

## 二维斑点追踪技术在量化心血管疾病左房功能中的研究进展

黎益彤<sup>1</sup> 田家玮<sup>1</sup> 杜国庆<sup>1,2</sup>

(1. 哈尔滨医科大学附属第二医院超声医学科, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 广东省人民医院/广东省医学科学院超声科, 广东 广州 510080)

**【摘要】** 在心血管疾病中, 左房功能改变要早于左房结构重构, 及早发现左房功能异常并早期干预对改善患者预后具有重要意义。二维斑点追踪技术是一种通过实时分析心肌形变从而量化左房功能的新技术, 它可检测到细微的功能变化, 通过其获得的左房应变可评估心血管疾病风险提供有效信息。然而其在实际临床应用中缺乏统一的测量方法和正常参考值, 仍需进一步深入研究。现从二维斑点追踪技术原理、实际应用中存在的争议以及其对心血管疾病左房功能评估的研究进展进行综述。

**【关键词】** 左房功能; 二维斑点追踪成像; 左房应变; 心血管疾病

**【DOI】** 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2022.05.013

### Quantification of Left Atrial Function in Cardiovascular Diseases by Two-Dimensional Speckle Tracking Imaging

LI Yitong<sup>1</sup>, TIAN Jiawei<sup>1</sup>, DU Guoqing<sup>1,2</sup>

(1. Department of Ultrasound, The Second Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150086, Heilongjiang, China; 2. Department of Ultrasound, Guangdong Provincial People's Hospital/Guangdong Academy of Medical Sciences, Guangzhou 510080, Guangdong, China)

**【Abstract】** Left atrial function impairment precedes geometric remodeling in cardiovascular diseases. Early detection of left atrial dysfunction and early intervention are of great significance to improve the prognosis of patients. Two-dimensional speckle tracking imaging is a new technique for quantifying left atrial function by analyzing myocardial deformation in real time. It can detect the subtle changes and the acquired left atrial strain can provide useful information for assessing the risk of cardiovascular diseases. However, it lacks a unified measurement method and normal reference value in practical clinical application, which still needs further research. This article reviews the principle of two-dimensional speckle tracking technology, the disputes in practical application and its research progress in the evaluation of left atrial function in cardiovascular diseases.

**【Key words】** Left atrial function; Two-dimensional speckle tracking imaging; Left atrial strain; Cardiovascular diseases

左房结构重构或功能障碍是心血管疾病发展过程中的重要一环, 许多用来评估左房结构重构或功能障碍的超声参数已被证实是心血管事件的标志物<sup>[1]</sup>, 然而目前美国超声心动图协会指南中只纳入了代表左房结构重构的参数——左房容积指数 (left atrium volume index, LAVI) 作为临床预后的参考指标<sup>[2]</sup>。二维斑点追踪成像 (two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI) 是一种可评估左房功能的新技术, 它通过追踪心动周期内心肌的运动来识别心肌的主动形变和被动运动, 从而量化心肌功能, 获得左房三期应变, 较传统的组织多普勒成像技术有着半自动、无

角度依赖性和负荷依赖性小等优点<sup>[3]</sup>, 在帮助医师客观地评价左房功能的同时, 提供了丰富的病理生理学信息。近年来大量学者<sup>[2-3]</sup>发现左房应变在不同心血管疾病中都表现出极高的预后价值, 并且先于左房容积发生改变, 能更早地识别左室舒张功能障碍 (left ventricular diastolic dysfunction, LVDD)<sup>[4]</sup>。尽管越来越多的证据都肯定了 2D-STI 技术在评估左房功能中的应用价值, 但对于左房应变测量中时相的选择和正常应变参考值等问题仍存在一些争议。因此, 现主要针对左房应变参数的规范化测量、正常参考值以及其在心血管疾病中的诊断和预后价值做一综述, 以期

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (82071948)

