

多模态超声在心脏淀粉样变性诊断中的应用进展

杜煜迪 杜鑫

天津医科大学总医院心血管内科, 天津 300052

通信作者: 杜鑫, Email: dr.x.du@163.com

【摘要】 心脏淀粉样变性(CA)是一种由异常折叠的淀粉样蛋白沉积于心肌间质所致的浸润性心肌病,主要包括免疫球蛋白轻链型 CA(AL-CA)和转甲状腺素蛋白型 CA(ATTR-CA)。该病起病隐匿、临床表现缺乏特异性且预后较差,早期诊断对改善患者生存质量至关重要。常规超声心动图为 CA 筛查和诊断的首选影像学方法。CA 超声心动图“红旗征”包括左心室室壁增厚、双心房扩大、房间隔及瓣膜增厚、心包积液、限制性舒张功能障碍及左心室整体纵向应变(LVGLS)降低伴心尖保留等。斑点追踪成像(STI)、心肌做功等是新兴的超声成像方法,是从心肌机械力学和心肌僵硬程度方面全面评估心功能。STI 技术可用于精准评估 CA 患者心肌收缩功能、定量心室应变;且 AL-CA 与 ATTR-CA 的应变模式存在差异;CA 通常为左室射血分数保留型心力衰竭(心衰)(HFpEF),STI 在 HFpEF 诊断中的应用日益增多。随着病程发展,左心房、右心室功能亦可受累,应用 STI 获得的应变参数也优于传统超声指标。心肌做功技术通过构建左心室压力-应变环(LV-PSL),纳入左心室变形和后负荷因素,较 GLS 能更早且客观地反映心肌收缩功能异常;节段心肌做功参数能更加准确地反映心肌功能的受损程度,对判断疾病严重程度及评估预后有较高价值。人工智能(AI)技术可提高 CA 的诊断效率和准确性,减少操作者依赖性。现通过对上述多模态超声技术在 CA 诊断中的研究进展进行阐述,旨在为 CA 的早期识别、精准分型、风险评估及预后判断提供参考。

【关键词】 心脏淀粉样变性; 多模态超声; 超声心动图; 斑点追踪显像; 心肌做功

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2026.03.021

Progress in the application of multimodal ultrasound in the diagnosis of cardiac amyloidosis

Du Yudi, Du Xin

Department of Cardiology, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052

Corresponding author: Du Xin, Email: dr.x.du@163.com

【Abstract】 Cardiac amyloidosis (CA) is an infiltrative cardiomyopathy characterized by the deposition of misfolded amyloid proteins within the myocardial interstitium, primarily comprising immunoglobulin light-chain CA (AL-CA) and transthyretin CA (ATTR-CA). The disease has an insidious onset, nonspecific clinical manifestations, and poor prognosis; early diagnosis is crucial for improving patient survival. Conventional echocardiography remains the first-line imaging modality for the screening and diagnosis of CA. The "red flag signs" of CA echocardiography include increased left ventricular wall thickness, biatrial enlargement, thickening of the interatrial septum and cardiac valves, pericardial effusion, restrictive diastolic dysfunction, and reduced left ventricular global longitudinal strain (LVGLS) with the characteristic pattern of apical sparing. Speckle tracking imaging (STI) and myocardial work (MW) represent emerging ultrasound techniques that comprehensively assess of cardiac function from the perspectives of myocardial mechanics and stiffness. STI enables accurate evaluation of myocardial systolic function and quantitative assessment of ventricular strain in CA patients. Furthermore, distinct strain patterns have been observed between AL-CA and ATTR-CA. Since CA commonly presents as heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF), the application of STI in HFpEF diagnosis has gained increasing attention. As the disease progresses, left atrial and right ventricular function may also be affected, with STI-derived strain parameters demonstrating superior accuracy compared to conventional ultrasound metrics. MW technology constructs a left ventricular pressure-strain loop (LV-PSL), integrating myocardial deformation and afterload, providing a more objective and early assessment for myocardial systolic dysfunction than GLS alone. Segmental MW parameters reflect the degree of myocardial impairment more accurately than GLS and have shown substantial value in evaluating disease severity and predicting prognosis. Artificial intelligence (AI) techniques improve the efficiency and accuracy of CA diagnosis while reducing operator dependence. This review summarizes recent advances in multimodal ultrasound techniques for the diagnosis of CA, aiming to provide references for the early detection, precise subtyping, risk stratification, and prognostic assessment of this disease.

