

四维自动左心房定量技术评估射血分数保留型心力衰竭患者左心房功能的临床价值

程月红¹, 张丽娟¹, 郭珊¹, 侯晓慧¹, 张平洋²

摘要 目的 探讨四维自动左心房定量(4D LAQ)技术评估射血分数保留型心力衰竭(HFpEF)患者左心房功能的临床价值。**方法** 选取我院因心力衰竭症状就诊的患者 69 例,根据 H₂FPEF 评分分为 HFpEF 组(6~9 分)38 例和非 HFpEF 组(2~5 分)31 例,另选同期年龄、性别与之匹配的健康成人 25 例为对照组。应用二维超声心动图获取左心房前后径(LAD)、左心室舒张末期内径、左心室射血分数、左心室心肌质量指数(LVMI)、三尖瓣反流峰值速度(TRPV),计算二尖瓣口舒张早期峰值血流速度与二尖瓣环间隔及侧壁峰值位移平均值比值(E/e');自动心肌功能成像软件获得左心室整体纵向应变(LVGLS);4D LAQ 技术获取左心房容积和心肌应变参数,包括左心房最小容积、左心房最大容积(LAV_{max})、左心房收缩前容积、左心房最大容积指数(LAVI_{max})、左心房每搏量、左心房射血分数(LAEF)、左心房主动射血分数(LAaEF)、左心房被动射血分数(LApEF),以及左心房储备期、管道期、收缩期心肌纵向应变(LASr、LAScd、LASct)和圆周应变(LASr-c、LAScd-c、LASct-c),比较各组上述参数的差异。采用单因素及多因素 Logistic 回归分析筛选 4D LAQ 参数中评估 HFpEF 患者左心房功能的独立影响因素;绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析其诊断效能。**结果** 与对照组比较, HFpEF 组 LAD、E/e'、TRPV、LVMI、LAV_{max}、LAVI_{max} 均增大, LVGLS、LAEF、LAaEF、LApEF、LASr、LAScd、LASct、LASr-c、LAScd-c、LASct-c 均减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);非 HFpEF 组 E/e'、LAV_{max}、LAVI_{max} 均增大, LVGLS、LAaEF、LASr-c、LASct-c 均减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。与非 HFpEF 组比较, HFpEF 组 LAVI_{max} 增大, LVGLS、LASr、LASct、LASr-c、LAScd-c、LASct-c 均减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。单因素及多因素 Logistic 回归分析显示, LAVI_{max}、LASr、LASct、LASct-c 均为评估 HFpEF 患者左心房功能的独立影响因素(均 $P<0.05$)。ROC 曲线分析显示, LAVI_{max}、LASr、LASct、LASct-c 评估 HFpEF 患者左心房功能的曲线下面积(AUC)分别为 0.642、0.629、0.657、0.802,灵敏度分别为 86.8%、92.1%、36.8%、65.8%,特异度分别为 38.7%、35.5%、83.9%、90.3%。其中 LASct-c 的 AUC 高于 LASr,差异有统计学意义($P<0.05$);其余参数的 AUC 两两比较差异均无统计学意义。**结论** 应用 4D LAQ 技术可无创定量评估 HFpEF 患者左心房功能,有一定的临床价值。

关键词 超声心动描记术;四维自动左心房定量;射血分数保留型心力衰竭;心房功能,左

[中图法分类号]R540.45;R541.6

[文献标识码]A

Clinical value of four-dimensional automatic left atrial quantification technology in assessing left atrial function in patients with heart failure with preserved ejection fraction

CHENG Yuehong¹, ZHANG Lijuan¹, GUO Shan¹, HOU Xiaohui¹, ZHANG Pingyang²

1.Department of Ultrasound, the Fourth Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 243000, China. 2.Department of Cardiovascular Ultrasound, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China

ABSTRACT Objective To explore the clinical value of four-dimensional automatic left atrial quantification(4D LAQ) technology in assessing left atrial functional function in patients with heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF). **Methods** A total of 69 patients with heart failure symptoms in our hospital were randomly enrolled. According to the HFpEF score, they were categorized into the HFpEF group(6~9 points, $n=38$) and the non-HFpEF group(2~5 points, $n=31$).

