

· 心血管影像学 ·

心脏磁共振特征追踪技术定量评估超重及肥胖人群左心房心肌形变

高艺源, 娄明武, 周珊珊, 李更晓, 李坤成, 赵之伟

【摘要】 目的:应用心脏磁共振特征追踪技术定量评估超重及肥胖人群左心房心肌形变的变化。**方法:**回顾性收集于厦门州信医学影像诊断中心完成心脏磁共振检查的 49 例超重者($24 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28 \text{ kg/m}^2$)、49 例肥胖者($\text{BMI} \geq 28 \text{ kg/m}^2$)及 49 例健康对照组($18.5 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 24 \text{ kg/m}^2$)的病倒资料,通过 CVI42 软件采用心肌特征追踪技术对左心房进行定量分析,获得左房储存应变(ϵ_s)、管道应变(ϵ_e)、泵应变(ϵ_a)、正向峰值应变率(SRs)、早期负向峰值应变率(SRe)及晚期负向峰值应变率(SRa)。比较三组间左房形变参数的差异以及 BMI 与左房形变参数的相关性。**结果:**与对照组相比,超重组 ϵ_s 和 ϵ_a 减低($P=0.026, 0.006$),肥胖组 ϵ_s, ϵ_e 和 ϵ_a 均减低(P 均 < 0.05)。超重组与肥胖组间 ϵ_s, ϵ_e 和 ϵ_a 差异无统计学意义。三组间 SRs, SRe 和 SRa 差异无统计学意义。Pearson 线性相关分析显示 BMI 与 $\epsilon_s, \epsilon_e, \epsilon_a$ 及 SRs 负相关($r=-0.269, -0.217, -0.211, -0.164, P$ 均 < 0.05), BMI 与 SRe 正相关($r=0.205, P=0.013$)。**结论:**心脏磁共振特征追踪技术可以分析肥胖及超重人群的左心房心肌形变能力,其参数对定量评估该人群的左心房功能具有重要价值。

【关键词】 肥胖症; 超重; 左心房功能; 磁共振成像; 特征追踪; 心肌应变

【中图分类号】 R445.2; R589.25 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)07-0834-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.07.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Quantitative assessment of left atrial myocardial deformation in overweight and obesity by cardiac magnetic resonance-feature tracking technique GAO Yi-yuan, LOU Ming-wu, ZHOU Shan-shan, et al. Shenzhen Medical College, Guangzhou University of Chinese Medicine, 518000 Guangdong, China

【Abstract】 Objective: To quantitatively evaluate the left atrial myocardial strain and strain rate in subjects with overweight and obesity using cardiac magnetic resonance-feature tracking technique (MR-FT). **Methods:** 49 subjects with overweight ($24 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28 \text{ kg/m}^2$), 49 subjects with obesity ($\text{BMI} \geq 28 \text{ kg/m}^2$) and 49 healthy controls ($18.5 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 24 \text{ kg/m}^2$) who underwent 1.5T cardiac MR examination were retrospectively recruited. The left atrial (LA) reservoir strain (ϵ_s), conduit strain (ϵ_e), booster strain (ϵ_a), peak positive strain rate (SRs), peak early negative strain rate (SRe), and peak late negative strain rate (SRa) were obtained in MR imaging using CVI42 post-processing software, and then the changes of LA deformation parameters among three groups were investigated. **Results:** Compared with health controls, overweight group had significantly lower ϵ_s and ϵ_a (both $P=0.026$ and 0.006), and obesity group had significantly lower ϵ_s, ϵ_e , and ϵ_a (all $P < 0.05$). The ϵ_s, ϵ_e , and ϵ_a in overweight group were comparable with those in obesity group. There were no significant differences in SRs, SRe, and SRa among the three groups. Simple linear regression analysis showed that BMI was negatively correlated with $\epsilon_s, \epsilon_e, \epsilon_a$, and SRs ($r=-0.269, r=-0.217, r=-0.211$, and $r=-0.164$, all $P < 0.05$), and was positively correlated with SRe ($r=0.205, P=0.013$). **Conclusions:** MR-FT can be used to analyze the mechanical changes of LA wall in subjects with overweight and obesity subjects, and the parameters are of great value for assessing LA myocardial dysfunction in this population.

