

# 三维斑点追踪技术评估非瓣膜性心房颤动患者左房低电压区对左房结构及功能的影响

周怡希 何文 张巍 李永佳 张萌 兰亭玉 田颖 位少彬 杜丽娟

**摘要** **目的** 应用三维斑点追踪技术(3D-STI)评估非瓣膜性心房颤动(以下简称房颤)患者不同程度左房低电压区(LVA)对左房结构及功能的影响。**方法** 选取我院拟行射频消融术的非瓣膜性房颤患者 66 例,术前均行经胸超声心动图检查获得左房收缩末期前后径、左右径、上下径和左室舒张末期内径、左室射血分数、二尖瓣口舒张早期峰值血流速度与二尖瓣环峰值运动速度比值( $E/e'$ );3D-STI 获得左房储器期应变(LASr)、管道期应变(LAScd)、泵功能期应变(LASct)及左房射血分数(LAEF)。进行射频消融术时应用三维电解剖标测技术获得 LVA,根据 LVA 面积占左房总面积的百分比定义 LVA 程度,将患者分为无 LVA 患者组(I 组)29 例、LVA 程度 $<10\%$ 组(II 组)26 例、LVA 程度 $\geq 10\%$ 组(III 组)11 例,比较各组临床资料和超声心动图参数的差异;分析左房应变参数与 LVA 的相关性。**结果** III 组陈旧性脑梗死或一过性脑缺血、持续性房颤占比及 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分均高于 I 组、II 组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。I 组与 III 组、II 组与 III 组 $E/e'>14$ 者占比比较,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ );其余常规超声心动图参数比较,差异均无统计学意义。III 组 LASr、LAScd、LASct、LAEF 均低于 I 组、II 组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。相关性分析显示,LASr、LAScd、LASct 均与 LVA 呈负相关( $r=-0.538$ 、 $-0.448$ 、 $-0.501$ ,均 $P<0.05$ )。**结论** 当 LVA 达到 10% 时,房颤患者左房结构虽未发生改变,但其功能已经减低;应用 3D-STI 可以早期发现非瓣膜性房颤患者 LVA 程度对左房功能的影响。

**关键词** 超声心动描记术;斑点追踪,三维;心房颤动;应变;低电压区,左房

[中图分类号]R540.45;R541.7

[文献标识码]A

## Evaluation of the effects of left atrial low-voltage area on left atrial function in patients with non-valvular atrial fibrillation by three-dimensional speckle tracking imaging

ZHOU Yixi, HE Wen, ZHANG Wei, LI Yongjia, ZHANG Meng, LAN Tingyu, TIAN Ying, WEI Shaobin, DU Lijuan  
Department of Ultrasound, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100071, China

**ABSTRACT** **Objective** To evaluate the effects of different degrees of left atrial low-voltage area (LVA) on left atrial structure and function in patients with non-valvular atrial fibrillation by three-dimensional speckle tracking imaging (3D-STI). **Methods** Sixty-six patients with non-valvular atrial fibrillation who underwent radiofrequency ablation in our hospital were enrolled. Transthoracic echocardiography were performed to obtain the left atrial end-systolic anteroposterior diameter, left and right diameter, upper and lower diameter, left ventricular end-diastolic diameter, left ventricular ejection fraction (LVEF), and the ratio of early diastolic peak mitral flow to peak mitral annular velocity ( $E/e'$ ). The left atrial reservoir phase strain (LASr), pipeline phase strain (LAScd), pump functional phase strain (LASct) and left atrial ejection fraction (LAEF) were measured by 3D-STI. Left atrial LVA was obtained by three-dimensional electro-anatomical mapping during radiofrequency ablation. According to the percentage of LVA to left atrial surface area, the patients were divided into non-LVA group (group I, 29 cases), the degree of LVA $<10\%$  (group II, 26 cases) and the degree of LVA $\geq 10\%$  (group III, 11 cases). The clinical data and echocardiography parameters among the three groups were compared. The correlation between left atrial strain parameters and LVA were analyzed. **Results** The proportion of cerebral infarction or transient cerebral ischemia history, persistent atrial

