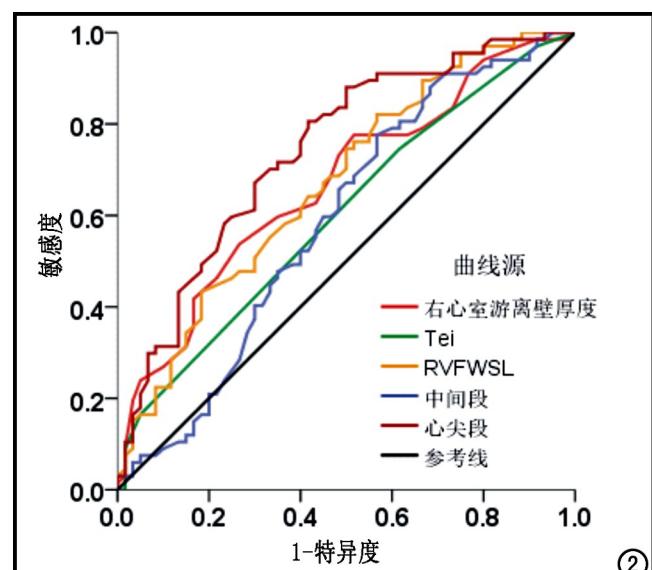


图 2 常规二维超声心动图及二维斑点追踪成像参数区分不同代谢风险患者的 ROC 曲线。

室肥厚(left ventricular hypertrophy, LVH), 颈动脉内-中膜厚度增加, 冠状动脉备用流量下降。Jia 等^[10]研究发现糖尿病前期心功能障碍可能与胰岛素抵抗相关。最近使用 CMRI 衍生的 T1 标测和晚期钆增强(late gadolinium enhancement, LGE)超声心动图反向散射积分方法表明, 即使在先前没有缺血性损伤的情况下, 糖尿病也与心脏纤维化增加相关^[11]。本研究结果显示, 常规的二维超声发现糖尿病患者右心室游离壁厚度、右心室心肌工作指数均较正常组增高, 同时结果表明合并代谢风险因素越多的患者, 其右心室厚度及右心室心肌工作指数越高, 进一步证实了糖尿病患者右心结构及功能的异常, 表明糖尿病心肌病可能累及了全部心脏心肌纤维化, 从而对糖尿病患者心肌收缩和舒张功能产生影响。

近年来许多研究发现, 糖尿病可以导致右心梗死的发展, 同时右心功能是许多患者预后的主要决定因素, 右心室功能障碍可以通过限制室间隔和心包负荷, 扰心脏的收缩和舒张功能^[12-14]。Negahban 等^[13]研究发现糖尿病患者右心功能不全, 可能影响冠状动脉疾病舒张功能障碍和导致肺动脉高压的发生。国内 Wu 等^[15]使用 STE 对正常、糖尿病及糖尿病前期患者进行研究, 发现糖尿病和糖尿病前期组显著影响 RVFWSL。国外一项多中心研究发现糖尿病和糖尿病前期会影响心脏舒张参数, 糖尿病患者 RV 舒张功能障碍可能是心功能失常的开始, 随着时间的推移, 导致明显的舒张功能障碍, 因此糖尿病前期可能是 RV 舒张功能障碍的一个重要因素^[16]。本研究对糖尿病患者及合并不同代谢风险因素患者进行 STE 研究, 发现糖尿病组的右心室游离壁应变明显下降, 同时在代谢风险分层研究中发现代谢风险因素越多, 右心室心尖段的应变下降越明显, 进一步提示其变化对糖尿病患者右心功能异常具有重要意义。

二维斑点追踪成像技术是利用高频二维超声图像自动识别并追踪心肌回声斑点的空间运动, 反映心肌的实时运动及形变, 定量评价心肌运动速度、应变及应变率等, 在评估心脏功能方面发挥了重要作用^[17]。心肌应变是 STE 测量的一个重要指标, 它反映了心肌变形, 而应变率代表心肌变形发生的速度, 应变测量可以区分主动心肌变形与被动室壁运动, 区域或节段性心室应变差异可以量化心室内不同步, 相关研究表明使用 2D-STE 获得的 RA 心肌应变参数与体积参数相关, 但与负荷相关性较小^[18]。RA 应变参数代表心房功能, 也与心脏循环期间的 RV 力学密切相关。应变可以在任何心肌平面上测量, 但 RA 函数唯一推荐的应变参数是整体纵向应变。与全心纵向应变测量相比, 分段应变测量在个体之间具有更高的测量可变性,

并且重复性也很高^[19]。右心室应变成像已被证实是许多疾病风险评估的有效工具, 在对化疗患者心肌损伤、心脏瓣膜病患者的研究中证实具有高度可重复性^[20-21]。最近 Goudarzi 等^[22]使用 RV 应变和斑点追踪技术对心脏移植的 COVID-19 患者进行预后分析, 发现 RV4CSL 和 RVFWSL 是接受心脏移植的 COVID-19 患者预后的独立预测因子。本研究主要针对右心室游离壁的心肌进行评估, 并对心肌分段进行了分析, 结果显示心尖心肌段的应变明显下降, 尤其是在代谢风险高的患者中显示出良好的敏感性。心尖部心肌由于心脏本身的解剖学特征, 发生运动时负荷较大, 因而笔者推测其发生心肌肥厚的风险更高, 尤其是糖尿病患者可能更明显。