【Key words】 Cardiac amyloidosis; Multimodal ultrasound; Echocardiography; Speckle tracking imaging; Myocardial work

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2026.03.021

淀粉样变性是一类由前体蛋白错误折叠引起的系统性疾病,其特征为形成直径约 7~10 nm 的

淀粉样纤维并沉积于细胞外基质中,最终导致受累组织和器官发生进行性、不可逆的功能损害。当

淀粉样纤维在心肌间质内异常沉积并浸润心脏组织时,可引起心脏淀粉样变性(cardiac amyloidosis, CA)。CA 是常见的心脏贮积病,可引起心肌肥厚、心肌僵硬度增加、心肌功能紊乱,最终导致限制性心肌病(restrictive cardiomyopathy, RCM)、心力衰竭(心衰)和心律失常。目前已发现 30 余种蛋白具有形成淀粉样纤维的能力,其中免疫球蛋白轻链和重链、转甲状腺素蛋白(transthyretin, TTR)、血清淀粉样蛋白 A (serum amyloid A, SAA)以及载脂蛋白 AI (apolipoprotein AI, apoAI) 等是最常累及心脏并导致 CA 发生的前体蛋白;其中 98% 的病例都是由单克隆免疫球蛋白轻链淀粉样变(light chain amyloidosis, AL)和 TTR 淀粉样变(TTR amyloidosis, ATTR)引起,后者又分为野生型 ATTR-CA(wild-type ATTR-CA, ATTRwt-CA)和突变型 ATTR-CA(mutant ATTR-CA, ATTRm-CA)^[1]。

CA 具有起病隐匿、临床表现异质性强、漏诊率高、预后极差等特点,早期诊断该病对临床尽早提供有效的治疗非常重要。超声心动图是 CA 的一线筛查诊断工具,具有无创、实时、便捷等优点;斑点追踪、心肌做功等是近年来快速发展起来的超声成像方法,可从心肌机械力学和心肌僵硬度方面全面评估心功能。多模态超声技术可从多维度对疾病进行分析,最大限度发挥超声诊断方法的优势。现就多模态超声在 CA 诊断中的应用进展进行综述,以期为临床提供参考。

1 超声心动图“红旗征”

淀粉样蛋白在心肌间质的沉积是超声影像学表现的核心病理基础,其沉积过程具有弥漫性、不均质性的特点,主要累及心室壁、心房、瓣膜、乳头肌及传导系统。尽管超声心动图不能直接确诊 CA,但把所有无特异性的征象结合起来可高度提示该疾病,这组征象即为诊断 CA 的“红旗征”^[2-3],包括左、右心室室壁增厚伴肢体导联低电压,双心房增大,限制性充盈模式,左心室整体纵向应变(left ventricle global longitudinal strain, LVGLS)降低伴心尖保留现象,二尖瓣环组织多普勒速度降低,左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)保留的低流速、低压差的主动脉瓣狭窄, LVEF 保留而每搏量指数(stroke volume index, SVI)降低,右心室室壁和房间隔及瓣膜增厚,心包积液等。有研究显示,在左心室肥厚且无扩张、LVEF 保留且至少有 1 个“红旗征”的患者中, CA 的患病率为 28.6%, 2 个及以上“红