fibrillation and  $CHA_2DS_2$ -VASc score in group III were all higher than those in group I and group II, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). There were statistically significant differences in the proportion of  $E/e' > 14$  between group I and group III, group II and group III (both  $P < 0.05$ ). There were no significant differences in other conventional echocardiographic parameters. LASr, LAScd, LASct and LAEF in group III were lower than those in group I and group II, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). Correlation analysis showed that LASr, LAScd, LASct were negatively correlated with left atrial LVA ( $r = -0.538, -0.448, -0.501$ , all  $P < 0.05$ ). **Conclusion** When the degree of LVA reaches 10%, the left atrial structure does not change, but its function is reduced. 3D-STI can early detect the effect of left atrial LVA on left atrial function in patients with non-valvular atrial fibrillation.

**KEY WORDS** Echocardiography; Speckle tracking, three-dimensional; Atrial fibrillation; Strain; Low-voltage area, left atrium

心房颤动(以下简称房颤)是常见的心律失常之一,正常人群中发病率高达2%,且随着年龄的增长其发病率不断增加。房颤可导致心力衰竭、卒中、猝死等并发症<sup>[1-2]</sup>,严重影响患者生活质量及生命安全。研究<sup>[3]</sup>认为左房低电压区(low-voltage area, LVA)可作为监测心房肌纤维化的可靠指标,直接反映左房重构的进展程度,是房颤进展和严重程度分期的重要标志。目前关于LVA的影响因素及其与射频消融术后房颤复发关系的研究较多,但探讨LVA与左房结构及功能变化规律的研究较少。本研究应用三维斑点追踪技术(three-dimensional speckle tracking imaging, 3D-STI)评估非瓣膜性房颤患者不同程度LVA对左房结构及功能的影响,旨在为房颤患者的分层管理、个性化治疗及预后评估提供影像学依据。

## 资料与方法

### 一、研究对象

选取2022年4月至2023年4月我院拟行射频消融术的非瓣膜性房颤患者66例,其中男38例,女28例,年龄46~84岁,平均(66.32±10.0)岁。纳入标准:①符合房颤诊疗相关指南推荐的射频消融适应证<sup>[4]</sup>;②经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)双平面Simpson法测得左室射血分数(LVEF)≥50%;③超声图像质量较好,可进行软件离线分析。排除标准:①经食管超声心动图检查提示左房血栓形成;②合并其他器质性心脏病,如心肌病、瓣膜病、心力衰竭、急性心肌梗死等;③合并甲状腺功能亢进、严重肝肾疾病、恶性肿瘤等;④既往射频消融史;⑤妊娠或哺乳期;⑥人工心脏瓣膜置换术后;⑦超声图像质量差,软件无法进行离线分析。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有患者均知情同意。

### 二、仪器与方法

1. 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1.7~3.3 MHz; 4V三维探头, 频率1.7~3.3 MHz; 配备EchoPAC 204图像分析软件。所有患者均于射频消融术前行TTE检查。于患者静息状态下取左侧卧位, 连接心电图, 根据美国超声心动图学会发布的《成人经胸超声心动图操作指南》<sup>[5]</sup>常规采集TTE参数, 包括左房收缩末期前后径(LADD<sub>前后</sub>)、左右径(LADD<sub>左右</sub>)、上下径(LADD<sub>上下</sub>)、左室舒张末期径(LVEDD)、LVEF、二尖瓣口舒张早期峰值血流速度(E)、二尖瓣环峰值运动速度( $e'$ ), 计算 $E/e'$ 。然后切换为三维探头, 嘱患者呼气末屏气后, 采集3~4个心动周期图像并存储, 设置帧频60~80帧/s(>心率的1/4)。将图像导入EchoPAC 204图像分析软件, 应用4D Auto LAQ程序进行分析。分别将取样点置于心尖四腔心切面、两腔心切面、三腔心切面中二尖瓣口的中间位置, 手动调整软件描记出的各时期左房大小, 自动获得左房射血分数(LAEF)和左房应变参数, 包括左房储器期应变(LASr)、左房管道期应变(LAScd)、左房泵功能期应变(LASct)。由同一具有5年以上工作经验的超声医师进行图像采集及数据分析, 所有参数均重复测量3次取平均值。