作者单位: 518000 广东, 广州中医药大学深圳临床医学院(高艺源、娄明武、周珊珊、李更晓、李坤成); 100053 北京, 首都医科大学宣武医院放射科与核医学科(李坤成); 361000 福建, 厦门州信医学影像诊断中心放射科(李坤成); 361015 福建, 厦门平安好医学影像诊断中心放射科(赵之伟)

作者简介: 高艺源(1993-), 男, 黑龙江鹤岗人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事心血管磁共振影像学研究。

通讯作者: 赵之伟, E-mail: 1556896817@qq.com

【Key words】 Obesity; Overweight; Left atrial function; Magnetic resonance imaging; Feature tracking; Myocardial strain

肥胖已经被公认为是冠心病、心力衰竭及心房颤动等多种心血管疾病的独立危险因素^[1]。此外,既往研究发现介于肥胖与正常体重之间的超重状态,也会显著增加心力衰竭发生的风险^[2]。目前,尽管一些研究证实体重的增加会导致左、右心室结构与功能的亚临床改变^[3-4],但超重和肥胖对左心房(left atrial, LA)功能的影响尚未得到充分研究。左心房是具有泵血能力的主动腔,其功能在多种心血管疾病的早期诊断和预后评估中起着重要的作用^[5]。因此,早期发现肥胖及超重人群的亚临床左心房功能改变,对心血管疾病的预防与治疗具有重要的临床意义。心脏磁共振特征追踪(magnetic resonance feature tracking, MR-FT)是一项基于自由稳态进动序列定量评估心肌形变能力的新兴技术,可敏感地反映早期心功能改变。与超声斑点追踪技术相比,MR-FT 技术的空间分辨力更高且不受窗宽及角度的影响,具有广泛的临床应用前景^[6]。本研究拟探讨 MR-FT 技术在定量评估肥胖及超重人群左心房亚临床功能改变中的应用价值。

材料与方法

1. 一般资料

回顾性收集 2017 年 3 月 1 日—2020 年 7 月 1 日于厦门门信医学影像诊断中心行全面健康筛查发现的单纯性肥胖者 49 例,年龄为(43.82 ± 11.39)岁,其中男 38 例,女 11 例,均完成心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)和全身体格检查。排除标准:①伴有心血管疾病(如心力衰竭、心率失常、先天性心脏病及瓣膜性心脏病等);②心电图检查异常或伴有明显的心血管疾病临床症状(如胸痛、呼吸困难等);③体检发现有贫血、甲状腺疾病、恶性肿瘤及重大肝、肾及肺部疾病等可能影响心脏结构与功能的疾病;④伴有高血压(收缩压 ≥ 140 或/且舒张压 ≥ 90 mmHg 或伴有降血压药物服用史^[7])或糖尿病(空腹血糖 ≥ 126 mg/dL 或伴有降糖药物服用史^[8]);⑤图像质量差不能进行应变分析。另随机选取年龄、性别均相匹配的超重者及正常体重者各 49 例分别作为超重组及对照组,排除标准同上。

正常体重、超重及肥胖的判定分别按照中国人群的定义标准: $18.5 \text{ kg/m}^2 \leq$ 体质量指数(body mass index, BMI) $< 24 \text{ kg/m}^2$ 为正常体重; $24 \text{ kg/m}^2 \leq$ BMI $< 28 \text{ kg/m}^2$ 为超重;BMI $\geq 28 \text{ kg/m}^2$ 为肥胖^[9]。

本研究已获得中国伦理委员会审查批准,并免除受试者的知情同意书(伦理审查文号:

ChiECRCT20190198)。

2. 设备与扫描方案

所有扫描均在 GE Signa HDxt 1.5T 超导磁共振扫描仪上完成,采用 16 通道心脏相控阵表面线圈和回顾性心电门控技术。患者取仰卧位,采集常规扫描系列主要包括:左室四腔心、两腔心、左室短轴位及左室流出道电影图像。左室短轴位扫描覆盖从基底部到心尖的整个心室。使用平衡自由稳态电影序列进行扫描,扫描参数:TR 4 ms, TE 1.75 ms, 翻转角 60° , 视野 $310 \text{ mm} \times 310 \text{ mm}$, 层厚 8 mm, 层间距 1 mm, 矩阵 224×224 。所有受检者均在窦性心律下完成检查。

