

• 临床研究 •

应用新型碲锌镉心脏专用SPECT相位分析评价肥胖患者的左心室机械收缩同步性

卜 莉, 王 骋, 李春香, 赵中强*

南京医科大学第一附属医院心血管内科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的:探讨肥胖对心肌灌注显像正常患者群体的左心室机械收缩同步性参数的影响。方法:回顾性分析2023年1月—2024年8月在南京医科大学第一附属医院接受碲锌镉心脏专用单光子发射计算机断层成像(cadmium zinc telluride single photon emission computed tomography, CZT SPECT)心肌灌注显像的患者,选取心肌灌注显像结果和左心室射血分数均正常的患者133例,根据体重指数(body mass index, BMI)分为3组:正常组($18.5 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 24.0 \text{ kg/m}^2$)40例,超重组($24.0 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28.0 \text{ kg/m}^2$)45例,肥胖组($\text{BMI} \geq 28.0 \text{ kg/m}^2$)48例。分析比较3组患者之间相位直方图带宽(phase histogram bandwidth, PBW)、相位标准差(phase standard deviation, PSD)、舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)、收缩末期容积(end-systolic volume, ESV)、左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)等左心室功能参数的差异,并探讨BMI对这些参数的影响。结果:超重组和肥胖组PBW值[(22.00 ± 4.24) vs. (17.10 ± 3.20), $P < 0.001$; (26.13 ± 5.74) vs. (17.10 ± 3.20), $P < 0.001$]和PSD值[(5.04 ± 1.05) vs. (3.74 ± 0.68), $P < 0.001$; (6.34 ± 1.43) vs. (3.74 ± 0.68), $P < 0.001$]均显著高于正常组。肥胖组PBW值[(26.13 ± 5.74) vs. (22.00 ± 4.24), $P < 0.001$]和PSD值[(6.34 ± 1.43) vs. (5.04 ± 1.05), $P < 0.001$]均显著高于超重组。超重和肥胖患者的PBW值($r=0.446$, $P < 0.001$)和PSD值($r=0.477$, $P < 0.001$)与BMI呈显著正相关。结论:肥胖患者更容易发生左心室机械收缩不同步(left ventricular mechanical dyssynchrony, LVMD),新型碲锌镉心脏专用SPECT相位分析可早期有效评估肥胖患者的左心室机械收缩同步性,对于肥胖患者早期发现LVMD并进行干预以降低心血管事件具有重要的临床指导意义。

[关键词] 左心室机械不同步;相位分析;肥胖;心肌灌注显像;体重指数

[中图分类号] R817.4; R541

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2025)10-1487-07

doi: 10.7655/NYDXBNSN250021

Evaluation of left ventricular mechanical contraction synchrony in obese patients using a novel CZT SPECT

BU Ju, WANG Cheng, LI Chunxiang, ZHAO Zhongqiang*

Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

[Abstract] **Objective:** To investigate the impact of obesity on left ventricular mechanical contraction synchrony parameters in patients with normal myocardial perfusion imaging (MPI). **Methods:** A retrospective analysis was conducted on patients who underwent cadmium zinc telluride single photon emission computed tomography (CZT SPECT) MPI at the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University from January 2023 to August 2024. A total of 133 patients with both normal MPI results and normal left ventricular ejection fraction (LVEF) were selected. They were divided into three groups based on body mass index (BMI): normal group ($18.5 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 24.0 \text{ kg/m}^2$, $n=40$), overweight group ($24.0 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28.0 \text{ kg/m}^2$, $n=45$), and obese group ($\text{BMI} \geq 28.0 \text{ kg/m}^2$, $n=48$). The differences in left ventricular function parameters such as phase histogram bandwidth (PBW), phase standard deviation (PSD), end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV), and LVEF among the three groups were compared. The relationship between BMI and these parameters was analyzed. **Results:** Both overweight and obese groups showed significantly higher PBW (22.00 ± 4.24) vs. (17.10 ± 3.20), $P < 0.001$; (26.13 ± 5.74) vs. (17.10 ± 3.20), $P < 0.001$) and PSD values (5.04 ± 1.05) vs. (3.74 ± 0.68), $P < 0.001$; (6.34 ± 1.43) vs. (3.74 ± 0.68), $P < 0.001$) compared with the normal group. The obese group demonstrated significantly greater PBW (26.13 ± 5.74) vs. (22.00 ± 4.24), $P < 0.001$) and PSD (6.34 ± 1.43) vs. (5.04 ± 1.05), $P < 0.001$) than the overweight group. PBW ($r=0.446$, $P <$

[基金项目] 国家自然科学基金(82100338)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: zhaozhongqiang@jsph.org.cn (ORCID: 0009-0001-7247-5641)

0.001) and PSD ($r=0.477, P < 0.001$) showed significant positive correlations with BMI in overweight and obese patients. **Conclusion:** Obese patients are more likely to develop left ventricular mechanical dyssynchrony (LVMD), and the novel CZT SPECT phase analysis technique can effectively evaluate left ventricular mechanical synchrony in obese patients at an early stage, providing important clinical guidance for early detection and intervention of LVMD to reduce cardiovascular events in this population.