通信作者: 田家玮, E-mail: jwitian2004@163.com; 杜国庆, E-mail: duguoging9@163.com

后续研究提供更多有价值的参考信息。

## 1 左房功能的意义

不同于左室,左房心肌壁薄,过去常被认为是通向左室的简单管道结构。然而整个心动周期内左房与左室相互协调,其调节左室充盈的独特作用受到越来越多学者的关注。左房功能共分为三个阶段,即储器、管道和收缩<sup>[5]</sup>。在收缩期和等容舒张期,左房作为一个容器,此时心房内充盈压低,被动地接受来自肺静脉的血流,慢慢地增加左房的容积;在舒张早期,左房作为一个管道,随着左房-左室压力梯度被动地排空左房内存储的血液;在舒张晚期,左房作为一个收缩泵,心房肌主动收缩,泵出剩余 25% 的血液<sup>[6]</sup>。然而在心房颤动(房颤)时,心房会失去有效的主动收缩,左室也通常失去 25% 的每搏输出量。左房功能在维持最佳心脏循环中起到至关重要的作用,一旦左室心肌受损导致顺应性下降,为了维持足够的心输出量,左房就会代偿性做功来补充左室充盈。长期超负荷做功会造成左房形态改变和功能下降,最终导致心房重构。

## 2 2D-STI 在量化左房功能中的研究

### 2.1 2D-STI 的应用原理

2D-STI 依靠超声和心肌组织相互作用生成心肌斑点图像,随着心肌发生形变,这些斑点的位置也随之变化,再利用图像处理算法在常规二维超声心动图图像的特定感兴趣区域内进行追踪。在心动周期中心肌运动产生的距离变化则称为应变,当距离减小(缩短)时,应变值为负值,当距离增大(延长)时,应变值为正值。应变率则反映了上述距离的变化速率<sup>[7]</sup>,从而对心肌功能进行全面的分析。针对心脏各腔室的不同特点,厂家们已研发相对应的软件工具和后处理系统来适应不同的房室结构,以求更准确地评估房室功能。然而不同厂家提供的软件在信号平滑处理、心内膜追踪和应变测量等方面存在差异<sup>[8]</sup>。因此,应用斑点追踪成像技术时应标注所使用的机器与软件型号,为后续研究者提供参考。

### 2.2 2D-STI 对左房功能的评估

2D-STI 传统上被用于分析左室心肌运动,近年来由于人们越来越关注左房的结构和功能,该技术开始用来评估左房功能<sup>[9]</sup>。但由于左房的生理结构有别于左室,未曾有统一标准。众多学者也致力于利用 2D-STI 标准化评估左房功能的方法,目前争议的热点主要有以下两个方面。

#### 2.2.1 左房心肌的追踪

由于左房独特的结构特点,感兴趣区域与左室描记略有不同,在心尖四腔心切面上以二尖瓣环一侧为

起点,沿着左房心内膜描记,直至对侧二尖瓣环,中间要排除肺静脉和左心耳的干扰。同理描记心尖两腔心切面可获得一个双平面左房应变测量,目前大多数研究采用此方法。但最近一项纳入 30 项研究<sup>[10]</sup>的 meta 分析比较了单一四腔心切面、两切面(四腔和两腔)以及三切面(四腔、两腔和三腔)获得的应变值发现无显著差异( $P=0.33$ ),证实采用单一四腔心切面测量左房应变的可行性。2018 年欧洲心脏病学会的指南<sup>[11]</sup>提出应变测量采用单一四腔心切面可重复性好,双平面法只作为一种选择。双平面测量法是否优于单一平面多次测量还有待进一步研究。无论采用哪个切面都应调整最佳的声波入射角度、深度和增益来避免左房预先缩短,以获得心动周期中完整的左房运动。建议在不显著降低空间分辨率的基础上采用相对较高的帧率(50~70 帧/s)以优化散斑追踪情况<sup>[1]</sup>。如果软件需要自定义心房感兴趣的心肌区域,根据心房壁的厚度,推荐调整宽度为 3 mm<sup>[12]</sup>。追踪结果应与实际左房心肌运动做动态对比观察,尤其应关注二尖瓣环和左房顶的运动,直观地分析跟踪的质量,从而判断左房应变评估的准确性。如果大于 1/3 的心房追踪点脱落,应舍去该分析结果<sup>[11]</sup>。