3. 图像处理分析

左室功能参数由 CVI42 后处理软件(cvi42® version 5.12.1, Circle Cardiovascular Imaging, Canada)分析得出。将心脏磁共振图像导入后处理软件工作站,左室短轴位图像中,选取左室血池最小者为收缩末期图像,血池最大者为舒张末期图像。采用半自动法逐层勾画左心室短轴位收缩末期及舒张末期图像的心内膜和心外膜轮廓(包含乳突肌和腱索),软件可自动生成左心室各项功能参数:舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)、收缩末期容积(end-systolic volume, ESV)、每搏输出量(stroke volume, SV)、射血分数(ejection fraction, EF)、排出量(cardiac output, CO)及心功能指数(cariac index, CI)。

左房应变分析采用 CVI42 后处理软件进行特征追踪。在二腔心和四腔心图像上,于左室舒张末期左房容积最小时手动勾画左房心内膜及心外膜轮廓,肺静脉和左心耳被排除于轮廓外。随后应用自动追踪算法,生成左心房的时间-应变及时间-应变率曲线图。可视化地逐帧检查心房轮廓追踪情况,并在必要时手动调整初始轮廓(图 1)。在二腔心和四腔心图像上,所有追踪均重复 3 次^[10]。左房心内膜应变及应变率取在二腔心和四腔心图像中 3 次测量的平均值。左房应变参数包括:储存应变(reservoir strain, ϵ_s)和正向峰值应变率(peak positive strain rate, SRs),反映左房储存功能;管道应变(conduit strain, ϵ_e)和早期负向峰值应变率(peak early negative strain rate, SRe),反映左房管道功能;泵应变(booster strain, ϵ_a)和晚期负向峰值应变率(peak late negative strain rate, SRe),反映左房辅助泵功能(图 2)。