[Key words] left ventricular mechanical dyssynchrony; phase analysis; obesity; myocardial perfusion imaging; body mass index

[J Nanjing Med Univ, 2025, 45(10): 1487-1493]

随着人们生活水平的提高,我国居民超重率、肥胖率,以及相关慢性病的患病率迅速攀升,超重和肥胖已经成为危害我国居民健康的公共卫生问题^[1]。体重指数(body mass index, BMI)的增加与高血压、2型糖尿病和高脂血症相关,而这些都是心血管疾病的危险因素。除了冠状动脉疾病,有证据表明肥胖会导致心力衰竭的发展^[2],左心室机械不同步(left ventricular mechanical dyssynchrony, LVMD)可能是进行性心力衰竭的早期指标^[3]。门控核素心肌灌注显像(gated myocardial perfusion imaging, G-MPI)已广泛应用于冠心病(coronary artery disease, CAD)患者的早期诊断、治疗评价和危险分层^[4]。G-MPI相位分析技术在评估LVMD方面与其他成像方法相比具有很多优势,例如可用性广、准确性高、重复性好、适用于回顾性数据,以及能够同时评估心肌瘢痕形成的位置和严重程度等^[5]。作为一种新型的扫描设备,碲锌镉心脏专用单光子发射计算机断层成像(cadmium zinc telluride single photon emission computed tomography, CZT SPECT)是核心脏病学领域的重大技术进展,它采用固态碲锌镉(cadmium zinc telluride, CZT)晶体作为探测器,与传统SPECT相比,其优势主要体现在灵敏度高、空间分辨率高、采集时间短、辐射剂量低等方面,相比传统扫描,其计数灵敏度提高5~10倍,扫描时间缩短3~6倍^[6]。近年来已有研究使用超声心动图和磁共振成像等方法评估肥胖患者的左心室机械同步性^[7-9],但有关CZT SPECT门控心肌灌注显像相位分析技术在肥胖患者群体左心室机械收缩同步性中的应用研究较少。本研究旨在利用CZT SPECT相位分析技术比较不同BMI患者的左心室机械收缩同步性参数和心功能参数,并分析BMI对这些参数的影响,为有心血管疾病风险的肥胖患者提供早期诊断和评估。

1 对象和方法

1.1 对象

本研究回顾性分析2023年1月—2024年8月在

南京医科大学第一附属医院接受CZT SPECT心肌灌注显像的患者,纳入标准:①年龄18周岁以上;②心肌灌注显像结果未见明显异常;③左心室射血分数正常。排除标准:①高血压、糖尿病、吸烟、高脂血症等危险因素病史;②既往陈旧性心肌梗死、心肌病、瓣膜病、先天性心脏病、心肌炎等;③不稳定心绞痛、急性心肌梗死、心力衰竭等;④起搏器心律、左或右束支传导阻滞、室性心动过速、心动过缓、房室传导阻滞及其他严重心律失常。

研究共纳入133例患者,根据中国成人超重和肥胖BMI诊断标准^[10]分为3组:正常组($18.5 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 24.0 \text{ kg/m}^2$)40例,超重组($24.0 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28.0 \text{ kg/m}^2$)45例,肥胖组($\text{BMI} \geq 28.0 \text{ kg/m}^2$)48例。本研究纳入的患者虽无明确心血管疾病史,但因存在非典型胸痛、胸闷、心悸等症状,临床怀疑心肌缺血而行CZT SPECT检查。本研究通过南京医科大学第一附属医院伦理委员会审批(批准号:2022-SR-748),所有患者在检查前均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 CZT SPECT心肌灌注图像采集

显像仪器为CZT单光子发射计算机断层扫描系统(D-SPECT,以色列Spectrum Dynamics Medical公司),显像药物为^{99m}Tc-甲氧基异丁基异腓(^{99m}Tc-MIBI,南京森科医药技术有限公司提供)。患者静脉注射^{99m}Tc-MIBI 10mCi,10 min后进食脂餐,1~1.5 h后进行门控静息核素心肌灌注显像。患者仰卧位采集数据,采集前进行30~60 s预扫描以定义包含心脏在内的感兴趣区域,每个探测器阵列沿其长轴独立旋转110°,心率窗为 $\pm 20\%$,能峰为140 Kev,采集矩阵为64×64,放大倍数1.0,每个心动周期采集8帧,采集计数>1 M,总采集时间为3~6 min。

1.2.2 图像处理及分析

图像采集完成后,采用QPS/QGS软件对图像进行重建,获得短轴、垂直长轴、水平长轴断层图像,并获得左心室功能参数,包括舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)、收缩末期容积(end-systolic

volume, ESV)、左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、相位直方图带宽(phase histogram bandwidth, PBW)和相位标准差(phase standard deviation, PSD)。