2. 三维电解剖电压图(three-dimensional electro-anatomical mapping, 3D-EAM)获取及LVA描记: 于射频消融术中由学习美国强生公司具备电压标测专业知识的人员采用双盲法完成检测。于Carto电解剖标测系统(美国强生公司)指导下, 应用Pentaray导管进行左房三维重建及电压标测。获取的所有映射点均经手动检验自动测量的正确性。定义电压 $< 0.5$  mV为LVA<sup>[6]</sup>, 并描记该区域, 系统自带软件分析得到左房总面积。参考既往研究<sup>[7-8]</sup>结果, 本研究采用LVA面积占左房总面积的百分比定义LVA程度, 并据此将患者分为无LVA患者组(I组)29例、LVA程度 $< 10\%$ 组(II组)26例、LVA程度 $\geq 10\%$ 组(III组)11例。

3. 临床资料获取: 收集患者性别、年龄、体质量指

数、房颤类型及病程、既往病史(包括糖尿病、高血压病、高脂血症、冠心病、陈旧性脑梗死或一过性脑缺血病史),以及CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc评分等。

### 三、统计学处理

应用SPSS 26.0统计软件,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,多组比较采用单因素方差分析,两两比较采用*t*检验。计数资料以例或率表示,采用 $\chi^2$ 检验。左房应变参数与LVA的相关性分析采用Spearman相关分析法。*P*<0.05为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、各组临床资料比较

各组持续性房颤、陈旧性脑梗死或一过性脑缺血占比及CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc评分比较,差异均有统计学意义(均*P*<0.05);各组年龄、性别、体质量指数及高脂血症、糖尿病、高血压病、冠心病占比比较,差异均

无统计学意义。其中Ⅲ组持续性房颤、陈旧性脑梗死或一过性脑缺血占比及CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc评分均高于Ⅰ组、Ⅱ组,差异均有统计学意义(均*P*<0.05)。见表1。

### 二、各组TTE参数比较

Ⅰ组与Ⅲ组、Ⅱ组与Ⅲ组E/e'<sup>'</sup>>14者占比比较,差异均有统计学意义(均*P*<0.05);Ⅰ组与Ⅱ组E/e'<sup>'</sup>>14者占比比较,差异无统计学意义。各组LADd<sub>前后</sub>、LADd<sub>左右</sub>、LADd<sub>上下</sub>、LVEDD、LVEF比较,差异均无统计学意义。见表2。

### 三、各组3D-STI参数比较

各组LASr、LAScd、LASct、LAEF比较,差异均有统计学意义(均*P*<0.05)。Ⅰ组、Ⅱ组与Ⅲ组LASr、LAScd、LASct、LAEF比较,差异均有统计学意义(均*P*<0.05);Ⅰ组与Ⅱ组上述参数比较,差异均无统计学意义。见表3和图1~3。

表1 各组临床资料比较

组别	年龄(岁)	女性(例)	体质量指数(kg/m <sup>2</sup> )	高脂血症(例)	糖尿病(例)	高血压病(例)	冠心病(例)	陈旧性脑梗死或一过性脑缺血(例)	持续性房颤(例)	房颤病程(年)	CHA <sub>2</sub> DS <sub>2</sub> -VASc评分(分)
Ⅰ组(29)	64.66±11.0	11	25.36±3.27	22	6	20	18	5	2	3.90±4.74	2.48±1.37
Ⅱ组(26)	67.54±8.23	11	25.35±3.35	16	9	18	17	8	7*	3.15±3.50	2.96±1.53
Ⅲ组(11)	67.82±11.5	6	27.55±3.65	5	3	9	5	5**	8**	3.36±2.94	3.91±1.97**
$\chi^2/F$ 值	0.70	1.20	1.77	5.39	4.53	2.27	1.78	5.81	25.92	0.24	5.99
<i>P</i> 值	0.49	0.54	0.17	0.06	0.10	0.32	0.40	0.04	<0.01	0.78	0.04