左房容积分析采用 CVI42 后处理软件。在二腔心和四腔心图像上手动勾画左心房轮廓,左心耳及肺静脉被排除于左房容积外。根据双平面法自动获得左

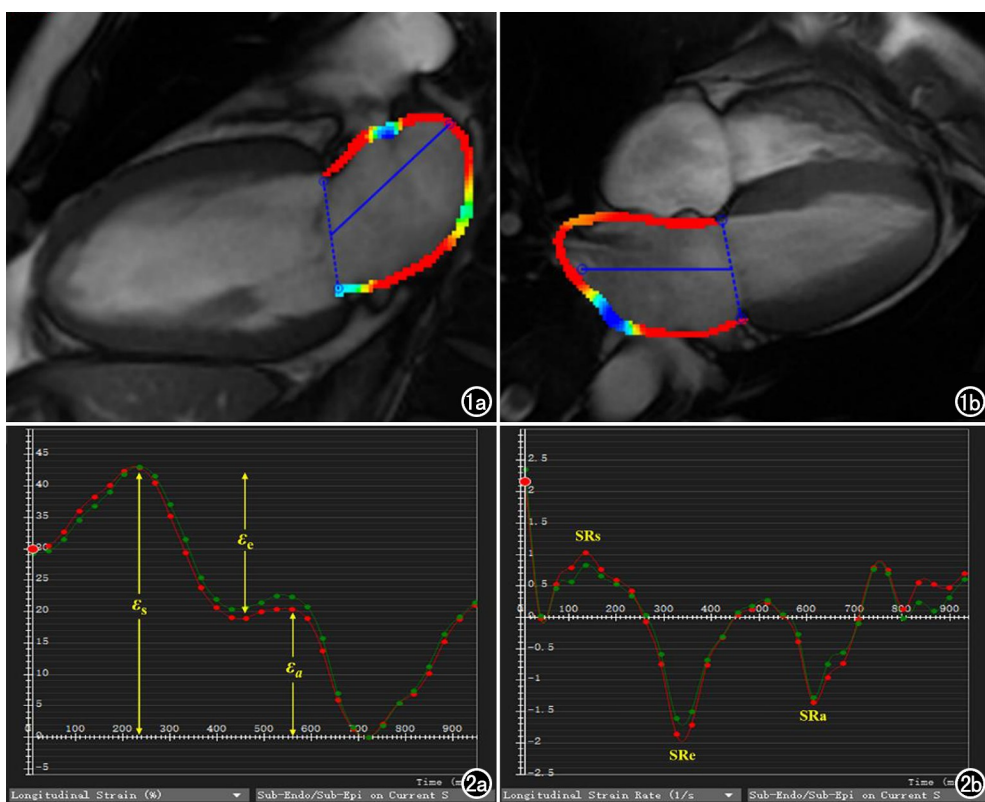


图1 左心房心肌应变伪彩追踪图像。a)二腔心;b)四腔心。图2 MR-FT测量左心房形变参数曲线图,红色曲线代表心内膜,绿色曲线代表心外膜。a)左房时间-应变率曲线, ϵ_s 反映储存功能, ϵ_e 反映管道功能, ϵ_a 反映辅助泵功能;b)左房时间-应变率曲线, SR_s 反映储存功能, SRe 反映管道功能, SRa 反映辅助泵功能。

房容积^[11],包括左房最大容积(left atrial maximal volume, LAVmax)、左房最小容积(left atrial minimal volume, LAVmin)和左房收缩期前容积(pre-left atrial contractile volume, LAVpac)。左房总排空分数(left atrial emptying fraction total, LAEF total, 对应左房储存功能),左房被动排空分数(LAEF passive, 对应左房管道功能)及左房主动排空分数(LAEF booster, 对应左房辅助泵功能)根据如下公式计算:

$$LAEF \text{ total} = (LAV_{\max} - LAV_{\min}) \times 100 / LAV_{\max} \quad (1)$$

$$LAEF \text{ passive} = (LAV_{\max} - LAV_{\text{pac}}) \times 100 / LAV_{\max} \quad (2)$$

$$LAEF \text{ booster} = (LAV_{\text{pac}} - LAV_{\min}) \times 100 / LAV_{\text{pac}} \quad (3)$$

4. 统计学方法

采用 SPSS 26.0 和 GraphPad Prism 8.0.2 软件进行统计学分析。采用 Q-Q 图及 S-W 检验对计量资料进行正态性检验。服从正态分布的计量资料,采用平均值±标准差(SD)表示,多组间参数比较采用单因素方差分析,以 LSD 检验进行事后两两比较;不服从正态分布的数值资料,使用四分位间距表示,多组间参数比较采用 Kruskal-Wallis 秩和检验,以 Bonferroni 法

行组间两两比较。采用 Pearson 线性相关性分析评估 BMI 与左房应变及应变率之间的相关性。随机挑选 30 位受试者(每组各 10 位),使用组内相关系数(interclass correlation coefficient, ICC)分析评估观察者内及观察者间重复性。观察者内重复性由同一名观察者进行两次测量,两次测量间隔时间 1 个月;观察者间重复性由两名观察者对上述 30 位受试者进行独立测量。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结果

1. 临床特征

BMI 在对照组、超重组及肥胖组三组间差异具有统计学意义($P < 0.05$),并呈逐步增高趋势。与对照组相比,超重组及肥胖组的收缩压增高,肥胖组的舒张压增高。LAVmax、LAVmin 及 LAVpac 在三组间差异均具有统计学意义(表 1)。

2. 左房功能参数比较

与对照组相比,超重组 ϵ_s 和 ϵ_a 减低($P = 0.026$ 、 0.006),肥胖组 ϵ_s 、 ϵ_e 和 ϵ_a 均减低(P 均 < 0.05)。超重组与肥胖组间 ϵ_s 、 ϵ_e 和 ϵ_a 差异无统计学意义($P > 0.05$)。三组间 SR_s 、 SRe 和 SRa 差异无统计学意义($P > 0.05$)。与对照组相比,肥胖组 LAEF total 和 LAEF passive 显著减低($P = 0.014$ 、 0.035),见表 2。

3. BMI 与左房功能参数的相关性分析

Pearson 相关系数分析结果显示 BMI 与 ϵ_s 、 ϵ_e 、 ϵ_a 及 SR_s 轻度负相关($r = -0.269$ 、 -0.217 、 -0.211 、 -0.164 , P 均 < 0.05),与 SRe 轻度正相关($r = 0.205$, $P = 0.013$),见图 3。