1.3 统计学方法

采用SPSS 27.0软件对研究数据进行统计学分析。连续数据以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,分类数据以例数和百分比表示。采用独立样本 t 检验比较两组之间PBW、PSD、EDV、ESV和LVEF的差异。3组患者之间连续变量的比较采用单因素方差分析。采用Pearson相关性分析研究各变量(BMI、PBW、PSD、EDV、ESV和LVEF)相互之间的关系。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料

如表1所示,本研究共纳入133例患者,正常组

40例(女20例),年龄(58.98 ± 10.87)岁, BMI(21.78 ± 1.24) kg/m^2 ;超重组45例(女25例),年龄(58.16 ± 11.26)岁, BMI(25.99 ± 0.91) kg/m^2 ;肥胖组48例(女17例),年龄(56.15 ± 12.64)岁, BMI(30.08 ± 2.01) kg/m^2 。统计分析显示,所有数据符合正态分布,3组间的性别、年龄、身高、QRS间期差异均无统计学意义(P 均 >0.05),体重和BMI的差异则有统计学意义(P 均 <0.001)。

2.2 左心室功能参数的比较

正常组、超重组和肥胖组患者的左心室功能参数比较如图1所示。统计分析显示,超重组和肥胖组患者的EDV、ESV、PBW和PSD值较体重正常组均高,差异有统计学意义(P 均 <0.05),然而,肥胖组患者的LVEF值低于正常组($P < 0.05$)。与超重组比较,肥胖组的EDV、PBW和PSD均高,差异均有统计学意义(P 均 <0.05),肥胖组ESV值高于超重组,但差异无统计学意义。

表1 入组患者的基本临床资料

Table 1 Basic clinical characteristics of enrolled patients

Variable	Normal group(n=40)	Overweight group(n=45)	Obesity group(n=48)	P
Age(years, $\bar{x} \pm s$)	58.98 ± 10.87	58.16 ± 11.26	56.15 ± 12.64	0.499
Female[n(%)]	20(50.0)	25(55.5)	17(35.4)	0.134
Height(cm, $\bar{x} \pm s$)	164.65 ± 6.15	164.80 ± 7.29	167.69 ± 7.29	0.082
Weight(kg, $\bar{x} \pm s$)	59.20 ± 5.85	70.76 ± 7.16	84.77 ± 9.72	<0.001
BMI(kg/m^2 , $\bar{x} \pm s$)	21.78 ± 1.24	25.99 ± 0.91	30.08 ± 2.01	<0.001
QRS(ms, $\bar{x} \pm s$)	96.65 ± 7.78	99.07 ± 7.22	98.55 ± 7.51	0.525
EDV(mL, $\bar{x} \pm s$)	65.55 ± 7.69	74.16 ± 12.05	79.71 ± 16.19	-
ESV(mL, $\bar{x} \pm s$)	17.26 ± 3.15	20.16 ± 5.49	23.98 ± 8.01	-
LVEF(%, $\bar{x} \pm s$)	73.67 ± 3.64	72.93 ± 4.53	70.42 ± 5.99	-
PBW($^\circ$, $\bar{x} \pm s$)	17.10 ± 3.20	22.00 ± 4.24	26.13 ± 5.74	-
PSD($^\circ$, $\bar{x} \pm s$)	3.74 ± 0.68	5.04 ± 1.05	6.34 ± 1.43	-

本研究从3组人群中各选取1例典型病例进行分析:正常组56岁女性(BMI $22.5 \text{ kg}/\text{m}^2$)表现为MPI灌注和极坐标靶心图未见异常,相位直方图显示狭窄而尖锐的柱状图, LVMD参数(PBW 18° 、PSD 3.3°)提示收缩同步性良好;超重组43岁女性(BMI $25.7 \text{ kg}/\text{m}^2$)灌注显像未见异常,但表现为相位直方图变宽, LVMD参数(PBW 24° 、PSD 5.7°)较正常组升高;肥胖组55岁女性(BMI $30 \text{ kg}/\text{m}^2$)虽灌注显像未见异常,但相位直方图显著增宽且紊乱, LVMD参数(PBW 36° 、PSD 9.3°)相比前两组呈现更明显的异常升高趋势(图2)。

2.3 BMI对左心室收缩同步性参数的影响

Pearson相关分析结果显示,正常组患者仅有

PSD与BMI显著正相关($r=0.408, P=0.009$)。与之对应的,超重和肥胖患者的PBW($r=0.446, P < 0.001$)、PSD($r=0.477, P < 0.001$)、ESV($r=0.320, P=0.002$)与BMI呈显著正相关, LVEF($r=-0.358, P < 0.001$)则与BMI呈显著负相关(图3)。