与Ⅰ组比较,\**P*<0.05;与Ⅱ组比较,\*\**P*<0.05

表2 各组TTE参数比较

组别	E/e' <sup>'</sup> >14(例)	LADd <sub>前后</sub> (mm)	LADd <sub>左右</sub> (mm)	LADd <sub>上下</sub> (mm)	LVEDD(mm)	LVEF(%)
Ⅰ组(29)	5	37.40±5.62	38.66±5.98	53.54±6.65	46.17±4.41	65.89±5.08
Ⅱ组(26)	11	39.62±4.85	39.96±5.20	55.13±6.05	46.08±5.27	64.57±8.03
Ⅲ组(11)	6**	39.84±4.38	40.42±2.75	58.32±5.18	43.36±3.72	63.45±3.88
$\chi^2/F$ 值	9.22	2.49	0.93	3.73	1.60	0.68
<i>P</i> 值	<0.01	0.08	0.39	0.27	0.21	0.50

与Ⅰ组比较,\**P*<0.05;与Ⅱ组比较,\*\**P*<0.05。E/e'<sup>'</sup>:二尖瓣口舒张早期峰值血流速度与二尖瓣环峰值运动速度比值;LADd<sub>前后</sub>:左房收缩末期前后径;LADd<sub>左右</sub>:左房收缩末期左右径;LADd<sub>上下</sub>:左房收缩末期上下径;LVEDD:左室舒张末期径;LVEF:左室射血分数

表3 各组3D-STI参数比较( $\bar{x}\pm s$ ) %

组别	LASr	LAScd	LASct	LAEF
Ⅰ组(29)	23.72±8.98	-11.45±5.13	-12.24±7.10	40.00±15.17
Ⅱ组(26)	19.73±7.91	-10.92±3.34	-8.69±6.01	29.00±8.46
Ⅲ组(11)	7.64±6.18**	-6.36±1.92**	-2.45±3.17**	16.00±7.42**
<i>F</i> 值	15.48	6.51	10.11	15.94
<i>P</i> 值	<0.01	0.03	<0.01	<0.01

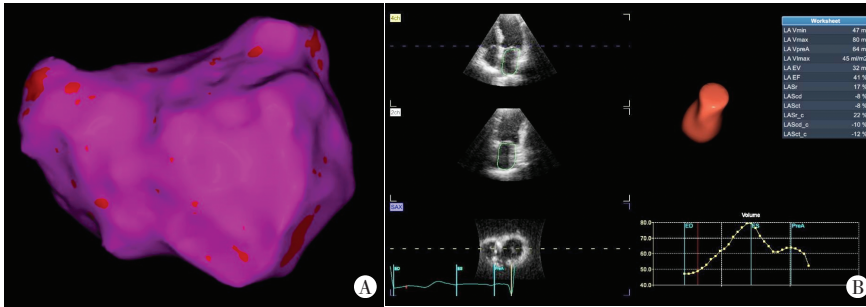
与Ⅰ组比较,\**P*<0.05;与Ⅱ组比较,\*\**P*<0.05。LASr:左房储器期应变;LAScd:左房管道期应变;LASct:左房泵功能期应变;LAEF:左房射血分数