4. 一致性检验

组内相关系数分析显示应用 MR-FT 技术测量左房应变及应变率具有良好的观察者内及观察者间一致性,ICC 值均大于 0.85(表 3)。

讨论

本研究应用 MR-FT 技术定量评估超重及肥胖人

表 1 超重组、肥胖组及对照组间的临床特征及左心房、室参数的比较

参数	超重组 (n=49)	肥胖组 (n=49)	对照组 (n=49)	统计值	P 值
年龄(岁)	43.31±11.71	43.82±11.39	43.88±11.57	0.361	0.965
性别(男/女)	38/11	38/11	38/11	/	/
BMI(kg/m ²)	25.71±1.14 [*]	29.94±1.55 ^{*#}	21.78±1.79	353.977	<0.001
收缩压(mmHg)	119.86±10.92 [*]	123.43±9.57 [*]	112.61±11.97	12.610	<0.001
舒张压(mmHg)	72.76±8.70	75.55±9.30 [*]	69.59±9.64	5.124	0.007
心率(次/分)	66.67±9.21	67.41±9.49	64.67±8.30	1.208	0.302
FBG(mmol/L)	5.39±0.55	5.46±0.66	5.25±0.51	1.617	0.202
TC(mmol/L)	4.96±0.96	5.11±0.83	5.09±0.90	0.425	0.654
TG(mmol/L)	1.36 (0.92,2.16) [*]	1.79 (1.28,2.52) [*]	1.15 (0.75,1.63)	17.979	<0.001
HDL-C(mmol/L)	1.18 (1.07,1.37) [*]	1.13 (0.97,1.46) [*]	1.32 (1.16,1.70)	8.179	0.017
LDL-C(mmol/L)	2.89±0.91	2.91±0.92	3.02±0.77	0.297	0.744
LVEDV(mL)	114.13±21.63	118.55±26.48	110.09±21.39	1.616	0.202
LVESV(mL)	37.96±13.88	38.77±16.46	37.85±13.12	0.059	0.943
LVSV(mL)	76.18±13.96	79.78±15.61 [*]	72.25±15.66	3.049	0.050
LVEF(%)	67.31±7.62	68.26±8.55	65.91±8.67	1.001	0.370
LVCO(L/min)	5.11±1.17 [*]	5.48±1.28 [*]	4.63±1.10	6.391	0.002
LVCI(L/min/m ²)	2.78±0.58	2.77±0.62	2.68±0.55	0.443	0.643
LAVmax(mL)	67.93±15.01 [*]	75.05±17.85 ^{*#}	64.08±14.27	6.090	0.003
LAVmin(mL)	26.44±7.49 [*]	30.75±10.55 ^{*#}	24.25±6.23	7.797	0.001
LAVpac(mL)	42.95±10.75 [*]	49.76±15.04 ^{*#}	40.18±10.47	7.915	0.001

注:BMI: 身体质量指数;FBG: 空腹血糖;TC: 总胆固醇;TG: 甘油三酯;HDL-C: 高密度胆固醇脂蛋白;LDL-C: 低密度胆固醇脂蛋白;LVEDV: 左室舒张期末期容积;LVESV: 左室收缩期末期容积;LVSV: 左室每搏射出量;LVEF: 左室射血分数;LVCO: 左室排出量;LVCI: 左心功能指数;LAVmax: 左房最大容积;LAVmin: 左房最小容积;LAVpac: 左房收缩期前容积;^{*}与对照组比较, $P<0.05$;[#]与超重组比较, $P<0.05$

表 2 左心房功能参数的组间差异

参数	超重组 (n=49)	肥胖组 (n=49)	对照组 (n=49)	F 值	P 值
LAEF total (%)	61.25±5.48	59.42±6.86 [*]	62.21±4.03	3.164	0.045
LAEF passive (%)	36.66±8.49	34.00±8.42 [*]	37.42±6.86	2.494	0.086
LAEF booster (%)	38.39±8.24	38.52±6.75	39.20±7.04	0.170	0.844
εs (%)	38.73±7.79 [*]	37.50±8.09 [*]	42.19±6.93	4.990	0.008
εe (%)	22.69±6.58	21.73±6.86 [*]	24.38±5.88	2.130	0.123
εa (%)	16.04±2.85 [*]	15.77±3.40 [*]	17.81±3.21	5.971	0.003
SRs (s ⁻¹)	1.56±0.38	1.54±0.37	1.66±0.32	1.563	0.213
SRe (s ⁻¹)	-2.17±0.85	-1.94±0.74	-2.24±0.61	2.099	0.126
SRa (s ⁻¹)	-1.79±0.40	-1.83±0.45	-1.97±0.48	2.140	0.121

