

二维斑点追踪技术评价代谢综合征患者右室收缩功能及其与心外膜脂肪厚度的关系

刘姝靖 万富鑫 吴丹 马鑫 潘璐 井一淑 王琴

摘要 **目的** 应用二维斑点追踪技术(2D-STI)评价代谢综合征(MS)患者右室收缩功能,探讨其与心外膜脂肪厚度(EAT)的关系。**方法** 选取65例MS患者(MS组)及同期健康体检者35例(对照组),收集各代谢因素包括年龄、性别、体质量指数(BMI)、腰围身高比(WtHR)、收缩压、舒张压、空腹血糖(Glu)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、总胆固醇(TC);应用常规超声心动图获取右室流出道近端内径(RVOT_{prox})、右室基底内径(RV-B)、右室中部内径(RV-M)、右室长径(RV-L)、三尖瓣前叶瓣环收缩期位移(TAPSE)、三尖瓣环收缩期运动速度(S')、三尖瓣口舒张早期与晚期峰值流速比值(E/A)、三尖瓣口舒张早期峰值流速与三尖瓣环舒张早期运动峰值速度比值(E/e')、EAT、右室面积变化率(FAC);2D-STI技术获取右室整体纵向应变(RVGLS)、右室游离壁应变(RVFWS),比较两组上述参数的差异;分析RVFWS与各代谢因素之间的相关性。应用多元线性回归分析RVFWS的独立影响因素;采用Bootstrap自助抽样法分析临床指标是否介导EAT与RVFWS之间的关联。**结果** 两组心率及各代谢因素比较显示,与对照组比较,MS组BMI、收缩压、舒张压、WtHR、Glu、TG、LDL-C、TC均增高,HDL-C减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);两组年龄、性别、心率比较差异均无统计学意义。两组超声心动图参数比较显示,与对照组比较,MS组E/e'、EAT均增高,TAPSE、RVGLS、RVFWS均减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);其余超声心动图参数比较差异均无统计学意义。MS组RVFWS与EAT、年龄、收缩压、舒张压、BMI、WtHR、Glu、TG、LDL-C、TC均呈负相关,与HDL-C呈正相关(均 $P<0.05$);EAT、收缩压、Glu、TG、HDL-C均为RVFWS的独立影响因素(均 $P<0.05$);EAT对RVFWS有直接影响,且收缩压、Glu、TG、HDL-C部分介导EAT对RVFWS的影响。**结论** 2D-STI能敏感、准确地评价MS患者早期右室收缩功能。EAT为RVFWS的独立影响因素,可通过循环代谢部分介导其对右室功能产生影响。

关键词 超声心动描记术;斑点追踪;代谢综合征;心室功能,右;心外膜脂肪组织

[中图分类号]R540.45;R589

[文献标识码]A

Evaluation of right ventricular systolic function and relationship with epicardial fat thickness in patients with metabolic syndrome by two-dimensional speckle tracking imaging

LIU Shujing, WAN Fuxin, WU Dan, MA Xin, PAN Lu, JING Yishu, WANG Qin
the First Clinical College of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China

ABSTRACT **Objective** To evaluate right ventricular systolic function in patients with metabolic syndrome (MS) by two-dimensional speckle tracking imaging (2D-STI), and to explore the relationship with epicardial fat thickness (EAT). **Methods** A total of 65 MS patients (MS group) and 35 healthy subjects (control group) were selected. Metabolic factors including age, gender, body mass index (BMI), waist-to-height ratio (WtHR), systolic blood pressure, diastolic blood pressure, fasting blood glucose (Glu), triglyceride (TG), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C), low density lipoprotein cholesterol (LDL-C), and total cholesterol (TC) were collected. The proximal diameter of the right ventricular outflow tract (RVOT), right ventricular base diameter (RV-B), right ventricular middle diameter (RV-M), right ventricular length diameter

基金项目:宁夏自然科学基金项目(2023AAC02060)

作者单位:750004 银川市,宁夏医科大学第一临床医学院(刘姝靖、万富鑫、井一淑);宁夏医科大学总医院超声心动图室(马鑫、潘璐、吴丹、王琴)