旗征”患病率达 70%^[3-4]。

不同类型 CA 的病理进程存在差异: AL-CA 淀粉样蛋白沉积速度快,心肌受累更广泛,心功能损伤进展迅速; ATTRwt-CA 多见于老年患者,淀粉样蛋白沉积缓慢,心肌肥厚程度更显著; ATTRm-CA 发病年龄较早,多合并神经系统受累。这种病理差异直接体现在超声影像学表现中,为临床分型诊断提供了重要依据。

2 斑点追踪显像(speckle tracking imaging, STI)

STI 是用超声心动图评估 CA 患者心肌收缩功能、定量心室应变的新技术,该技术改善了传统二维超声对探头与组织切面成像的角度依赖和信噪比,可以更全面、精确地评估心室功能。STI 通过心肌机械力学变化早期反映细微的心室功能改变,用于临床分型、危险分层及预后评估。心脏淀粉样变超声心动图规范化检查中国专家共识(2023 版)^[5]推荐使用二维 STI(2-dimensional STI, 2D-STI)技术定量心室应变。整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)受损被证明是影响 CA 患者病死率的独立预测因子, LVGLS 绝对值 < 15%^[5-6]。Perugini 等^[7]比较了 CA 与特发性心肌病、RCM 患者左心室长轴运动功能的差异,结果显示,即使常规超声提示 LVEF 正常,所有 CA 患者均存在左心室长轴收缩功能受损,而在其他类型心肌病患者中仅约 36% 出现类似改变。该结果提示,左心室长轴运动异常可能早于传统收缩功能指标出现,对 CA 早期心功能评估有重要价值。AL-CA 与 ATTR-CA 的应变模式存在差异, AL-CA GLS 受损更严重, ATTR-CA 心尖保留征象更明显。雷常慧等^[8]研究表明,基底段纵向应变(longitudinal strain, LS) ≤ 13.07% 的 AL-CA 患者生存率明显低于基底段 LS > 13.07% 的患者。Huntjens 等^[9]研究表明,在 AL-CA 患者中测量左心室应变比其他超声心动图结果有更大的预后意义,可以预测心脏受累程度,并且所有房室均可获得有价值的应变数据,且均与预后有相关性。

近年来,三维 STI(3-dimensional STI, 3D-STI)技术不断发展。该技术建立于实时三维超声心动图和 2D-STI 基础之上,突破了二维成像的空间局限性,能更全面、准确地评价心脏各腔室容积变化及其时相功能,为 CA 患者心肌力学特征的定量分析提供了新的手段。3D-STI 能观察到病变引起的左心室收缩不均匀和基底段收缩功能降低,通过量化心室同步性,可以快速、准确地评价 CA 患者整

体和局部心功能的改变。杨帆等^[10]采用 3D-STI 技术,结合心脏血清学指标,评估 AL-CA 患者化疗前后左心室功能变化,结果显示,3D-STI 可识别患者化疗后早期左心室功能改变,并与 N 末端脑钠肽前体(N-terminal brain natriuretic peptide precursor, NT-proBNP)变化趋势一致。

淀粉样蛋白沉积导致的心衰通常为左心室射血分数保留型心衰(heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF)^[11-12]。CA 在 HFpEF 患者中的患病率受到越来越多关注。研究显示,80 岁以上 HFpEF 患者中,CA 检出率可达 25%~40%,90 岁以上人群可高达 66%^[13]。李莹莹等^[14]针对高龄 HFpEF 患者的病理研究显示,约 50% 的患者同时存在明显的心肌淀粉样物质沉积和间质纤维化。临床上对于有心衰家族史、60 岁以上首次发病以及常规抗心衰治疗效果欠佳的 HFpEF 患者,应高度警惕 CA 的可能性。传统观点认为,HFpEF 主要表现为舒张功能障碍,但越来越多的证据表明,在疾病早期即已存在隐匿性收缩功能损害。只是早期纵向与周向心肌协调收缩,心室扭转代偿增加,LVEF 尚保持在正常范围内,因此早期识别左心室收缩功能障碍为危险分层和临床管理提供了依据^[15-16]。近年来,STI 在 HFpEF 诊断中的应用日益增多,Kosmala 等^[17]利用 2D-STI 对 207 例有症状和 60 例无症状 HFpEF 患者的心功能进行了研究,并探讨了不良结局的预测因素,结果显示,无论是否出现临床症状,LVGLS 均显著降低;受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)显示,运动时 LVGLS 能最准确地预测症状性 HFpEF [ROC 曲线下面积(area under the curve, AUC)=0.78],其预测价值优于二尖瓣舒张早期血流峰值速度(E)与二尖瓣环舒张早期运动速度(e')的比值(E/e')和 LVEF。Luo 等^[18]的研究结果显示,使用 3D-STI 测量的 HFpEF 患者左心室三维应变,GLS 与整体圆周应变(global circumferential strain, GCS)和整体面积应变(global area strain, GAS)三者联合使用是左心室收缩功能障碍的预测因子。

