

# 超声心动图评估房颤射频消融患者左心房结构与功能研究进展

金 棋, 冉海涛\*

重庆医科大学附属第二医院超声科, 重庆

收稿日期: 2026年2月3日; 录用日期: 2026年2月26日; 发布日期: 2026年3月5日

## 摘 要

心房颤动(房颤)是最常见的心律失常之一, 射频消融术是其治疗的主要手段。左心房结构与功能的变化直接影响患者预后及消融效果。超声心动图因其无创、便捷、可重复等优势, 成为房颤患者射频消融术前评估及术后随访的重要工具。本文就超声心动图评估房颤射频消融患者左心房结构与功能研究进展做一综述。

## 关键词

心房颤动, 射频消融, 超声心动图, 左心房功能, 斑点追踪

## Research Progress of Echocardiography in Evaluating Left Atrial Structure and Function in Patients with Atrial Fibrillation Undergoing Radiofrequency Ablation

Qi Jin, Haitao Ran\*

Department of Ultrasound, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: February 3, 2026; accepted: February 26, 2026; published: March 5, 2026

## Abstract

Atrial fibrillation (AF) is one of the most common arrhythmias, and radiofrequency ablation is the

\*通讯作者。

**main treatment. The changes in left atrial structure and function directly affect the prognosis and ablation effect of patients. Because of its non-invasive, convenient and repeatable advantages, echocardiography has become an important tool for preoperative evaluation and postoperative follow-up of radiofrequency ablation in patients with atrial fibrillation. This article reviews the research progress of echocardiography in evaluating left atrial structure and function in patients with radiofrequency ablation of atrial fibrillation.**

## Keywords

**Atrial Fibrillation, Radiofrequency Ablation, Echocardiography, Left Atrial Function, Speckle Tracking**

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

心房颤动(atrial fibrillation, AF)是 21 世纪高发的心血管疾病之一[1]。其对患者的危害不仅是心律失常,而且会增加血栓栓塞、心力衰竭等不良事件的发生率。目前,导管射频消融(radiofrequency catheter ablation, RFCA)术已成为临床治疗 AF 的重要选择[2],通过肺静脉隔离等策略可恢复窦性心律,但 RFCA 术后复发风险较高。一项纳入 3681 例房颤患者的研究发现,RFCA 术后 1 年内复发率接近 50%,其中大部分发生在术后 1 个月内[3],早期预测术后复发对患者的预后具有重要价值。

研究表明,左心房(left atrium, LA)结构和功能参数对术前筛选患者及术后预测复发具有重要价值。左心房容积指数(left atrium volume index, LAVI)和左心房内径(left atrium diameter, LAD)可作为手术适应症筛选的重要指标。当 LAVI > 40 mL/m<sup>2</sup> 或 LAD > 50 mm 时,患者可能更需要积极采取 RFCA 术。此外,左房指数(Left Atrial Expansion Index, LAEI)也被证实是术后复发的独立预测因素[4]。因此,全面评估 RFCA 术前后的左心房结构与功能变化,不仅能为术前风险评估提供客观依据,还可指导临床制定个体化治疗方案,并有效预测术后复发风险,最终改善患者预后。

超声心动图因其无创、可重复性好等优势,在房颤 RFCA 术前筛选患者、手术方案优化、术后疗效评估及预测复发发挥重要作用。本文重点围绕二维斑点追踪超声心动图、实时三维超声心动图及三维斑点追踪等新技术,精准评估 RFCA 术后左心房结构及功能变化,优化射频消融治疗措施、早期预测复发,为临床决策提供重要参考依据。

## 2. 常规二维超声心动图

常规二维超声心动图(two-dimensional Echocardiography, 2DE)是评估房颤患者心脏结构及功能最基本方法。

在术前评估方面,LAD、左心房最大容积(left atrial maximum volume, LAVmax)、左心房最小容积(left atrial minimum volume, LAVmin)及左心房 P 波前容积(left atrial pre-P wave volume, LAVpre)等参数不仅可用于 RFCA 术前患者筛选,还能预测术后复发。Olsen FJ [5]等研究发现,房颤患者 LAVmax 及 LAVmin 均较正常对照组显著增大,且 LAV 与 RFCA 术后复发密切相关,LAV 越大,术后复发率越高。