通讯作者:王琴,Email:13995290877@163.com

(RV-L), tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), tricuspid annular systolic peak velocity (S'), the ratio of early and late peak diastolic flow rates of tricuspid valve orifice (E/A), the ratio of peak early diastolic tricuspid orifice flow velocity and early diastolic tricuspid annular motion velocity (E/e'), EAT, right ventricular fractional area change (FAC) were obtained by conventional echocardiography. Right ventricular global longitudinal strain (RVGLS) and right ventricular free wall strain (RVFWS) were obtained by 2D-STI technology. The differences of the above parameters between the two groups were compared. The correlation between RVFWS and metabolic factors was analyzed. The independent influence factors of RVFWS were analyzed by multiple linear regression analysis. The Bootstrap method was used to analyze whether clinical indicators mediated the relationship between EAT and RVFWS. **Results** Comparison of the heart rate and metabolic factors in two groups showed that compared with the control group, the metabolic factors including BMI, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, WtHR, Glu, TG, LDL-C, and TC were increased in the MS group, while HDL-C was decreased, and the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). There were no significant differences in age, gender and heart rate between the two groups. Comparison of echocardiographic parameters in two groups showed that compared with the control group, the echocardiographic parameters E/e' and EAT in the MS group, while TAPSE, RVGLS and RVFWS were decreased, and the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). No significant differences in other echocardiographic parameters were observed. The RVFWS in the MS group showed significant negative correlations with EAT, age, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, BMI, WtHR, Glu, TG, LDL-C and TC, while showed a positive correlation with HDL-C (all $P < 0.05$). The EAT, systolic blood pressure, Glu, TG and HDL-C were independent influences of RVFWS (all $P < 0.05$). The EAT had a direct impact on RVFWS, while systolic blood pressure, Glu, TG, and HDL-C partially mediated this effect. **Conclusion** 2D-STI can provide sensitive and accurate assessment of early right ventricular systolic function in patients with MS. EAT is an independent influencing factor of RVFWS in patients with MS, which can partially mediate its detrimental impact on the right ventricle through circulatory metabolism.

KEY WORDS Echocardiography; Speckle tracking; Metabolic syndrome; Ventricular function, right; Epicardial adipose tissue

代谢综合征 (metabolic syndrome, MS) 是一组以腹型肥胖、高血压、糖代谢异常及脂代谢异常为特点的复杂临床症候群, 是导致心血管疾病的重要危险因素^[1]。随着生活水平的提高, 我国 MS 的发病率呈逐年上升趋势。既往研究^[2]表明, MS 会导致左室收缩功能障碍, 且早期准确评价右室收缩功能对预防不良心血管事件发生和预后有着重要意义^[3]。因此, 早期评价 MS 患者右室收缩功能至关重要。然而常规超声心动图在评价亚临床右室收缩功能障碍方面存有一定局限。二维斑点追踪技术 (two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI) 较常规超声心动图能更敏感、准确地评价右室收缩功能。研究^[4]表明, 内脏脂肪过度积累是 MS 心肌收缩功能障碍的重要机制之一。近年来, 心外膜脂肪组织被提议可用于评价内脏脂肪厚度, 其释放的致动脉粥样硬化因子肿瘤坏死因子- α ^[5]会导致心脏形态和功能的改变。应用常规超声心动图能够测量心外膜脂肪厚度 (epicardial fat thickness, EAT), 且与 MRI 测量的 EAT 有良好相关性^[6]。基于此, 本研究应用 2D-STI 评价 MS 患者右室收缩功能, 并分析其与 EAT 的关系, 旨在为临床早期检测 MS 患者亚临床右室收缩功能障