#### 2.2.2 应变测量参考时相的选择

不同的时相选择,左房应变的测量值也有所不同。目前常用的作为参考起始点的时相有两种<sup>[11]</sup>,R 波顶点(代表心房舒张末期)和 P 波起始点(代表心房收缩期),两种方法都被证实有相似的重复性。目前研究多采用 R 波作为参考点来定义一个左房周期,在 R-R 时相生成的单相应变曲线中可直观地得到左房储层应变(left atrial strain in the reservoir phase, LASr),也被称为左房最大纵向峰值应变。LASr 是左房三期应变中受关注度最高和预后相关性最强的参数,同时由 LASr 衍生出的左房刚度指数能较好地反映左房顺应性,不仅可无创性地识别升高的左室充盈压<sup>[13]</sup>,还是高血压患者靶器官损害的早期标志物<sup>[14]</sup>,具有极高的临床价值。其次以 QRS 波群作为参照分析时长更短<sup>[15]</sup>,且由于 R 波代表了心室收缩的开始,所以即使在房颤患者中也可采用 R-R 时相法,有广泛的适用性。而在 P-P 时相,左房参考起始点设于心房收缩前,生成的双向应变曲线更加贴合左房的生理过程,更易获得左房收缩应变(left atrial strain in the contraction phase, LASct)。Hayashi 等<sup>[16]</sup>研究发现 P-P 时相法获得的左房应变与三维超声测得的左房排空分数有更好的相关性。另一个前瞻性研究<sup>[17]</sup>发现 P-P 时相法获得的左房应变可很好地预测心力衰竭(心衰)患者心血管事件的发生。由此可见,不同时相的

选择都有其各自的参考价值。然而现阶段以 P 波作为参照的研究数量相对较少,因此,不同时相选择的比较尚不清楚,未来还需更多的大型前瞻性研究来阐述不同定义下的左房周期与临床结果的相关性。

### 2.3 左房应变的正常参考值

许多研究试图提出左房应变的标准值,但一直无统一标准。2014 年 Morris 等<sup>[18]</sup>进行了一项国际多中心研究,纳入 329 例健康受试者,研究报告正常的 LASr 值为  $45.5\% \pm 11.4\%$  (EchoPAC version 113.0, GE),发现年轻人与老年人 LASr 间存在显著差异性,然而在亚洲人与欧洲人中未表现出明显的种族差异。2017 年 Liao 等<sup>[19]</sup>对 2 812 例健康个体进行了一项大型研究,提供了基于年龄和性别分层的大规模亚洲人群左房应变的正常参考值。报告显示女性的 LASr 值高于男性 ( $39.3\% \pm 8.0\%$  vs  $38.0\% \pm 8.0\%$ ,  $P < 0.001$ ) (EchoPAC version 108.0, GE),并且 LASr 值随年龄和血压的升高而降低,其中年龄带来的左房功能减退在老年女性中更突出。随后,有学者进行了两项探究 LASr 正常值的大型 meta 分析,其中一项研究<sup>[10]</sup>分析了 2 542 例健康受试者,得出平均 LASr 值为  $39.4\%$  ( $95\% \text{ CI } 38.0\% \sim 41.0\%$ ),而另一项研究<sup>[20]</sup>纳入了 2 087 例健康受试者,得出正常 LASr 值为  $38.0\% \pm 3.0\%$  ( $95\% \text{ CI } 32.0\% \sim 43.0\%$ )。LASr 值存在差异可能主要归因于人群特点的异质性和应变测量算法的不同,同时 meta 分析中纳入的样本量大小也会对结果产生影响。因此,想要获得左房应变的标准参考值,未来还需进行大量工作。首先,算法统一,不同研究应标明所用的机器和软件包型号,具体说明应变测量的方法,以便后续分析归类;其次,着重针对性别和不同年龄段进行分层研究。近年来,许多研究<sup>[19-21]</sup>都强调年龄与应变的独立相关性,以及性别造成的应变差异,所以基于性别和不同年龄段分层的左房应变参考范围才更具研究意义。