### 四、相关性分析结果

相关性分析显示,LASr、LAScd、LASct均与LVA呈负相关(*r*=-0.538、-0.448、-0.501,均*P*<0.05)。

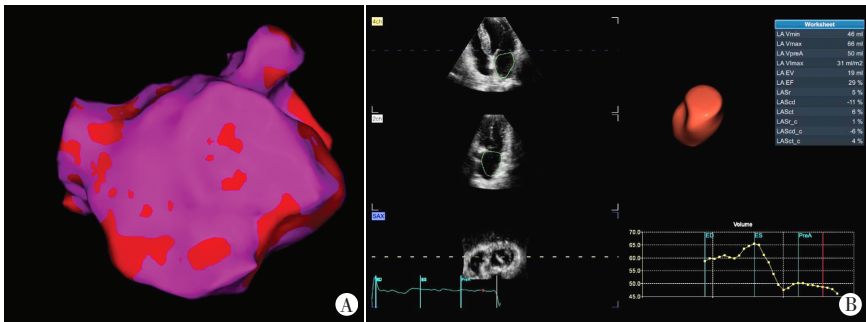
## 讨 论

LVA可以反映左房重构的进展程度<sup>[3]</sup>,目前关于LVA的研究多关注于其影响因素及与射频消融术后房颤复发关系方面,其与左房结构及功能变化的关系尚未明确。3D-STI作为一种无创、实时、安全、可重复



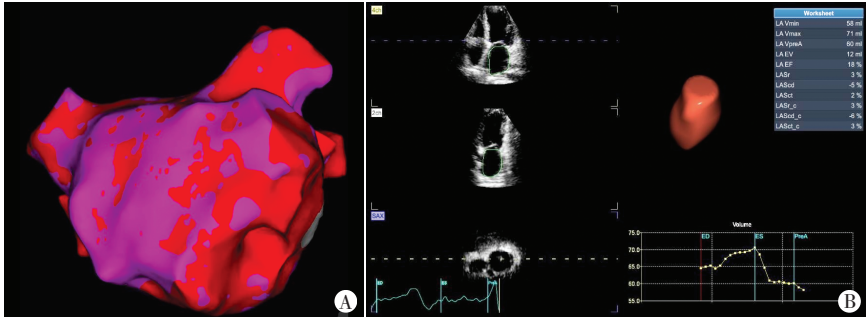
A: 无 LVA (紫色区域示电压  $\geq 0.5$  mV, 红色区域示电压  $< 0.5$  mV); B: LASr 为 17%, LAScd 为 -8%, LASct 为 -8%, LAEF 为 41%

图 1 I 组患者(男, 66 岁)左房 3D-EAM 图及 3D-STI 图



A: LVA 面积为 3.8% (紫色区域示电压  $\geq 0.5$  mV, 红色区域示电压  $< 0.5$  mV) B: LASr 为 5%, LAScd 为 -11%, LASct 为 6%, LAEF 为 29%

图 2 II 组患者(男, 59 岁)左房 3D-EAM 图及 3D-STI 图



A: LVA 面积为 14.6% (紫色区域示电压  $\geq 0.5$  mV, 红色区域示电压  $< 0.5$  mV) B: LASr 为 3%, LAScd 为 -5%, LASct 为 2%, LAEF 为 18%

图 3 III 组患者(女, 62 岁)左房 3D-EAM 图及 3D-STI 图

的检查手段,在临床实践中具有良好的应用前景,其对数据的分析测量基于标准的二维和三维超声心动图图像,能更准确、敏感地反映心肌早期功能异常<sup>[9]</sup>。本研究旨在探讨 3D-STI 评估非瓣膜性房颤患者不同程度 LVA 对左房结构及功能的影响。

研究<sup>[10]</sup>表明 LVA 与房颤患者的脑卒中和无症状性脑缺血病史相关。本研究结果也证实该结论,III 组陈旧性脑梗死或一过性脑缺血占比高于 I 组、II 组(均  $P < 0.05$ ),分析可能与左房功能减低密切相关。脑血管疾病可严重影响患者的身心健康和生命安全,故早期发现左房功能减低的脑卒中高危人群,有助于采取积极的预防措施及时干预,从而改善患者预后。

CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分是临床预测血栓栓塞事件的常用指标<sup>[11]</sup>,研究<sup>[12]</sup>证实 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分高的患者左房心内膜平均电压显著降低,本研究结果也显示 III 组 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分高于 I 组、II 组(均  $P < 0.05$ ),提示 LVA  $\geq 10\%$  时 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分增高,与该类患者脑卒中风险增加的结果一致。此外,本研究发现随着 LVA 程度的增加,持续性房颤患者占比也增高,各组比较差异有统计学意义( $P < 0.01$ ),但各组房颤病程比较差异无统计学意义。分析原因为:①房颤类型与病程并无直接联系,而心房基质是否良好较是否存在 LVA 更重要;②大多患者无心电图证实确切的房颤发生时间,对于房颤病程的统计并不准确。本研究中各组年龄、性别比较差异均无统计学意义,与既往研究<sup>[3,13-14]</sup>认为年龄、性别均与 LVA 存在相关性,年龄增加、女性可作为 LVA 的独立预测因素的结果并不一致,分析原因可能为年龄、性别虽可对 LVA 的发生产生一定影响,但一旦发生 LVA,这些因素对其的影响较小,且本研究样本量较小也可能导致结果出现一定偏倚。

E/e' 为反映左室舒张功能的重要参数,当左室舒张功能降低时左房收缩功能可发生相应改变,同样,左房收缩功能对左室舒张功能也具有重要的影响。Masuda 等<sup>[15]</sup>研究发现 E/e' 升高的患者更易出现 LVA, E/e' 可作为 LVA 的独立预测因子。本研究结果显示, I 组、II 组与 III 组 E/e'  $> 14$  者占比比较,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ),但其结构参数(LADd<sub>前后</sub>、LADd<sub>左右</sub>、LADd<sub>上下</sub>、LVEDD)比较差异均无统计学意义,提示当 LVA 程度  $\geq 10\%$  时,患者左房结构虽未发生明显变化,但其左房功能已降低。本研究中 I 组、II 组与 III 组 LASr、LAScd、LASct、LAEF 比较,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ),提示 3D-STI 较 TTE 能更敏感地评估房颤患者左房功能改变,且 LVA  $\geq 10\%$  时患者左房储器功能、管道功能及泵功能均减低。虽然此时患者左房结构并未发生明显改变,但左房壁运动可有一定程度减弱,引起左房血

流动力学改变,进一步影响左房的电生理活动,从而影响消融疗效及术后复发。Laish-Farkash等<sup>[16]</sup>研究发现LVA程度较高的患者LASr较低,LASr与LVA程度呈负相关,可作为LVA的独立预测因素。研究<sup>[7,17-18]</sup>发现LVA与消融术式的选择、消融疗效及术后是否复发均密切相关,LVA程度 $\geq 10\%$ 能够有效预测消融成功和房颤复发,此时进行肺静脉隔离术并选择性对LVA消融可以改善患者预后<sup>[8]</sup>。

本研究相关性分析显示,LASr、LAScd、LASct均与LVA呈负相关( $r=-0.538$ 、 $-0.448$ 、 $-0.501$ ,均 $P<0.05$ ),即随着LVA程度的增加,左房应变减低,提示应用左房应变参数预测LVA程度具有可行性,消融术前即可无创评估房颤患者LVA,为指导临床选择合适的治疗策略及评估脑卒中风险提供参考信息。

综上所述,当LVA达到10%时,房颤患者左房结构虽未发生改变,但其功能已经减低,脑卒中患病率增加;应用3D-STI可以早期发现非瓣膜性房颤患者LVA程度对左房功能的影响。但本研究为单中心、回顾性研究,且样本量较小,今后需扩大样本量、进行多中心研究进一步深入探讨。