碍, 以及预测 MS 患者右室收缩功能受损风险提供新的参考指标。

资料与方法

一、研究对象

选取 2022 年 9 月至 2023 年 5 月在宁夏医科大学总医院就诊的 65 例 MS 患者 (MS 组), 男 38 例, 女 27 例, 年龄 30~52 岁, 平均 (42.52±5.77) 岁。MS 诊断参考《中国 2 型糖尿病防治指南 (2020 年版)》^[7]: ①腹型肥胖 (即中心型肥胖), 腰围 ≥ 90 cm (男) 或 85 cm (女); ②高血糖, 空腹血糖 (Glu) ≥ 6.1 mmol/L 或糖负荷后 2 h 血糖 ≥ 7.8 mmol/L 和/或已确诊为糖尿病并接受治疗者; ③高血压 (血压 $\geq 130/85$ mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa) 和/或已确诊为高血压并接受治疗者; ④甘油三酯 (TG) ≥ 1.70 mmol/L; ⑤高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) < 1.04 mmol/L。上述条件满足 3 项及以上即可诊断为 MS。纳入标准: 符合 MS 诊断标准且年龄 > 18 岁。排除标准: 先天性心脏病、心肌梗死、心肌病、慢性肺部疾病、严重心力衰竭、肾功能衰竭、心电图异常, 以及经胸超声心动图显示不佳影响分析者等。另选同期性别及年龄与之

匹配的健康志愿者35例作为对照组,男18例,女17例,年龄30~49岁,平均(40.37±4.59)岁;既往无心肺疾病且心电图、超声心动图及实验室检查均正常。本研究经医院医学伦理委员会批准,所有研究对象均知情同意。

二、仪器与方法

1. 常规超声心动图检查及图像分析:使用GE Vivid E95彩色多普勒超声诊断仪, M5s探头,频率1.4~4.6 MHz;配备EchoPAC 204AFI RV软件。受检者取左侧卧位,于胸骨旁左室长轴切面常规测量右室流出道近端内径(RVOT prox),于心尖四腔心切面测量右室基底部内径(RV-B)、右室中部内径(RV-M)、右室长径(RV-L)、右室舒张末期面积和收缩末期面积,计算面积变化率(FAC);脉冲多普勒测量三尖瓣口舒张早、晚期峰值流速(E、A),计算 E/A;将取样线置于三尖瓣环处,组织多普勒测量三尖瓣环侧壁舒张早期峰值运动速度(e')、三尖瓣环收缩期峰值速度(S'),计算 E/e';M型取样线置于三尖瓣环处测量三尖瓣前叶瓣环收缩期位移(TAPSE);选取胸骨旁左室长轴切面,以主动脉环和室间隔为解剖标记,确保测量方向与右室游离壁垂直,于收缩末期测量右室游离壁外EAT(图1)。采集以右室为主的四腔心切面图像,并储存5个心动周期,将图像导入工作站。应用EchoPAC 204AFI RV软件进行分析,手动标记心内膜点的位置,自动获取右室整体纵向应变(RVGLS)、右室游离壁应

变(RVFWS)。图像采集均由同一经验丰富的高年资超声医师完成;后处理分析由2名斑点追踪分析经验丰富的超声医师完成;所有参数均重复测量3次取平均值。

2. 临床资料收集:获取心率及各代谢因素,其中各代谢因素包括年龄、性别、体质量指数(BMI)、腰围身高比(WtHR)、收缩压、舒张压、空腹血糖(Glu)、TG、HDL-C、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、总胆固醇(TC)。

3. 一致性检验:从所有研究对象随机抽取20例,再次进行2D-STI图像分析获取RVGLS、RVFWS进行一致性检验。

三、统计学处理

应用SPSS 26.0统计软件,采用Shapiro-Wilk检验计量资料的正态性,正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组比较采用独立样本t检验;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。计数资料以例或率表示,两组比较采用 χ^2 检验。相关性分析采用Pearson或Spearman相关分析法。应用多元线性回归分析RVFWS的独立影响因素;采用Bootstrap自助抽样法分析临床指标是否介导EAT与RVFWS之间的关联。一致性检验采用组内相关系数(ICC)进行评估。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、两组心率及各代谢因素比较

与对照组比较,MS组BMI、收缩压、舒张压、WtHR、Glu、TG、LDL-C、TC均增高,HDL-C减低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);两组年龄、性别、心率比较差异均无统计学意义。见表1。

二、两组常规超声心动图参数及2D-STI参数比较

与对照组比较,MS组E/e'、EAT均增高,TAPSE、RVGLS、RVFWS均减低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);两组其余参数比较差异均无统计学意义。见表2和图2。