在术后随访方面,有研究发现,RFCA 术后患者 LAD、LAV 较术前减小。这可能是 RFCA 术后心脏节律的恢复与维持促进心房的逆向重构所致[6]。于春霞[7]等人研究也证实,房颤患者 RFCA 术前 LAD、

LAV 均高于术后患者, 而 LAEF、LAEI 均低于术后患者[8] [9]。Khan HR [10]等研究也发现 RFCA 术后 3 个月 LAV 较术前降低, LAEF 升高。LAEF 及左心房球形指数术后 12 个月增加更明显, 且左心房球形指数与复发的趋势相关, LAEF 与复发呈负相关[10]。

有研究表明 LAD 对房颤的复发有预测价值, LAV 是术后复发的独立预测因子[11][12]。Bajraktari G [13] 研究表明, RFCA 术后复发组 LAEF 均低于未复发组。相反, 在房颤未复发的患者中, LAEF 没有改变[14]。2DE 的测量不仅依赖于几何假设, 而且会受到患者肺气干扰导致图像治疗差, 对于形态改变或重构的左心房, 其容积计算的准确性会受到限制, 影响 RFCA 术前、后左心房结构及功能的评估及复发的精确度, 因此可以联合其他超声心动图共同评估患者 LA 的结构及功能。

### 3. 二维斑点追踪超声心动图

二维斑点追踪超声心动图(Two-dimensional speckle tracking echocardiography, 2D-STE)通过测量左心房储存期应变(Left Atrial Reservoir Strain, LASr)、左心房收缩期应变(Left Atrial Contractile Strain, LASct)、左心房管道期应变(Left atrial strain conduit function, LAScd)反映左心房功能及预测 RFCA 术后 AF 的复发, 有研究表明, 2D-STI 通过声学散斑追踪技术多方位追踪心肌组织中斑点运动轨迹, 精准量化左心房的运动及运动信息[15], 为评估其功能受损提供了更敏感和详细的指标, 超越了单纯依靠容积评估, 且 2D-STE 评估的左心房应变已被证明是 RFCA 术后房颤复发的独立预测因子[16]。

在术前评估方面, Helmy KM [17]等将房颤患者与健康对照组超声心动图数据进行对比发现房颤患者左心房应变较健康对照组均减低, 且即使 LAV 没有差异, 但左心房应变减低, 左心房应变降低的患者更应积极采取 RFCA 术, 这与 Olsen FJ [5]等的研究结果类似。Laish-Farkash A [18]等人研究发现 2D-STE 测量的心房应变同 CARTO™ 3D - EAM 系统标测的低电压区呈负相关, 表明 2D-STE 测量的心房应变可以作为一种无创性方法来评估左心房结构重构和纤维化。

在术后随访方面, Khan HR [10]发现 RFCA 术后 LASr 和 LAScd 显著改善, LASr 和 LASct 与房颤复发呈负相关, LASct 降低是 AF 复发的唯一独立预测因子。徐凤兰[19]通过比较 RFCA 术前及术后 1 周、1 个月、6 个月患者的 LASr 和 LASct, 发现术后 1 周左房应变低于术前, 但术后 1、6 月左房应变逐渐升高。Kawakami H [20]发现左心房应变是术后复发的独立危险因素, 其预测能力远高于传统超声及临床指标。2D-STE 克服了传统 2DE 的角度依赖性, 但其需要高帧频及清晰的二维图像, 仅分析单一平面, 忽略心脏三维结构, 可联合三维超声心动图全面评估左心房结构与功能, 更精确预测 RFCA 术后复发, 改善患者预后。

### 4. 实时三维超声心动图

基于 2DE 的实时三维超声心动图(Real-time Three-dimensional Echocardiography, RT-3DE)可精确评价心肌的运动及重塑。不仅有良好的可重复性, 而且与金标准成像方法(如 CT/MRI)的高度一致性, 所以 RT-3DE 已成为评估左心房结构及功能参数的重要选择[13]。此外, RT-3DE 能够显示左心耳的形态, 并测量其容积和排空速度, 这对评估血栓栓塞风险及指导抗凝具有重要临床意义[21]。

