

· 影像专栏 ·

四维自动左心房定量技术评估阵发性心房颤动患者左心房基质的应用价值

张旭倩, 仝巧立, 王 静, 张胜男, 尹洪宁*

(河北医科大学第二医院心脏超声科, 河北 石家庄 050000)

[摘要] **目的** 拟应用四维自动左心房定量技术(four-dimensional auto left atrial quantification, 4D Auto LAQ)评估阵发性心房颤动患者左心房基质情况。**方法** 本研究纳入河北医科大学第二医院行左心房基质的电压标测及射频消融术的阵发性心房颤动患者59例。根据电压标测结果分为无低电压组(35例)和低电压组(24例), 比较2组一般临床资料、常规超声心动图参数、左心房应变等, 通过Logistic回归分析得出相关因素, 并通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线下面积(area under curve, AUC)得出预测左心房低电压价值最高的参数及其截断值。**结果** 低电压组平均年龄、CHA2DS2-VASc评分、左心房前后径(left atrial diameter, LAD)、左心房容积指数(left atrial volume index, LAVI)、左心房最大容积(left atrial maximal volume, LAVmax)、左心房最小容积(left atrial minimal volume, LAVmin)、左心房僵硬硬度(left atrial stiffness, LA stiffness)高于无低电压组, 左心房总排空分数(left atrial total emptying fraction, LAEF)、左心房储蓄期长轴应变(left atrial reservoir longitudinal strain, LASr)、左心房管道期长轴应变(left atrial conduit longitudinal strain, LAScd)、左心房收缩期长轴应变(left atrial contraction longitudinal strain, LASct)、左心房储蓄期环形应变(left atrial reservoir circumferential strain, LASr-c)、左心房管道期环形应变(left atrial conduit circumferential strain, LAScd-c)、左心房收缩期环形应变(left atrial contraction circumferential strain, LASct-c)均低于无低电压组($P < 0.05$)。多因素Logistic回归分析显示校正了性别等因素后, 上述指标是左心房有无低电压的影响因素, 其中LASr预测价值最高(AUC为0.904, 最佳截断值18.50%, 敏感度82.9%, 特异度83.3%)。**结论** LASr有助于术前无创评估阵发性心房颤动患者左心房基质情况。

[关键词] 心房颤动; 左心房基质; 四维自动左心房定量技术; 电压标测 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.03.002

[中图分类号] R541.75 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2025)03-0254-07

Application value of four-dimensional automated left atrial quantification in evaluating left atrial substrate in patients with paroxysmal atrial fibrillation

ZHANG Xu-qian, TONG Qiao-li, WANG Jing, ZHANG Sheng-nan, YIN Hong-ning*

(Department of Echocardiography, the Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the left atrial substrate in patients with paroxysmal atrial fibrillation (PAF) using four-dimensional automated left atrial quantification (4D Auto LAQ). **Methods** A total of 59 patients with PAF who underwent voltage mapping of the left atrial substrate and radiofrequency ablation in the Second Hospital of Hebei Medical University were included in this study. Based on the voltage mapping results, patients were divided into the non-low voltage group ($n = 35$) and the low voltage group ($n = 24$). General clinical data, conventional echocardiogram parameters, left atrial strain and related parameters were compared between the two groups. The relevant factors were obtained by Logistic regression analysis. The

[收稿日期]2024-09-03

[作者简介]张旭倩(1990-),女,河北衡水人,河北医科大学第二医院主治医师,医学硕士,从事心脏超声诊断研究。

* 通信作者。E-mail:eveningyh@163.com

parameters with the highest predictive value for left atrial low voltage and its cut-off value were determined by the area under receiver operating characteristic (ROC) area under curve (AUC).