## 3 2D-STI 评估左房功能在心血管疾病中的应用价值

### 3.1 缺血性心脏病

缺血性心脏病影响左房结构与功能主要是左室心肌损伤的间接结果。当左室舒张时,左房腔直接暴露在左室压力下,随着左室顺应性变差,左房需从功能和结构上发生改变以维持足量的左室充盈。此外,当支配左房肌的左回旋支缺血时也会直接影响心房功能。越来越多的证据<sup>[22]</sup>表明左房应变在急性和慢性缺血性心脏病中的价值。Lin 等<sup>[13]</sup>研究发现冠心病患者与正常对照组相比,LASr 和左房管道期应变 (left atrial conduit strain, LAScd) 均有下降,肯定了斑点追踪技术评价冠心病患者左房功能的价值。Backhaus

等<sup>[23]</sup>用心脏磁共振分析急性心肌梗死患者的左房功能,发现不同罪犯病变之间的左房应变有显著差异,并且左室长轴应变和 LASr 与心肌梗死患者未来发生心血管事件独立相关。Kim 等<sup>[4]</sup>对 257 例心肌梗死后患者进行为期 ( $4.4 \pm 3.8$ ) 年的随访,发现超声分析的左房应变在分层 LVDD 程度上产生与心脏磁共振相似的结果,并提高了心肌梗死后发生房颤和充血性心衰的预测价值。Chu 等<sup>[24]</sup>研究发现经皮冠状动脉介入治疗后 48 h 内的 LASr 对 ST 段抬高型心肌梗死患者左室不良重构 ( $OR = 0.77$ ,  $P = 0.003$ ; 最佳截断值:  $28.9\%$ ) 和 6 个月内不良临床结局 ( $OR = 0.88$ ,  $P = 0.04$ ; 最佳截断值:  $23.8\%$ ) 均有独立的预测价值。左房功能与不良结局之间的关联机制尚未完全了解,或许左房功能的下降只是左室病情加重的标志,未来还需更深入的研究,但左房功能的准确评估有助于缺血性心脏病患者的风险分层和预后评价,这是国内外研究的共识结果,并为临床决策提供了更大的参考价值。

### 3.2 房颤

房颤是最常见的心律失常,与左房结构和功能变化有密不可分的关系。左房应变可在视觉左房扩大之前检测出左房功能的异常,从而有效地预测新发的房颤。Park 等<sup>[25]</sup>研究发现 LASr 可预测房颤的发生风险,应变值每增加 1%,未来新发房颤的可能性就减少 3% ( $HR = 0.97$ ,  $95\% \text{ CI } 0.95 \sim 0.98$ ),同时 LASr  $< 18\%$  的患者较正常患者未来发生房颤的风险也提高近 2 倍 ( $HR = 1.72$ ,  $95\% \text{ CI } 1.23 \sim 1.98$ )。Kawakami 等<sup>[26]</sup>对 531 例既往有隐源性卒中的患者进行为期 3 年的随访,发现左房和左室的应变是发生房颤的独立预测因子,超过临床和常规超声参数的预测价值,并提出当患者左房容积正常时,应首先参考 LAScd 来判断未来发生房颤的风险,而当左房容积已扩大时,则应先评估左室长轴应变。除了诱发房颤,左房功能受损也会促进血栓的形成,特别是在左心耳中。CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分是房颤患者评估卒中风险的有效预测模型之一,被用来常规指导临床选择不同的抗凝方案<sup>[27]</sup>。然而,Obokata 等<sup>[28]</sup>进行了一项多中心前瞻性研究,发现左房应变提供的诊断信息要远超过 CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分 ( $AUC: 0.83$  vs  $0.64$ ,  $P < 0.0001$ ),不仅提高了该评分预测系统性栓塞的能力,也是卒中后死亡的独立预后因子。关于左房功能是否可指导房颤患者的抗凝选择和预测不良结局还需大规模研究证实,但至少现有证据表明将左房功能的评估纳入房颤患者的检查是有价值的。