STI 可通过获得左心房 3 个时相的应变指标改变来评价 CA 左心房功能受损。Nochioka 等^[19]证实,在 AL-CA 和 ATTR-CA 中,左心房 3 个时相应变均受损,其中峰值心房纵向应变(peak atrial LS, PALS)受损与 LVGLS 降低显著相关,而与左心房容积无关,表明淀粉样物质沉积同时累及房室;ATTRwt-

CA 患者左心房应变受损更严重。Morris 等^[20]利用 2D-STI 发现,左心房应变诊断 HFpEF 患者早期左心房功能障碍的敏感度高于左心房容量指数(left atrial volume index, LAVI),证实应变减低是左心房功能障碍的可靠指标。此外,在调整性别、年龄和 LAVI 后,左心房应变异常与较差的纽约心脏病学会(New York Heart Association, NYHA)心功能分级和较高的心衰住院风险显著相关。Bandera 等^[21]通过 2D-STI 对 906 例 ATTR-CA 患者进行了研究,结果表明,心房 3 个时相功能受损与预后独立相关,与心房颤动(房颤)和心电-机械解离也独立相关。这些研究表明,应用左心房应变不仅可以早期识别病理改变,而且可更好地进行预后分层。

除左心功能受损外,CA 患者右心室功能异常亦较为常见,表现为右心室游离壁纵向应变(right ventricle free wall LS, RVFWLS)明显降低,该指标可用于评估心功能受损程度,并对鉴别其他病因引起的左心室肥厚有附加价值^[22]。Morris 等^[23]在一项纳入 201 例 HFpEF 患者和 364 例无症状左心室舒张功能不全患者的前瞻性研究中,采用 2D-STI 测定右心室功能,发现在传统的右心室参数变化之前,右心室整体纵向应变(right ventricle GLS, RVGLS)和 RVFWLS 均显著降低,并且多因素回归分析证实 RVFWLS 是不良预后的独立预测因子。此外,与三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)、右室面积变化分数(right ventricle fractional area change, RVFAC)及三尖瓣环收缩期峰值速度相比,右室应变参数在预测呼吸困难症状及 NYHA III 级以上患者方面有更高的诊断价值^[24]。

STI 能精准反映心肌受累程度,在早期 CA 诊断及危险分层中更具价值,同时可量化心室同步性,评估心律失常发生风险。对于 CA 患者的临床分型、风险分层、治疗决策和预后评估具有重要的临床价值。

3 心肌做功

由于应变成像具有负荷依赖性,即后负荷增加会导致左心室舒张期末压力升高,从而降低心肌变形的幅度致 GLS 下降,即 GLS 的降低并非由 CA 心肌收缩力降低所致^[25];同时低血压又是 CA 患者常见的临床表现之一,由于后负荷降低可能导致心肌形变幅度增加,从而高估心肌的收缩能力,故仅依赖应变参数评价收缩功能可能存在局限性。心肌做功技术是近年新发展的心功能评价方法,该方法以 2D-STI 为基础,与无创动态测量左心室压力

