

## 心房颤动左心房功能的超声研究进展

申悦竹<sup>1</sup> 杜鑫<sup>2</sup> 蔡衡<sup>2</sup>

(1. 天津医科大学研究生院, 天津 300052; 2. 天津医科大学总医院心内科, 天津 300052)

**【摘要】** 心房颤动(Af)是目前临床最常见的心律失常之一,在 Af 的进展过程中,出现左心房(LA)扩张的结构性病变之前存在较为复杂的病理生理变化,LA 功能评估在 Af 患者中,比 LA 结构评估更具有临床价值。探索新的方式来评价 LA 功能,对于 Af 患者的病情评估、疗效观察以及预后的判断方面具有重要的意义。

**【关键词】** 心房颤动;左心房功能;超声心动图

**【DOI】**10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2021.04.011

## Echocardiography on Left Atrial Function in Atrial Fibrillation

SHEN Yuezhu<sup>1</sup>, DU Xin<sup>2</sup>, CAI Heng<sup>2</sup>

(1. *Tianjin Medical University Graduate School, Tianjin 300052, China*; 2. *Department of Cardiology, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China*)

**【Abstract】** Atrial fibrillation(Af) is one of the most common arrhythmias in clinic. During the progression of Af, there were complex pathophysiological changes before the occurrence of structural lesions of left atrium(LA) dilation. The evaluation of LA function in Af patients is of more clinical value than the evaluation of LA structure. The exploration of a new way to evaluate the function of LA is of great significance for the condition assessment, curative effect observation and prognosis judgment of Af patients.

**【Key words】** Atrial fibrillation; Left atrial function; Echocardiography

心房颤动(atrial fibrillation, Af)是目前临床最常见的心律失常之一,其发展结局往往不良,Af 的进展中常常伴随左心房(left atrium, LA)结构与功能的改变。探索新的方式来评价 LA 功能,对于 Af 患者的病情评估、疗效观察以及预后判断具有重要的意义。目前,超声心动图的多项评估指标已被证实有效可靠,但临床指南尚未采用,可能是由于在技术层面尚未统一评价标准。

### 1 LA 与 Af

Af 是临床最常见的心律失常类型之一,研究证实 Af 与卒中、全身栓塞、心力衰竭和全因死亡率相关。血栓栓塞事件是 Af 的主要并发症,与 Af 相关的血栓栓子(约 89%)被认为主要来自左心耳<sup>[1]</sup>。目前临床根据 Af 发作时间及干预治疗推荐 Af 分类为:阵发性 Af, Af 发作 7 d 内自行终止转复窦性心律;持续性 Af, Af 发作超过 7 d 或通过药物、复律等干预后转复窦性心律;长程持续性 Af, Af 发作持续时间超过 12 个月;永久性 Af,转复失败或未转复的持续 Af<sup>[2]</sup>。Af 患者

并非时刻处于 Af 状态,而 Af 的发生和发展是持续演变的过程且常伴随 LA 结构与功能的改变。虽然目前 Af 治疗指南不包括 LA 功能的评估,但已有越来越多的证据支持它应用于 Af 患者的风险评估<sup>[1]</sup>。

在整个心动周期中,LA 主要有三个功能:储存功能是心室收缩期时储存来自肺静脉的血液;输送功能是心室舒张早期被动运输心房血液至心室,即被动泵血阶段;收缩功能是心室舒张晚期,心房主动收缩使心室进一步充盈,即主动泵血阶段。这三种功能都受生理因素的调节,包括影响心室泵血的前负荷和后负荷<sup>[3]</sup>。当心脏负荷改变时,三种功能相互依存,彼此代偿,这一适应性正是确保左心室(left ventricle, LV)充盈的重要前提<sup>[4]</sup>。当心脏负荷发生病理性或永久性的改变时,如出现高血压、主动脉狭窄和心律失常等因素时,LA 功能的适应性改变会出现失代偿。