3 讨论

本研究使用CZT SPECT相位分析技术评估MPI结果和左室射血分数均正常的患者群体(根据BMI分为正常组、超重组和肥胖组)的左心室功能参数和机械收缩同步性参数,主要发现超重和肥胖组患者的EDV、ESV、PBW和PSD值显著高于正常组患者,同时肥胖组患者的这些参数值也高于超重组患

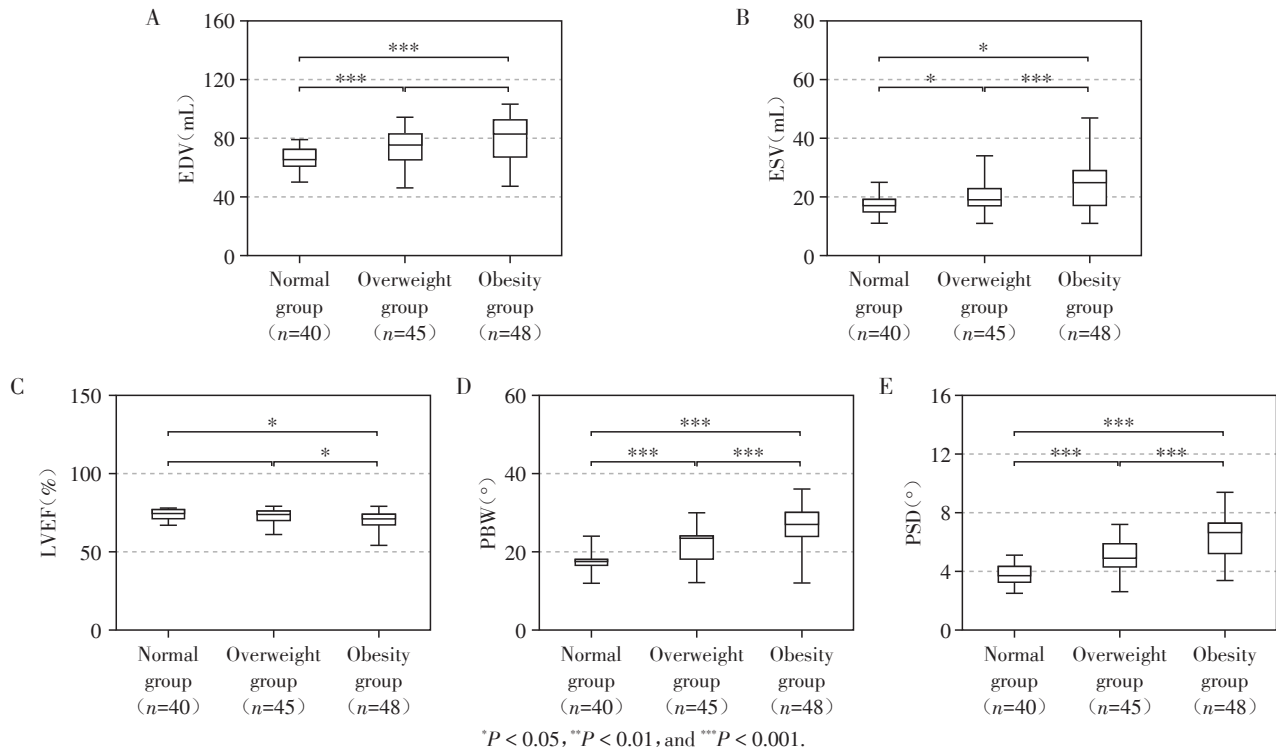
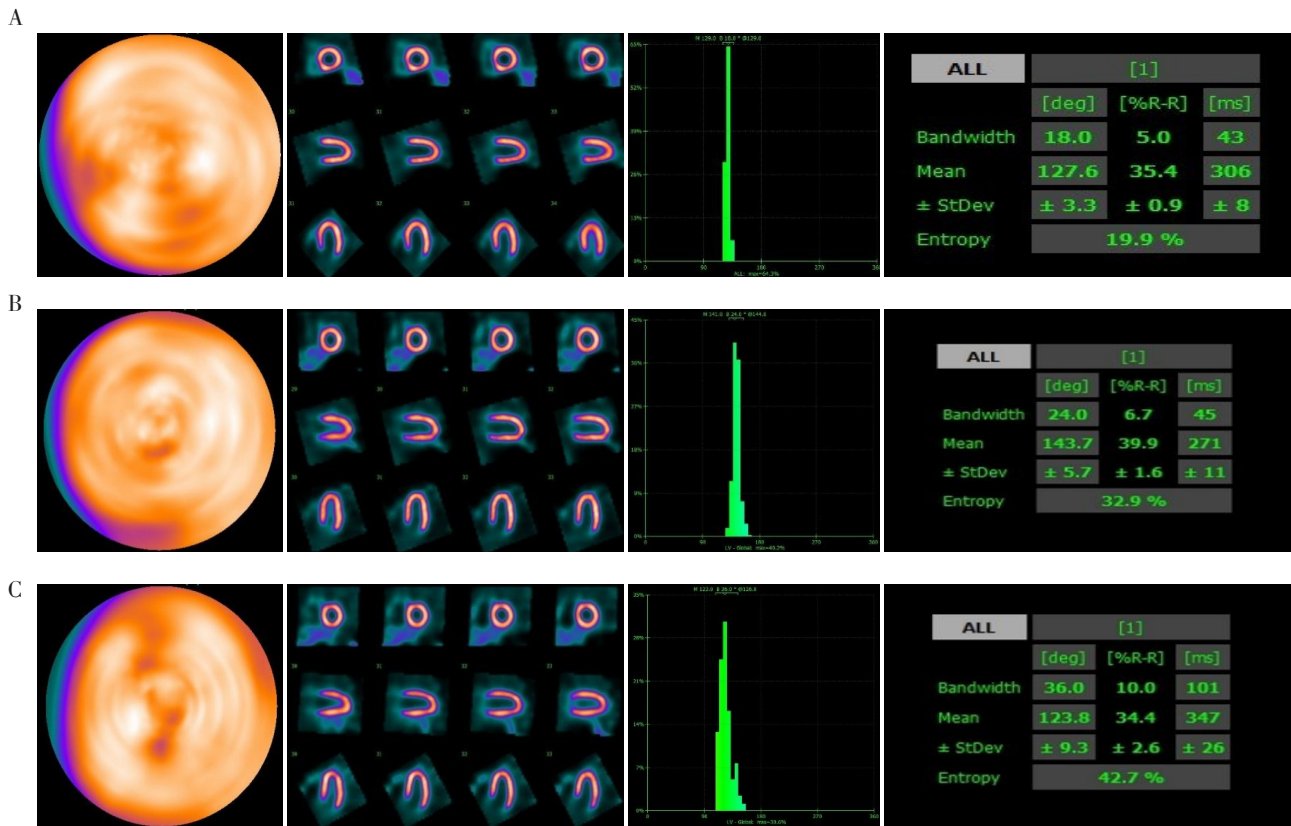


