

# 超声心动图评价左房结构和功能的应用进展

韩 攀(综述) 李 巧(审校)

**摘 要** 左房结构和功能参数在整体心功能评估中发挥着越来越重要的作用,对多种心血管疾病具有预测价值。早期准确评估左房结构和功能对患者的临床治疗及预后均有重要意义。超声心动图是目前临床评估左房结构和功能最常用的影像学检查手段,本文就超声心动图在左房结构和功能评估中的应用进展进行综述。

**关键词** 超声心动描记术;心房结构,心房功能,左

[中图法分类号]R540.45 [文献标识码]A

## Application progress of echocardiography in evaluating left atrial structure and function

HAN Pan, LI Qiao

Department of Ultrasound Medicine, Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Ji'nan 250021, China

**ABSTRACT** Left atrial structural and functional parameters play an increasingly important role in the assessment of global cardiac function, and have predictive value for a variety of cardiovascular diseases. Early and accurate assessment of left atrial structure and function is of great significance to the clinical treatment and prognosis of patients. Echocardiography is the most commonly used imaging method for clinical evaluation of left atrial structure and function. This article reviews the application progress of echocardiography in the evaluation of left atrial structure and function.

**KEY WORDS** Echocardiography; Atrial structure, atrial function, left

目前,临床常用的评估左房功能的影像学检查手段包括CT、心脏磁共振(CMR)和超声心动图。其中CT空间分辨率高且可以实现心脏结构的重建,对评估左心耳形态和功能、指导患者临床治疗均有一定意义,但其具有放射性;CMR是评估左房容积的金标准,其钆剂延迟增强成像也是目前公认的无创评估局限性心肌纤维化的金标准,但其不适用于体内装有心脏起搏器的患者,且检查耗时、价格昂贵;超声心动图具有无辐射、价格低、重复性好、操作便捷等优点,已成为临床评估左房结构和功能的常用手段。2016年美国超声心动图协会(American Society of Echocardiography, ASE)和欧洲心血管影像学协会(European Association of Cardiovascular Imaging, EACVI)指南<sup>[1]</sup>(以下简称2016 ASE/EACVI指南)指出,左房功能参数可提高识别射血分数保留患者左室充盈压升高的可行性和整体准确性<sup>[2]</sup>,并能更准确地对左室舒张功能不全进行分类。同时,左房自身结构和功能状态也影响部分心血管疾病的进展甚至结

局,尤其与心源性脑卒中密切相关。随着临床对左房关注度的不断提高,使用影像学检查手段早期发现左房结构和功能改变,对早期识别亚临床心功能障碍及评估患者治疗疗效、预后和复发风险等均具有重要意义。本文就超声心动图在左房结构和功能评估中的应用进展进行综述。

### 一、左房结构、功能及病理生理改变

左房位于心脏的左后上方,由固有心房(又称左房窦)和左心耳构成。其中左心耳来源于原始心房,由肺静脉及其分支吸收形成,为狭长盲管状结构且含有丰富的梳状肌,当左房功能异常时血液易淤滞于左心耳形成血栓。正常窦性心律者左房功能时相可分为储器期、通道期和泵功能期,其中储器期血液通过肺静脉回流入左房,约贡献左室充盈量的40%;通道期左室大幅舒张产生巨大的抽吸作用将左房和肺内血液吸入左室,约贡献左室充盈量的35%;泵功能期左房收缩时向左室泵血,约贡献左室充盈量的25%。左房功能的变化在一定程度上可

基金项目:国家自然科学基金项目(82000239);山东省自然科学基金项目(ZR2022MH142)

作者单位:250021 济南市,山东第一医科大学附属省立医院超声医学科

通讯作者:李巧,Email:59412061@qq.com

以反映左室功能的变化,尤其是左室舒张功能。另外,在多种疾病状态下产生的急性或慢性心房肌损伤会引起心肌细胞缺氧、断裂等,成纤维细胞代偿性增殖,细胞外基质过度沉积、排列紊乱导致病理性心房重构(包括电重构、结构重构和功能重构)、心肌纤维化、血液高凝状态,宏观上表现为心房形态结构异常、僵硬增加及血栓形成<sup>[3]</sup>。