在 Af 患者中当 LA 功能发生失代偿时,相应的 LV 充盈量与输出量的减少,导致 LA 压力升高,出现 LA 扩张和心肌重构,病程较长时心房壁僵硬增加,顺应

性及充盈能力降低,加重 LA 结构及功能损害<sup>[5]</sup>。同时亦导致 LA 发生电重构,引起心房传导性、兴奋性及自律性改变,并使 Af 进一步恶化。故指南推荐 Af 患者评估 LA 容积<sup>[6]</sup>。

然而深入研究发现,LA 容积增大尚不能完全解释 Af 的发生和发展,早期 Af 的发生可能与心房肌内的纤维病变有关,这些纤维病变可形成心房内的折返环路,诱导和延续 Af 的发生,这也解释了阵发性 Af 进展为持续性,甚至永久性 Af 的转变<sup>[6-7]</sup>。这进一步表明在 Af 的进展过程中,出现 LA 扩张之前存在复杂的病理生理变化,使得 LA 功能评估在早期无 LA 结构改变的 Af 患者中,比最大 LA 容积的评估更具有临床价值<sup>[8]</sup>。因此,对于早期 Af 患者,LA 功能评估比 LA 结构评估更具有临床价值<sup>[8]</sup>。

## 2 LA 的超声评估

超声心动图作为无创、安全的心脏评估工具,具有多功能性、实时成像能力和较高的时空分辨率。越来越

多的研究发现 Af 患者应用超声评价 LA 功能优于 LA 结构。

### 2.1 M 型超声

目前临床上常在胸骨旁 LV 长轴切面上测量左心室收缩末期 LA 前后径来评价 LA 的大小。由于 LA 解剖结构的不对称性,LA 前后径并不能真正反映 Af 患者的 LA 扩张水平,但鉴于其测量方法简便,常用于初步估测 LA 结构。

### 2.2 二维超声

经典的 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,于心尖四腔心切面及两腔心切面分别测量一个心动周期内 LA 在不同时相的容积测量指标,主要包括左室收缩末期 LA 最大容积 (LAVmax)、左室舒张末期 LA 最小容积 (LAVmin)、心电图上 P 波开始时 LA 收缩期前容积 (LAVpreA),并进一步计算出射血分数 (ejection fraction, EF)、被动 EF 和主动 EF 等(表 1)<sup>[9]</sup>。

表 1 Af 患者 LA 功能与 LA 容积

LA 功能	LA 容积分数	计算
LA 总功能	LAEF(总 EF)	$(LAV_{max}-LAV_{min})/LAV_{max}$
储存功能	扩张指数	$(LAV_{max}-LAV_{min})/LAV_{min}$
输送功能*	被动 EF	$(LAV_{max}-LAV_{preA})/LAV_{max}$
收缩功能	主动 EF	$(LAV_{preA}-LAV_{min})/LAV_{preA}$

注: \* :实际上是血液通过 LA 的体积,不能由储存功能或泵血功能来计算;LAEF:左心房射血分数。

### 2.3 多普勒超声

LA 充盈(肺静脉血流)和 LA 排空(二尖瓣血流)的多普勒波形可用来估计 LA 相对功能。二尖瓣血流频谱中可见 Af 患者二尖瓣口的舒张晚期充盈波(A 波)消失,而 A 波的出现并逐渐升高预示 LA 功能的恢复<sup>[10]</sup>。肺静脉血流频谱中 Af 患者心房收缩期负向 A 波消失,LA 压力升高,心室收缩期 S 波明显降低,舒张期 D 波增高。但对于 Af 来说,获得高质量的血流频谱相对困难,故其各项指标评价 LA 功能较为困难。

### 2.4 组织多普勒成像

常用的组织多普勒成像(tissue Doppler imaging, TDI)技术为脉冲组织多普勒或彩色组织多普勒。取样线置于心尖四腔心切面在二尖瓣环室间隔侧获得二尖瓣环在心脏长轴方向的运动曲线<sup>[11]</sup>。

