

# 非瓣膜性心房颤动患者左心房结构和功能的超声心动图评价进展

杜朝慧 贺文凤 梁士楚 刘志月 黄鹤  
(四川大学华西医院心脏内科, 四川 成都 610041)

**【摘要】** 非瓣膜性心房颤动(NVAF)是最常见的心房颤动类型。左心房结构和功能重构在 NVAF 的发生和病情进展过程中具有重要意义。作为无创、简便、易获得的工具,超声心动图在 NVAF 患者病情评估、疗效观察以及并发症危险分层方面发挥着重要作用。现阐述超声心动图对 NVAF 患者左心房结构和功能的评估方法、相关参数及其临床意义。

**【关键词】** 非瓣膜性心房颤动;左心房结构;左心房功能;超声心动图

**【DOI】**10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2024.11.004

## Echocardiographic Assessment of Left Atrial Structure and Function in Patients with Nonvalvular Atrial Fibrillation

DU Chaohui, HE Wenfeng, LIANG Shichu, LIU Zhiyue, HUANG He  
(Department of Cardiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**【Abstract】** Nonvalvular atrial fibrillation (NVAF) is the most common type of atrial fibrillation. Left atrial structural and functional remodeling plays a significant role in the occurrence and progression of NVAF. As a non-invasive, convenient and widely available tool, echocardiography plays an important role in the disease assessment, efficacy observation and risk stratification of complications in patients with atrial fibrillation. This article reviews the evaluation methods, relevant parameters and clinical significance of echocardiography for left atrial structure and function in patients with NVAF.

**【Keywords】** Nonvalvular atrial fibrillation; Left atrial structure; Left atrial function; Echocardiography

心房颤动(atrial fibrillation, AF)是临床上最常见的心律失常,近 20 年来,AF 在中国成年人中的患病率为 0.37%~4.03%,且随着年龄增长而增高<sup>[1]</sup>。非瓣膜性心房颤动(nonvalvular atrial fibrillation, NVAF)是最常见的 AF 类型,不仅严重影响患者的生活质量,而且会增加心力衰竭、血栓栓塞甚至脑卒中的风险<sup>[2]</sup>。左心房(left atrium, LA)结构和功能改变是 NVAF 发生发展的基础,超声心动图可评估 NVAF 患者 LA 结构和功能,在预测 NVAF 的发生以及评估 NVAF 患者病情进展、疗效评价和并发症危险分层中发挥重要作用<sup>[3]</sup>。现综述超声心动图在 NVAF 患者 LA 结构和功能评估中的应用进展。

### 1 AF 患者 LA 功能的变化

LA 功能是心脏功能的重要组成部分之一,对维持左心室正常充盈和正常肺动脉压起关键作用。LA 功能是动态变化的,根据时相可分为 3 类<sup>[4-5]</sup>:(1)储存功能,在左心室收缩期,LA 存储由肺静脉回流的血液。LA 的储存功能代表 LA 舒张功能与顺应性。(2)管道功能,在左心室舒张早期,LA 作为通道连通肺静脉与

左心室,使血液顺着压力梯度进入左心室。LA 管道功能依赖于左心室舒张功能,即依赖于左心室松弛的抽吸作用及室壁僵硬程度。(3)辅助泵功能,在左心室舒张晚期,LA 主动收缩将血液泵入左心室,增加左心室舒张末期容积,为左心室射血作准备。LA 辅助泵功能主要依赖于 LA 自身的收缩性,同时与肺静脉回流(前负荷)和左心室舒张末期压力(后负荷)有关。正常生理情况下,LA 主动收缩对左心室每搏量的贡献占 20%~30%,但在左心室松弛障碍时,LA 辅助泵功能对左心室充盈的相对贡献增加,管道功能减低,而当左心室充盈压显著增加,达到 LA 前负荷储备极限时,LA 主要表现为管道功能<sup>[5]</sup>。

发生 NVAF 时,LA 结构和功能发生改变,通常表现为 LA 容积增加,收缩性下降以及心肌纤维化。LA 结构重构以 LA 纤维化和 LA 扩大等改变为特点,心肌纤维化会干扰心肌正常的电传导,导致小折返环的产生而促进电重构,使 AF 的易感性增高并持续存在,同时导致 LA 收缩同步性下降,收缩效率减低<sup>[6]</sup>。在 NVAF 的诊疗过程中,对 LA 结构和功能的评估、及早