## 二、不同超声心动图技术评估左房结构及功能的应用进展

1. 二维超声心动图:二维超声心动图采用 Simpson 双平面法测量左房容积,经仪器自带软件计算后可获得左房主动射血分数(LAAEF)、左房被动射血分数(LAPEF)、左房总射血分数(LATEF)、左房最大容积指数(LAVI)、左房扩张指数(LAEI)和左房功能指数(LAFI)等参数。其中 LAAEF 和 LATEF 均反映左房泵功能;LAPEF 反映左房通道功能;LAVI 反映左室充盈压随时间变化对左房产生的累积效应;LAEI 反映左房储器功能;LAFI 反映左房整体功能,上述参数均能早期、敏感地发现左房功能改变。LAEI 为卒中中再发的独立预测因子<sup>[4]</sup>,当经对数转换后的 LAEI 截断值 <4.02 时,其识别肺毛细血管楔压(pulmonary capillary wedge pressure, PCWP)升高的准确率较 2016 ASE/EACVI 指南更高(88% vs. 74%),差异有统计学意义( $P < 0.05$ )<sup>[5]</sup>。另有研究<sup>[6]</sup>显示,LAFI 为处于稳定期的射血分数降低型心力衰竭患者长期生存的预测因子。LAFI 的降低与经导管主动脉瓣置换术后患者不良结局相关,是术后患者死亡的独立预测因子<sup>[7]</sup>。

2. 组织多普勒成像(tissue Doppler imaging, TDI):TDI 可以通过测量 P 波起始至左房侧壁 A 波峰值出现的时间间隔(the onset of P-wave and the peak A'-wave on the tissue Doppler imaging, PA-TDI)来评估心房电机械功能,也可以用于估测心房总传导时间。PA-TDI 的优势在于结合了左房电学和形态学表现,可以更全面地评估左房重构。PA-TDI 不仅与左房扩张(即左房直径)相关<sup>[8]</sup>,还可以反映肺静脉隔离术后左房电机械功能的恢复情况,这种恢复先于形态学的逆向重塑。文献<sup>[9]</sup>报道,肺静脉隔离术后 1 d PA-TDI 截断值为 87 ms 时,其鉴别心房颤动(以下简称房颤)复发者与未复发者的灵敏度为 80%,特异度为 74%,具有较好的临床价值。此外,Müller 等<sup>[8]</sup>研究显示 PA-TDI 持续时间可用于预测心脏复律或消融术后房颤发生风险,具有一定的临床价值。

3. 三维经胸超声心动图(three-dimensional transthoracic echocardiography, 3D-TTE):3D-TTE 检查时使用矩阵容积探头采集心脏三维信息,避免了二维超声心动图的几何假设。Meltzer 等<sup>[10]</sup>研究显示,3D-TTE 测得的左房容积较二维经胸超声心动图(two-dimensional transthoracic echocardiography, 2D-TTE)更准确,且与 CT 具有较高的一致性,可提高心房扩大患者的检出率。Feng 等<sup>[11]</sup>研究显示,应用实时 3D-TTE 结合自动定量软件评估左房容积与手动勾画的一致性较高,减少了传统测量过程中手动勾画的步骤,且重复性好、可行性高,大大提高了临床实用性和效率。由于 3D-TTE 可直观、立体地观察器官形态,其在评估因二尖瓣环扩大、马鞍形二尖瓣环等造成的左房功能恶化方面具有独特优势<sup>[12]</sup>。Russo 等<sup>[13]</sup>研究显示,3D-TTE 测得的左房时相容积和储存功能参数是评估老年人心血管事