Results The mean age, CHA2DS2-VASc score, left atrial diameter (LAD), left atrial volume index (LAVI), left atrial maximal volume (LAVmax), left atrial minimal volume (LAVmin), and left atrial stiffness (LA stiffness) of the low voltage group were higher than those in the non-low voltage group. Left atrial total emptying fraction (LAEF), left atrial reservoir longitudinal strain (LASr), left atrial conduit longitudinal strain (LAScd), left atrial contraction longitudinal strain (LASct), left atrial reservoir circumferential strain (LASr-c), left atrial conduit circumferential strain (LAScd-c) and left atrial contraction circumferential strain (LASct-c) were lower in low voltage group than in the non-low voltage group ($P < 0.05$). Multivariate logistic regression analysis showed that after correcting for factors such as gender, the above indicators were still correlated with the presence or absence of low voltage, and the LASr had the highest predictive value (AUC=0.904, with the optimal cut-off value of 18.50%, sensitivity of 82.9%, and specificity of 83.3%). **Conclusion** LASr aids in non-invasive preoperative evaluation of left atrial substrate in PAF patients.

[Key words] atrial fibrillation; left atrial substrate; four-dimensional automated left atrial quantification; voltage mapping

心房颤动是临床最常见的心律失常之一,显著增加死亡、卒中、心力衰竭和痴呆风险。心房颤动的患病率随年龄增长而增加,且同年龄段男性患病率高于女性^[1]。近年来我国心房颤动流行病学调查显示 114 039 例常住居民中经年龄校正后心房颤动患病率为 1.6%^[2]。另有研究^[3]显示心房颤动患者每年住院率是年龄、性别匹配的非心房颤动患者的 2 倍,严重影响患者的生活质量,增加了医疗负担。心房颤动的发作受触发灶影响,而维持则有赖于左心房基质的形成,这种病变基质主要表现为纤维化^[4]。目前临床应用心脏核磁及电压标测明确左心房基质,前者表现为瘢痕区,后者表现为低电压区,但两者因为价格昂贵或有创未术前广泛开展。斑点追踪技术是用于评估心肌机械力学的一项相对较新的技术,无角度依赖性,自动追踪斑点得出位移信息,即心肌组织的形变,以应变表示^[5]。四维自动左心房定量技术(four-dimensional automated left atrial quantification, 4D Auto LAQ)可自动测量左心房容积及应变参数。研究^[6]证实电压标测左心房低电压是导管消融术后复发的独立预测因子。左心房应变对心房颤动术后复发亦有良好的预测价值^[7]。本研究旨在比较 4D Auto LAQ 技术与电压标测之间相关性,即左心房大小及功能参数与电生理之间的相关性,从而评估其对左心房有无低电压的预测价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2022 年 3 月—2023 年 3 月河

北医科大学第二医院心内科行左心房基质电压标测及经导管射频消融术的阵发性心房颤动患者 65 例为研究对象,其中 6 例因超声心动图图像质量差而排除,最终纳入 59 例,根据电压标测结果分为无低电压组 35 例和低电压组 24 例。纳入标准:符合阵发性心房颤动的诊断即在发病 7 d 内自动终止或干预终止的心房颤动^[8],无中重度及重度瓣膜病、无心肌病、无先天性心脏病、无心肌梗死等。

本研究经医院伦理委员会批准。所有患者均知情同意且签署知情同意书。

1.2 超声心动图 使用 GE Vivid E95 超声诊断仪,配备 M5S 探头(频率:1.5~4.6 MHz)和 4V 探头(频率:1.5~4.0 MHz)。根据美国超声心动图学会指南,使用 M5S 探头测量患者左心房前后径(left atrial diameter, LAD)、左心室舒张末期内径(left ventricular end diastolic diameter, LVEDD)、左心室整体长轴应变(left ventricular global longitudinal strain, LVGLS)、双平面 Simpson 法测得左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF),脉冲多普勒测量二尖瓣口舒张早期 E 峰,组织多普勒测量二尖瓣环室间隔侧及左心室侧壁侧舒张早期峰值运动速度的平均值得到平均 e' ,从而测得 E/e' 。使用 4V 探头获取心尖四腔心切面,应用 4D Zoom 并调整取样框将左心房全部包含在内,从而获取左心房全容积图像,并保证帧频不低于 40% 心率,连续留取 3 个心动周期,至少留取 3 次图像,选择图像质量最佳者,启动 4D Auto LAQ,