识别并逆转 LA 重构有助于延缓病情的进展。

## 2 超声心动图对 LA 结构和功能的评估

### 2.1 LA 结构参数

通常在胸骨旁左心室长轴切面上测量收缩末期 LA 前后径来评价 LA 的大小。也可在心尖四腔心切面测量 LA 径线,但 LA 扩大呈不对称重构,LA 内径并不能准确地代表其实际大小<sup>[7]</sup>。改良的 Simpson 双平面法是目前临床上基于二维超声评价 LA 容积的重要方法之一,但二维超声心动图(two-dimensional echocardiography, 2DE)从平面估算三维容积,常低估 LA 的真实容积,准确性和可重复性受到影响。实时三维超声心动图(real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE)从三维空间去评价 LA 功能及心肌运动,无角度依赖,提高了 LA 容积评估的准确性和重复性<sup>[8]</sup>。可用 2DE 及 RT-3DE 于左心室收缩末期测量左心房最大容积(maximum left atrial volume, LAV<sub>max</sub>),左心室舒张末期测量左心房最小容积(minimal left atrial volume, LAV<sub>min</sub>)和左心房收缩前容积(before atrial contraction volume, LAV<sub>preA</sub>),LA 的容积参数经体表面积标准化得到左心房容积指数(left atrial volume index, LAVi)。

### 2.2 LA 压力参数

舒张早期二尖瓣前向峰值血流速度(E)能反映舒张早期 LA 和左心室的压力阶差,受左心室松弛速度和 LA 压力变化影响。应用组织多普勒成像(tissue Doppler imaging, TDI)测量舒张早期二尖瓣环处间隔或者外侧壁心肌组织的运动速度(e')可矫正左心室松弛受损对 E 峰流速的影响,E/e' 通常用于评估左心室充盈压<sup>[9]</sup>。也有文献<sup>[10]</sup>显示 E/e',尤其是用指数心搏法(index-beat)测得的 E/e',与 NVAf 消融术中经导管测得的 LA 压力有显著相关性,E/e' 也用于评估 LA 压力。同时文献<sup>[9]</sup>还表明间隔侧 E/e' > 11,提示 AF 患者的 LA 压力升高;E/e' > 15 在识别高 LA 压力方面具有较高的特异性。然而,也有学者<sup>[11]</sup>指出 E/e' 与侵入性方法测得的 LA 压力相关性较弱,但联合 E/e' 与其他无创指标对 LA 压力估测的准确性更高。

### 2.3 LA 应变参数

二维斑点追踪成像(two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI)是基于应变和应变率成像发展的一种新技术,其原理是将心肌组织看成一个个均匀分布的“回声斑点”,记录超声斑点在单位时间内的位移,以反映心肌组织的实时运动和形变。2D-STI 可从整体和局部定量评价心肌纵向、径向、环向运动,且无角度依赖<sup>[12]</sup>。通过 2D-STI 应变-时间曲线可获得

3 个应变参数:左心房储存期纵向应变(left atrial global longitudinal strain during reservoir phase, LASr)、左心房管道期纵向应变(left atrial global longitudinal strain during conduit phase, LAScd)和左心房收缩期纵向应变(left atrial global longitudinal strain during contraction phase, LASct),分别反映 LA 储存功能、管道功能及辅助泵功能<sup>[13]</sup>。在部分研究中测量收缩期 LA 纵向应变的最大值,即峰值左心房纵向应变(peak left atrium longitudinal strain, PALS)表示 LA 储存功能;在 P 波起始时测量 LA 应变值,即峰值左心房收缩应变(peak left atrial contraction strain, PACS)表示 LA 收缩功能,然而心脏收缩是在三维空间内进行的复杂运动,2D-STI 在二维平面内对超声斑点进行追踪,可能产生“失追踪现象”。三维斑点追踪成像(three-dimensional speckle tracking imaging, 3D-STI)可评估长轴、圆周及面积应变,但依赖图像质量及空间分辨率<sup>[13]</sup>。