因为 A 波峰值与左心房射血分数(left atrium ejection fraction, LAEF)相关性高,准确性不受 LV 负荷及房室压差的影响,常用于 LA 功能的评估,提出了超声心动图同步心电图上 P 波的起始时间至组织多普勒追踪 A 波波峰的时间(the time from the onset of the P-wave to the peak A'-wave on the tissue Doppler imaging, PA-

TDI),代表 LA 从电激活到机械激活之间的持续时间,反映了 LA 的总激活时间,是 LA 纤维化和 LA 心肌重构的标志<sup>[12]</sup>。Af 患者相较于正常人群,PA-TDI 出现明显延长,这表明其 LA 发生心肌纤维化与功能受损,被证实为新发 Af 及射频消融或电复律后 Af 复发的独立预测指标<sup>[13-16]</sup>。研究进一步发现在发生卒中的 Af 患者中,PA-TDI 出现了显著延长,并证实了 PA-TDI 为除 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分外又一独立预测 Af 卒中的标志,PA-TDI 每增加 10 ms, Af 患者卒中风险增加 8% (95% CI 1.02~1.15,  $P=0.012$ )<sup>[17]</sup>,表明 Af 患者 LA 功能受损与其卒中也存在着一定关联<sup>[17-19]</sup>。PA-TDI 指标的提出至今,由于其操作的简单、快速、可靠,被越来越多的研究应用于 Af 患者的评估,相关研究发现与保持窦性心律的患者相比,新发 Af 的 PA-TDI 时间更长 $[(172\pm 25)\text{ms vs } (150\pm 20)\text{ms}]$ <sup>[14]</sup>,但目前尚缺乏大样本、长时间的随访数据来进一步验证,这也表明在 PA-TDI 从科研走入临床实际应用仍需大型研究进一步完善,但其对于 Af 患者 LA 功能评估的价值是值得肯定的<sup>[20]</sup>。

由于 Af 患者并非时时处于窦性心律状态,心电图对于 P 波和窦性心律的要求限制了 PA-TDI 在 Af 中对

于左心功能评估的广泛应用,并且该技术存在角度依赖性以及受心脏运动的影响,组织多普勒速度可能会出现误差<sup>[9]</sup>,但是 PA-TDI 在预测新发 Af 和射频导管消融术成功方面的价值已被证实,增强了非侵入性超声心动图技术在评估 LA 功能的可行性<sup>[21]</sup>。

## 2.5 应变及应变率成像

### 2.5.1 应变及应变率

应变及应变率分别代表心肌形变的大小和形变速率,它们可使用 TDI 或斑点追踪成像技术 (speckle tracking echocardiography, STE) 来评估心肌整体及局部功能<sup>[22]</sup>。这两项指标以前较多应用于心室肌评估,近年来逐渐用于心房功能评价,特别是心房纵向应变的评估是分析 Af 节律下 LA 功能的良好参数。新的 EACVI/EHRA 专家共识指出评估 Af 患者二维 STE 和 LA 应变是极具前景的指标<sup>[23-24]</sup>。Kuppahally 等<sup>[25]</sup>已证实钆造影剂延迟增强心脏磁共振成像测定的 LA 纤维化程度与 LA 应变之间存在着负相关,表明应变在评估 LA 纤维化程度上对于 Af 患者 LA 功能评价具有较好的敏感性。

### 2.5.2 二维 STE

二维 STE 是目前评估应变及应变率最常用的技术,它一般在心尖四腔心切面及两腔心切面分析,将左

房壁分为 12 个节段,根据划分时期(心室周期或心房周期)的不同,LA 应变参数也不同。心房周期下,第一个负峰应变表示 LA 收缩功能,正峰应变对应于输送功能,两个峰值的和表示储备功能。目前研究常用心室分期,分为 LV 收缩期、LV 舒张早期及 LA 收缩期,这三个时期的应变及应变率分别反映了 LA 的储备、输送及收缩功能<sup>[9]</sup>。Af 患者需连续 5 次测量取平均值,通过软件计算给出每一节段的纵向应变曲线以及反映 LA 功能病理生理学的总平均曲线。