注:εs: 储存应变;εe: 管道应变;εa: 泵应变;SRs: 正向峰值应变率;SRe: 早期负向峰值应变率;SRa: 晚期负向峰值应变率;LAEF total: 总排空分数;LAEF passive: 被动排空分数;LAEF booster: 主动排空分数;^{*}与对照组比较, $P<0.05$

表 3 左心房应变及应变的观察者内、观察者间重复性

应变参数	观察者内重复性		观察者间重复性	
	平均值±标准差	ICC (95% CI)	平均值±标准差	ICC (95% CI)
εs (%)	0.73±2.10	0.979 (0.956~0.990)	0.08±2.98	0.959 (0.915~0.980)
εe (%)	0.61±1.13	0.974 (0.946~0.988)	-0.40±2.00	0.952 (0.903~0.977)
εa (%)	0.11±1.89	0.957 (0.885~0.981)	0.47±2.37	0.880 (0.766~0.941)
SRs (s ⁻¹)	0.48±0.11	0.966 (0.920~0.984)	0.06±0.21	0.894 (0.788~0.948)
SRe (s ⁻¹)	0.01±0.14	0.985 (0.969~0.993)	-0.07±0.38	0.890 (0.784~0.946)
SRa (s ⁻¹)	-0.06±0.15	0.961 (0.912~0.982)	-0.02±0.22	0.921 (0.842~0.962)

注:CI: 置信区间;ICC: 组内相关系数;εs: 储存应变;εe: 管道应变;εa: 泵应变;SRs: 正向峰值应变率;SRe: 早期负向峰值应变率;SRa: 晚期负向峰值应变率

群的左心房功能发现,与对照组相比,肥胖组 εs、εe 及 εa 均减低,超重组 εs 和 εa 减低。这提示肥胖人群的左房储存功能、管道功能及泵功能均受损;即使在超重状态下,左房储存功能和泵功能也已经发生减低。此外,本研究证实 BMI 与左房应变及应变率存在显著相关性。

超重及肥胖是由多种因素引起的全身脂肪组织异常或过度增生的状态。脂肪组织堆积会引起血压升

高、血容量及心脏负荷增加,进而导致心脏结构与功能的改变^[4,12]。因此,准确评估超重及肥胖人群左房功能的亚临床改变,可以为临床早期发现和预防肥胖相关心血管疾病提供理论依据。基于 MR-FT 获得的左房应变及应变率可以反映左心房心肌的形变程度及形变速率,是评估左心房功能早期改变的敏感指标^[13]。