### 2.4 LA 激动时间及收缩同步性

LA 总传导时间可结合心电图及 TDI 进行评估,即体表心电图的 P 波起点到侧壁 TDI 的 A' 峰值时限(onset of P wave to A' duration on tissue Doppler imaging, PA-TDI),PA-TDI 持续时间结合了有关心房结构功能变化的部分信息,可反映心房纤维化和重构<sup>[14]</sup>。LA 机械收缩同步性可采用斑点追踪成像评估左心房机械离散度(left atrial mechanical dispersion, LAMD)和应变达峰时间标准离散度(standard deviation of time to peak strain, SD-TPS)进行评估。LAMD 指应变分析中,LA 不同节段收缩时长的标准差,即从体表心电图的 P 波顶点到应变峰值时长的标准差。SD-TPS 是指舒张晚期(心电图的 R 波顶点)到峰值应变所用时间的标准差。

通过不同的超声成像方式和技术评估 LA 大小、容积、应变、压力、激动时间及收缩同步性。超声心动图对 LA 结构和功能评估常用的参数及其意义,详见表 1。

## 3 超声心动图技术在 NVAf 中的应用

### 3.1 超声心动图与 NVAf 易感性

Olsen 等<sup>[15]</sup>在普通人群中,中位随访 10.4 年期间,观察到 LAV<sub>max</sub> 和 LAV<sub>min</sub> 的增大与 NVAf 的发生有显著相关性(LAV<sub>max</sub>; HR = 1.06, 95% CI 1.03 ~ 1.09; LAV<sub>min</sub>; HR = 1.14, 95% CI 1.10 ~ 1.18)。此外,有学者<sup>[16]</sup>在以社区为基础的人群中,对经身高标准化后的 LA 容积参数指标进行研究,结果表明 LAV<sub>min</sub> 预测 NVAf 发生的能力强于 LAV<sub>max</sub>,这可能因为 LAV<sub>min</sub> 是在舒张末期左心室处于松弛状态时测量,而 LAV<sub>max</sub> 则

受到了左心室纵向收缩功能的影响。类似地, Olsen 等<sup>[17]</sup>的另一个研究,用超声心动图对 2 000 例社区为基础的人群进行 LA 结构和功能的评估,在随访 11 年期间,发生 NVAf 患者的 LAV<sub>max</sub>、LAV<sub>min</sub> 较未发生 NVAf 的患者更大,左心房排空分数 (left atrial emptying fraction, LAEF) 较未发生 NVAf 的患者更低,将分析限制在无高血压及 LA 大小正常 (LAV<sub>max</sub> < 34 mL/m<sup>2</sup>) 的个体后, LAV<sub>min</sub>、LAEF 仍是独立于临床风险评分的预测因子,进一步证实 LAV<sub>min</sub>、LAEF 在预测 NVAf 发生方面的价值。

表 1 LA 相关超声心动图参数及其对应的 LA 功能

LA 评价参数	LA 功能
LA 结构参数	
LAEF = (LAV <sub>max</sub> - LAV <sub>min</sub> ) / LAV <sub>max</sub>	LA 总功能
扩张指数 = (LAV <sub>max</sub> - LAV <sub>min</sub> ) / LAV <sub>min</sub>	LA 储存功能
被动排空分数 = (LAV <sub>max</sub> - LAV <sub>preA</sub> ) / LAV <sub>max</sub>	LA 管道功能
主动排空分数 = (LAV <sub>preA</sub> - LAV <sub>min</sub> ) / LAV <sub>max</sub>	LA 辅助泵功能
估测 LA 压力指标	
E/e'	LA 压力
LA 应变参数	
LASr、PALS	LA 储存功能
LAScd	LA 管道功能
LASct、PACS	LA 辅助泵功能
LA 激动时间及收缩同步性指标	
PA-TDI	LA 电-机械重构
LAMD	LA 收缩同步性
SD-TPS	LA 收缩同步性