将标记点位于二尖瓣环中心,并在各切面调整垂直线与二尖瓣环中点及左心房顶相交,自动描记左心房内膜边界,必要时手动调整以减小误差。记录左心房最小容积(left atrial minimal volume, LAVmin)、左心房最大容积(left atrial maximal volume, LAVmax)、左心房容积指数(left atrial volume index, LAVI)、左心房总排空分数(left atrial total emptying fraction, LAEF)、左心房储蓄期长轴应变(left atrial reservoir longitudinal strain, LASr)、左心房管道期长轴应变(left atrial

conduit longitudinal strain, LAScd)、左心房收缩期长轴应变(left atrial contraction longitudinal strain, LASct)、左心房储蓄期环形应变(left atrial reservoir circumferential strain, LASr-c)、左心房管道期环形应变(left atrial conduit circumferential strain, LAScd-c)、左心房收缩期环形应变(left atrial contraction circumferential strain, LASct-c)。左心房僵硬度(Left atrial stiffness, LA stiffness) = $(E/e' + 4) / \text{LASr}^{[9]}$ 。4D Auto LAQ 测量左心房参数见图 1。

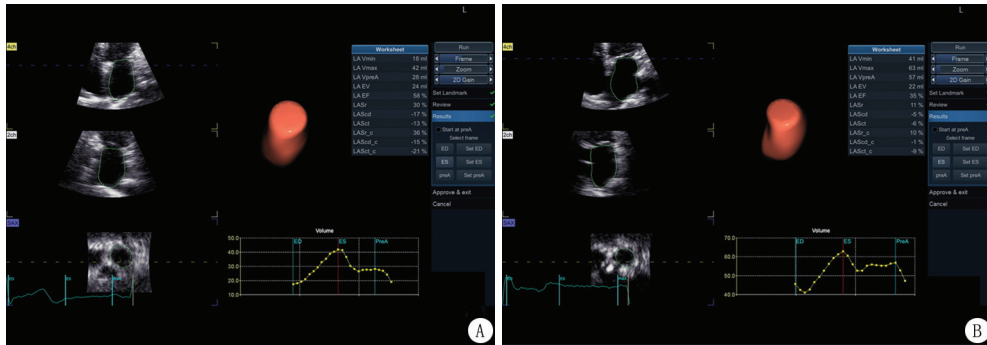


图 1 4D Auto LAQ 测量左心房参数
A. 无低电压患者左心房参数; B. 有低电压患者左心房参数
Figure 1 Measurement of left atrial parameters by 4D Auto LAQ

1.3 电压标测 使用 CARTO3 系统 (Biosense-Webster, Diamond Bar, CA) 自带的 Confidense™ 软件对左心房自动进行基质电压标测。标测导管选