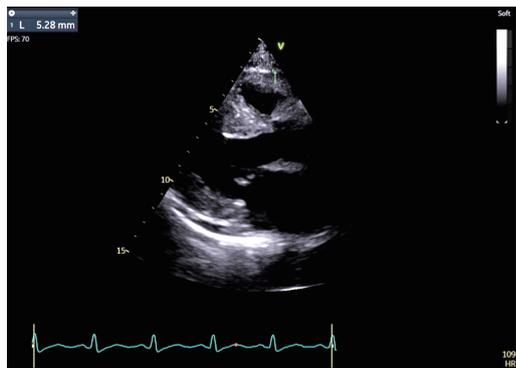


图1 EAT测量示意图

表1 两组心率及各代谢因素比较

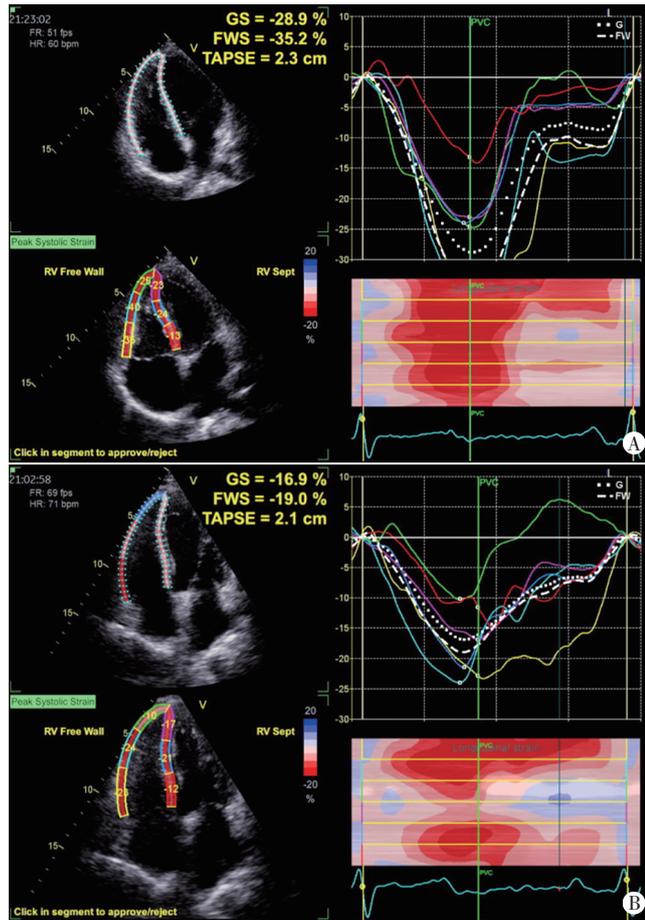
组别	年龄 (岁)	男/女 (例)	BMI (kg/m ²)	收缩压 (mmHg)	舒张压 (mmHg)	心率 (次/min)	WtHR	Glu (mmol/L)	TG (mmol/L)	HDL-C (mmol/L)	LDL-C (mmol/L)	TC (mmol/L)
对照组(35)	40.37±4.59	18/17	21.88±1.45	121.20±4.63	76.80±6.79	75.00±11.45	0.46±0.03	4.84±0.43	0.99±0.36	1.35±0.15	2.35±0.50	4.08±0.64
MS组(65)	42.52±5.77	38/27	25.48±3.26	141.18±19.51	83.42±8.32	78.03±10.62	0.51±0.05	10.20±2.70	2.26±0.77	0.95±0.30	2.90±0.92	4.52±1.14
t/ χ^2 值	-1.90	0.46	-7.58	-7.85	-4.03	-1.32	-6.51	-15.62	-11.09	8.73	-3.79	-2.43
P值	0.06	0.50	<0.01	<0.01	<0.01	0.19	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02

BMI:体质量指数;WtHR:腰围身高比;Glu:空腹血糖;TG:甘油三酯;HDL-C:高密度脂蛋白胆固醇;LDL-C:低密度脂蛋白胆固醇;TC:总胆固醇。1 mmHg=0.133 kPa