注: LAEF, 左心房排空分数。

随着斑点追踪技术的出现, LA 应变参数以及 SD-TPS 对 AF 的发生可提供 LA 容积参数以外的预测信息。一项研究<sup>[18]</sup>对 4 312 例急性心力衰竭患者中的 2 461 例窦性心律患者进行随访,发现与其他患者相比, PALS ≤ 18% 的患者 5 年内 NVAf 新发率更高 (18.2% vs 12.7%,  $P < 0.001$ )。哥本哈根城市心脏研究<sup>[19]</sup>显示在纳入 4 466 例人群受试者,中位随访时间为 5.3 年的前瞻性研究中, PALS、PACS 均是 NVAf 发生的独立预测因素 (分别为  $HR = 1.05$ , 95%  $CI$  1.03 ~ 1.07;  $HR = 1.08$ , 95%  $CI$  1.05 ~ 1.12), 将研究对象限制在 LA 大小正常 (LAVi < 34 mL/m<sup>2</sup>) 且左心室收缩功能保留 (左室射血分数 ≥ 50%)、不伴缺血性心脏病的受试者后, PALS、PACS 仍是 AF 发生的独立预测因素 (分别为  $HR = 1.06$ , 95%  $CI$  1.03 ~ 1.09;  $HR = 1.08$ , 95%  $CI$  1.04 ~ 1.12)。Kawakami 等<sup>[20]</sup>对有 NVAf 风险的 576 例社区人群进行了 2 年的斑点追踪超声心动

图随访,发现新发 NVAf 患者较未出现 AF 者的 LA 泵应变 (16.6% ± 4.3% vs 20.6% ± 4.3%,  $P < 0.01$ ) 及 LA 储存应变 (31.4% ± 7.7% vs 38.0% ± 7.3%,  $P < 0.01$ ) 均显著降低,而新发 NVAf 患者较未出现 NVAf 者 SD-TPS 更高 (6.3% ± 2.3% vs 3.9% ± 1.6%,  $P < 0.01$ ), SD-TPS 是新发 AF 的独立危险因素。

### 3.2 超声心动图与 NVAf 病程进展

LA 增大是 NVAf 在病理上的特征性改变,既往研究已证明 LA 大小能反映 NVAf 病情进展。马晓等<sup>[21]</sup>研究显示,与健康人群相比,阵发性 NVAf 和持续性 NVAf 患者的 LA 扩张指数呈不同程度的减低 (分别为 72.26% ± 19.60% vs 100.17% ± 28.84% vs 128.33% ± 37.86%), 且 LA 扩张指数越小, NVAf 病程越长,进一步说明 LA 扩张指数能在评价 NVAf 病情进展方面提供价值。随着 NVAf 进展, LA 负荷逐渐增大。Olsen 等<sup>[22]</sup>的研究发现持续性 NVAf 患者较阵发性患者 LAVi 更大, LAEF 减小 (29% vs 36%,  $P < 0.001$ ), 将分析限制在 LA 未扩大的患者 (LAVi ≤ 34 mL/m<sup>2</sup>) 后, 持续性 NVAf 患者较阵发性 NVAf 患者 LAEF 仍减小, 表明随 NVAf 进展, LAEF 逐渐减小, LAEF 对 NVAf 负荷程度有提示意义。

Lenart-Migdalska 等<sup>[23]</sup>对 NVAf 患者进行了 LA 纵向应变的测量,发现阵发性 NVAf 组患者 (15.7% ± 12.0%) 的 LA 纵向应变明显高于持续性 NVAf 组 (4.3% ± 7.9%) 及永久性 NVAf 组 (5.8% ± 7.8%) 患者,表明 LA 纵向应变能反映阵发性、持续性和永久性 NVAf 患者不同程度的 LA 功能障碍。周红等<sup>[24]</sup>也在研究中发现,健康对照组、阵发性 NVAf 组和持续性 NVAf 组中 SD-TPS 依次升高 (分别为 10.0% ± 4.0%、18.8% ± 6.7% 和 22.8% ± 4.5%,  $P < 0.05$ ), 表明 NVAf 患者 LA 心肌运动同步性随 NVAf 进展逐渐减低。