用 PentaRay 导管,至少获取 1 000 个有效表面标测点。低电压区定义为电压 < 0.5 mV^[10],肺静脉及左心耳除外,见图 2。

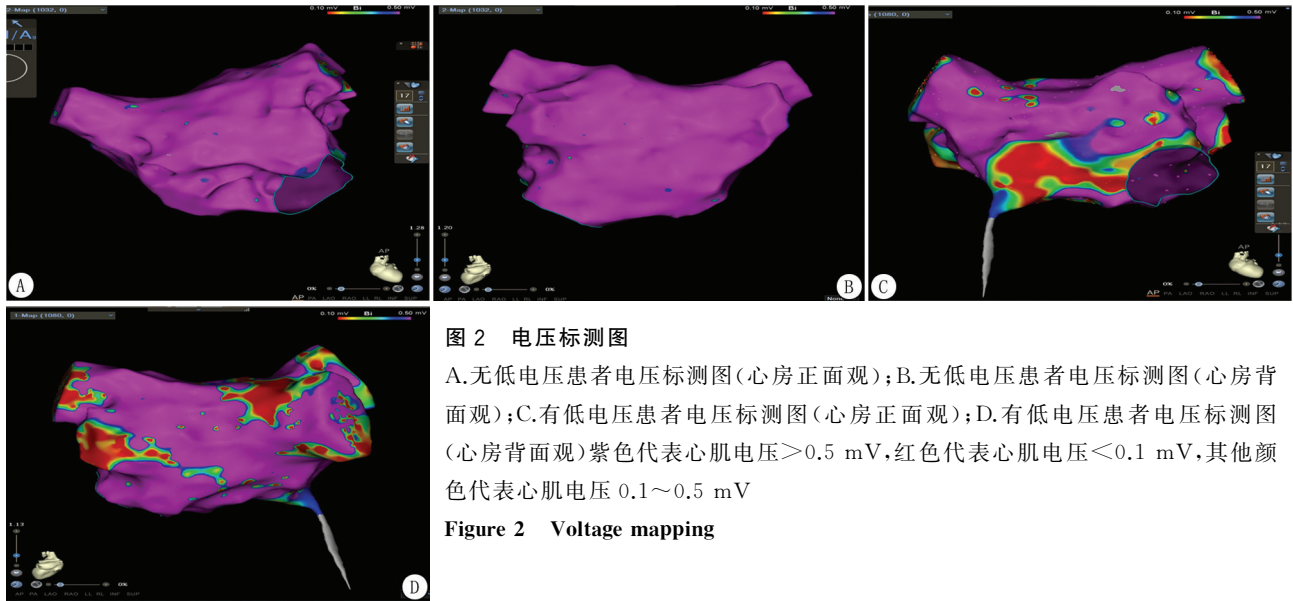


图 2 电压标测图
A. 无低电压患者电压标测图(心房正面观); B. 无低电压患者电压标测图(心房背面观); C. 有低电压患者电压标测图(心房正面观); D. 有低电压患者电压标测图(心房背面观)紫色代表心肌电压 > 0.5 mV, 红色代表心肌电压 < 0.1 mV, 其他颜色代表心肌电压 0.1~0.5 mV

Figure 2 Voltage mapping

1.4 统计学方法 应用 SPSS 23.0 统计软件分析数据。正态分布的计量资料比较采用独立样本 *t* 检验,非正态分布的计量资料比较采用秩和检验,计数资料比较采用 χ^2 检验。采用多因素 Logistic 回归分析获取与低电压相关的预测因素。计算左心房参数对低电压面积预测能力的受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线下面积(area under curve, AUC),在 ROC 曲线上以约登指数(敏感度 + 特异度 - 1)最大的点作为 cut-off

点。采用计算观察者内及观察者间组内相关系数对左心房应变参数进行重复性检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 2 组一般资料及超声心动图参数比较 与无低电压组比较,低电压组年龄较大,CHA2DS2-VASc 评分较高,差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。低电压组的 LAEF、LASr、LAScd、LASct、LASr-c、

LAScd-c、LASct-c 均低于无低电压组, LAD、低电压组, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 其他参数 LAVI、LAVmax、LAVmin、LA stiffness 均高于无比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 一般资料及超声心动图参数比较

Table 1 Comparison of general data and echocardiographic parameters

组别	例数	男性(例数, %)	年龄[M(QR), 岁]	心率($\bar{x} \pm s$, 次/min)	高血压(例数, %)
无低电压组	35	22(62.90)	58.00(19.00)	73.17 \pm 10.47	17(48.60)
低电压组	24	13(54.20)	66.50(13.00)	70.96 \pm 11.26	17(70.80)
$\chi^2/Z/t$ 值		0.446	2.897	0.773	2.890
P 值		0.504	0.005	0.442	0.089
组别	例数	糖尿病(例数, %)	高脂血症(例数, %)	CHA2DS2-VASc($\bar{x} \pm s$)	LVEF($\bar{x} \pm s$, %)
无低电压组	35	3(8.60)	9(25.70)	1.60 \pm 1.38	64.02 \pm 4.13
低电压组	24	6(25.00)	8(33.30)	2.96 \pm 1.88	64.75 \pm 5.29
$\chi^2/Z/t$ 值		2.972	0.403	3.031	0.558
P 值		0.085	0.526	0.004	0.559
组别	例数	LVEDD($\bar{x} \pm s$, mm)	LVGLS[M(QR), %]	E/e'($\bar{x} \pm s$)	LAD($\bar{x} \pm s$, mm)
无低电压组	35	46.86 \pm 4.13	-18.00(-4.00)	10.42 \pm 2.84	33.83 \pm 2.83
低电压组	24	46.25 \pm 3.40	-18.00(-3.50)	12.39 \pm 4.67	37.29 \pm 5.25
$\chi^2/Z/t$ 值		0.594	1.221	2.008	3.274
P 值		0.555	0.227	0.074	0.006
组别	例数	LAVI[M(QR), mL/m ²]	LAVmax[M(QR), mL]	LAVmin[M(QR), mL]	
无低电压组	35	27.00(10.00)	49.00(19.00)	22.00(11.00)	
低电压组	24	35.00(17.75)	62.50(36.75)	36.50(29.00)	
$\chi^2/Z/t$ 值		3.951	3.760	4.984	
P 值		0.001	0.001	<0.001	
组别	例数	LAEF($\bar{x} \pm s$, %)	LASr($\bar{x} \pm s$, %)	LAScd[M(QR), %]	LASct($\bar{x} \pm s$, %)
无低电压组	35	54.11 \pm 8.60	23.80 \pm 6.07	-11.00(-5.00)	-12.14 \pm 4.45
低电压组	24	41.50 \pm 10.20	14.83 \pm 4.21	-7.00(-3.75)	-7.92 \pm 3.72
$\chi^2/Z/t$ 值		5.129	6.268	4.121	3.826
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
组别	例数	LASr-c($\bar{x} \pm s$, %)	LAScd-c($\bar{x} \pm s$, %)	LASct-c($\bar{x} \pm s$, %)	LA stiffness[M(QR)]
无低电压组	35	29.34 \pm 7.04	-11.69 \pm 4.48	-17.66 \pm 4.96	0.60(0.30)
低电压组	24	19.29 \pm 8.37	-8.58 \pm 4.27	-11.79 \pm 6.40	1.10(0.80)
$\chi^2/Z/t$ 值		4.985	2.663	3.963	3.551
P 值		<0.001	0.010	<0.001	0.002