正常人群中还有 LA 收缩峰值应变 (peak atrial contraction strain, PACS) 和 LA 纵向峰值应变 (peak atrial longitudinal strain, PALS) 两个参数,但在 Af 患者中 PACS 消失,证明了由于 LA 结构的重构导致 LA 收缩功能的下降,也是 Af 病程发展的损害之一(图 1),在 580 例无房性心律失常史的成人中应用二维 STE 评估研究,发现新发 Af 患者有较低的 LA 主动 EF ( $16\% \pm 5\%$  vs  $28\% \pm 8\%$ ,  $P < 0.001$ ) 和 LA 收缩时较低的 LA 应变率 ( $-0.9\% \pm 0.2\%$  vs  $-1.4\% \pm 0.5\%$ ,  $P < 0.001$ ),以及较大的 LA 容积指数 [ $(59 \pm 12)$  mL/m<sup>2</sup> vs  $(46 \pm 16)$  mL/m<sup>2</sup>,  $P < 0.001$ ],多因素 logistic 回归分析显示 STE 评估的 LA 主动 EF 是新发 Af 的独立预测因子<sup>[26]</sup>。

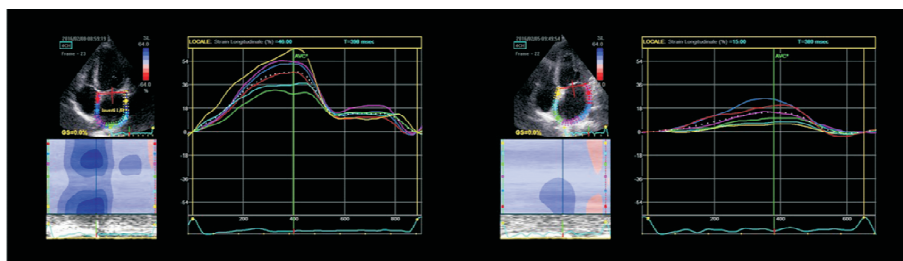


图 1 健康受试者 LA 应变曲线(左)<sup>[27]</sup>和 Af 患者 LA 应变曲线(右)

Af 患者除 PACS 消失之外,PALS 也是反应 LA 顺应性的最重要的应变参数。Af 中,PALS 是 LA 逆重构的独立预测因子 ( $OR\ 4.44$ ,  $P = 0.007$ ),是维持应变率的独立预测因子 ( $OR\ 2.57$ ,  $P = 0.003$ ),如果 PALS 严重受损,则 Af 患者的 LA 纤维化可能处于更晚期,手术后可能无法逆转<sup>[28]</sup>。另外 PALS 也是复律后 Af 复发的预测指标,PALS 改善的患者,其复发 Af 的概率更低<sup>[29-30]</sup>。

### 2.5.3 三维 STE

由于三维空间下能更客观、准确、完整地追踪心肌的运动轨迹,三维 STE 技术逐渐兴起。通过三维 STE 获取心脏容积-时间曲线,反映 LA 在不同心动周期 LA 容积的动态变化,从而计算出 LA 节段及整体的应变率、旋转和扭转等参数,能更准确地评估 LA 容积及功

能变化,并且能评估 LA 心内膜面积应变,三维 STE 测量的心房收缩期前的 LA 心内膜最大应变具有很高的准确性,与通过测量 LA 容积评估的 LAEF 和主动 EF 相比更为准确<sup>[31]</sup>。对于 Af 患者,在应用三维 STE 评估阵发性 Af 患者 LA 功能研究中发现,阵发性 Af 患者存在 LA 非同步化和传导延迟<sup>[32]</sup>。同时三维 STE 可评估 LA 电-机械活动和 LA 解剖结构,比较二者之间的差异,有助于 Af 病理生理学机制的研究,并且在预测消融后 Af 复发具有明显优势<sup>[32]</sup>。研究结果显示 LA 容积指数、整体峰值应变和时间-峰值标准差是高血压患者发生阵发性 Af 的独立危险因素,证明阵发性 Af 的发生与 LA 顺应性降低、电-机械分离以及 LA 几何形变有关<sup>[33]</sup>。由于空间分辨率及时间分辨率需求较高,Af 患者在 Af 发作时 LA 收缩不规律较难获取准