图1 3组患者EDV(A)、ESV(B)、LVEF(C)、PBW(D)、PSD(E)箱形图比较

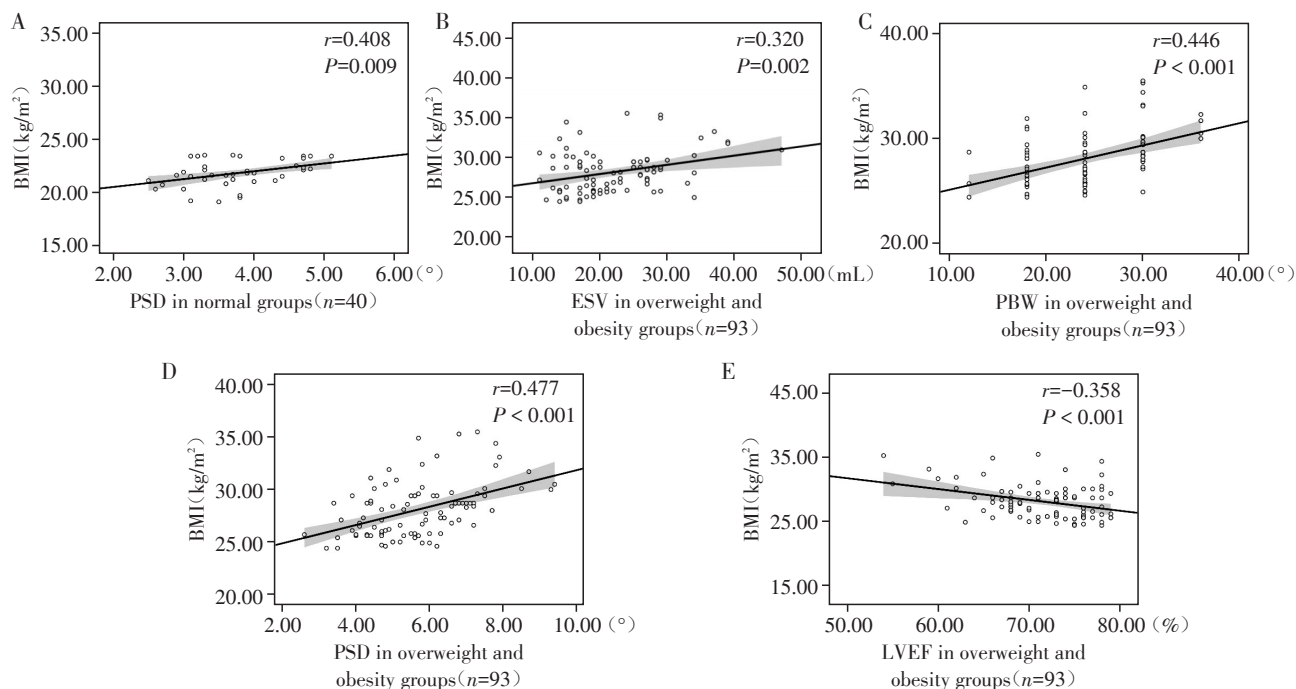
Figure 1 Box-plots of comparison of EDV(A), ESV(B), LVEF(C), PBW(D), and PSD(E) among the three groups of patients



A: The typical case from the normal group. B: The typical case from the overweight group. C: The typical case from the obesity group.