左心房是具有复杂功能的主动腔,包括储存功能、管道功能及辅助泵功能^[5]。本研究观察到,与对照组

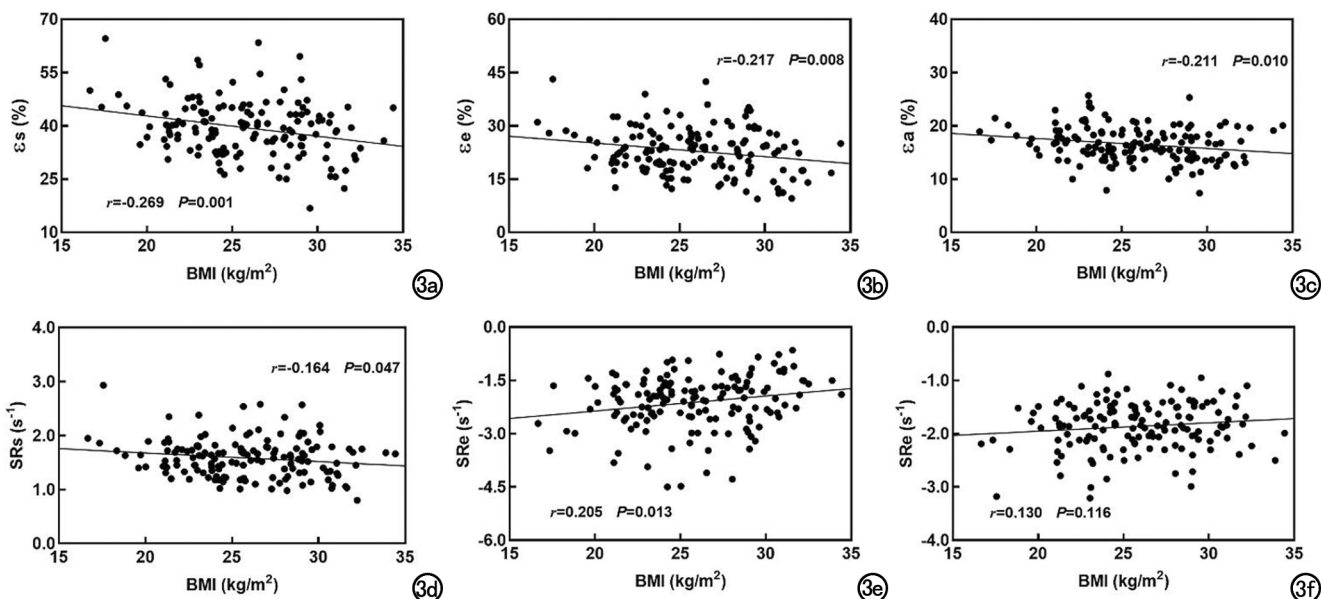


图 3 BMI 与左房应变及应变率相关性散点图。a)BMI 与 ϵ_s 轻度负相关;b)BMI 与 ϵ_e 轻度负相关;c)BMI 与 ϵ_a 轻度负相关;d)BMI 与 SR_s 轻度负相关;e)BMI 与 SR_e 轻度正相关;f)BMI 与 SR_a 无相关性。

相比,肥胖组 ϵ_s 及 ϵ_e 减低,提示肥胖会导致左房储存功能及管道功能受损,这与之前的研究结果一致^[14-15]。但是,关于肥胖对左房泵功能的影响目前尚存在较大争议。既往的斑点追踪技术超声心动图研究发现肥胖人群的 ϵ_a 正常或增高^[14-15],而本研究发现肥胖组的 ϵ_a 显著降低。笔者认为,肥胖人群左房功能受损可能与心肌代谢改变有关。既往研究发现,肥胖人群体内血浆游离脂肪酸增加,并产生心脏脂毒性,进而导致心肌细胞凋亡和心脏效率减低^[16-17]。此外,本研究的重要发现之一为超重组 ϵ_s 和 ϵ_a 较对照组减低,这提示即使在超重状态下,左房储存功能及泵功能就已经发生显著改变,表明临床应当早期重视体重增加引起的心房功能改变。

本研究发现肥胖组的左房容积显著大于对照组,与之前的研究结果一致^[18]。目前,肥胖引起左房增大的确切病理生理机制尚不清楚。De Divitiis 等^[19]推测肥胖相关左房增大可能是因为机体代谢速度加快而引起的心搏出量及总血容量增加导致的。而 Lai 等^[20]则认为心房重构与体脂和炎症因子有关。排空分数是临床中评估左房功能的最常用参数之一。虽然与对照组比较,部分左房应变参数在超重组和肥胖组均显著减低,但本研究仅观察到肥胖组 LAEF total 和 LAEF passive 显著低于对照组,而超重组与对照组的排空分数并无显著差异。这表明,与排空分数相比,左房应变可以更敏感地反映超重及肥胖引起的早期左房功能改变。

此外,通过研究 BMI 与左心房心肌形变参数之间的相关性发现,BMI 与 ϵ_s 、 ϵ_e 、 ϵ_a 、 SR_s 及 SR_e 具有一定

的相关性,这进一步表明体重的增加对左房储存功能、管道功能及辅助泵功能均有不同程度的影响。

本研究的主要局限性为横断面研究,因此,肥胖、超重与左房功能参数之间的关系需要在后续研究中由纵向研究进一步验证。此外,本研究样本量较小,由于研究对象个体间的潜在差异性,这可能限制了研究群体的代表性。最后,既往研究表明,肥胖患者体脂分布情况与肥胖相关心血管疾病存在紧密联系^[21],但本研究未对肥胖患者进行分型,不同类型肥胖对心脏结构和功能的影响有待下一步研究。

综上所述,MR-FT 技术可以分析肥胖及超重人群的左心房心肌形变能力,其参数对定量评估该人群的左心房功能具有重要价值,可为临床早期发现及预防肥胖相关心血管疾病提供更多的参考依据。