确数据,故而虽提出此评估标准,但较二维 STE 而言应用率低,在临床上应用受限<sup>[34]</sup>。

## 2.6 实时三维超声

实时三维超声是基于矩阵型探头扫描和微电子处理技术,实时直观地显示心脏的三维解剖结构,它可在一定程度上弥补二维下对心脏结构检测的限制,目前在 LV 评估上应用广泛,近年来也逐渐应用至心房评估上<sup>[35]</sup>。与二维下应用 Simpson 双平面法评估 LA 容积相比,它弥补了二维下应用双平面面积方法计算产生缩短而造成的误差,将其与心脏磁共振成像比较,发现实时三维超声心动图成像更为精确,并且结果可重复性更高<sup>[36]</sup>。但三维超声的图像要求高的成像质量,采集需患者的合作,即在连续的心脏周期中进行三维重建,对于 R-R 间隔不规则的患者如 Af 节律中较难进行<sup>[37]</sup>;其次目前实时三维超声在计算软件上仍是基于 LV 测量的基础上设计的,由于针对 LA 测量的缺少,实时三维超声心动图在 LA 测量与评估上仍有较大的进步空间。

## 3 展望

对于 Af 患者 LA 功能超声评估而言,由于心动周期不稳定,LA 和 LV 功能之间的相互作用使 LA 功能分析复杂化等原因,传统超声技术如 M 型超声、二维超声及多普勒超声等存在测量局限性,虽然目前研究通过增加测量心动周期数量,如测量 5 个心动周期取平均值来弥补心动周期不稳定所带来的误差,但仍旧不能满足目前临床评估 LA 功能的需求,新的超声评估指标不断出现,如 STE 技术、PA-TDI 和实时三维超声等,给目前 LA 功能评估带来了新的评估方向。

目前各项研究显示这些新型指标在 Af 患者 LA 功能评估上,确实具有各自的优点与价值。PA-TDI 是目前无创性评估 LA 纤维化和 LA 心肌重构的标志,其在 Af 患者发生与预后的价值是十分明确的。实时三维超声可弥补二维下对心脏结构检测的限制,具有较高准确性与可重复性,虽然目前缺少大量针对 Af 患者的研究数据,但其或可成为未来 Af 评估的研究方向。而评估应变和应变率的 STE 技术通过非多普勒、角度无关的量化提供了高度可重复的 LA 形变测量方法,它的定量测量形变能力反映了 LA 结构改变和心肌纤维化的程度,具有较高的准确性和重现性<sup>[34]</sup>。STE 技术作为目前国际上新兴的重要超声技术,在 Af 患者评估的临床应用上具有较好的发展前景,可以用来预测 Af 发生风险,评估 LA 纤维化程度和 LA 功能,量化复律或消融治疗后 Af 复发和卒中风险,或可进一步完善 Af 评估。3D-STE 已在 Af 的研究中获得良好的结果,不仅可分析 LA 纵向形变,而且可分析环向、径向和区

域心肌的应变。

但新的超声指标也确实存在各自的限制性,目前尚无一种技术可全面评估 Af 患者 LA 的功能,PA-TDI 对于 Af 患者窦性心律状态的要求以及角度依赖性。令其在 Af 患者评估应用中受到限制;实时三维超声对于心脏节律要求的严格性,也成为其在 Af 患者中应用的阻碍。目前 STE 技术或更具有前景,虽缺乏更专业应用于 LA 评估的分析程序和专业的数据采集分析人员,但目前针对 LA 的 STE 专业分析软件正在同步开发,相关应变参数的应用也在优化。目前研究的大多数结果是基于少数受试者,并受年龄、性别、LA 区域和超声仪器的影响,需大型前瞻性研究和更强有力的临床结果数据来证实其评估能力。