相结合,构建左心室压力-应变环(left ventricular pressure-strain loop, LV-PSL),定量评价整体和局部的心肌做功及代谢状态。心肌做功综合衡量心肌形变和压力负荷状态,因此能较 GLS 更客观、更早期发现心肌收缩功能的异常。

淀粉样物质沉积不仅可导致室壁增厚和间质纤维化,其细胞毒性作用还可影响心肌细胞代谢和细胞间机械耦联,干扰电信号转导,最终造成心肌收缩不同步,影响心肌机械功能,这些病理变化可表现为左心室整体做功指数(global work index, GWI)、整体有效做功(global constructive work, GCW)、整体做功效率(global work efficiency, GWE)降低,故心肌做功参数对病程有良好的预测价值。通过分析左心室基底段、中间段及心尖段 LS,可进一步获得节段心肌做功参数,实现对局部心肌做功的评价。随着疾病进展,淀粉样物质逐渐累及心尖部,心尖保留消失,心尖段心肌无效做功(myocardial wasted work, MWI)增加,心肌做功效率(myocardial work efficiency, MWE)和心肌做功指数(myocardial work index, MWI)持续下降,伴随 GLS 降低,最终导致 LVEF 下降及左心室收缩功能减退。可见节段心肌做功参数较 GLS 能更加全面、准确地反映 CA 患者心肌功能受损程度,对于疾病早期诊断及预后评估有重要临床价值。Palmiero 等^[26]应用左心室 MWE 评估 CA 合并心衰伴随的心脏负荷,发现 AL-CA 的 GWE 较 ATTR-CA 低,表明 AL-CA 患者心肌障碍更明显,其中 GWE<86.5% 可良好区分 AL-CA 和 ATTR-CA,其敏感度和特异度分别为 80.0% 和 66.7%。Roger-Rollé 等^[27]对 118 例 CA 患者进行研究证实, MWI 与 NT-proBNP、心肌肌钙蛋白 T(cardiac Troponin T, cTnT)和估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)等常用预后评估指标有良好的相关性, NT-proBNP 与左心室壁厚度(left ventricular wall thickness, LVWT)呈正相关,与 GWI 和 GLS 呈负相关,在经治疗完全缓解的患者中更为明显。GLS 和 GWI 改善的患者预后较好,这两个参数成为独立的生存预测指标,在预测 CA 病死率方面比 LVEF 和心肌收缩分数(myocardial contraction fraction, MCF)更准确^[28]。LV-PSL 有望成为评价 CA 患者左心室心肌做功便捷、无创的影像学新方法。

4 人工智能(artificial intelligence, AI)

AI 正逐步渗透到心脏超声的各个环节,特别

是在 CA 这一复杂、易漏诊的疾病中显示出巨大潜力。Cotella 等^[29]评估 AI 算法对 CA 的诊断效能,使用 Ultromics 开发的 EchoGo Core 2.0 程序自动测量 GLS 和 LVEF,具有良好的准确性和可重复性,同时也避免了人为因素的干扰,模型在精细化、准确性及简易度方面与人为评估方式相当。Duffy 等^[30]构建基于深度学习的 AI 模型,对来自 Cedars-Sinai 医疗中心的 23 745 份患者数据建模,实现了 CA 与其他心肌病之间的高效分类,验证集中肥厚型心肌病和 CA 的 AUC 分别为 0.79 和 0.89,表现优于人类专家。AI 不仅能识别 CA 影像特征,还可实现基于超声数据的定量风险评估与预后预测。Alwan 等^[31]研究通过使用 AI 算法结合心电图和超声心动图、闪烁扫描和心脏磁共振(cardiac magnetic resonance imaging, CMRI)等多模态心脏成像以实现早期、准确筛查 ATTR-CA 患者,可能会简化早期检测,并改善风险分层和决策。AI 辅助技术能提高复杂疾病的早期检测率,患者能获得更及时有效的治疗,显著改善患者预后。