2.2 多因素 Logistic 回归分析 以年龄、CHA2DS2-VASc、LAD、LAVI、LAVmax、LAVmin、LAEF、LASr、LAScd、LASct、LASr-c、LAScd-c、LASct-c、LA stiffness(均为连续变量)为自变量, 以有无低电压(无=0, 有=1)为因变量, 校正了性别、高血压等因素后, 年龄、CHA2DS2-VASc 评分、LAEF、LAD、LAVI、LAVmax、LAVmin、

LASr、LAScd、LASct、LASr-c、LAScd-c、LASct-c、LA stiffness 均是左心房有无低电压的影响因素($P < 0.05$)。见表 2。

2.3 左心房参数评估左心房低电压的预测价值 LASr 对有无低电压的预测价值最高, AUC 为 0.904, 敏感度 82.9%, 特异度 83.3%, 最佳截断值是 18.50%。见表 3、图 3。

表 2 多因素 Logistic 回归分析

Table 2 Multivariate Logistic regression analysis

自变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
年龄(岁)	0.078	0.030	6.741	0.009	1.081	1.019~1.146
CHA ₂ DS ₂ -VASc	0.511	0.182	7.840	0.005	1.666	1.166~2.382
LAD(mm)	0.220	0.078	7.864	0.005	1.246	1.068~1.452
LAVI(mL/m ²)	0.105	0.033	9.813	0.002	1.110	1.040~1.185
LAVmax(mL)	0.056	0.018	9.268	0.002	1.058	1.020~1.097
LAVmin(mL)	0.107	0.031	11.986	0.001	1.112	1.047~1.182
LAEF(%)	-0.146	0.040	13.562	<0.001	0.864	0.799~0.934
LASr(%)	-0.429	0.117	13.354	<0.001	0.651	0.517~0.820

表2 (续)

LAScd(%)	0.408	0.123	11.069	0.001	1.504	1.182~1.912
LASct(%)	0.268	0.086	9.818	0.002	1.308	1.106~1.547
LASr-c(%)	-0.172	0.047	13.124	<0.001	0.842	0.767~0.924
LAScd-c(%)	0.167	0.069	5.878	0.015	1.182	1.033~1.354
LASct-c(%)	0.181	0.056	10.533	0.001	1.199	1.074~1.338
LA stiffness	4.618	1.330	12.062	0.001	101.268	7.477~1 371.579

表3 左心房参数预测低电压区的 AUC 值及截断值

Table 3 AUC values and cut-off values of left atrial parameters in the prediction of low voltage region