作者单位:1.南京医科大学第四附属医院超声科,江苏 南京 243000;2.南京医科大学附属南京医院 南京市第一医院心血管超声科,江苏 南京 210006

通讯作者:张平洋, Email:zhpy28@126.com

Additionally, 25 healthy adults matched in age and gender were selected as the control group. Two-dimensional echocardiography was performed to measure left atrial anteroposterior diameter (LAD), left ventricular end-diastolic diameter, left ventricular ejection fraction, left ventricular mass index (LVMI), tricuspid regurgitation peak velocity (TRPV), the ratio of the peak early diastolic mitral inflow velocity to the average of the peak displacement velocity of the mitral annulus at the septal and lateral walls (E/e') was calculated. Left ventricular global longitudinal strain (LVGLS) was assessed by automated function imaging software. 4D LAQ technology was used to obtain left atrial volumes and strain parameters, including minimum volume, maximum volume (LAVmax), pre-systolic volume, maximum volume index (LAVImax), stroke volume, ejection fraction (LAEF), active ejection fraction (LAaEF), passive ejection fraction (LApEF), and longitudinal strains (LASr, LAScd, LASct) and circumferential strains (LASr-c, LAScd-c, LASct-c) during the reservoir, conduit, and contractile phases. The differences in above parameters among groups were compared. Univariate and multivariate Logistic regression analysis were used to screen the independent influencing factors among 4D LAQ parameters in evaluating left atrial function in HFpEF patients. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the diagnostic performance. **Results** Compared with the control group, the LAD, E/e' , TRPV, LVMI, LAVmax, LAVImax in the HFpEF group were increased, while the LVGLS, LAEF, LAaEF, LApEF, LASr, LAScd, LASct, LASr-c, LAScd-c, LASct-c were decreased, the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). The E/e' , LAVmax, LAVImax in the non-HFpEF group were increased, while the LVGLS, LAaEF, LASr-c, LASct-c were decreased, the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). Compared with the non-HFpEF group, the LAVImax in the HFpEF group was increased, while the LVGLS, LASr, LASct, LASr-c, LAScd-c, LASct-c were decreased, the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). Univariate and multivariate Logistic regression analysis showed that LAVImax, LASr, LASct, and LASct-c were independent influencing factors for evaluating left atrial function in HFpEF patients (all $P < 0.05$). ROC curve analysis showed that the areas under the curve (AUC) of LAVImax, LASr, LASct, and LASct-c in assessing left atrial function in HFpEF patients were 0.642, 0.629, 0.657, 0.802, with sensitivities of 86.8%, 92.1%, 36.8%, 65.8%, and specificities of 38.7%, 35.5%, 83.9%, 90.3%, respectively. Among these, the AUC of LASct-c was significantly higher than that of LASr ($P < 0.05$), while no statistically significant differences were observed in pairwise comparisons of the AUC of the other parameters. **Conclusion** 4D LAQ technology can evaluate left atrial function in HFpEF patients non-invasively and quantitatively, which has a certain clinical value.

KEY WORDS Echocardiography; Four-dimensional automatic left atrial quantification; Heart failure with preserved ejection fraction; Atrial function, left

射血分数保留型心力衰竭 (heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF) 已成为全球心血管疾病领域的重要挑战, 占老年心力衰竭患者的 70% 以上, 其发病率迅速增长^[1]。HFpEF 曾被认为是左心室舒张功能障碍, 但左心房结构或功能异常在 HFpEF 的病理生理和疾病进展中具有关键作用^[2]。HFpEF 患者左心房功能障碍可引起肺血管重构、右心室功能障碍及心房颤动, 从而导致其运动耐力降低和不良结局发生, 且研究^[3]表明此类患者中左心房心肌应变显著受损者预后较差, 故临床需进一步加强 HFpEF 患者左心房的认识和管理。既往研究多应用二维斑点追踪技术对 HFpEF 患者左心房进行评估, 但因左心房心肌较薄, 不易被追踪, 应用价值有限。四维自动左心房定量 (four-dimensional automatic left atrial quantification, 4D LAQ) 技术专为评估心房功能设计, 可定量分析左心房容积及心肌应变, 不受超声束角度的影响, 具有操作便捷、耗时短等优点。本研究通过探讨 4D LAQ 技术评估 HFpEF 患者左心房功能

的临床价值, 旨在为临床制定策略、评价疗效提供参考。

资料与方法

一、研究对象

选取 2023 年 2 月至 2024 年 2 月我院因心力衰竭症状 (胸闷、气短等劳力后呼吸困难) 就诊的患者 69 例, 根据 H₂FPEF 评分^[4]分为 HFpEF 患者 38 例 (6 ~ 9 分, HFpEF 组) 和非 HFpEF 患者 31 例 (2 ~ 5 分, 非 HFpEF 组)。其中 HFpEF 组男 14 例, 女 24 例, 年龄 38 ~ 89 岁, 平均 (64 ± 12) 岁; 非 HFpEF 组男 18 例, 女 13 例, 年龄 33 ~ 83 岁, 平均 (60 ± 15) 岁。纳入标准: 均行超声心动图检查, 左心室射血分数 (LVEF) ≥ 50%, 临床资料完整, 图像清晰。排除标准: ①先天性心脏病术前、术后, 瓣膜置换术或心脏疾病介入术后; ②严重瓣膜病、心包疾病、慢性阻塞性肺病; ③影响心脏的全身性疾病, 如甲状腺功能亢进、肾功能衰竭、结缔组织病等。另选同期年龄、性别与之匹配的健康成人 25 例为对照组, 男 16 例, 女 9 例, 年龄 26 ~ 78 岁, 平均 (53 ±

16)岁。纳入标准:无心力衰竭症状且无心脏相关疾病史,肝肾功能正常,超声图像质量清晰。本研究经我院医学伦理委员会批准(批准号:2023-11-26-17),受试者均知情同意。