件的独立预测因子。游钊等<sup>[14]</sup>研究显示,3D-TTE 测得的 LATEF 虽然在正常高值血压时处于正常水平,但此时 LAAEF 已经升高,表明依据生理功能时相进行分段能够早期、敏感地发现左房功能异常。Yildirim 等<sup>[15]</sup>应用 3D-TTE 测量 LAVI,发现其是评估左房结构的可靠参数,结合转化生长因子- $\beta$  可早期发现心房重构和纤维化。3D-TTE 测得的 LAEI 还与房颤进展呈负相关,提示 LAEI 可早期反映房颤患者心房结构和功能的改变,从而准确评估病情进展和治疗效果<sup>[16]</sup>。总之,3D-TTE 可通过测量左房功能参数评估心血管疾病,具有重要的临床价值。

4. 经食管超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE):TEE 检查时是将探头置于心脏后方食管内,避免了人体骨骼、肺气的干扰,同时食管紧邻左房,可使用高频探头提高图像分辨率,在观察左心耳细微形态结构和功能方面具有一定的优势。李永佳等<sup>[17]</sup>应用 TEE 将脉冲多普勒取样容积置于左心耳腔内,于距离左心耳开口 1~2 cm 处获取左心耳排空速度(LAAFV),发现无论是窦性心律患者还是非瓣膜性房颤患者,LAAFV 均与经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)测得的左房泵功能期应变(LASct)呈正相关( $r = 0.629$ 、 $0.619$ ,均  $P < 0.05$ )。研究<sup>[18]</sup>显示,LAAFV <37.5 cm/s 与插入式心电监护仪检测的房颤相关,具有低灵敏度和高特异度的特点,且较低的 LAAFV 可能与射频消融术后房颤复发风险增加有关。目前,TEE 已成为临床指南<sup>[19]</sup>推荐的评估左心耳血栓、自发显影和左房淤滞的可靠方法,且实时三维 TEE 较 TTE 能更准确地评估非瓣膜性房颤患者左心耳功能<sup>[20]</sup>。研究<sup>[21]</sup>显示,房颤患者左心耳开口宽度指数、面积指数、长度指数均与血栓形成呈正相关,左心耳血流最大排空速度、最大充盈速度均与血栓形成呈负相关(均  $P < 0.05$ )。房颤患者最常见的血栓形成部位为左心耳,左心耳封堵(left atrial appendage occlusion, LAO)术是目前预防房颤患者脑卒中的一个重要手段,而左心耳形态的差异对 LAO 术有一定影响,尤其是鸡翅型左心耳。TrueVue Glass 成像是近年新兴的一种主要用于 TEE 的三维透视心腔成像模式,其既可立体显示左心耳整体外轮廓及邻近结构,与心脏增强 CT 有高度一致性,又可通过透明度调节自动隐藏周围的心脏组织,有助于观察完整的血流束起源和路径,可更准确、全面地评估 LAO 术后封堵器形态、位置及其周围漏口<sup>[22]</sup>。术前应用 TrueVue Glass 成像可为 LAO 术提供关于左心耳解剖形态的相关信息<sup>[23]</sup>。

5. 腔内超声心动图(intracardiac echocardiography, ICE):ICE 是指将带有超声探头的特殊心导管经外周静脉送入心腔内,其可以准确识别肺静脉边界和心房壁,建立更精准的三维模型,在未进行术前成像或房间隔穿刺的情况下也可以帮助临床医师快速、准确、安全地进行图像绘制,有助于将二维图像整合到三维解剖标测系统中,更直观地显示解剖关系和实时导管位置<sup>[24]</sup>。ICE 对于标测和消融起源于心内突出结构(如乳头肌、假腱索和调节束)的心律失常至关重要,同时可以观察心肌收缩、心律失常等情况下的心肌基质是否存在瘢痕或纤维化<sup>[25]</sup>。房间隔穿刺术是目前常用的建立右心至左心系统通道的一种术式,在心律失常射频消融术及结构性心脏病治疗过程