### 3.3 超声心动图预测 NVAf 消融术后复发

超声心动图常应用于 NVAf 消融术后随访和术后复发的预测。有研究<sup>[25]</sup>发现经冷冻球囊导管消融术前, RT-3DE 评估的 LAVi 增加对 NVAf 复发有预测价值 ( $HR = 5.50$ , 95%  $CI$  1.34 ~ 22.45), 最佳临界值为 30.4 mL/m<sup>2</sup>, 并且在 LA 大小正常和 2DE LAVi 正常的患者中, RT-3DE LAVi 增加也能对 NVAf 复发患者进行区分, 表明 RT-3DE 可能更好和更早地反映 LA 重构, 在 NVAf 消融术后复发风险评估中提供价值。有研究<sup>[26]</sup>显示经导管或外科消融术后 3 个月时, 维持窦性心律组和 AF 复发组 LA 容积均较术前明显减小, 但维持窦性心律组的 LAEF (36.3% ± 10.6% vs 27.9% ± 9.9%,  $P < 0.001$ )、LASr (22.6% ± 8.5% vs 16.7% ±

5.7%,  $P = 0.001$ )、LASct ( $9.2\% \pm 3.4\%$  vs  $5.6\% \pm 2.5\%$ ,  $P < 0.001$ ) 明显高于 AF 复发组,  $E/e'$  小于 AF 复发组 ( $8.0 \pm 2.1$  vs  $10.3 \pm 4.1$ ,  $P < 0.001$ ), LASct 是 NVAf 复发的唯一独立预测因素。同时, 有研究<sup>[27]</sup>表明在 LA 大小正常的患者中, 经冷冻球囊导管消融术后 NVAf 复发患者的 PALS 低于未复发患者,  $PALS \leq 17\%$  提供预测 NVAf 复发的价值增量 ( $HR = 9.45$ ,  $95\% CI 3.17 \sim 28.13$ ,  $P < 0.001$ )。

斑点追踪超声心动图对 LA 收缩同步性的评估可反映 LA 功能的潜在病理变化, 从而应用于 NVAf 患者的随访中。Sarvari 等<sup>[28]</sup>用 LAMD 参数对 LA 大小正常或轻度增大的阵发性 NVAf 患者的复发因素进行研究, 结果发现射频消融术后 NVAf 复发者 LAMD 高于未复发者 [ $(38 \pm 14)$  ms vs  $(30 \pm 12)$  ms,  $P < 0.001$ ], 说明在 LA 大小正常患者中, LAMD 对阵发性 NVAf 射频消融术后复发有预测价值。

### 3.4 超声心动图预测 NVAf 患者血栓栓塞风险

LA 增大是 NVAf 的典型病理特征, 既往研究已证实 LA 大小与缺血性脑卒中相关。有研究<sup>[29]</sup>表明体表面积标准化的 LA 前后径增大与卒中复发风险升高显著相关 ( $HR = 1.60$ ,  $95\% CI 1.30 \sim 1.98$ )。一项研究<sup>[30]</sup>纳入 8 159 例 AF 患者, 观察到中重度以上 LA 前后径增大 (男性  $\geq 47$  mm, 女性  $\geq 43$  mm) 或中重度以上 LAVi 增加 ( $> 42$  mL/m<sup>2</sup>) 的 NVAf 患者, 较无或轻度 LA 增大患者的卒中或全身性栓塞发生率高 ( $2.5\%$  vs  $1.4\%$ )。

有研究<sup>[31]</sup>发现, 左心室舒张功能指标  $E/e'$  对 NVAf 患者发生左心耳血栓能提供独立于 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分的增量预测价值。一项研究<sup>[32]</sup>显示在 NVAf 患者中, 无症状性脑梗死患者的  $E/e'$  比值显著高于无卒中组 ( $13.6 \pm 5.6$  vs  $10.1 \pm 3.2$ ,  $P < 0.001$ ),  $E/e' \geq 12.4$  是无症状性脑梗死存在的独立预测因素 ( $OR = 3.98$ ,  $95\% CI 1.74 \sim 9.07$ ,  $P < 0.001$ ), 提示  $E/e'$  可用于 NVAf 患者早期脑损伤的危险分层。