RV 舒张功能障碍是心功能失常的一种早期症状, 临床容易忽视, 通常发生在收缩功能障碍、RV 扩张或肥大之前。所以考虑 E、E' 参数在正常与糖尿病患者之间以及正常与糖尿病前期患者之间变得有意义, 可以提示右室舒张功能障碍早期亚临床症状^[16]。Kowsari 等^[23]使用超声心动图发现无冠心病的糖尿病患者与糖尿病前期患者的右心室收缩和舒张功能受损, 也进一步表明糖尿病可能引起 RV 舒张功能受损。2010 年美国发布的超声心动图指南认为 E/A 随着年龄的增加将减少。此外, 吸入会增加 E, 从而导致 E/A 比率增大, 心动过速将导致 E 的增加, 尽管这将导致 A 的相对较大的增加。这就是为什么 RV 对后负荷(壁应力)和预加载的影响, 右心预加载的任何减少都会使 E 值减少超过 A 值, 从而导致 E/A 比率改变^[24]。本研究结果显示糖尿病患者的 E/A 参数明显下降, 与之前研究相符, 但在代谢因素分层的患者中没有发现类似结果, 可能与糖尿病病程及研究样本量有限有关, 需要扩大样本量行进一步分析。

综上所述, 二维斑点追踪成像有助于及时发现糖尿病患者的右心室功能变化, 且合并高代谢风险因素糖尿病患者的右心室功能变化更明显。

参考文献:

- Ritchie RH, Abel ED. Basic mechanisms of diabetic heart disease [J]. Circ Res, 2020, 126(11): 1501-1525.
- Tarquini R, Pala L, Brancati S, et al. Clinical approach to diabetic cardiomyopathy: a review of human studies [J]. Curr Med Chem, 2018, 25(13): 1510-1524.
- Pai RG. Right ventricular function measures as biomarkers of diabetic cardiomyopathy [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2015, 28(3): 328-329.
- Yuda S. Current clinical applications of speckle tracking echocardiography for assessment of left atrial function [J]. J Echocardiogr, 2021, 19(3): 129-140.
- 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版) [J]. 中华糖尿病杂志, 2021, 13(4): 315-409.

- [6] 中华医学会超声医学分会超声心动图学组.中国成年人超声心动图检查测量指南[J].中华超声影像学杂志,2016,25(8):645-665.
- [7] Paolillo S, Marsico F, Prastaro M, et al. Diabetic cardiomyopathy: definition, diagnosis, and therapeutic implications[J]. Heart Fail Clin, 2019, 15(3):341-347.
- [8] Nakamura K, Miyoshi T, Yoshida M, et al. Pathophysiology and treatment of diabetic cardiomyopathy and heart failure in patients with diabetes mellitus[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(7):3587.
- [9] Tadic M, Vukomanovic V, Cuspidi C, et al. The relationship between right ventricular deformation and heart rate variability in asymptomatic diabetic patients[J]. J Diabetes Complications, 2017, 31(7):1152-1157.
- [10] Jia G, DeMarco VG, Sowers JR. Insulin resistance and hyperinsulinaemia in diabetic cardiomyopathy[J]. Nat Rev Endocrinol, 2016, 12(3):144-153.
- [11] Wamil M, Goncalves M, Rutherford A, et al. Multi-modality cardiac imaging in the management of diabetic heart disease[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9:1043711.
- [12] Lassen MCH, Jensen MT, Biering-Sorensen T, et al. Prognostic value of ratio of transmitral early filling velocity to early diastolic strain rate in patients with Type 2 diabetes[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2019, 20(10):1171-1178.
- [13] Negahban Z, Rezaei M, Daei MM, et al. Evaluation of the systolic and diastolic right ventricular function: a comparison between diabetes, prediabetes and normal patients without coronary artery disease[J]. Curr Probl Cardiol, 2021, 46(6):100817.
- [14] Amsalem M, Mercier O, Kobayashi Y, et al. Forgotten no more: a focused update on the right ventricle in cardiovascular disease [J]. JACC Heart Fail, 2018, 6(11):891-903.
- [15] Wu T, Li X, Zhang D, et al. Early impairment of right ventricular systolic function in patients with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: an analysis of two-dimensional speckle tracking echocardiography[J]. Echocardiography, 2023, 40(8):831-840.
- [16] Linssen PBC, Veugen MGJ, Henry RMA, et al. Associations of (pre) diabetes with right ventricular and atrial structure and function: the maastricht study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2020, 19(1):88.
- [17] Morariu VI, Arnautu DA, Morariu SI, et al. 2D speckle tracking: a diagnostic and prognostic tool of paramount importance[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2022, 26(11):3903-3910.
- [18] Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2015, 16(1):1-11.
- [19] Stricagnoli M, Cameli M, Incampo E, et al. Speckle tracking echocardiography in cardiac amyloidosis[J]. Heart Fail Rev, 2019, 24(5):701-707.
- [20] Hu X, Bao Y, Zhu Y, et al. Predicting left ventricular myocardial fibrosis in patients with hypertrophic cardiomyopathy by speckle tracking automated functional imaging[J]. Ultrasound Med Biol, 2023, 49(5):1309-1317.
- [21] Sonaglioni A, Albini A, Fossile E, et al. Speckle-tracking echocardiography for cardioncological evaluation in bevacizumab-treated colorectal cancer patients[J]. Cardiovasc Toxicol, 2020, 20(6):581-589.
- [22] Goudarzi E, Yousefimoghaddam F, Ramandi A, et al. 2D speckle-tracking echocardiography as a prognostic imaging modality for COVID-19 adverse outcomes[J]. Future Cardiol, 2022, 18(12):949-956.
- [23] Kowsari AA, Hosseinsabet A. Evaluation of the right ventricular function in prediabetes: a 2D speckle tracking echocardiographic study[J]. Ultrasound Med Biol, 2016, 42(6):1321-1329.
- [24] Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2010, 23(7):685-713.

(收稿日期:2023-10-25 修回日期:2024-01-22)