二、仪器与方法

1. 超声心动图检查:使用 GE Vivid E95 彩色多普勒超声诊断仪, M5Sc 探头, 频率 2.0 ~ 4.5 MHz; 4Vc 探头, 频率 2.5 ~ 4.0 MHz; 配备 EchoPAC 203 图像分析软件。受试者取左侧卧位, 同步连接胸导联心电图。首先行二维超声心动图检查, 应用 M5Sc 探头于胸骨旁左心室长轴切面测量左心房前后径(LAD)、左心室舒张末期内径(LVEDd); 于四腔心左心室及短轴描迹左心室并获得左心室心肌质量指数(LVMI); 双平面 Simpson 法测量 LVEF。采集心尖四腔心切面图像, 应用脉冲多普勒测量二尖瓣口舒张早期峰值血流速度(E), 组织多普勒测量二尖瓣环间隔及侧壁峰值位移平均值(e'), 计算 E/e'; 测量三尖瓣反流峰值速度(TRPV)。切换至 4Vc 探头, 嘱受试者平静呼吸, 确定二维切面标准且稳定后屏气, 采集并储存 3 个连续心动周期的左心室四腔心、两腔心、三腔心切面动态二维图像, 导入 EchoPAC 203 图像分析软件进行脱机分析, 获得左心室整体纵向应变(LVGLS)。然后进入 4D 模式, 调整心尖四腔心切面的大小、深度及增益使其完整显示左心房, 嘱受试者平静呼吸, 待图像清晰时于呼气末屏气, 留存 3 个连续心动周期的左心房 4D 全容积动态图像, 导入 EchoPAC 203 图像分析软件进行脱机分析, 进入 4D Auto LAQ 程序, 将标记点置于二尖瓣对合缘, 调整图像使垂直线经过二尖瓣对合缘, 软件自动追踪左心房心内膜边界, 必要时手动调整, 描迹时需排除肺静脉汇入处及左心耳, 获得左心房容积及应变参数, 包括:左心房最小容积(LAVmin)、左心房最大容积(LAVmax)、左心房收缩前容积(LAVpreA)、左心房最大容积指数(LAVImax)、左心房每搏量(LAEV)、左心房射血分数(LAEF)、左心房被动射血分数(LApEF)、左心房主动射血分数(LAaEF), 以及左心房储备期、管道期、收缩期心肌纵向应变(LASr、LAScd、LASct)和圆周应变(LASr-c、LAScd-c、LASct-c)。以上操作均由同一主治医师及以上超声医师完成, 所有参数均重复测量 2 次取平均值, 应变参数取绝对值进行后续分析。

2. 临床资料收集:记录受试者年龄、性别、身高、体质量指数(BMI)、既往病史(糖尿病、高血压、冠心病)、N 末端 B 型利钠肽原(NT-proBNP)水平等。

3. 重复性检验:分别于 HFpEF 组、非 HFpEF 组随机选取 15 例患者, 由 2 名经验丰富的主治医师分别测量 4D LAQ 参数, 其中 1 名间隔 14 d 后再次测量, 分析其在观察者内和观察者间的重复性。

三、统计学处理

应用 SPSS 25.0 和 MedCalc 22.0.18 统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 多组比较采用方差分析, 两组比较采用 *t* 检验, 两两比较采用 LSD 或 SNK 法; 不符合正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 采用非参数检验。计数资料以例或率表示, 采用 χ^2 检验。采用单因素及多因素 Logistic 回归分析筛选 4D LAQ 参数中评估 HFpEF 患者左心房功能的独立影响因素; 绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析其诊断效能, 曲线下面积(AUC)比较采用 DeLong 检验。重复性检验采用组内相关系数(ICC)进行分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、各组临床资料比较

各组年龄、BMI、高血压占比、NT-proBNP 比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。与对照组比较, HFpEF 组年龄、BMI、高血压占比、NT-proBNP 均增大, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$); 非 HFpEF 组年龄、BMI、NT-proBNP 均增大, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。与非 HFpEF 组比较, HFpEF 组高血压占比、NT-proBNP 均增大, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。见表 1。

二、各组二维超声心动图参数及 LVGLS 比较

各组 LAD、LVMI、E/e'、TRPV、LVGLS 比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。与对照组比较, HFpEF 组 LAD、LVMI、E/e'、TRPV 均增大, LVGLS 减小, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$); 非 HFpEF 组 E/e' 增大, LVGLS 减小, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。与非 HFpEF 组比较, HFpEF 组 LVMI 增大, LVGLS 减小, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。见表 2。

三、各组 4D LAQ 参数比较

各组 LAVmax、LAVImax、LAEF、LAaEF、LApEF、LASr、LAScd、LASct、LASr-c、LAScd-c、LASct-c 比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。与对照组比较, HFpEF 组 LAVmax、LAVImax 均增大, LAEF、LAaEF、LApEF、LASr、LAScd、LASct、LASr-c、LAScd-c、LASct-c 均减小, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$); 非 HFpEF 组 LAVmax、LAVImax 均增大, LAaEF、LASr-c、LASct-c 均