斑点追踪超声心动图评估 LA 应变能提供 NVAf 人群缺血性脑卒中的预测信息。Leung 等<sup>[33]</sup>在 1 361 例首次诊断为 NVAf 的患者中发现, 发生卒中组较未发生卒中组的 LA 功能受损 [LASr 降低 ( $14.5\%$  vs  $18.9\%$ ,  $P = 0.005$ ), LAScd 降低 ( $10.5\%$  vs  $13.5\%$ ,  $P = 0.013$ )] 及 PA-TDI 延长 [ $(166 \pm 32)$  ms vs  $(141 \pm 39)$  ms,  $P < 0.001$ ]。通过校正 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分、年龄和抗凝剂应用等因素后, LASr 和 PA-TDI 仍是卒中风险的独立预测因子 (LASr:  $HR = 0.73$ ,  $95\% CI 0.55 \sim 0.95$ ; PA-TDI:  $HR = 1.08$ ,  $95\% CI 1.02 \sim 1.15$ ), 提示 LASr 和 PA-TDI 可提供额外的卒中风险

评估依据。类似地, 一项研究<sup>[34]</sup>对 1 462 例 NVAf 患者进行超声心动图随访, 发现与未发生缺血性脑卒中患者相比, 发生缺血性脑卒中的 NVAf 患者的 PALS、LA 长轴收缩期峰值应变率和 LA 长轴舒张早期峰值应变率显著降低, PALS 可对预测 NVAf 缺血性脑卒中提供 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分以外的增量价值。

### 4 小结

综上所述, 超声心动图作为一种非侵入性、易获得的方法, 对 LA 结构和功能的评估在临床实践和研究中被广泛应用。传统的超声技术如 M 型超声、2DE、TDI 在测量方面存在一定局限性。RT-3DE、2D-STI 等新技术能更准确、敏感地反映 NVAf 患者 LA 结构和功能的细微变化, 在预测 NVAf 发生、病情进展、术后复发与并发症危险分层方面提供新的评价手段。

### 参考文献

- [1] 高明阳, 何柳, 杜昕, 等. 中国心房颤动流行病学 20 年 [J]. 中华心血管病杂志, 2024, 52(2): 220-226.
- [2] Lippi G, Sanchis-Gomar F, Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: an increasing epidemic and public health challenge [J]. Int J Stroke, 2021, 16(2): 217-221.
- [3] Schaaaf M, Andre P, Altman M, et al. Left atrial remodelling assessed by 2D and 3D echocardiography identifies paroxysmal atrial fibrillation [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2017, 18(1): 46-53.
- [4] Ferkh A, Clark A, Thomas L. Left atrial phasic function: physiology, clinical assessment and prognostic value [J]. Heart, 2023, 109(22): 1661-1669.
- [5] Thomas L, Marwick TH, Popescu BA, et al. Left atrial structure and function, and left ventricular diastolic dysfunction: JACC state-of-the-art review [J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 73(15): 1961-1977.
- [6] Pozios I, Voulitis AI, Dilaveris P, et al. Electro-mechanical alterations in atrial fibrillation: structural, electrical, and functional correlates [J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2023, 10(4): 123-134.
- [7] Delgado L, di Biase L, Leung M, et al. Structure and function of the left atrium and left atrial appendage: AF and stroke implications [J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 70(25): 3157-3172.
- [8] Heo R, Hong GR, Kim YJ, et al. Automated quantification of left atrial size using three-beat averaging real-time three dimensional echocardiography in patients with atrial fibrillation [J]. Cardiovasc Ultrasound, 2015, 13: 38.
- [9] Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2016, 29(4): 277-314.
- [10] Ma G, Fang L, Lin X, et al. Validation of  $E/e'$  using the index-beat method as an estimate of left atrial pressure in patients with atrial fibrillation [J]. Cardiology, 2023, 148(5): 418-426.
- [11] Pak M, Kitai T, Kobori A, et al. Diagnostic accuracy of the 2016 guideline-based echocardiographic algorithm to estimate invasively-measured left atrial pressure by direct atrial cannulation [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(10): 1683-1691.
- [12] 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.
- [13] Ji M, He L, Gao L, et al. Assessment of left atrial structure and function by echocardiography in atrial fibrillation [J]. Diagnostics (Basel), 2022, 12(8):