表2 两组常规超声心动图参数及2D-STI参数比较

组别	常规超声心动图参数										2D-STI参数(%)	
	RVOT prox (mm)	RV-B (mm)	RV-M (mm)	RV-L (mm)	TAPSE (mm)	S' (m/s)	E/A	E/e'	EAT (mm)	FAC (%)	RVGLS	RVFWS
对照组(35)	25.51±2.09	32.79±4.00	29.60±2.85	56.75±5.46	24.29±2.78	0.12±0.02	1.34(1.31,1.39)	4.00(3.56,4.69)	3.90(3.52,4.56)	45.18±3.05	-21.82±2.05	-24.73±2.87
MS组(65)	26.14±2.91	33.31±3.59	30.41±2.34	58.76±3.55	22.48±2.36	0.12±0.01	1.36(1.18,1.46)	4.64(4.09,5.17)	6.70(5.99,8.00)	44.28±4.04	-17.04±2.25	-18.18±3.16
t/Z值	-1.14	-0.67	-1.52	-1.97	3.44	0.58	0.37	-3.00	-8.17	1.16	10.39	10.18
P值	0.26	0.51	0.13	0.06	<0.01	0.56	0.71	<0.01	<0.01	0.25	<0.01	<0.01

RVOT prox: 右室流出道近端内径; RV-B: 右室基底部内径; RV-M: 右室中部内径; RV-L: 右室长径; TAPSE: 三尖瓣前叶瓣环收缩期位移; S': 三尖瓣环收缩期运动速度; E/A: 三尖瓣口舒张早期与晚期峰值流速比值; E/e': 三尖瓣口舒张早期峰值流速与三尖瓣环侧壁舒张早期峰值运动速度比值; EAT: 心外膜脂肪厚度; FAC: 右室面积变化率; RVGLS: 右室整体纵向应变; RVFWS: 右室游离壁应变



A: 对照组一健康志愿者(男,36岁)RVGLS为-28.9%,RVFWS为-35.2%; B: MS组一患者(男,45岁)RVGLS为-16.9%,RVFWS为-19.0%

图2 两组2D-STI图

三、MS患者RVFWS与各代谢因素的相关性分析

MS患者RVFWS与EAT、年龄、收缩压、舒张压、BMI、WtHR、Glu、TG、LDL-C、TC均呈负相关,与HDL-C呈正相关(均 $P<0.05$)。见表3。

四、MS患者RVFWS与各代谢因素的多元线性回归分析

多元线性回归分析显示,EAT、收缩压、Glu、TG、HDL-C均为RVFWS的独立影响因素($\beta=-0.261$ 、 -0.185 、 -0.204 、 -0.204 、 0.133 ,均 $P<0.05$)。见表4。

表3 MS患者RVFWS与各代谢因素的相关性分析

代谢因素	RVFWS	
	r值	P值
EAT	-0.899	<0.01
年龄	-0.374	<0.01
收缩压	-0.874	<0.01
舒张压	-0.284	0.02
BMI	-0.369	<0.01
WtHR	-0.524	<0.01
Glu	-0.891	<0.01
TG	-0.902	<0.01
HDL-C	0.743	<0.01
LDL-C	-0.447	<0.01
TC	-0.443	<0.01

RVFWS: 右室游离壁应变

表4 MS患者RVFWS与各代谢因素的多元线性回归分析

代谢因素	偏回归系数	标准误	标准偏回归系数	t值	P值
EAT	-0.568	0.203	-0.261	-2.799	0.007
年龄	-0.019	0.023	-0.036	-0.833	0.408
收缩压	-0.030	0.013	-0.185	-2.251	0.029
舒张压	0.008	0.017	0.021	0.490	0.626
Glu	-0.239	0.100	-0.204	-2.381	0.021
TG	-0.830	0.401	-0.204	-2.070	0.043
HDL-C	1.367	0.611	0.133	2.235	0.030
LDL-C	-0.123	0.166	-0.036	-0.741	0.462
TC	-0.121	0.134	-0.044	-0.903	0.371
BMI	-0.001	0.070	-0.001	-0.015	0.988
WtHR	-2.235	4.576	-0.037	-0.488	0.627
常数项	31.672	2.263	-	13.995	<0.001

五、MS患者RVFWS与EAT间中介效应分析

EAT对RVFWS有直接影响($\beta=-0.6095$,95%可信区间: $-0.9750\sim-0.2441$),且收缩压、Glu、TG、HDL-C部分介导EAT对RVFWS的影响($\beta=-0.6176$,95%可信区间: $-0.7662\sim-0.4859$),总效应值 $\beta_1=-1.9524$,中介效应占总效应的31.63%。见表5和图3。