表 1 各组临床资料比较

组别	男/女(例)	年龄(岁)	BMI(kg/m ²)	既往病史(例)			NT-proBNP(ng/L)
				高血压	糖尿病	冠心病	
对照组	16/9	53.12±15.54	22.86±3.44	10	7	8	84.0(54.5,98.5)
非 HFpEF 组	18/13	59.68±14.46 ^a	25.87±4.04 ^a	13	9	17	190.0(89.0,379.0) ^a
HFpEF 组	14/24	63.76±11.19 ^a	26.15±4.10 ^a	26 ^{ab}	20	23	523.0(165.5,1294.5) ^{ab}
<i>F/Z</i> χ ² 值	4.882	4.654	6.014	6.806	5.552	5.174	39.370
<i>P</i> 值	0.087	0.012	0.004	0.033	0.062	0.075	<0.001

与对照组比较,^a*P*<0.05;与非 HFpEF 组比较,^b*P*<0.05。BMI:体质量指数;NT-proBNP:N 末端 B 型利钠肽原

表 2 各组二维超声心动图参数及 LVGLS 比较

组别	LAD(mm)	LVEDd(mm)	LVMI(g/m ²)	E/e'	TRPV(m/s)	LVEF(%)	LVGLS(%)
对照组	36.92±3.83	45.68±4.16	68.0(64.5,87.0)	7.88±3.43	2.43±0.44	63.00±3.45	20.45±1.99
非 HFpEF 组	39.39±5.54	47.10±4.09	96.0(78.0,116.0)	14.48±6.40 ^a	2.75±0.43	61.97±3.76	18.97±2.69 ^a
HFpEF 组	41.47±6.39 ^a	47.55±4.42	110.5(100.5,123.3) ^{ab}	15.89±4.61 ^a	2.91±0.48 ^a	62.24±3.59	17.03±2.29 ^{ab}
<i>F/Z</i> 值	5.143	1.513	36.972	20.467	8.404	0.597	16.444
<i>P</i> 值	0.008	0.226	<0.001	<0.001	<0.001	0.553	<0.001

与对照组比较,^a*P*<0.05;与非 HFpEF 组比较,^b*P*<0.05。LAD:左心房前后径;LVEDd:左心室舒张末期内经;LVMI:左心室心肌质量指数;E/e':二尖瓣口舒张早期峰值血流速度与二尖瓣环间隔及侧壁峰值位移平均值比值;TRPV:三尖瓣反流峰值速度;LVEF:左心室射血分数;LVGLS:左心室整体纵向应变

减小,差异均有统计学意义(均 *P*<0.05)。与非 HFpEF 组比较,HFpEF 组 LAVImax 增大,LASr、LASct、LASr-c、LAScd-c、LASct-c 均减小,差异均有统计学意义(均 *P*<0.05)。见表 3 和图 1。

四、单因素及多因素 Logistic 回归分析

单因素 Logistic 回归分析显示,LAVImax、LASr、LASct、LASr-c、LASct-c、LAScd-c 均为评估 HFpEF 患者左心房功能的影响因素(均 *P*<0.05);多因素 Logistic 回归分析显示,LAVImax、LASr、LASct、LASct-c 均为评估 HFpEF 患者左心房功能的独立影响因素(均 *P*<0.05)。

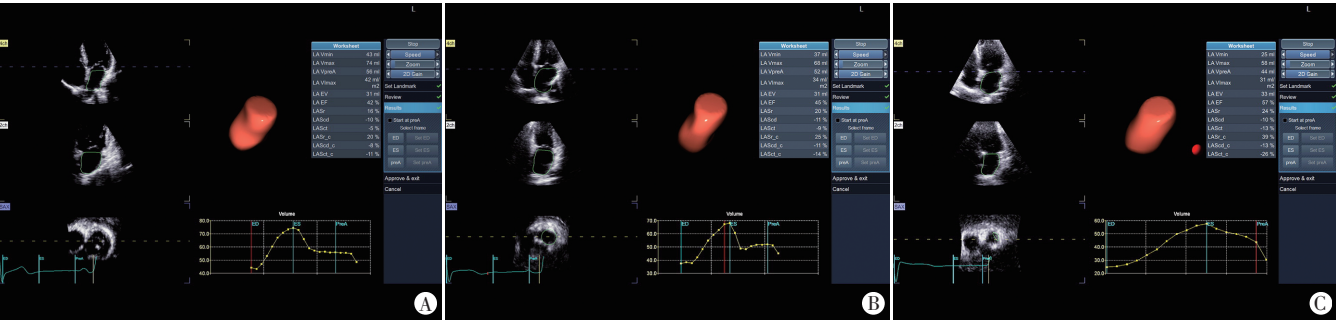
见表 4,5。
五、ROC 曲线分析

ROC 曲线分析显示,LAVImax、LASr、LASct、LASct-c 评估 HFpEF 患者左心房功能的 AUC 分别为 0.642、0.629、0.657、0.802,分别以 26.5 ml/m²、26.5%、17.5%、7.5% 为截断值,对应的灵敏度和特异度分别为 86.8%、92.1%、36.8%、65.8% 和 38.7%、35.5%、83.9%、90.3%。其中 LASct-c 的 AUC 高于 LASr,差异有统计学意义(*P*<0.05),其余参数的 AUC 两两比较差异均无统计学意义。见表 6 和图 2。