中具有重要作用。目前X线引导下房间隔穿刺已在临床广泛应用,但其对房间隔及卵圆窝多利用特定的解剖标志(如主动脉、下腔静脉、希氏束)进行间接定位,存在时相误差和个体差异。将带有超声探头的特殊导管经外周静脉送入心脏实施术中ICE,可实时、直观显示房间隔及卵圆窝,且操作灵活,可提高房间隔穿刺的准确性和安全性,减少X线曝光和造影剂用量。研究<sup>[26]</sup>显示,于ICE引导下LAAO术在提高手术成功率、随访围术期并发症和栓塞事件方面均有一定的价值。相较于TEE,于ICE引导下LAAO术具有无需全身麻醉、手术和住院时间短,以及减少食管损伤并发症发生、X线曝光程度和造影剂用量等优点。准确测量左心耳口部直径和深度是LAAO术中选择合适封堵器的前提,也是决定LAAO术成功与否的关键,ICE可准确提供左心耳的尺寸信息,也是排除术中血栓的必要手段<sup>[27]</sup>。研究<sup>[28]</sup>显示,于ICE引导下Watchman FLX植入术成功率高,并发症少,LAAO术效果显著,与应用TEE进行术中成像的PINNACLE FLX植入术疗效和安全性结果均相当,目前已成为LAAO术中TEE的有效替代方案。

6. 斑点追踪超声心动图(speckle tracking echocardiography, STE):STE克服了TDI的角度依赖性,不受相邻心肌牵拉的影响,可提供有关心房重构的更多信息。二维STE测得的左房应变依据收缩方向可分为纵向应变(LALS)、径向应变(LARS)、环向应变(LACS);依据生理功能时相可分为储器期应变(LASr)、通道期应变(LAScd)和LASct。最近研究<sup>[29]</sup>表明LALS可反映房颤负担,且与新发房颤风险增加有关。在隐源性脑卒中和无症状房颤患者中,LALS显著降低,以LALS<20%诊断无症状房颤的灵敏度为71%<sup>[30]</sup>。另外,LALS是原发瓣膜性心脏病患者LAAFV减低和血栓形成的独立预测因子,且不受心率影响,具有较好的临床价值<sup>[31]</sup>。研究<sup>[32]</sup>显示,在无房颤或脑卒中人群中,将LASr加入CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc评分标准中,可以提高预测脑卒中的准确性;同时,在诊断射血分数保留型心力衰竭引起的呼吸困难过程中,运动状态下左房顺应性较静息状态下的左房顺应性和E/e'具有更优的诊断能力<sup>[33]</sup>。但二维STE仍存在一定不足:①缺乏专业的心房分析软件,借用了左室的测量方法,而心房壁薄且心房腔不对称的特点使得左室应变的测量方法不能很好地适用于左房;②各临床研究间参考点选择(P波、QRS波)和切面选择(四腔心、两腔心切面)不一致,无法进行相互比较;③存在跨平面失追踪现象。三维STE克服了二维STE存在跨平面失追踪的现象,理论上其重复性更好,且增加了左房面积应变参数,可以更好地评估左房功能。Taskin等<sup>[34]</sup>应用三维STE评估冠状动脉迂曲患者左房功能,结果显示其左房主动应变较对照组减低( $P<0.05$ ),表明其可能存在亚临床左房功能损害。此外,三维STE还可用于评价阵发性房颤、肥厚性心肌病、高血压、淀粉样变性和持续性窦性心动过速患者早期左房功能受损<sup>[35]</sup>。由于目前三维STE在左房中的应用较少,其评估左房功能和结构是否优于2D-STE尚需大样本、多中心研究进一步验证。