### 3.3 心脏瓣膜疾病

心脏瓣膜疾病主要通过血流动力学变化来影响

左房,以二尖瓣反流为例,长期的二尖瓣反流导致左房容量超载,左房代偿性扩大以维持内部压力稳态,防止肺充血。然而在左房发生超微结构改变之前就已出现心房肌收缩和舒张障碍。已有一些研究证明左房功能在识别符合瓣膜手术指征患者和预测术后心血管事件的发生上发挥重要作用。Debonnaire 等<sup>[29]</sup>在一项纳入 121 例二尖瓣重度反流患者的研究中证实 LASr 可识别符合二尖瓣手术指征的患者 ( $AUC = 0.80, 95\% CI 0.72 \sim 0.87$ ),在对手术患者进行 6 年(中位时间)的随访中发现,不论患者术前状态如何,左房应变减低的患者 ( $LASr < 24\%$ ) 生存率更低。Meimoun 等<sup>[30]</sup>评估了 102 例主动脉瓣狭窄的患者,并进行 25 个月(中位时间)的随访发现,  $LASr \leq 17\%$  与心衰再住院和全因死亡的复合事件独立相关 ( $HR = 0.92, 95\% CI 0.89 \sim 0.95$ )。虽然这些发现均为小样本研究,但都肯定了左房应变在瓣膜疾病中风险分层、预测进展和优化患者选择方面的价值。

### 3.4 心肌淀粉样变

转甲状腺素蛋白淀粉样变心肌病 (transthyretin amyloid cardiomyopathy, ATTR-CM) 是一种限制型心肌病,由血浆转甲状腺素蛋白在细胞外沉积引起,蛋白沉积导致左室结构功能障碍,浸润左房则导致左房僵硬显著增加。Bandera 等<sup>[31]</sup>研究发现 ATTR-CM 患者左房三期时相功能均有明显损害 ( $LASr: 8.86\%$ ;  $LAScd: 6.50\%$ ;  $LASct: 4.00\%$ ),左房刚度指数在校正其他混杂因素后与预后独立相关 ( $HR = 1.23, 95\% CI 1.03 \sim 1.49$ )。Huntjens 等<sup>[32]</sup>采集了 136 例 ATTR-CM 患者的 4 个腔室应变发现,多变量分析中  $LASr$  和右室应变与生存率独立相关,且  $LASr$  与生存率相关性最强 ( $HR = 7.53, 95\% CI 3.87 \sim 14.65$ )。与心衰患者左室扩张和二尖瓣反流造成的继发性左房重构不同,心肌淀粉样变患者蛋白弥漫性沉积会直接影响心房肌功能,左房应变的降低也反映了心肌受累情况更严重,重视此类患者的左房功能有助于改善风险分层和指导未来的治疗决策。

### 3.5 心衰

心衰是心血管疾病发展的最终结局,与高住院率和高死亡率密切相关,早期识别心衰是临床及时制定治疗策略的关键<sup>[33-34]</sup>。 $LAVI$  是当前心衰定义的诊断标准之一,然而即使左房大小未发生改变,左房功能也可能已出现了异常。已有研究证明左房应变可对射血分数保留性心衰患者进行识别并分级。Morris 等<sup>[35]</sup>研究发现受损的  $LASr (< 23\%)$  可比增大的  $LAVI$  更早地识别出 LVDD 患者,并且异常的左房应变在调整了年龄、性别和  $LAVI$  后仍与 2 年后心衰住院风险

显著相关 ( $OR = 6.6, 95\% CI 2.6 \sim 16.6$ )。Singh 等<sup>[36]</sup>依据 2009 年美国超声心动图协会的指南将 224 例射血分数保留性心衰患者按 LVDD 程度分为四组,发现所有组间的  $LASr$  均表现出显著的程度依赖性差异,从而推断出  $LASr$  是检测早期舒张功能障碍的敏感指标。而 Potter 等<sup>[37]</sup>则根据左房应变值对 758 例患者进行舒张功能障碍分级,将患者分为正常组 ( $LASr > 35\%$ )、1 级组 ( $LASr 25\% \sim 35\%$ ) 和 2 级组 ( $LASr \leq 24\%$ ),并进行为期 2 年的随访,发现依据左房应变的新分层方法减少了传统分级中不确定人群的数目,且不增加相关预后风险。在校正了临床及超声参数后,  $LASr \leq 24\%$  的患者未来发生心衰的风险是舒张功能正常者 ( $LASr > 35\%$ ) 的 2 倍。左房应变还与有创测量的左室舒张末期压力显著相关,利用  $LASr$  评估升高的左室舒张末期压力比现有的无创方法更准确 ( $kappa CI: 0.482$  vs  $0.302$ )<sup>[38]</sup>。左房应变不仅是比  $LAVI$  更有效的评估 LVDD 的工具,也是心衰患者未来发生心血管事件的较强预后指标,将左房应变常规纳入心衰患者的监测指标对于临床监测病情发展以及选择后续治疗方案意义重大。