图2 3组各选取1例典型病例的MPI灌注图、极坐标靶心图、相位直方图及LVMD参数值的比较

Figure 2 Comparison of MPI, polar maps, phase histograms, and LVMD parameter values of one typical case selected from each of the three groups



A: Scatter plot of the correlation analysis between PSD and BMI in the normal group ($n=40$). B: Scatter plot of the correlation analysis between ESV and BMI in the overweight and obesity groups ($n=93$). C: Scatter plot of the correlation analysis between PBW and BMI in the overweight and obesity groups ($n=93$). D: Scatter plot of the correlation analysis between PSD and BMI in the overweight and obesity groups ($n=93$). E: Scatter plot of the correlation analysis between LVEF and BMI in the overweight and obesity groups ($n=93$).

图3 左心室功能参数与BMI的相关性分析

Figure 3 Correlation analysis between left ventricular function parameters and BMI

者。此外,本研究还发现超重和肥胖组患者的PBW和PSD值与BMI呈明显正相关,BMI越高,PBW和PSD值越高,相比之下,这种关系在正常组患者中不是特别明显。

LVMD以心室内同步收缩丧失为特征,可作为心力衰竭的初始征象^[3],是冠状动脉疾病心脏并发症的独立预测因子^[11],评估左心室收缩功能障碍患者的LVMD有助于预测病死率^[12]。G-MPI相位分析技术提供了一个快速、无创的工具来评估左心室的同步性。相位分析技术测得的LVMD参数,即相位直方图带宽PBW和相位标准差PSD,与超声心动图和磁共振评价LVMD具有很强的相关性^[13]。Tavares等^[14]使用Emory Cardiac Toolbox软件回顾性分析了1000例患者的MPI数据发现,与LVMD明显相关的变量有男性、肥胖、高血压、糖尿病、血脂异常、CAD病史、QRS间期 ≥ 120 ms、左心室功能障碍和MPI上的心肌灌注缺损(尤其是固定缺损)。多变量分析显示,与LVMD显著相关的变量是男性、肥胖、CAD病史和QRS间期 ≥ 120 ms,肥胖者的不同步程度大约是非肥胖者的两倍。Crendal等^[15]的研究使用斑点跟踪超声心动图比较了患有和不患有2型糖尿病

代谢综合征患者以及健康对照受试者的左心室不同步情况,结果显示所有代谢综合征患者均存在左室不同步现象,而糖尿病并未加剧这一现象,作者分析这与腹部肥胖和左心室质量密切相关。Wang等^[16]指出,LVMD存在于LVEF正常、心肌灌注正常的糖尿病患者中。慢性糖尿病并发症和高BMI(>23.4 kg/m²)是LVMD的独立危险因素。这些研究表明肥胖可以独立于代谢疾病和糖尿病之外对心功能产生不利影响。

本研究发现随着BMI升高,同步性参数PBW和PSD显著增加。这一现象提示肥胖可能通过多系统、多层次的复杂病理生理机制导致LVMD。肥胖患者普遍存在循环血容量增加和心输出量升高,导致左心室长期处于容量超负荷状态,引发心室壁应力分布不均,最终造成区域性心肌收缩延迟^[17]。肥胖导致的心肌脂肪异位沉积和间质纤维化通过干扰心肌细胞电信号传导,造成局部电-机械活动延迟。同时,内脏脂肪组织分泌的促炎因子水平显著升高,进一步加重心肌机械活动的不同步^[18]。此外,肥胖患者存在交感神经张力增高和迷走神经功能抑制,进一步损害收缩协调性,这些机制共同加剧了肥胖患者左

心室机械不同步的进展^[9]。值得注意的是,本研究发现超重组($24.0 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28.0 \text{ kg/m}^2$)已出现PBW和PSD显著改变,提示这些病理生理改变可能在肥胖前期就已启动,这为临床早期干预提供了重要依据。