参数	AUC	95%CI	P 值	截断值	敏感度	特异度
LAVI(mL/m ²)	0.750	0.619~0.881	0.001	34.50	54.2%	85.7%
LAEF(%)	0.837	0.724~0.953	<0.001	47.50	83.3%	82.9%
LASr(%)	0.904	0.829~0.980	<0.001	18.50	82.9%	83.3%
LAScd(%)	0.802	0.690~0.915	<0.001	-8.50	66.7%	80.0%
LASct(%)	0.753	0.629~0.877	0.001	-7.50	50.0%	91.4%
LASr-c(%)	0.832	0.721~0.942	<0.001	27.50	62.9%	87.5%
LAScd-c(%)	0.691	0.554~0.828	0.013	-11.50	83.3%	48.6%
LASct-c(%)	0.764	0.635~0.892	0.001	-13.50	66.7%	80.0%
LA stiffness	0.832	0.725~0.939	<0.001	0.95	62.5%	91.4%

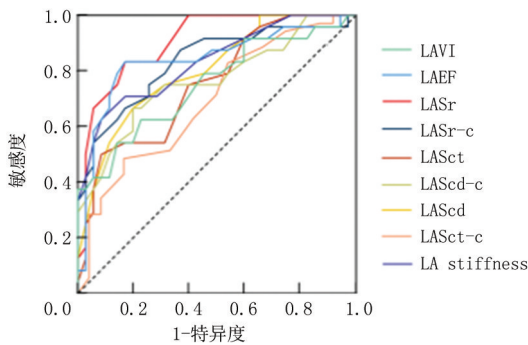


图3 左心房参数预测低电压区 ROC 曲线

Figure 3 ROC curve of left atrial parameters in the prediction of low voltage region

2.4 重复性检验 从所有患者中随机抽取 20 例,由经验丰富的 2 名超声医师测量左心房应变参数进行观察者间重复性检验;间隔 1 个月后,由其中一名医生再次进行相同参数测量进行观察者内重复性检验,结果显示重复性均较好。见表 4。

表4 重复性检验

Table 4 Repeatability test

参数	观察者内		观察者间	
	ICC	95%CI	ICC	95%CI
LASr	0.972	0.895~0.993	0.978	0.915~0.994
LAScd	0.862	0.550~0.964	0.883	0.621~0.969
LASct	0.868	0.549~0.966	0.872	0.562~0.967
LASr-c	0.994	0.975~0.998	0.984	0.937~0.996
LAScd-c	0.917	0.564~0.981	0.830	0.118~0.962
LASct-c	0.965	0.853~0.991	0.963	0.770~0.992

3 讨 论

二维斑点追踪技术(two dimensional speckle

tracking technology, 2D-STI)通过追踪心肌内回声斑点的空间运动,并跟踪其在每一帧图像中的位置,反映心肌的实时运动和形变,不受声束方向和室壁运动方向夹角的影响^[11]。但左心房肌分深、浅两层,浅层肌横向走行,深层肌又分纵行及环形心肌^[12],因此 2D-STI 显示纵向应变不足以全面评估左心房肌的运动情况。三维斑点追踪技术(3D speckle tracking technology, 3D-STI)是在三维图像基础上进行斑点追踪,得出纵向、径向及圆周应变,可以更准确的评价左心房形态及功能。姜峰等^[13]研究证实,3D-STI 测得的左心房整体纵向、径向、圆周及面积应变均与 LAEF 呈高度正相关,该技术可准确评估阵发性心房颤动患者左心房功能的改变。但既往左心房应变多应用左室斑点追踪软件,需手动描绘心内膜边界,在应变曲线上自定义应变参数,影响观察者内及观察者间重复性,且费时耗力,临床应用受限^[14]。本研究使用 4D Auto LAQ 左心房专用技术评估左心房功能,基于容积-应变模式,自动测量左心房三维容积及各期相纵向及环形应变参数,降低了上述局限性。

心房颤动的发生改变了左心原有电学及结构特性而引起重构,表现为左心房增大及功能减低^[15]。左心房大小的超声评估常依赖于常规超声心动图测量的左心房前后径,但左心房是一个立体三维结构,二维测量的径线并不能准确的评估左心房大小,因此左心房容积尤其三维左心房容积经体表面积标准化后的左心房容积指数是更为准确的评估左心房大小的超声参数。本研究结果表明左心房功