## 4 小结

2D-STI 是评估左房功能的一个相对简便和可靠的技术,比传统结构参数更加敏感,可通过追踪心动周期中左房三期时相运动来揭示常见心血管疾病的病理生理机制。左房应变的预后价值已在许多临床研究中得到证实,包括重新定义舒张功能障碍,预测栓塞风险,甚至判断特定患者群体的心血管死亡率等,然而在临床中应用仍存在一些局限。未来关于左房功能的研究重点应放在:(1) 标准化测量方法和供应商差异,以建立基于不同性别和不同年龄段的正常应变参考值;(2) 进行大型前瞻性多中心研究,展开长期的随访,发掘左房应变在更多心血管疾病中的潜在价值。

## 参考文献

- [1] Thomas L, Muraru D, Popescu BA, et al. Evaluation of left atrial size and function: relevance for clinical practice [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33 (8): 934-952.
- [2] Modin D, Pedersen S, Fritz-Hansen T, et al. Left atrial function determined by echocardiography predicts incident heart failure in patients with STEMI treated by primary percutaneous coronary intervention [J]. *J Card Fail*, 2020, 26 (1): 35-42.
- [3] Genovese D, Singh A, Volpato V, et al. Load dependency of left atrial strain in normal subjects [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2018, 31 (11): 1221-1228.
- [4] Kim J, Yum B, Palumbo MC, et al. Left atrial strain impairment precedes geometric remodeling as a marker of post-myocardial infarction diastolic dysfunction [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13 (10): 2099-2113.
- [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] Jain V, Ghosh R, Gupta M, et al. Contemporary narrative review on left atrial strain mechanics in echocardiography: cardiomyopathy, valvular heart disease and beyond [J]. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2021, 11 (3) : 924-938.
- [7] Rimbaş RC, Mihăilă S, Vinereanu D. Sources of variation in assessing left atrial functions by 2D speckle-tracking echocardiography [J]. *Heart Vessels*, 2016, 31 (3) : 370-381.
- [8] Haji K, Marwick TH. Clinical utility of echocardiographic strain and strain rate measurements [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2021, 23 (3) : 18.
- [9] Cameli M, Mandoli GE, Lisi E, et al. Left atrial, ventricular and atrio-ventricular strain in patients with subclinical heart dysfunction [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35 (2) : 249-258.
- [10] Pathan F, D'Elia N, Nolan MT, et al. Normal ranges of left atrial strain by speckle-tracking echocardiography: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017, 30 (1) : 59-70.
- [11] Badano LP, Kolas TJ, Muraru D, et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19 (6) : 591-600.
- [12] Badano LP, Miglioranza MH, Mihăilă S, et al. Left atrial volumes and function by three-dimensional echocardiography: reference values, accuracy, reproducibility, and comparison with two-dimensional echocardiographic measurements [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2016, 9 (7) : e004229.
- [13] Lin J, Ma H, Gao L, et al. Left atrial reservoir strain combined with E/E' as a better single measure to predict elevated LV filling pressures in patients with coronary artery disease [J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2020, 18 (1) : 11.
- [14] Zhao Y, Sun Q, Han J, et al. Left atrial stiffness index as a marker of early target organ damage in hypertension [J]. *Hypertens Res*, 2021, 44 (3) : 299-309.
- [15] Cameli M, Miglioranza MH, Magne J, et al. Multicentric Atrial Strain COmparison between Two Different Modalities: MASCOT HIT Study [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2020, 10 (11) : 946.
- [16] Hayashi S, Yamada H, Bando M, et al. Optimal analysis of left atrial strain by speckle tracking echocardiography: P-wave versus R-wave trigger [J]. *Echocardiography*, 2015, 32 (8) : 1241-1249.
- [17] Sanchis L, Andrea R, Falces C, et al. Prognostic value of left atrial strain in outpatients with de novo heart failure [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29 (11) : 1035-1042.
- [18] Morris DA, Takeuchi M, Krisper M, et al. Normal values and clinical relevance of left atrial myocardial function analysed by speckle-tracking echocardiography: multicentre study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16 (4) : 364-372.
- [19] Liao JN, Chao TF, Kuo JY, et al. Age, sex, and blood pressure-related influences on reference values of left atrial deformation and mechanics from a large-scale Asian population [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10 (10) : e006077.