Af 患者 LA 功能超声评估的研究为 LA 对 Af 的发生和进展研究提供了新的见解,超声评估仍是预测 Af 发生、预后及并发症的有效工具。目前对于 Af 患者 LA 功能的超声评估仍需进一步研究,以提高目前评估指标的规范性及准确性,并探索新的评估指标。

## 参考文献

- [1] 魏泽人,张天磊,杨宁,等. 斑点追踪超声心动图预测非瓣膜性心房颤动患者左心耳血栓形成的研究进展[J]. 心血管病学进展,2020,41(3):219-222.
- [2] Zimetbaum P. Atrial fibrillation[J]. *Ann Intern Med*,2017,166(5):ITC33-ITC48.
- [3] Blume GG, Mcleod CJ, Barnes ME, et al. Left atrial function: physiology, assessment, and clinical implications[J]. *Eur J Echocardiogr*,2011,12(6):421-430.
- [4] 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.
- [5] Negishi K, Negishi T, Zardkoobi O, et al. Left atrial booster pump function is an independent predictor of subsequent life-threatening ventricular arrhythmias in non-ischaemic cardiomyopathy[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*,2016,17(10):1153-1160.
- [6] Inciardi RM, Giugliano RP, Claggett B, et al. Left atrial structure and function and the risk of death or heart failure in atrial fibrillation[J]. *Eur J Heart Fail*,2019,21(12):1571-1579.
- [7] Pagola J, González-Alujas T, Flores A, et al. Left atria strain is a surrogate marker for detection of atrial fibrillation in cryptogenic strokes[J]. *Stroke*,2014,45(8):e164-e166.
- [8] Lee JM, Shim J, Uhm JS, et al. Impact of increased orifice size and decreased flow velocity of left atrial appendage on stroke in nonvalvular atrial fibrillation[J]. *Am J Cardiol*,2014,113(6):963-969.
- [9] Hoit BD. Left atrial size and function: role in prognosis[J]. *J Am Coll Cardiol*,2014,63(6):493-505.
- [10] Manning WJ, Silverman DI, Katz SE, et al. Impaired left atrial mechanical function after cardioversion: relation to the duration of atrial fibrillation[J]. *J Am Coll Cardiol*,1994,23(7):1535-1540.
- [11] Thomas L, Levett K, Boyd A, et al. Changes in regional left atrial function with aging: evaluation by Doppler tissue imaging[J]. *Eur J Echocardiogr*,2003,4(2):92-100.