表 3 各组 4D LAQ 参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	LAVmin(ml)	LAVmax(ml)	LAVpreA(ml)	LAVImax(ml/m ²)	LAEV(ml)	LAEF(%)	LAaEF(%)	LApEF(%)
对照组	19.96±5.41	42.88±6.90	35.76±7.87	23.48±6.60	26.40±6.27	54.12±6.23	31.84±5.15	33.60±6.72
非 HFpEF 组	22.03±5.74	47.00±7.44 ^a	36.77±8.14	27.71±7.09 ^a	24.42±6.31	52.35±5.57	25.52±7.48 ^a	30.87±6.23
HFpEF 组	23.34±5.89	49.08±8.19 ^a	37.47±9.73	31.68±7.92 ^{ab}	23.18±7.22	49.76±7.38 ^a	24.18±5.62 ^a	27.74±7.71 ^a
<i>F</i> 值	2.651	5.020	0.287	9.578	1.746	3.543	12.322	5.440
<i>P</i> 值	0.076	0.009	0.750	<0.001	0.180	0.033	<0.001	0.006
组别	LASr(%)	LAScd(%)	LASct(%)	LASr-c(%)	LAScd-c(%)	LASct-c(%)		
对照组	23.80±5.64	13.96±4.90	11.36±4.16	38.60±6.85	14.28±5.00	25.28±5.30		
非 HFpEF 组	21.19±6.42	11.84±5.03	10.77±3.34	26.00±6.91 ^a	13.68±4.72	21.87±4.24 ^a		
HFpEF 组	18.45±3.92 ^{ab}	10.13±4.10 ^a	8.74±3.28 ^{ab}	22.21±5.01 ^{ab}	11.32±3.42 ^{ab}	16.11±4.92 ^{ab}		
<i>F</i> 值	7.797	5.165	4.928	54.830	4.322	29.393		
<i>P</i> 值	0.001	0.008	0.009	<0.001	0.016	<0.001		

与对照组比较,^a*P*<0.05;与非 HFpEF 组比较,^b*P*<0.05。LAVmin:左心房最小容积;LAVmax:左心房最大容积;LAVpreA:左心房收缩前容积;LAVImax:左心房最大容积指数;LAEV:左心房每搏量;LAEF:左心房射血分数;LApEF:左心房被动射血分数;LAaEF:左心房主动射血分数;LASr:左心房储备期心肌纵向应变;LAScd:左心房管道期心肌纵向应变;LASct:左心房收缩期心肌纵向应变;LASr-c:左心房储备期心肌圆周应变;LAScd-c:左心房管道期心肌圆周应变;LASct-c:左心房收缩期心肌圆周应变



A: HFpEF 组患者 (男, 67 岁), LAVmin: 43 ml, LAVmax: 74 ml, LAVpreA: 56 ml, LAVImax: 42 ml/m², LAEV: 31 ml, LAEF: 42%, LASr: 16%, LAScd: -10%, LASct: -5%, LASr-c: 20%, LAScd-c: -8%, LASct-c: -11%; 非 HFpEF 组患者 (男, 61 岁), LAVmin: 37 ml, LAVmax: 68 ml, LAVpreA: 52 ml, LAVImax: 34 ml/m², LAEV: 31 ml, LAEF: 45%, LASr: 20%, LAScd: -11%, LASct: -9%, LASr-c: 25%, LAScd-c: -11%, LASct-c: -14%; C: 对照组受试者 (女, 56 岁), LAVmin: 25 ml, LAVmax: 58 ml, LAVpreA: 44 ml, LAVImax: 26 ml/m², LAEV: 33 ml, LAEF: 57%, LASr: 24%, LAScd: -10%, LASct: -13%, LASr-c: 39%, LAScd-c: -13%, LASct-c: -26%

图 1 各组 4D LAQ 图

表 4 单因素 Logistic 回归分析

变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P值	OR 值及其 95% 可信区间
LAVmin	0.040	0.043	0.876	0.349	1.041(0.957 ~ 1.131)
LAVmax	0.035	0.032	1.194	0.275	1.035(0.973 ~ 1.102)
LAVpreA	0.009	0.027	0.105	0.746	1.009(0.956 ~ 1.064)
LAVImax	0.074	0.038	5.676	0.040	1.077(1.003 ~ 1.155)
LAEV	-0.027	0.036	0.567	0.451	0.973(0.907 ~ 1.044)
LAEF	-0.060	0.038	1.070	0.113	0.941(0.874 ~ 1.014)
LAaEF	-0.032	0.038	5.361	0.396	0.968(0.899 ~ 1.043)
LApEF	-0.064	0.036	3.153	0.076	0.938(0.874 ~ 1.007)
LASr	-0.103	0.045	0.530	0.038	0.092(0.818 ~ 0.994)
LAScd	-0.084	0.047	0.011	0.126	0.919(0.852 ~ 1.024)
LASct	-0.189	0.071	8.923	0.018	0.827(0.708 ~ 0.968)
LASr-c	-0.107	0.049	15.249	0.015	0.898(0.824 ~ 0.979)
LAScd-c	-0.146	0.065	7.653	0.024	0.864(0.762 ~ 0.981)
LASct-c	-0.259	0.078	17.179	<0.001	0.772(0.677 ~ 0.880)