### 三、总结与展望

总之,不同超声心动图技术具有各自的优缺点,需结合临床实际情况进行选择。如TDI在心房电机机械功能的评估中发

挥着不可替代的作用,但存在角度依赖性,取样声束应尽可能与心肌运动方向一致;TEE探头靠近左房,可对左心耳清晰显像,但却不可避免局部麻醉和食管损伤;二维STE克服了角度依赖性且不受相邻心肌牵拉影响,但其正常参考值尚未能统一。近年来超声心动图在左房结构和功能的评估方面也涌现了不少新技术,如彩色多普勒与斑点追踪技术结合产生的血流向量成像可以将速度信息转换为压力信息,从而获得心房内相对压力的分布情况,在左房功能的评估中展现出良好前景;另外,利用心肌舒张期自然拉伸产生的拉伸波进行的心腔内弹性成像是否能用于评估左房僵硬程度,以及心肌声学造影能否用于评估房颤患者左房纤维化负荷及心肌活性,均是今后的研究方向。相信随着超声技术的不断更新,超声心动图会在多种疾病左房结构和功能的评估中具有潜在的应用前景,为临床疾病的诊治提供更为可靠的信息。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] Venkateshvaran A, Tureli HO, Faxén UL, et al. Left atrial reservoir strain improves diagnostic accuracy of the 2016 ASE/EACVI diastolic algorithm in patients with preserved left ventricular ejection fraction: insights from the KARUM haemodynamic database[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2022, 23(9): 1157-1168.
- [3] 李延广,王玉堂.心房心肌病与心房颤动:病与症的纠葛[J].中华心律失常学杂志, 2022, 26(3): 198-201.
- [4] Hsiao SH. Left atrial expansion index is associated with recurrent stroke[J]. Anatol J Cardiol, 2021, 25(7): 484-490.
- [5] Genovese D, Muraru D, Marra MP, et al. Left atrial expansion index for noninvasive estimation of pulmonary capillary wedge pressure: a cardiac catheterization validation study[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2021, 34(12): 1242-1252.
- [6] Sargento L, Vicente Simões A, Longo S, et al. Left atrial function index predicts long-term survival in stable outpatients with systolic heart failure[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2017, 18(2): 119-127.
- [7] Shamekhi J, Nguyen TQA, Sigel H, et al. Left atrial function index (LAFI) and outcome in patients undergoing transcatheter aortic valve replacement[J]. Clin Res Cardiol, 2022, 111(8): 944-954.
- [8] Müller P, Weijs B, Bemelmans NMAA, 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.
- [9] Angelini E, Sieweke JT, Berliner D, et al. Echocardiographic parameters indicating left atrial reverse remodeling after catheter ablation for atrial fibrillation[J]. Front Cardiovasc Med, 2023, 10(1): 1270422.
- [10] Meltzer SN, Phatak PM, Fazlalizadeh H, et al. Three-dimensional