目前使用SPECT相位分析评估肥胖患者左心室同步性的研究较少,Zhang等^[19]使用铊铟镓SPECT对55例肥胖($\text{BMI} > 30 \text{ kg/m}^2$)患者和40例正常对照组($\text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$)患者进行比较,发现肥胖组的PBW和PSD值在静息和负荷时都明显高于对照组。Caliskan等^[20]的研究使用传统SPECT设备做了类似的研究,作者纳入了152例肥胖患者($\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$)和80例年龄和性别匹配的非肥胖患者($\text{BMI} \leq 25 \text{ kg/m}^2$),发现肥胖患者的PBW和PSD值同样高于正常患者,同时肥胖患者的PBW值与BMI呈微弱正相关($r=0.181, P < 0.05$)。在本研究中,根据中国成人超重和BMI诊断标准^[10],纳入了更大和更细分的患者群体,研究发现超重和肥胖患者的左室机械收缩同步性参数(PBW和PSD)明显高于正常组患者,这与前述两项研究的结果类似。此外,超重和肥胖患者的PBW和PSD值与BMI呈显著正相关,BMI越高,PBW和PSD值越高,这说明随着BMI的升高,超重和肥胖患者有早期LVMD的风险。本研究的另一个发现是超重和肥胖组患者的EDV、ESV值也显著高于正常组患者,这与肥胖对心脏的病理生理影响一致,BMI增加导致代谢需求增加和循环血容量增加,导致EDV、ESV升高。随着时间的推移,这些变化会导致心室扩张、室壁压力增加和左室肥厚,潜在地引发左室疾病和心力衰竭,心脏负荷异常也会进一步导致左心室的不同步运动。

尽管肥胖对心肌功能和结构有不利影响,但体重减轻可能会引起心室的结构改变,即“反向重构”^[18]。Marfella等^[21]使用超声心动图评估了减肥对肥胖女性左室不同步运动的影响,他们观察到,体重减轻后,不同步运动显著减少,心脏功能得到改善。同样,Schuster等^[22]研究发现,短期且易于进行的低强度训练可显著改善肥胖男性的左室舒张功能和心脏同步性。这些研究表明,早期发现肥胖患者的LVMD是至关重要的,因为仅仅改变生活方式就可以预防肥胖个体左室不同步的发展。

本研究存在一些局限性。首先,由于是回顾性研究,无法获得患者的腰围数值来评估腹部肥胖的影响。其次,没有与心脏磁共振、超声心动图等其他成像方式获得的参数进行比较分析。此外,本研究数据只来自静息MPI,这可能会影响入组患者MPI结果的

判读,后续需要加入负荷MPI或者以冠状动脉造影结果作为诊断标准。最后,没有考虑高血压、高血脂、糖尿病、CAD病史、QRS间期等其他因素对LVMD的影响,在后续研究中需要进一步阐述。

综上所述,与BMI正常的患者相比,超重和肥胖患者更容易发生LVMD,新型CZT SPECT相位分析可早期有效评估肥胖患者的左心室机械收缩同步性,并有助于临床治疗方案的选择,对于肥胖患者早期发现LVMD并进行干预以降低心血管事件具有重要的临床指导意义。

利益冲突声明:

所有作者声明无利益冲突。

Conflict of Interests:

The authors declare no conflicts of interests.

作者贡献声明:

卜菊负责SPECT图像采集与处理分析、论文撰写;王骋负责数据整理、统计分析;李春香负责数据收集、数据整理;赵中强负责研究指导、论文修改。

Author's Contributions:

BU Ju was responsible for SPECT image acquisition and analysis, and wrote the manuscript; WANG Cheng was in charge of data collation and statistical analysis; LI Chunxiang handled data collection and organization; ZHAO Zhongqiang led research guidance and paper revision.

[参考文献]

- [1] 中国心血管健康与疾病报告编写组,胡盛寿.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
The Writing Committee of the Report on Cardiovascular Health and Diseases in China, HU S S. Report on Cardiovascular Health and Diseases in China 2022: an updated summary[J]. Chinese Circulation Journal, 2023, 38(6): 583-612
- [2] WAHAB A, DEY A K, BANDYOPADHYAY D, et al. Obesity, systemic hypertension, and pulmonary hypertension: a tale of three diseases [J]. Curr Probl Cardiol, 2021, 46(3): 100599
- [3] WANG C, SHI J Z, GE J C, et al. Left ventricular systolic and diastolic dyssynchrony to improve cardiac resynchronization therapy response in heart failure patients with dilated cardiomyopathy [J]. J Nucl Cardiol, 2021, 28(3): 1023-1036
- [4] VÁZQUEZ MÉZQUITA A J, BIAVATI F, FALK V, et al. Clinical quantitative coronary artery stenosis and coronary atherosclerosis imaging: a consensus statement from the quantitative cardiovascular imaging study group [J]. Nat Rev Cardiol, 2023, 20(10): 696-714