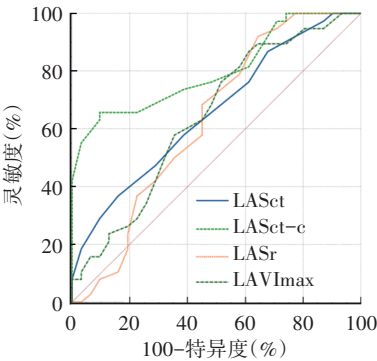


图 2 各参数评估 HFpEF 患者左心房功能的 ROC 曲线图

六、重复性检验

重复性检验显示,4D LAQ 参数在观察者内及观察者间的重复性均良好(均 ICC>0.75)。见表 7。

表 7 重复性检验

参数	观察者内		观察者间	
	ICC 及其 95% 可信区间	P 值	ICC 及其 95% 可信区间	P 值
LAVmin	0.976(0.940 ~ 0.987)	<0.05	0.925(0.840 ~ 0.965)	<0.05
LAVmax	0.984(0.973 ~ 0.994)	<0.05	0.944(0.912 ~ 0.979)	<0.05
LAVpreA	0.983(0.947 ~ 0.985)	<0.05	0.927(0.864 ~ 0.965)	<0.05
LAVImax	0.933(0.843 ~ 0.955)	<0.05	0.956(0.914 ~ 0.980)	<0.05
LAEV	0.982(0.953 ~ 0.990)	<0.05	0.878(0.840 ~ 0.961)	<0.05
LAEF	0.963(0.913 ~ 0.968)	<0.05	0.957(0.914 ~ 0.979)	<0.05
LAaEF	0.926(0.849 ~ 0.957)	<0.05	0.926(0.883 ~ 0.957)	<0.05
LApEF	0.933(0.879 ~ 0.951)	<0.05	0.937(0.853 ~ 0.945)	<0.05
LASr	0.939(0.933 ~ 0.962)	<0.05	0.932(0.875 ~ 0.952)	<0.05
LAScd	0.986(0.964 ~ 0.985)	<0.05	0.917(0.898 ~ 0.964)	<0.05
LASct	0.971(0.943 ~ 0.984)	<0.05	0.943(0.921 ~ 0.975)	<0.05
LASr-c	0.956(0.935 ~ 0.976)	<0.05	0.929(0.869 ~ 0.967)	<0.05
LAScd-c	0.961(0.939 ~ 0.982)	<0.05	0.913(0.871 ~ 0.971)	<0.05
LASct-c	0.957(0.928 ~ 0.971)	<0.05	0.919(0.848 ~ 0.974)	<0.05

表 5 多因素 Logistic 回归分析

变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P值	OR 值及其 95% 可信区间
LAVImax	0.149	0.056	7.094	0.008	1.161(1.040 ~ 1.296)
LASr	-0.158	0.074	4.538	0.033	0.854(0.739 ~ 0.987)
LASct	-0.295	0.127	5.368	0.021	0.744(0.580 ~ 0.956)
LASr-c	-0.090	0.066	1.831	0.176	0.914(0.803 ~ 1.041)
LAScd-c	-0.123	0.097	1.634	0.201	0.884(0.732 ~ 1.068)
LASct-c	-0.272	0.088	9.633	0.002	0.762(0.642 ~ 0.905)
常量	10.549	3.783	7.776	0.005	

表 6 各参数评估 HFpEF 患者左心房功能的 ROC 曲线分析

参数	AUC 及其 95% 可信区间	P 值	截断值	灵敏度(%)	特异度(%)
LASct-c	0.802(0.688 ~ 0.888)	<0.0001	17.50%	65.8	90.3
LASct	0.657(0.533 ~ 0.767)	0.0164	7.50%	36.8	83.9
LASr	0.629(0.504 ~ 0.742)	0.0699	26.50%	92.1	35.5
LAVImax	0.642(0.517 ~ 0.754)	0.0380	26.5 ml/m ²	86.8	38.7

AUC:曲线下面积

ICC:组内相关系数

讨 论

HFpEF 是心力衰竭的常见亚型,虽然患者的 LVEF 正常或仅轻微受损,但此时其左心室舒张功能已发生改变^[5]。左心室舒张功能降低可引起左心室充盈压升高,舒张末期压力升高,左心房后负荷增加,从而导致左心房扩张和功能障碍^[6]。左心房通过储存、管道、泵收缩功能调节左心室的充盈压,在心脏整体功能中具有关键作用^[7]。由于左心房与左心室功能密切相关,HFpEF 患者中左心房应变显著受损者预后多较差^[3]。近年来,HFpEF 患者的住院率及相关疾病死亡率不断升高^[8],受到临床广泛关注。目前应用斑点追踪技术评估 HFpEF 患者左心室的研究较多,且对左心房的研究亦大多应用斑点追踪技术,但有研究^[9]表明左心房心肌较薄,仅由浅、深两层心肌组成,且以环形肌为主,斑点追踪技术不易追踪,获得的参数仅有纵向应变。而 4D LAQ 技术测量的应变参数基于左心房纵向及环向心肌的长度和容积变化,可更全面地了解左心房功能^[10],且其与组织多普勒记录的心肌速度和角度无关,受二尖瓣环钙化和束支阻滞的影响较小。基于此,本研究应用 4D LAQ 技术定量分析 HFpEF 患者左心房容积及心肌应变,旨在探讨其评估左心房功能的临床价值。