能参数较容积指数对有无低电压的预测价值更高,这与既往研究结果一致^[16]。

阵发性心房颤动患者的左心房功能根据3个不同的时相分为储蓄功能、管道功能、心房收缩功能,储蓄功能是指左心室舒张末期至二尖瓣开放,肺静脉的血回流入左心房进行储存;管道功能是指在二尖瓣开放后,左心室舒张早期,左心房内的血排入左心室,此时左心房作为连接肺静脉与左心室的管道;随后左心房主动收缩,将其内的血液进一步排入左心室,即左心房的收缩功能。LASr为二尖瓣开放时减去左心室舒张末期的左心房应变值,为正值;窦性心律时,LAScd为左心房收缩开始减去二尖瓣开放时的左心房应变值,为负值;窦性心律时,LASct是左心室舒张末期减去左心房收缩开始时的左心房应变值,为负值^[17]。王亚男等^[18]研究表明LAScd可用于辅助发现阵发性心房颤动的可能,LASr可用于辅助排除阵发性心房颤动的可能。Li等^[19]研究证实LASct是心房颤动射频消融术后复发的独立预测因素。Hauser等^[20]前瞻性纳入了4466例正常健康人,结果表明左心房储蓄期应变及左心房收缩期应变可独立预测心房颤动事件的发生。Eichenlaub等^[21]研究证实LASr可预测环肺静脉电隔离术后心房颤动复发风险,截断值为23.5%。本研究显示LASr更能体现左心房纤维化,原因可能是左心房纤维化降低了顺应性,从而主要限制储蓄期的左心房舒张。Marchandise等^[22]研究提出LA stiffness参数,即施加的压力与心肌变形之间关系的斜率,结果表明此参数对持续性心房颤动患者预测低电压区及导管消融手术成功率及复发率均有较高的准确性。本研究选取阵发性心房颤动患者,得出LASr对低电压的预测价值高于LA stiffness。

射频消融术是患者改善症状和维持窦性心律的首选治疗手段^[23]。肺静脉隔离术是最常用的手术方式,但是有部分患者可能存在肺静脉以外的触发灶,需在双肺静脉隔离后联合非肺静脉触发灶消融或心房基质消融,因此术前明确心房基质情况尤为重要^[24-25]。本研究得出LASr对左心房基质低电压有较高的预测价值,进而对患者手术方式及手术效果有一定的预测作用。

本研究具有一定的局限性。首先,本研究为单中心的回顾性研究,样本量较小,需要大规模的前瞻性研究来证实;其次,4D Auto LAQ对图像质量要求较高,图像质量较差时会影响结果的准确性及重复性。

综上所述,左心房应变参数对阵发性心房颤动患者左心房有无低电压区有较高的预测价值。超声心动图可作为术前评估左心房功能的无创检查手段。

[参考文献]

- [1] Chugh SS, Havmoeller R, Narayanan K, et al. Worldwide epidemiology of atrial fibrillation: a global burden of disease 2010 study[J]. *Circulation*, 2014, 129(8): 837-847.
- [2] Shi S, Tang Y, Zhao Q, et al. Prevalence and risk of atrial fibrillation in China: a national cross-sectional epidemiological study[J]. *Lancet Reg Health West Pac*, 2022, 23: 100439.
- [3] Kim MH, Johnston SS, Chu BC, et al. Estimation of total incremental health care costs in patients with atrial fibrillation in the United States[J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2011, 4(3): 313-320.
- [4] Starek Z, Di Cori A, Betts TR, et al. Baseline left atrial low-voltage area predicts recurrence after pulmonary vein isolation: WAVE-MAP AF results[J]. *Europace*, 2023, 25(9): 194.
- [5] Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography[J]. *Eur J Echocardiogr*, 2011, 12(3): 167-205.
- [6] Begg GA, Karim R, Oesterlein T, et al. Left atrial voltage, circulating biomarkers of fibrosis, and atrial fibrillation ablation. A prospective cohort study[J]. *PLoS One*, 2018, 13(1): e0189936.
- [7] Li YZ, Li YD, Sun LL, et al. Left atrial strain for predicting recurrence in patients with non-valvular atrial fibrillation after catheter ablation: a single-center two-dimensional speckle tracking retrospective study [J]. *BMC Cardiovascular Disorders*, 2022, 22(1): 468.
- [8] 中华医学会心电生理和起搏分会, 中国医师协会心律学专业委员会, 中国心房颤动中心联盟心房颤动防治专家工作委员会. 心房颤动: 目前的认识和治疗建议(2021)[J]. *中华心律失常学杂志*, 2022, 26(1): 15-88.
- [9] Kurt M, Wang J, Torre-Amione G, et al. Left atrial function in diastolic heart failure[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2009, 2(1): 10-15.
- [10] Rodriguez-Manero M, Valderrábano M, Baluja A, et al. Validating left atrial low voltage areas during atrial fibrillation and atrial flutter using multielectrode automated electroanatomic mapping [J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2018, 4(12): 1541-1552.
- [11] 中国医师协会超声医师分会心脏超声专业委员会. 二维斑点追踪超声心动图心肌纵向应变规范化检查中国专家共识(2023版)[J]. *中华超声影像学杂志*, 2023, 32(4): 277-287.
- [12] Wang K, Ho SY, Gibson DG, et al. Architecture of atrial musculature in humans[J]. *Br Heart J*, 1995, 73(6): 559-565.