六、2D-STI参数的一致性检验

RVGLS、RVFWS两次测量一致性均良好(ICC=0.847、0.838,均 $P<0.05$)。

表 5 RVFWS 与 EAT 之间中介效应分析

代谢因素	β 值	标准误	β 值的 95% 可信区间	相对中介效应 (%)
总间接效应	-0.6176	0.0705	-0.7662~-0.4859	31.63
收缩压	-0.1703	0.0568	-0.2816~-0.0585	8.72
Glu	-0.1855	0.0796	-0.3432~-0.0319	9.50
TG	-0.1860	0.0823	-0.3327~-0.0078	9.52
HDL-C	-0.0757	0.0626	-0.2620~-0.0221	3.87

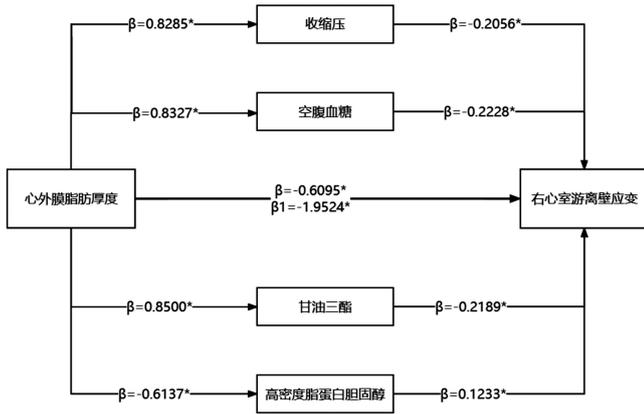


图 3 RVFWS 与 EAT 之间的中介效应分析图(β_1 为总效应, *示 $P < 0.05$)

讨 论

MS 是一组以肥胖、高血糖(糖尿病或糖调节受损)、血脂异常(高 TG 血症和/或低 HDL-C 血症)及高血压等聚集发病、严重影响机体健康的临床症候群, 是一组在代谢上相互关联的危险因素的组合。研究^[8]表明, MS 会造成右室功能障碍, 而右室功能障碍会增加不良心血管事件发生的风险。因此, 及早识别 MS 患者右室功能改变对临床早期干预有重要意义。常规超声心动图是目前评价右室功能最常用的检查方法, 临床常用的检测右室功能的参数有 FAC、TAPSE、S' 等, 但当右室处于亚临床功能障碍时, 这些参数并不敏感。本研究结果显示, 两组常规超声心动图参数 TAPSE、E/e' 比较差异虽均有统计学意义(均 $P < 0.05$), 但其仍均属正常范围, 且常规超声心动图的角度依赖性会影响其对右室收缩及舒张功能评价的准确性。2D-STI 无角度依赖性, 较常规超声心动图能更准确评价右室收缩功能的改变。既往研究^[9]表明, 内脏脂肪的过度累积是造成心肌功能受损的重要因素, 因此准确评价内脏脂肪累积程度对 MS 患者的危险分层有重要意义。临床上常用的评价脂肪累积程度的指标包括 BMI、WtHR 等, 但是这些指标均无法区分皮下脂肪与内脏脂肪, 亟需一种能直接反映内脏脂肪累积程度的指标, 以期对 MS 患者心血管损伤的风险预测提供指导。心外膜脂肪组织是一种围绕心脏表面

的内脏脂肪组织, 常规超声心动图可以便捷地获取 EAT, 量化内脏脂肪的累积程度。基于此, 本研究应用 2D-STI 评价 MS 患者右室收缩功能, 并分析其与 EAT 的关系, 旨在为临床早期检测 MS 患者亚临床右室收缩功能障碍, 以及预测 MS 患者右室收缩功能受损风险提供新的参考指标。