- [20] D'Ascenzi F, Piu P, Capone V, et al. Reference values of left atrial size and function according to age: should we redefine the normal upper limits? [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35 (1) : 41-48.
- [21] Nielsen AB, Skaarup KG, Hauser R, et al. Normal values and reference ranges for left atrial strain by speckle-tracking echocardiography: the Copenhagen City Heart Study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 23 (1) : 42-51.
- [22] Malagoli A, Fanti D, Albini A, et al. Echocardiographic strain imaging in coronary artery disease: the added value of a quantitative approach [J]. *Cardiol Clin*, 2020, 38 (4) : 517-526.
- [23] Backhaus SJ, Kowallick JT, Stiermaier T, et al. Culprit vessel-related myocardial mechanics and prognostic implications following acute myocardial infarction [J]. *Clin Res Cardiol*, 2020, 109 (3) : 339-349.
- [24] Chu AA, Wu TT, Zhang L, et al. The prognostic value of left atrial and left ventricular strain in patients after ST-segment elevation myocardial infarction treated with primary percutaneous coronary intervention [J]. *Cardiol J*, 2021, 28 (5) : 678-689.
- [25] 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.
- [26] Kawakami H, Ramkumar S, Pathan F, et al. Use of echocardiography to stratify the risk of atrial fibrillation: comparison of left atrial and ventricular strain [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21 (4) : 399-407.
- [27] Tiver KD, Quah J, Lahiri A, et al. Atrial fibrillation burden: an update—The need for a CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASC-AF burden score [J]. *Europace*, 2021, 23 (5) : 665-673.
- [28] Obokata M, Negishi K, Kurosawa K, et al. Left atrial strain provides incremental value for embolism risk stratification over CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASC score and indicates prognostic impact in patients with atrial fibrillation [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2014, 27 (7) : 709-716. e4.
- [29] Debonnaire P, Leong DP, Witkowski TG, et al. Left atrial function by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in patients with severe organic mitral regurgitation: association with guidelines-based surgical indication and postoperative (long-term) survival [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013, 26 (9) : 1053-1062.
- [30] Meimoun P, Djebali M, Botoro T, et al. Left atrial strain and distensibility in relation to left ventricular dysfunction and prognosis in aortic stenosis [J]. *Echocardiography*, 2019, 36 (3) : 469-477.
- [31] Bandera F, Martone R, Chacko L, et al. Clinical importance of left atrial infiltration in cardiac transthyretin amyloidosis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15 (1) : 17-29.
- [32] Huntjens PR, Zhang KW, Soyama Y, et al. Prognostic utility of echocardiographic atrial and ventricular strain imaging in patients with cardiac amyloidosis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14 (8) : 1508-1519.
- [33] McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42 (36) : 3599-3726.
- [34] Gif I, Bouzid F, Charfeddine S, et al. Heart failure disease: an African perspective [J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2021, 114 (10) : 680-690.
- [35] Morris DA, Belyavskiy E, Aravind-Kumar R, et al. Potential usefulness and clinical relevance of adding left atrial strain to left atrial volume index in the detection of left ventricular diastolic dysfunction [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11 (10) : 1405-1415.
- [36] Singh A, Addetia K, Maffessanti F, et al. LA Strain for categorization of LV diastolic dysfunction [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10 (7) : 735-743.
- [37] Potter EL, Ramkumar S, Kawakami H, et al. Association of asymptomatic diastolic dysfunction assessed by left atrial strain with incident heart failure [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13 (11) : 2316-2326.
- [38] Singh A, Medvedofsky D, Mediratta A, et al. Peak left atrial strain as a single measure for the non-invasive assessment of left ventricular filling pressures [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35 (1) : 23-32.

收稿日期: 2021-12-13