- [13] 姜峰,郭海健,陆齐.实时三维斑点追踪成像评价阵发性心房颤动患者左心房功能的价值[J].中国超声医学杂志,2022,38(3):286-289.
- [14] Mirea O, Duchenne J, Voigt JU. Comparison between nondedicated and novel dedicated tracking tool for right ventricular and left atrial strain[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2022,35(4):419-425.
- [15] Qiu D, Peng L, Ghista DN, et al. Left atrial remodeling mechanisms associated with atrial fibrillation[J]. Cardiovasc Eng Technol,2021,12(3):361-372.
- [16] Bhat A, Gan G, Chen H, et al. Association of left atrial metrics with atrial fibrillation rehospitalization and adverse cardiovascular outcomes in patients with nonvalvular atrial fibrillation following index hospitalization [J]. J Am Soc Echocardiogr,2021,34(10):1046-1055.e3.
- [17] Voigt JU, Malaescu GG, Haugaa K, et al. How to do LA strain[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2020, 21: 715-717.
- [18] 王亚男,赵盈洁,程羽菲,等.超声心动图及二维斑点追踪评估心房颤动对左心房形态及功能的影响[J].中国临床医学,2021,28(3):402-407.
- [19] Li Y, Li Y, Sun L, et al. Left atrial strain for predicting recurrence in patients with non-valvular atrial fibrillation after catheter ablation: a single-center two-dimensional speckle tracking retrospective study [J]. BMC Cardiovasc Disord, 2022,22(1):468.
- [20] Hauser R, Nielsen AB, Skaarup KG, et al. Left atrial strain predicts incident atrial fibrillation in the general population: the Copenhagen City Heart Study[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging,2021,23(1):52-60.
- [21] Eichenlaub M, Mueller-Edenborn B, Minners J, et al. Echocardiographic diagnosis of atrial cardiomyopathy allows outcome prediction following pulmonary vein isolation [J]. Clin Res Cardiol,2021,110(11):1770-1780.
- [22] Marchandise S, Garnir Q, Scavée C, et al. Prediction of left atrial fibrosis and success of catheter ablation by speckle tracking echocardiography in patients imaged in persistent atrial fibrillation[J]. Front Cardiovasc Med,2022,9:856796.
- [23] Packer DL, Mark DB, Robb RA, et al. Effect of catheter ablation vs antiarrhythmic drug therapy on mortality, stroke, bleeding, and cardiac arrest among patients with atrial fibrillation; The CABANA randomized clinical trial [J]. JAMA,2019,321(13):1261-1274.
- [24] Lee SH, Tai CT, Hsieh MH, et al. Predictors of non-pulmonary vein ectopic beats initiating paroxysmal atrial fibrillation;implication for catheter ablation[J]. J Am Coll Cardiol,2005,46(6):1054-1059.
- [25] Parameswaran R, Al-Kaisey AM, Kalman JM. Catheter ablation for atrial fibrillation:current indications and evolving technologies[J]. Nat Rev Cardiol,2021,18(3):210-225.

(本文编辑:何祯)