- [12] Müller P, Hars C, Schiedat F, et al. Correlation between total atrial conduction time estimated via tissue Doppler imaging (PA-TDI Interval), structural atrial remodeling and new-onset of atrial fibrillation after cardiac surgery [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2013, 24(6): 626-631.
- [13] Antoni ML, Bertini M, Atary JZ, et al. Predictive value of total atrial conduction time estimated with tissue Doppler imaging for the development of new-onset atrial fibrillation after acute myocardial infarction [J]. *Am J Cardiol*, 2010, 106(2): 198-203.
- [14] de Vos CB, Weijs B, Crijns HJ, et al. Atrial tissue Doppler imaging for prediction of new-onset atrial fibrillation [J]. *Heart*, 2009, 95(10): 835-840.
- [15] Özlü MF, Erdem K, Kırış G, et al. Predictive value of total atrial conduction time measured with tissue Doppler imaging for postoperative atrial fibrillation after coronary artery bypass surgery [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2013, 37(1): 27-33.
- [16] Müller P, Schiedat F, Dietrich JW, et al. Reverse atrial remodeling in patients who maintain sinus rhythm after electrical cardioversion: evidence derived from the measurement of total atrial conduction time assessed by PA-TDI interval [J]. *J Echocardiogr*, 2014, 12(4): 142-150.
- [17] 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.
- [18] Siebermair J, Kholmovski EG, Marrouche N. Assessment of left atrial fibrosis by late gadolinium enhancement magnetic resonance imaging: methodology and clinical implications [J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2017, 3(8): 791-802.
- [19] Fujita M, Cheng XW, Inden Y, et al. Mechanisms with clinical implications for atrial fibrillation-associated remodeling: cathepsin K expression, regulation, and therapeutic target and biomarker [J]. *J Am Heart Assoc*, 2013, 2(6): e000503.
- [20] 范建华, 陈弹. 心房总传导时间研究进展 [J]. *心血管病学进展*, 2015, 36(3): 296-299.
- [21] Leung M, Abou R, van Rosendaal PJ, et al. Relation of echocardiographic markers of left atrial fibrosis to atrial fibrillation burden [J]. *Am J Cardiol*, 2018, 122(4): 584-591.
- [22] Jensen MT, Sogaard P, Gustafsson I, et al. Echocardiography improves prediction of major adverse cardiovascular events in a population with type 1 diabetes and without known heart disease: the Thousand & 1 Study [J]. *Diabetologia*, 2019, 62(12): 2354-2364.
- [23] Cameli M, Lisi M, Righini FM, et al. Novel echocardiographic techniques to assess left atrial size, anatomy and function [J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2012, 10: 4.
- [24] Donal E, Lip GY, Galderisi M, et al. EACVI/EHRA Expert Consensus Document on the role of multi-modality imaging for the evaluation of patients with atrial fibrillation [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(4): 355-383.
- [25] Kuppahally SS, Akoum N, Burgon NS, et al. Left atrial strain and strain rate in patients with paroxysmal and persistent atrial fibrillation: relationship to left atrial structural remodeling detected by delayed-enhancement MRI [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(3): 231-239.
- [26] Hirose T, Kawasaki M, Tanaka R, et al. Left atrial function assessed by speckle tracking echocardiography as a predictor of new-onset non-valvular atrial fibrillation: results from a prospective study in 580 adults [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2012, 13(3): 243-250.
- [27] Cameli M, Mandoli GE, Loiacono F, et al. Left atrial strain: a useful index in atrial fibrillation [J]. *Int J Cardiol*, 2016, 220: 208-213.
- [28] Machino-Ohtsuka T, Seo Y, Ishizu T, et al. Significant improvement of left atrial and left atrial appendage function after catheter ablation for persistent atrial fibrillation [J]. *Circ J*, 2013, 77(7): 1695-1704.
- [29] Moreno-Ruiz LA, Madrid-Miller A, Martínez-Flores JE, et al. Left atrial longitudinal strain by speckle tracking as independent predictor of recurrence after electrical cardioversion in persistent and long standing persistent non-valvular atrial fibrillation [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35(9): 1587-1596.
- [30] 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.
- [31] Ebato M, Maezawa H, Tanabe A, et al. Left atrial area strain measured by three dimensional speckle tracking echocardiography represents global and regional left atrial function at once [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 59: E1269.
- [32] Watanabe Y, Nakano Y, Hidaka T, et al. Mechanical and substrate abnormalities of the left atrium assessed by 3-dimensional speckle-tracking echocardiography and electroanatomic mapping system in patients with paroxysmal atrial fibrillation [J]. *Heart Rhythm*, 2015, 12(3): 490-497.
- [33] Furukawa A, Ishii K, Hyodo E, et al. Three-dimensional speckle tracking imaging for assessing left atrial function in hypertensive patients with paroxysmal atrial fibrillation [J]. *Int Heart J*, 2016, 57(6): 705-711.
- [34] Hoit BD. Assessment of left atrial function by echocardiography: novel insights [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2018, 20(10): 96.
- [35] Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(4): 412.
- [36] Mor-Avi V, Yodanis C, Jenkins C, et al. Real-time 3D echocardiographic quantification of left atrial volume: multicenter study for validation with CMR [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012, 5(8): 769-777.
- [37] Olsen FJ, Bertelsen L, de Knecht MC, et al. Multimodality cardiac imaging for the assessment of left atrial function and the association with atrial arrhythmias [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(10): e004947.

收稿日期: 2020-07-29