#### 参考文献

- [1] Wang X, Fu Q, Song F, et al. Prevalence of atrial fibrillation in different socioeconomic regions of China and its association with stroke: results from a national stroke screening survey [J]. *Int J Cardiol*, 2018, 271(15): 92-97.
- [2] Cameli M, Mandoli GE, Loiacono F, et al. Left atrial strain: a useful index in atrial fibrillation [J]. *Int J Cardiol*, 2016, 220(1): 208-213.
- [3] Seewöster T, Kosich F, Sommer P, et al. Prediction of low-voltage areas using modified APPLE score [J]. *Europace*, 2021, 23(4): 575-580.
- [4] Nault I, Lellouche N, Matsuo S, et al. Clinical value of fibrillatory wave amplitude on surface ECG in patients with persistent atrial fibrillation [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2009, 26(1): 11-19.
- [5] Mitchell C, Rahko PS, Blauwet LA, et al. Guidelines for Performing a Comprehensive Transthoracic Echocardiographic Examination in Adults: Recommendations from the American Society of Echocardiography [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(1): 1-64.
- [6] Kottkamp H, Bender R, Berg J. Catheter ablation of AF: how to modify the substrate? [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 65(2): 196-206.
- [7] Wang XH, Li Z, Mao JL, et al. Low voltage areas in paroxysmal atrial fibrillation: the prevalence, risk factors and impact on the effectiveness of catheter ablation [J]. *Int J Cardiol*, 2018, 269(15): 139-144.
- [8] Jadidi AS, Lehmann H, Keyl C, et al. Ablation of persistent atrial fibrillation targeting low-voltage areas with selective activation characteristics [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2016, 9(3): e002962.
- [9] Yuda S, Muranaka A, Miura T. Clinical implications of left atrial function assessed by speckle tracking echocardiography [J]. *J Echocardiogr*, 2016, 14(3): 104-112.
- [10] Müller P, Makimoto H, Dietrich JW, et al. Association of left atrial low-voltage area and thromboembolic risk in patients with atrial fibrillation [J]. *Europace*, 2018, 20(FI\_3): f359-f365.
- [11] Hindricks G, Potpara T, Dagres N, et al. 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): the Task Force for the diagnosis and management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(5): 373-498.
- [12] Park JH, Joung B, Son NH, et al. The electroanatomical remodelling of the left atrium is related to CHADS2/CHA2DS2VASc score and events of stroke in patients with atrial fibrillation [J]. *Europace*, 2011, 13(11): 1541-1549.
- [13] Nery PB, Al Dawood W, Nair GM, et al. Characterization of low-voltage areas in patients with atrial fibrillation: insights from high-density intracardiac mapping [J]. *Can J Cardiol*, 2018, 34(8): 1033-1040.
- [14] Huo Y, Gaspar T, Pohl M, et al. Prevalence and predictors of low voltage zones in the left atrium in patients with atrial fibrillation [J]. *Europace*, 2018, 20(6): 956-962.
- [15] Masuda M, Fujita M, Iida O, et al. An E/e' ratio on echocardiography predicts the existence of left atrial low-voltage areas and poor outcomes after catheter ablation for atrial fibrillation [J]. *Europace*, 2018, 20(5): 60-68.
- [16] Laish-Farkash A, Perelshtein Brezinov O, Valdman A, et al. Evaluation of left atrial remodeling by 2D-speckle-tracking echocardiography versus by high-density voltage mapping in patients with atrial fibrillation [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2021, 32(2): 305-315.
- [17] Vlachos K, Efremidis M, Letsas KP, et al. Low-voltage areas detected by high-density electroanatomical mapping predict recurrence after ablation for paroxysmal atrial fibrillation [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2017, 28(12): 1393-1402.
- [18] Yamaguchi T, Tsuchiya T, Fukui A, et al. Impact of the extent of low-voltage zone on outcomes after voltage-based catheter ablation for persistent atrial fibrillation [J]. *J Cardiol*, 2018, 72(5): 427-433.

(收稿日期:2023-11-28)