参考文献:

- [1] Koliaki C, Liatis S, Kokkinos A. Obesity and cardiovascular disease: revisiting an old relationship[J]. *Metabolism*, 2019, 92: 98-107.
- [2] Aune D, Sen A, Norat T, et al. Body mass index, abdominal fatness, and heart failure incidence and mortality: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies[J]. *Circulation*, 2016, 133(7): 639-649.
- [3] Karimian S, Stein J, Bauer B, et al. Impact of severe obesity and weight loss on systolic left ventricular function and morphology: assessment by 2-dimensional speckle-tracking echocardiography [J]. *J Obes*, 2016, 2016: 2732613.
- [4] Chahal H, McClelland RL, Tandri H, et al. Obesity and right ventricular structure and function: the MESA-right ventricle study [J]. *Chest*, 2012, 141(2): 388-395.
- [5] 石美晶, 费宇杰, 陶静雯, 等. 心脏磁共振在左心房评价中的临床应

- 用与研究进展[J].放射学实践,2021,36(1):128-132.
- [6] Orwat S, Kempny A, Diller GP, et al. Cardiac magnetic resonance feature tracking: a novel method to assess myocardial strain. Comparison with echocardiographic speckle tracking in healthy volunteers and in patients with left ventricular hypertrophy[J]. Kardiol Pol, 2014, 72(4): 363-371.
- [7] 中国高血压防治指南(2018 年修订版)[J]. 中国心血管杂志, 2019, 24(1): 24-56.
- [8] Petersmann A, Muller-Wieland D, Muller UA, et al. Definition, classification and diagnosis of diabetes mellitus[J]. Exp Clin Endocrinol Diabetes, 2019, 127(S01): S1-S7.
- [9] 中国超重肥胖医学营养治疗专家共识编写委员会. 中国超重/肥胖医学营养治疗专家共识(2016 年版)[J]. 中华糖尿病杂志, 2016, 8(9): 525-540.
- [10] Gao Y, Zhang Z, Li G, et al. Reference values for left atrial strain and strain rate based on a large sample of healthy Chinese adults: an MR-feature tracking study[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 54(6): 1784-1793.
- [11] Petersen SE, Aung N, Sanghvi MM, et al. Reference ranges for cardiac structure and function using cardiovascular magnetic resonance (CMR) in Caucasians from the UK Biobank population cohort[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2017, 19(1): 18.
- [12] Russo C, Jin Z, Homma S, et al. Effect of obesity and overweight on left ventricular diastolic function: a community-based study in an elderly cohort[J]. J Am Coll Cardiol, 2011, 57(12): 1368-1374.
- [13] Gan GCH, Ferkh A, Boyd A, et al. Left atrial function: evaluation by strain analysis[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2018, 8(1): 29-46.
- [14] Chirinos JA, Sardana M, Satija V, et al. Effect of obesity on left atrial strain in persons aged 35-55 years (the asklepios study)[J]. Am J Cardiol, 2019, 123(5): 854-861.
- [15] 方宁宁, 巩会平, 蒋桂花, 等. 应变/应变率技术评价超重及肥胖患者左心房功能的研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2013, 22(6): 488-491.
- [16] Boden G. Obesity and free fatty acids[J]. Endocrinol Metab Clin North Am, 2008, 37(3): 635-646.
- [17] Sletten AC, Peterson LR, Schaffer JE. Manifestations and mechanisms of myocardial lipotoxicity in obesity[J]. J Intern Med, 2018, 284(5): 478-491.
- [18] Aiad NN, Hearon C, Hieda M, et al. Mechanisms of left atrial enlargement in obesity[J]. Am J Cardiol, 2019, 124(3): 442-447.
- [19] De Divitiis O, Fazio S, Petitto M, et al. Obesity and cardiac function[J]. Circulation, 1981, 64(3): 477-482.
- [20] Lai YH, Liu CC, Kuo JY, et al. Independent effects of body fat and inflammatory markers on ventricular geometry, midwall function, and atrial remodeling[J]. Clin Cardiol, 2014, 37(3): 172-177.
- [21] Gonzalez N, Moreno-Villegas Z, Gonzalez-Bris A, 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.

(收稿日期:2021-10-15 修回日期:2022-02-11)