在术前评估方面, Bruun Pedersen K [22]等将房颤患者与健康对照组通过 RT-3DE 对比测量 LAVI、LAVmax、LAVmin, 发现房颤患者 LAVI、LAVmax 及 LAVmin 在 3DE 图像上都较健康对照组增大, 且 LAVI 对预测房颤发生有统计学意义, 这与杨优[23]的结果类似。RT-3DE 与 2DE 评估相比, 可以提供独立的预后价值[24]。且 RT-3DE 还可以在 RFCA 术中联合经食道超声心动图引导消融, 缩短手术时间, 减少患者及操作医生所受辐射时间。

在术后随访方面, Yang Z [25]用 RT-3DE 测量 215 例 RFCA 术后患者的 LAV 及 LAEI 建立预测模

型,发现复发者 LAV 更高,而未复发者的 LAEI 更高。Han R [26]将房颤患者 RFCA 术前与术后 1、3、6 月的左房结构及功能进行对比,术后 1、3、6 个月随访显示,LAEF 显著改善,其中以术后 6 个月的改善最为明显。术后 1 至 6 个月内,LAD 呈现先增大后减小的趋势。

左心房是心脏中最不规则的腔室之一,其形状并非一个简单的椭圆体或规则几何体,尤其在疾病状态下(如房颤、心力衰竭时)会变得更为扭曲、不对称。RT-3DE 能提供心脏的直接立体解剖视图和更精准的定量数据,但是其高度依赖于图像质量、心律不齐时 3D 成像可能会遇到伪影问题,在心内膜边界显示不清的患者中误差较大,且其时间分辨率低于 2DE,在评估房颤等心律失常时可能不够精确。此外,3DE 的分析过程仍需要较多人工干预且耗时,这可能也限制其的临床应用。

## 5. 超声新技术及未来展望

目前 2DE、2D-STE、3DE 及 3DE-STE 虽可以实时、简单、快捷地反映左心房的结构及功能,但目前出现的超声新技术,例如人工智能辅助分析、多模态影像融合、动态负荷超声,可以自动化测量左心房应变及容积,减少人为误差,提高重复性,精准评估左心房纤维化程度。基于流体力学的血液流动测量(Vector flow mapping, VFM)是一种基于流体力学的 VFM 方法,它可以在二维平面上反映血液流动的方向,可以定量描述心腔内部的流动状况,而房颤患者左心房及左心耳内血流速度下降,心腔内血流状态改变,则可以通过 VFM 反映左心房结构及功能的改变[27][28]。随着超声新技术的不断发展,其在临床应用中能够为心肌损伤的早期评估和治疗方案的优化决策提供全面数据支持。该技术尤其能够针对术后继发性或并发性房颤提供高精度、可操作性强的量化指标,从而有效提升患者预后效果,改善生存率并显著提高患者术后生活质量。

## 6. 超声心动图与其他影像学比较

超声心动图和其他影像学(例如心脏 MRI)在评估房颤患者左房结构及功能中扮演着不同的角色,超声心动图是评估心脏结构及功能的“基础工具”,而心脏 MRI 是评估心房纤维化、进行精细风险分层的“高级工具”。超声心动图是房颤患者的一线检查、方便、便宜、可重复性强,可以快速评估心脏整体结构和功能及是否并发其他瓣膜病变,2D-STE 是预测 RFCA 术后维持窦律的强有力指标。但超声心动图不能直接显示心脏的纤维化,而心脏 MRI 可以直接显示心脏的纤维化,有助于更精细的患者风险分层和治疗策略制定,且心脏 MRI 在测量心室质量、容积,尤其是不规则结构方面准确性通常高于超声,但心脏 MRI 耗时长、费用昂贵,部分患者无法进行。总的来说,超声心动图在评估射频消融术后左房结构及功能中有重要作用,是首选检查,但也可以结合心脏 MRI 进一步对患者进行分层,制定精细化治疗策略。

## 7. 总结

超声心动图,尤其是 3DE 和 STE,已成为评估房颤 RFCA 术前后左心房结构和功能的核心影像学工具。其在临床实践中具有不可替代的价值,主要体现在对左心房容积、应变和功能的精确评估,识别适合消融治疗的最佳患者、实时引导导管定位、优化消融策略,以及根据左心房重构程度和功能恢复情况预测复发风险。2DE 操作简单但依赖几何假设;斑点追踪技术能更敏感地评估功能,但 2D-STE 受限于平面,3D-STE 则受限于图像质量与标准化不足;3DE 可提供精确的容积信息,但其也受患者图像质量影响。未来,随着人工智能辅助分析、多模态图像融合(如超声-CT/MRI 联合评估)和血流矢量成像(如矢量血流成像 VFM)的快速发展,超声心动图在房颤消融中的应用将迈向更高精度和个体化的水平。这些技术进步将显著提升超声心动图的临床价值,为房颤消融术的术前规划、术中决策和术后随访提供更可靠、