本研究结果显示,HFpEF 组年龄、BMI、高血压占比、NT-ProBNP 均较对照组增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);提示高龄、肥胖及高血压病史均与 HFpEF 的发生有关。且 HFpEF 组与非 HFpEF 组高血压占比、NT-ProBNP 比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);提示二者在鉴别 HFpEF 与非 HFpEF 中具有重要意义,与既往研究^[11]结果一致。《射血分数保留的心力衰竭诊断与治疗中国专家共识 2023》^[5]认为,高血压病史、NT-ProBNP 在 HFpEF 诊断中均具有重要作用,其中 NT-proBNP 是其主要生物标志物之一,参与炎症和细胞外基质的重塑,这是目前提出的 HFpEF 病理生理学中的关键过程。

E/e'、TRPV、LVMI 及左心房容积等二维超声心动图参数均为 HFpEF 相关指南^[12]推荐的评估左心室舒张功能的重要参数,但临床工作时具体到每个参数测量仍存在较大差异,舒张功能评估的标准化不足是临床普遍存在的问题,且心房颤动人群无法用传统舒张功能参数(如 E/e')进行评估。本研究中 HFpEF 组 LAD、LVMI、E/e'、TRPV 均较对照组增大,LVGLS 较对照组减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),且 HFpEF

组与非 HFpEF 组 LVMI、LVGLS 比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),与 Lin 等^[13]研究结果一致。分析其原因:本研究纳入的 HFpEF 患者多有高血压病史,压力负荷的增加导致心肌细胞肥大、细胞间质纤维化,引起 LVMI 增大,从而导致心肌舒张期僵硬增加。虽然 HFpEF 患者的 LVEF 大多正常,但 LVGLS 减小也反映了心内膜下纵向纤维受损,心肌应变能力下降,且早于心脏腔室大小的改变,有助于早期发现心肌亚临床收缩功能障碍。

本研究中 HFpEF 组 LAVmax、LAVImax 均较对照组增大,LAEF、LAaEF、LApEF 均较对照组减小,且 HFpEF 组 LAVImax 大于非 HFpEF 组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);提示左心室舒张功能障碍(如心肌僵硬增加)可通过引起左心房代偿性扩张(表现为 LAVmax、LAVImax 增大)以维持左心室充盈(Frank-Starling 机制),且代谢异常性疾病(如糖尿病)可促进左心房心肌细胞间质纤维化,导致左心房僵硬及容积进一步增大。LAVImax 通过体表面积校正个体差异,可提高临床可比性。研究^[14]发现 HFpEF 患者 LAVmin 较健康成人增大,LAaEF、LApEF 较健康成人减小,差异有统计学意义(均 $P<0.05$),本研究结果与之不完全一致,究其原因可能与样本量及纳入对象病程不同有关,后续可扩大样本量并对患者不同病程进行亚组分析。

本研究结果显示,HFpEF 组 LASr、LASct、LASr-c、LAScd-c、LASct-c 均较非 HFpEF 组和对照组减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。分析其原因:储器期是心室收缩期左心房被动储存肺静脉回流血(反映左心房顺应性),HFpEF 患者左心房壁纤维化或僵硬增加可导致其被动储存能力下降,表现为 LASr、LASr-c 减小;管道期是早期心室舒张期左心房被动排空(依赖左心室松弛),HFpEF 患者左心室松弛受损早期为舒张期左心房-左心室压力梯度减小,可引起左心房被动排空减少,表现为 LAScd、LAScd-c 减小;收缩期是左心房主动收缩(补充左心室充盈,依赖左心房心肌收缩力),HFpEF 患者左心房通过增强心房肌主动收缩弥补左心室充盈不足,但长期压力超负荷导致左心房收缩功能受损,表现为 LASct、LASct-c 减小,以上参数变化均可提示 HFpEF 患者疾病进展。既往研究^[15]表明,HFpEF 患者 3 个时期的纵向及环向心肌应变均发生改变,本研究结果与之基本一致。