- echocardiographic left atrial appendage volumetric analysis[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2021, 34(9):987-995.
- [11] Feng C, Chen L, Li J, et al. Three-dimensional echocardiographic measurements using automated quantification software for big data processing[J]. *J Xray Sci Technol*, 2017, 25(2):313-321.
- [12] Papadopoulos K, Ikonomidis I, Özden Ö, et al. Level of agreement between three-dimensional transthoracic and transesophageal echocardiography for mitral annulus evaluation: a feasibility and comparison study[J]. *Echocardiography*, 2022, 39(12):1512-1521.
- [13] Russo C, Jin Z, Homma S, et al. LA phasic volumes and reservoir function in the elderly by real-time 3D echocardiography[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(9):976-985.
- [14] 游钊, 陈新云, 冯雪涛, 等. 高血压患者左心房功能与血压分级的相关性[J]. *中华高血压杂志*, 2023, 31(11):1064-1070.
- [15] Yildirim A, Tokgözoğlu SL, Yildirim M, et al. Role of echocardiography on early diagnosis of atrial remodelling and fibrosis in elite athletes[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2023, 39(7):1299-1306.
- [16] 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.
- [17] 李永佳, 何文, 张巍, 等. 非瓣膜性心房颤动患者及窦性心律者左心耳排空流速与左房功能参数的相关性研究[J]. *临床超声医学杂志*, 2023, 25(5):340-344.
- [18] Ueno Y, Miyamoto N, Hira K, et al. Left atrial appendage flow velocity predicts occult atrial fibrillation in cryptogenic stroke: a CRYPTON-ICM registry[J]. *J Neurol*, 2023, 270(12):5878-5888.
- [19] Saric M, Armour AC, Arnaout MS, et al. Guidelines for the use of echocardiography in the evaluation of a cardiac source of embolism[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(1):1-42.
- [20] 张又红, 伍伟科, 郑剑. 经食管实时三维超声心动图评估非瓣膜性房颤患者左心耳功能的价值观察[J]. *广州医科大学学报*, 2022, 50(1):46-50.
- [21] 赵志先, 刘宇. 经食管实时三维超声心动图评价房颤患者左心耳功能及其与血栓形成的相关性[J]. *中国医学创新*, 2023, 20(11):104-107.
- [22] Sun A, Ren S, Xiao Y, et al. Real-time 3D echocardiographic transilluminated imaging combined with artificially intelligent left atrial appendage measurement for atrial fibrillation interventional procedures[J]. *Front Physiol*, 2022, 13(1):1043551.
- [23] Hahn RT, Saric M, Faletta FF, et al. Recommended standards for the performance of transesophageal echocardiographic screening for structural heart intervention: from the American Society of Echocardiography[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2022, 35(1):1-76.
- [24] Xia X, Sun H, Zhou X, et al. Three-dimensional modeling of the left atrium and pulmonary veins with a precise intracardiac echocardiography approach[J]. *J Vis Exp*, 2023(196):65353.
- [25] Jingquan Z, Deyong L. Intracardiac echocardiography Chinese expert consensus[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9(10):1012731.
- [26] Berti S, Pastormerlo LE, Korsholm K, et al. Intracardiac echocardiography for guidance of transcatheter left atrial appendage occlusion: an expert consensus document [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2021, 98(4):815-825.
- [27] Shang X, Sun M, Wang Z, et al. Comparison of intracardiac vs. transesophageal echocardiography for “one-stop” procedures of combined radiofrequency catheter ablation and left atrial appendage closure with the Watchman device in the treatment of atrial fibrillation[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10(1):1265550.
- [28] Nielsen-Kudsk JE, Berti S, Caprioglio F, et al. Intracardiac echocardiography to guide Watchman FLX implantation [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2023, 16(6):643-651.
- [29] Takagi T, Hosomi T. Peak atrial longitudinal strain represents atrial fibrillation burden in daily practice: clinical implication of routine left atrial strain measurements [J]. *J Echocardiogr*, 2023, 21(3):113-121.
- [30] Anagnostopoulos I, Kousta M, Kossyvakis C, et al. Atrial strain and occult atrial fibrillation in cryptogenic stroke patients: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Clin Res Cardiol*, 2023, 112(11):1600-1609.
- [31] Abdelhamid S, Biomy R, Kabil H, et al. Association of left atrial deformation analysis by speckle tracking echocardiography with left atrial appendage thrombus in patients with primary valvular heart disease[J]. *Cureus*, 2023, 15(2):e35151.
- [32] Maheshwari A, Norby FL, Inciardi RM, et al. Left atrial mechanical dysfunction and the risk for ischemic stroke in people without prevalent atrial fibrillation or stroke: a prospective cohort study [J]. *Ann Intern Med*, 2023, 176(1):39-48.
- [33] 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.
- [34] Taskin U, Mammadov G, Topaloglu C, et al. Evaluation of left atrial and left ventricular functions with 3D speckle-tracking echocardiography in patients with coronary artery tortuosity [J]. *Echocardiography*, 2023, 40(11):1237-1242.
- [35] Yuda S. Current clinical applications of speckle tracking echocardiography for assessment of left atrial function [J]. *J Echocardiogr*, 2021, 19(3):129-140.

(收稿日期:2024-02-20)