更科学的循证支持, 最终改善患者的预后。

## 参考文献

- [1] Bizhanov, K.A., Abzaliyev, K.B., Baimbetov, A.K., Sarsenbayeva, A.B. and Lyan, E. (2023) Atrial Fibrillation: Epidemiology, Pathophysiology, and Clinical Complications (Literature Review). *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **34**, 153-165. <https://doi.org/10.1111/jce.15759>
- [2] (2022) Erratum to: Multi-National Survey on the Methods, Efficacy, and Safety on the Post-Approval Clinical Use of Pulsed Field Ablation (MANIFEST-PF). *Europace*, **25**, Article 449.
- [3] Stabile, G., Iacopino, S., Verlato, R., Arena, G., Pieragnoli, P., Molon, G., *et al.* (2020) Predictive Role of Early Recurrence of Atrial Fibrillation after Cryoballoon Ablation. *EP Europace*, **22**, 1798-1804. <https://doi.org/10.1093/europace/euaa239>
- [4] 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.
- [5] Olsen, F.J., Darkner, S., Chen, X., Pehrson, S., Johannessen, A., Hansen, J., *et al.* (2020) Left Atrial Structure and Function among Different Subtypes of Atrial Fibrillation: An Echocardiographic Substudy of the AMIO-CAT Trial. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, **21**, 1386-1394. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa222>
- [6] 刘亚洋, 李鹤. 心腔内超声心动图引导下零射线高功率短时程射频导管消融术治疗阵发性心房颤动的疗效评价[J]. 中国循环杂志, 2023, 38(11): 1134-1139.
- [7] 于春霞, 陈勇, 包萍, 等. 超声心动图对心脏消融术后患者左心房解剖结构与功能的评估价值[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(6): 126-128.
- [8] 苏瑀芯, 刘楠楠, 刘佳琪, 等. 三维超声心动图评估不同消融技术对阵发性心房颤动患者左心系统重塑影响[J]. 临床军医杂志, 2022, 50(10): 1060-1063, 1068.
- [9] 吴治胜, 史琪, 武洋, 等. 实时三维超声心动图评价心房颤动患者射频消融术前后左心房功能及二尖瓣构型的变化[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(2): 142-147.
- [10] Khan, H.R., Yakupoglu, H.Y., Kralj-Hans, I., Haldar, S., Bahrami, T., Clague, J., *et al.* (2023) Left Atrial Function Predicts Atrial Arrhythmia Recurrence Following Ablation of Long-Standing Persistent Atrial Fibrillation. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, **16**, e015352. <https://doi.org/10.1161/circimaging.123.015352>
- [11] Tufano, A. and Galderisi, M. (2020) Can Echocardiography Improve the Prediction of Thromboembolic Risk in Atrial Fibrillation? Evidences and Perspectives. *Internal and Emergency Medicine*, **15**, 935-943. <https://doi.org/10.1007/s11739-020-02303-5>
- [12] Njoku, A., Kannabhiran, M., Arora, R., Reddy, P., Gopinathannair, R., Lakkireddy, D., *et al.* (2018) Left Atrial Volume Predicts Atrial Fibrillation Recurrence after Radiofrequency Ablation: A Meta-analysis. *EP Europace*, **20**, 33-42. <https://doi.org/10.1093/europace/eux013>
- [13] Bajraktari, G., Bytyçi, I. and Henein, M.Y. (2020) Left Atrial Structure and Function Predictors of Recurrent Fibrillation after Catheter Ablation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, **40**, 1-13. <https://doi.org/10.1111/cpf.12595>
- [14] 周小明, 夏小艳. 环肺静脉隔离联合左心房顶部线性消融术治疗阵发性房颤的疗效观察[J]. 医学临床研究, 2019, 36(11): 2232-2234.
- [15] 赵亚西, 汪海飞, 刘艳午, 等. 二维斑点追踪技术与三维斑点追踪技术在预测急性心肌梗死患者左心室重构的应用[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(9): 1519-1523.
- [16] Liżewska-Springer, A., Dąbrowska-Kugacka, A., Lewicka, E., Drelich, Ł., Królak, T. and Raczak, G. (2020) Echocardiographic Predictors of Atrial Fibrillation Recurrence after Catheter Ablation: A Literature Review. *Cardiology Journal*, **27**, 848-856. <https://doi.org/10.5603/cj.a2018.0067>
- [17] Helmy, K.M., Biomy, R., Salama, M.K. and Haseeb, W.A. (2023) Left Atrial Function Assessment by Speckle Tracking Echocardiography in Low-Risk Atrial Fibrillation Patients. *Journal of the Pakistan Medical Association*, **73**, S142-S145. <https://doi.org/10.47391/jpma.egy-s4-29>
- [18] Laish-Farkash, A., Perelshtein Brezinov, O., Valdman, A., Tam, D., Rahkovich, M., Kogan, Y., *et al.* (2020) Evaluation of Left Atrial Remodeling by 2D-Speckle-Tracking Echocardiography versus by High-Density Voltage Mapping in Patients with Atrial Fibrillation. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **32**, 305-315. <https://doi.org/10.1111/jce.14837>
- [19] 徐凤兰. 二维斑点追踪成像技术评价阵发性心房颤动患者射频消融术前后左心房功能[J]. 影像研究与医学应用,