HFpEF 病情复杂、变化多样,对于高危患者而言各种诱因均可能导致疾病进展,需早期进行监测和及

时干预。由于 HFpEF 患者左心房发生重构,预后较差,临床需密切评估和随访,及时进行合理干预,预防心血管不良事件的发生。本研究单因素及多因素 Logistic 回归分析显示, LASr、LAVmax、LASct、LASct-c 均为评估 HFpEF 患者左心房功能的独立影响因素(均 $P<0.05$),与既往研究^[16]结果存在部分差异,该研究认为 LAScd-c 在评估 HFpEF 患者左心房功能方面并不敏感。分析其原因:本研究 Logistic 回归选择非 HFpEF 患者为对照,而该研究选择健康志愿者为对照。本研究进一步绘制 ROC 曲线分析各影响因素的诊断效能,结果显示 LASct-c 相较于 LASr、LAVmax、LASct 在评估 HFpEF 患者左心房功能方面具有更高的 AUC 和特异度。既往研究^[3]结果表明左心房心肌纵向应变参数与圆周应变参数评估 HFpEF 患者左心房功能的效能相似,但本研究发现左心房圆周应变参数的诊断效能更高,考虑与左心房以环形肌为主相关,同时也表明在 HFpEF 的发生发展过程中,环形肌对左心室充盈压的反应可能较纵行肌更加敏感。此外,左心室舒张功能障碍可导致左心房压力升高,进而引发重构和功能异常,传统的超声心动图参数无法全面反映左心房功能动态变化,而 4D LAQ 技术所测左心房心肌纵向应变和圆周应变参数可细分左心房不同时期的力学特性,更具临床意义。

本研究的局限性:为单中心、小样本研究,患者均于静息状态进行超声心动图检查,对 H₂FPEF 评分<6 分的患者未进一步行心导管或负荷超声心动图检查评估左心室充盈压,且未对患者治疗后是否发生左心房容积和功能逆转进行深入研究,未分析血压、血糖控制是否达标及病程对研究结果的影响,有待在今后研究中进一步完善。

综上所述, HFpEF 患者心室腔大小未发生改变时,左心房容积及心肌应变已发生改变,且以心肌环向应变减低为主,其左心房功能改变早于左心房结构改变。应用 4D LAQ 技术可便捷、准确、无创地检测 HFpEF 患者左心房功能,可为临床制定策略及评价疗效提供有效参考,有一定的临床价值。

参考文献

- [1] Pandey A, Shah SJ, Butler J, et al. Exercise intolerance in older adults with heart failure with preserved ejection fraction: JACC state-of-the-art review[J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 78(11): 1166–1187.
- [2] Omote K, Borlaug BA. Left atrial myopathy in heart failure with preserved ejection fraction[J]. Circ J, 2023, 87(8): 1039–1046.
- [3] Kagami K, Harada T, Yuasa N, et al. Impaired left atrial reserve function in heart failure with preserved ejection fraction[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2024, 17(8): e016549.
- [4] Hwang IC, Cho GY, Choi HM, et al. H₂FPEF score reflects the left atrial strain and predicts prognosis in patients with heart failure with preserved ejection fraction[J]. J Card Fail, 2021, 27(2): 198–207.
- [5] 射血分数保留的心力衰竭诊断与治疗中国专家共识制定工作组. 射血分数保留的心力衰竭诊断与治疗中国专家共识 2023[J]. 中国循环杂志, 2023, 38(4): 375–393.
- [6] Campbell P, Rutten FH, Lee MM, et al. Heart failure with preserved ejection fraction: everything the clinician needs to know[J]. Lancet, 2024, 403(10431): 1083–1092.
- [7] Cameli M, Pastore MC, Mandoli GE. Left atrial strain: a key element for the evaluation of patients with HFpEF[J]. Int J Cardiol, 2021, 323: 197–198.
- [8] Redfield MM, Borlaug BA. Heart failure with preserved ejection fraction: a review[J]. JAMA, 2023, 329(10): 827–838.
- [9] Sreedhar SP, Gupta A, Chitiboi T, et al. MRI quantification of left atrial circumferential strain in mitral regurgitation: a feasibility and reproducibility study[J]. J Magn Reson Imaging, 2024, 60(3): 988–998.
- [10] 费梦瑶, 李妙, 董静, 等. 四维自动左房定量技术评估冠心病患者左房容积及功能的临床价值[J]. 临床超声医学杂志, 2023, 25(7): 525–531.
- [11] Otaki Y, Watanabe T, Shimizu M, et al. Growth differentiation factor-15 and N-terminal pro-BNP in acute heart failure with preserved ejection fraction[J]. ESC Heart Fail, 2025, 12(2): 888–899.
- [12] McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2023 focused update of the 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: developed by the task force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC[J]. Eur J Heart Fail, 2024, 26(1): 5–17.
- [13] Lin M, Qin Y, Ding X, et al. Association between left ventricular geometry and global myocardial work in patients with heart failure with preserved ejection fraction: assessment using strain–pressure loop[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2023, 39(2): 319–329.
- [14] Zhang Y, Li SY, Lu TT, et al. Volume and function changes of left atrium and left ventricle in patients with ejection fraction preserved heart failure measured by a three dimensional dynamic heart model[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2024, 40(3): 509–516.
- [15] Ma CS, Liao YP, Fan JL, et al. The novel left atrial strain parameters in diagnosing of heart failure with preserved ejection fraction[J]. Echocardiography, 2022, 39(3): 416–425.
- [16] Harada T, Kagami K, Shina T, et al. Diagnostic value of reduced left atrial compliance during ergometry exercise in heart failure with preserved ejection fraction[J]. Eur J Heart Fail, 2023, 25(8): 1293–1303.

(收稿日期: 2024–10–20)