本研究结果显示, MS 组 RVGLS、RVFWS 均较对照组减低, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$), 提示 MS 患者右室收缩功能障碍。分析原因可能为: ①MS 患者交感神经系统、肾素-血管紧张素-醛固酮系统过度激活, 诱发肺血管高反应性, 从而导致右室血流动力学及功能改变^[10]; ②双心室之间的相互机械作用也会影响右室收缩功能。既往研究^[11-12]表明 MS 患者室间隔增厚, 而室间隔肌可协助右室射血, 推测室间隔的机械变化可能会引发 MS 患者右室收缩功能改变; ③MS 的病理生理基础为胰岛素抵抗, 晚期糖基化终末产物和氧自由基生成的增加会使胶原蛋白在心肌中累积, 造成心肌纤维化, 进而导致心肌弹性丧失^[13], 最终表现为右室收缩功能障碍。另外, 本研究 RVGLS、RVFWS 两次测量一致性均良好(ICC=0.847、0.838, 均 $P < 0.05$), 表明两参数具有良好的可重复性, 可用于临床开展应用。

既往研究^[9]表明, 内脏脂肪的过度累积是 MS 引发心血管系统损伤的关键环节, 其可通过促进胰岛素抵抗增加 MS 患者发生不良心血管事件的风险。因此, 评价 MS 内脏脂肪的累积程度可能对 MS 的危险分层及预后有一定帮助。心外膜脂肪组织可通过内分泌、旁分泌作用刺激局部炎症因子释放, 促进胰岛素抵抗, 引发 MS 患者心肌功能受损^[6]。常规超声心动图测量的 EAT 不受皮下脂肪组织的影响, 可用于评价内脏脂肪。本研究结果显示, MS 组 EAT 高于对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 与 Demir 等^[14]研究结果一致, 表明 MS 患者心外膜脂肪含量增加, 提示心外膜脂肪含量在诊断 MS 中的重要性。为了进一步探讨反映内脏脂肪累积程度的 EAT 与右室收缩功能的关系, 本研究选取 2D-STI 图像勾勒的感兴趣区仅包含右室游离壁, 从而避免室间隔对右室收缩功能评估准确性的干扰, 以 RVFWS 作为因变量, 探讨 RVFWS 与 EAT 的相关性, 结果显示, MS 患者 RVFWS 与 EAT、年龄、收缩压、舒张压、BMI、WtHR、Glu、TG、LDL-C、TC 均呈负相关, 与 HDL-C 呈正相关(均 $P < 0.05$), 表明右室收缩功能受损与 EAT 的增加有关。多元线性回归分析结果显示, EAT、收缩压、Glu、TG、HDL-C 均为 RVFWS 的独立影响因素(均 $P < 0.05$)。进一步证实, 与 BMI、WtHR

等未区分脂肪性质的临床指标相比, EAT 能更好地反映 MS 患者内脏脂肪累积对右室收缩功能的影响, 凸显 EAT 在 MS 患者危险分层中的重要性。

目前, 关于 EAT 与 RVFWS 之间独立相关的潜在机制尚未明确。本研究结果显示, EAT 对 RVFWS 有直接影响 ($\beta = -0.6095$, 95% 可信区间: $-0.9750 \sim -0.2441$), 且收缩压、Glu、TG、HDL-C 部分介导 EAT 对 RVFWS 的影响 ($\beta = -0.6176$, 95% 可信区间: $-0.7662 \sim -0.4859$), 总效应值 $\beta_1 = -1.9524$, 中介效应占总效应的 31.63%。表明 Glu、TG、HDL-C、收缩压可能为 EAT 与右室收缩功能相关的部分原因, 这或许可为内脏脂肪累积与右室收缩功能受损的原因提供新的研究思路。分析原因可能为: ①游离脂肪酸是 TG 循环中产生心肌能量的来源, 其过载或利用不足时会促使心肌内 TG 异常积聚, 造成心脏脂肪毒性^[15], 从而影响心室收缩功能; ②收缩压增高不仅可以通过体液调节直接影响右室收缩功能, 也可通过影响肺动脉舒张功能、左室结构及功能间接导致右室收缩功能障碍^[3]; ③Glu 增高通过损伤自主神经、激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统造成胶原蛋白在心肌中累积, 致使心肌功能障碍^[16]; ④HDL-C 可以抵抗氧化应激、逆转不平衡的脂质代谢从而保护心肌细胞^[17]。本研究结果提示 TG、Glu、收缩压、HDL-C 有望作为标志物, 通过其远程效应在心外膜脂肪组织调节右室收缩功能中发挥重要作用。