- 134-143.
- [14] Müller P, Weijs B, Bemelmans N, et al. Echocardiography-derived total atrial conduction time (PA-TDI duration): risk stratification and guidance in atrial fibrillation management[J]. *Clin Res Cardiol*, 2021, 110(11):1734-1742.
- [15] Olsen FJ, Johansen ND, Skaarup KG, et al. Changes in left atrial structure and function over a decade in the general population[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 23(1):124-136.
- [16] Olsen FJ, Møgelvang R, Modin D, et al. Association between isometric and allometric height-indexed left atrial size and atrial fibrillation[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2022, 35(2):141-150.
- [17] Olsen FJ, Møgelvang R, Jensen GB, et al. Relationship between left atrial functional measures and incident atrial fibrillation in the general population; the Copenhagen City Heart Study[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(6):981-989.
- [18] Park JJ, Park JH, Hwang IC, et al. Left atrial strain as a predictor of new-onset atrial fibrillation in patients with heart failure[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(10):2071-2081.
- [19] 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.
- [20] Kawakami H, Ramkumar S, Nolan M, et al. Left atrial mechanical dispersion assessed by strain echocardiography as an independent predictor of new-onset atrial fibrillation; a case-control study[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(10):1268-1276.
- [21] 马晓, 唐国璋, 赵亮, 等. 左房扩张指数联合三维斑点追踪技术评价心房颤动的左心房功能[J]. *中国超声医学杂志*, 2023, 39(5):519-522.
- [22] Olsen FJ, Darkner S, Chen X, et al. Left atrial structure and function among different subtypes of atrial fibrillation; an echocardiographic substudy of the AMIO-CAT trial[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(12):1386-1394.
- [23] Lenart-Migdańska A, Kaźnica-Wiatr M, Drabik L, et al. Assessment of left atrial function in patients with paroxysmal, persistent, and permanent atrial fibrillation using two-dimensional strain[J]. *J Atr Fibrillation*, 2019, 12(3):2148-2153.
- [24] 周红, 李勇, 王吴刚, 等. 三维斑点追踪成像评价心房颤动患者左心房功能和同步性[J]. *中国超声医学杂志*, 2020, 36(9):802-805.
- [25] Motoc A, Scheirlynck E, Roosens B, et al. Additional value of left atrium remodeling assessed by three-dimensional echocardiography for the prediction of atrial fibrillation recurrence after cryoballoon ablation[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2022, 38(5):1103-1111.
- [26] Khan HR, Yakupoglu HY, Kralj-Hans I, et al. Left atrial function predicts atrial arrhythmia recurrence following ablation of long-standing persistent atrial fibrillation[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2023, 16(6):e15352.
- [27] Motoc A, Luchian ML, Scheirlynck E, et al. Incremental value of left atrial strain to predict atrial fibrillation recurrence after cryoballoon ablation[J]. *PLoS One*, 2021, 16(11):e259999.
- [28] Sarvari SI, Haugaa KH, Stokke TM, et al. Strain echocardiographic assessment of left atrial function predicts recurrence of atrial fibrillation[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(6):660-667.
- [29] Ogata T, Matsuo R, Kiyuna F, et al. Left atrial size and long-term risk of recurrent stroke after acute ischemic stroke in patients with nonvalvular atrial fibrillation[J]. *J Am Heart Assoc*, 2017, 6(8):1808-1817.
- [30] Cho MS, Park HS, Cha MJ, et al. Clinical impact of left atrial enlargement in Korean patients with atrial fibrillation[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1):e23808.
- [31] Doukky R, Garcia-Sayan E, Patel M, et al. Impact of diastolic function parameters on the risk for left atrial appendage thrombus in patients with nonvalvular atrial fibrillation; a prospective study[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(6):545-553.
- [32] Ishikawa S, Sugioka K, Sakamoto S, et al. Relationship between tissue Doppler measurements of left ventricular diastolic function and silent brain infarction in patients with non-valvular atrial fibrillation[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18(11):1245-1252.
- [33] Leung M, van Rosendaal PJ, Abou R, et al. Left atrial function to identify patients with atrial fibrillation at high risk of stroke: new insights from a large registry[J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(16):1416-1425.
- [34] Liao JN, Chao TF, Kuo JY, et al. Global left atrial longitudinal strain using 3-beat method improves risk prediction of stroke over conventional echocardiography in atrial fibrillation[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(8):e10287.

收稿日期:2024-07-27