2025, 9(13): 71-73.

- [20] Kawakami, H., Ramkumar, S., Pathan, F., Wright, L. and Marwick, T.H. (2020) Use of Echocardiography to Stratify the Risk of Atrial Fibrillation: Comparison of Left Atrial and Ventricular Strain. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, **21**, 399-407. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez240>
- [21] Meltzer, S.N., Phatak, P.M., Fazlalizadeh, H., Chang, I., Bering, P., Kenigsberg, B., *et al.* (2021) Three-Dimensional Echocardiographic Left Atrial Appendage Volumetric Analysis. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **34**, 987-995. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2021.03.008>
- [22] Bruun Pedersen, K., Madsen, C., Sandgaard, N.C.F., Hey, T.M., Diederichsen, A.C.P., Bak, S., *et al.* (2019) Left Atrial Volume Index and Left Ventricular Global Longitudinal Strain Predict New-Onset Atrial Fibrillation in Patients with Transient Ischemic Attack. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **35**, 1277-1286. <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01586-w>
- [23] 杨优, 刘表虎, 王德国, 等. 超声评估心房颤动患者右室游离壁周围心外膜脂肪厚度与左房时相功能的相关性研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2023, 34(5): 344-348.
- [24] Russo, C., Jin, Z., Homma, S., Rundek, T., Elkind, M.S.V., Sacco, R.L., *et al.* (2017) LA Phasic Volumes and Reservoir Function in the Elderly by Real-Time 3D Echocardiography. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **10**, 976-985. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.07.015>
- [25] Yang, Z., Xu, M., Zhang, C., Liu, H., Shao, X., Wang, Y., *et al.* (2021) A Predictive Model Using Left Atrial Function and B-type Natriuretic Peptide Level in Predicting the Recurrence of Early Persistent Atrial Fibrillation after Radiofrequency Ablation. *Clinical Cardiology*, **44**, 407-414. <https://doi.org/10.1002/clc.23557>
- [26] Han, R., Mei, Y.C., Li, H.W., Li, R.J., He, Y.H., Wang, Z.F. and Wu, Y.Q. (2025) Evaluation of Cardiac Function Recovery in Patients with Paroxysmal Atrial Fibrillation after Catheter Radiofrequency Ablation Using Two-Dimensional Speckle Tracking Imaging and Real-Time Three-Dimensional Echocardiography. *Cardiology*, **150**, 166-177.
- [27] 刘娟, 尹立雪, 孟庆国, 等. 超声血流向量成像联合二维组织追踪技术评价心房颤动患者左心房心肌功能及血流能量损耗[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(5): 680-685.
- [28] Avesani, M., Degrelle, B., Di Salvo, G., Thambo, J. and Iriart, X. (2021) Vector Flow Mapping: A Review from Theory to Practice. *Echocardiography*, **38**, 1405-1413. <https://doi.org/10.1111/echo.15154>