本研究的局限性: ①样本量较小, 且为回顾性、单中心研究, 可能影响结果的可靠性和普适性; ②心脏表面心外膜脂肪组织的分布存在差异, 常规超声心动图测量会产生一定误差, 今后需结合其他影像学检查、扩大样本量进一步研究。

综上所述, 2D-STI 能敏感、准确地评价 MS 患者早期右室收缩功能障碍。EAT 为 RVFWS 的独立影响因素, 可通过循环代谢部分介导其对右室功能产生影响。

参考文献

- [1] Silveira Rossi JL, Barbalho SM, Reverete de Araujo R, et al. Metabolic syndrome and cardiovascular diseases: going beyond traditional risk factors [J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2022, 38(3): e3502.
- [2] 王春华, 王君, 陈宝定, 等. 压力-应变环在代谢综合征患者左室心肌做功改变中的评估价值 [J]. *实用临床医药杂志*, 2022, 26(24): 61-65.
- [3] Tadic M, Cuspidi C. Right ventricle in arterial hypertension: did we forget something [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(21): 6257.
- [4] Mao Y, Zhao K, Li P, et al. The emerging role of leptin in obesity-associated cardiac fibrosis: evidence and mechanism [J]. *Mol Cell Biochem*, 2023, 478(5): 991-1011.
- [5] Toczylowski K, Hirnle T, Harasiuk D, et al. Plasma concentration and expression of adipokines in epicardial and subcutaneous adipose tissue are associated with impaired left ventricular filling pattern [J]. *J Transl Med*, 2019, 17(1): 310.
- [6] 王铭仪, 药华. 超声测量心外膜脂肪厚度应用价值的研究进展 [J]. *心肺血管病杂志*, 2019, 38(8): 900-903.
- [7] 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]. *中华内分泌代谢杂志*, 2021, 37(4): 311-398.
- [8] Aslan E, Sert A, Buyukinan M, et al. Left and right ventricular function by echocardiography, tissue Doppler imaging, carotid intima-media thickness, and asymmetric dimethyl arginine levels in obese adolescents with metabolic syndrome [J]. *Cardiol Young*, 2019, 29(3): 310-318.
- [9] Cho DH, Kim MN, Joo HJ, et al. Visceral obesity, but not central obesity, is associated with cardiac remodeling in subjects with suspected metabolic syndrome [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2019, 29(4): 360-366.
- [10] Tadic M, Ivanovic B, Cuspidi C. Metabolic syndrome and right ventricle: an updated review [J]. *Eur J Intern Med*, 2013, 24(7): 608-616.
- [11] Chen J, Wang X, Dong B, et al. Cardiac function and exercise capacity in patients with metabolic syndrome: a cross-sectional study [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9(1): 974802.
- [12] 蔡培伟, 唐玉梅, 詹伏兰, 等. 速度向量成像技术评价代谢综合征患者早期左室舒张功能 [J]. *临床超声医学杂志*, 2019, 21(8): 580-583.
- [13] Ghosh N, Chacko L, Bhattacharya H, et al. Exploring the complex relationship between diabetes and cardiovascular complications: understanding diabetic cardiomyopathy and promising therapies [J]. *Biomedicine*, 2023, 11(4): 1126.
- [14] Demir E, Harmanakaya NÖ, Kırac Uİ, et al. The relationship between epicardial adipose tissue thickness and serum interleukin-17a level in patients with isolated metabolic syndrome [J]. *Biomolecules*, 2019, 9(3): 97.
- [15] González N, Moreno-Villegas Z, et al. Regulation of visceral and epicardial adipose tissue for preventing cardiovascular injuries associated to obesity and diabetes [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2017, 16(1): 44.
- [16] Tremamunno S, De Vita A, Villano A, et al. Relation of endothelial and cardiac autonomic function with left ventricle diastolic function in patients with type 2 diabetes mellitus [J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2022, 38(2): e3484.
- [17] Huang BH, Chang SC, Yun CH, et al. Associations of region-specific visceral adiposity with subclinical atrial dysfunction and outcomes of heart failure [J]. *ESC Heart Fail*, 2020, 7(6): 3545-3560.

(收稿日期: 2023-07-04)