- [5] ZHAO Z Q, WANG C, PENG Z Y, et al. The influence of arm positions on mechanical dyssynchrony measured by gated myocardial perfusion imaging [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(10): 6698-6709
- [6] 余飞,李剑明,张涵,等. CZT心脏专用SPECT心肌血流定量技术临床应用中国专家共识[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2024(4): 207-214
YU F, LI J M, ZHANG H, et al. Chinese expert consensus on the clinical application of CZT cardiac-dedicated SPECT myocardial blood flow quantification technique [J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2024, 48(4): 207-214
- [7] SHI K, HUANG S, LI X, et al. Effect of obesity on left ventricular remodeling and clinical outcome in Chinese patients with hypertrophic cardiomyopathy: assessed by cardiac MRI [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2023, 57(3): 800-809
- [8] LIU J, LI J, XIA C C, et al. The effect of hyperlipidemia and body fat distribution on subclinical left ventricular function in obesity: a cardiovascular magnetic resonance study [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2024, 23(1): 120
- [9] 相三婷,王文平,雍永宏,等. 二维斑点追踪技术联合实时三维超声心动图评价肥胖对原发性高血压患者左房功能的影响[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2024, 44(3): 380-386
XIANG S T, WANG W P, YONG Y H, et al. Evaluation of the effect of obesity on left atrial function in patients with essential hypertension using two - dimensional speckle tracking imaging combined with realtime three - dimensional echocardiography [J]. *Nanjing Medical University (Natural Sciences)*, 2024, 44(3): 380-386
- [10] 中国营养学会肥胖防控分会,中国营养学会临床营养分会,中华预防医学会行为健康分会,等. 中国居民肥胖防治专家共识[J]. *中国预防医学杂志*, 2022, 23(5): 321-339
Chinese Nutrition Society Obesity Prevention and Control Section, Chinese Nutrition Society Clinical Nutrition Section, Chinese Preventive Medicine Association Behavioral Health Section, et al. Expert consensus on obesity prevention and treatment in China [J]. *Chinese Preventive Medicine*, 2022, 23(5): 321-339
- [11] WANG C, TANG H P, ZHU F B, et al. Prognostic value of left-ventricular systolic and diastolic dyssynchrony measured from gated SPECT MPI in patients with dilated cardiomyopathy [J]. *J Nucl Cardiol*, 2020, 27(5): 1582-1591
- [12] GOLDBERG A S, ALRAIES M C, CERQUEIRA M D, et al. Prognostic value of left ventricular mechanical dyssynchrony by phase analysis in patients with non-ischemic cardiomyopathy with ejection fraction 35-50% and QRS < 150 ms [J]. *J Nucl Cardiol*, 2014, 21(1): 57-66
- [13] 张飞飞,王建锋,邵晓梁,等. 门控心肌灌注显像评价急性心肌梗死早期左心室舒张不同步及其影响因素的实验研究[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2022, 42(3): 154-159
ZHANG F F, WANG J F, SHAO X L, et al. Assessment of left ventricular diastolic dyssynchrony and its influencing factors early after acute myocardial infarction by SPECT gated myocardial perfusion imaging: an experimental study [J]. *Chinese Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 2022, 42(3): 154-159
- [14] TAVARES A, PECLAT T, LIMA R S L. Prevalence and predictors of left intraventricular dyssynchrony determined by phase analysis in patients undergoing gated-SPECT myocardial perfusion imaging [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2016, 32(5): 845-852
- [15] CRENDAL E, WALTHER G, DUTHEIL F, et al. Left ventricular myocardial dyssynchrony is already present in nondiabetic patients with metabolic syndrome [J]. *Can J Cardiol*, 2014, 30(3): 320-324
- [16] WANG Y F, YU W J, YANG X Y, et al. Left ventricular systolic dyssynchrony: a novel imaging marker for early assessment of myocardial damage in Chinese type 2 diabetes mellitus patients with normal left ventricular ejection fraction and normal myocardial perfusion [J]. *J Nucl Cardiol*, 2023, 30(5): 1797-1809
- [17] POWELL-WILEY T M, POIRIER P, BURKE L E, et al. Obesity and cardiovascular disease: a scientific statement from the American heart association [J]. *Circulation*, 2021, 143(21): e984-e1010
- [18] REN J, WU N N, WANG S Y, et al. Obesity cardiomyopathy: evidence, mechanisms, and therapeutic implications [J]. *Physiol Rev*, 2021, 101(4): 1745-1807
- [19] ZHANG H, FAN X, QIN S S, et al. Left ventricular mechanical dyssynchrony assessment in obese patients using the cadmium-zinc telluride SPECT camera [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(4): 757-765
- [20] CALISKAN B, INANIR M. SPECT myocardial perfusion imaging for the evaluation of left ventricular mechanical dyssynchrony in obese patients [J]. *J Clin Ultrasound*, 2024, 52(8): 1037-1043
- [21] MARFELLA R, ESPOSITO K, SINISCALCHI M, et al. Effect of weight loss on cardiac synchronization and proinflammatory cytokines in premenopausal obese women [J]. *Diabetes Care*, 2004, 27(1): 47-52
- [22] SCHUSTER I, VINET A, KARPOFF L, et al. Diastolic dysfunction and intraventricular dyssynchrony are restored by low intensity exercise training in obese men [J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2012, 20(1): 134-140

[收稿日期] 2025-01-06

(本文编辑:戴王娟)