5 展望

CA 的临床表现缺乏特异性,为让更多的“罕见”被看见,临床早期精准诊断是改善患者预后的关键。将常规超声与应变成像、弹性成像、心肌做功等超声新技术联合应用,通过多模态超声融合模式构建 CA 超声诊断评分系统,以提升早期诊断与分型效能;通过 AI 算法自动识别 CA 特征性超声征象,量化心肌应变与硬度,减少操作者依赖性,提高诊断效率与准确性;超声与 CMRI 联合应用可对心脏形态学和功能学综合评估,对 CA 和引起心肌肥厚的其他疾病的鉴别诊断非常有价值^[32-33]。随着多模态超声技术的发展,临床实践中将会实现对 CA 的早发现、早诊断、早干预,从而改善患者生存质量与长期预后。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Arbelo E, Protonotarios A, Gimeno JR, et al. 2023 ESC Guidelines for the management of cardiomyopathies [J]. Eur Heart J, 2023, 44 (37): 3503-3626. DOI: 10.1093/eurheartj/ehad194.
- [2] Cuddy S, Chetrit M, Jankowski M, et al. Practical points for echocardiography in cardiac amyloidosis [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2022, 35 (9): A31-A40. DOI: 10.1016/j.echo.2022.06.006.
- [3] 梁士楚, 刘志月, 黄鹤. 超声心动图“红旗征”在心脏淀粉样变性诊断中的应用 [J]. 中华心血管病杂志, 2024, 52 (3): 316-322. DOI: 10.3760/ema.j.cn112148-20230730-00037.
- [4] Merlo M, Porcari A, Pagura L, et al. A national survey on prevalence of possible echocardiographic red flags of amyloid cardiomyopathy in consecutive patients undergoing routine echocardiography: study design and patients characterization—the first insight from the

- AC-TIVE study [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2022, 29 (5): e173–e177. DOI: 10.1093/eurjpc/zwab127.
- [5] 中国医师协会超声医师分会心脏超声专业委员会. 心脏淀粉样变超声心动图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 (12): 1021–1029. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148–20230716–00010.
- [6] Dorbala S, Cuddy S, Falk RH. How to image cardiac amyloidosis: a practical approach [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13 (6): 1368–1383. DOI: 10.1016/j.jcmg.2019.07.015.
- [7] Perugini E, Rapezzi C, Reggiani LB, et al. Comparison of ventricular long-axis function in patients with cardiac amyloidosis versus idiopathic restrictive cardiomyopathy [J]. *Am J Cardiol*, 2005, 95 (1): 146–149. DOI: 10.1016/j.amjcard.2004.08.084.
- [8] 雷常慧, 刘丽文, 拓胜军, 等. 三维斑点追踪成像评估左室射血分数正常的轻链型心肌淀粉样变预后的临床价值[J]. *中华超声影像学杂志*, 2022, 31 (4): 277–282. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148–20211021–00756.
- [9] 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. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.01.016.
- [10] 杨帆, 刘丽文, 王静, 等. 轻链型心肌淀粉样变患者化疗前后左心室功能及血清标记物的改变[J]. *中华超声影像学杂志*, 2017, 26 (11): 928–933. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004–4477.2017.11.003.
- [11] Lin YX, Zhang L, Hu XQ, et al. Clinical usefulness of speckle-tracking echocardiography in patients with heart failure with preserved ejection fraction [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13 (18): 2923. DOI: 10.3390/diagnostics13182923.
- [12] 李小鹰. 关注老年射血分数保留的心力衰竭患者心肌淀粉样变[J]. *中华心血管病杂志*, 2018, 46 (6): 420–424. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253–3758.2018.06.003.
- [13] Tanskanen M, Peuralinna T, Polvikoski T, et al. Senile systemic amyloidosis affects 25% of the very aged and associates with genetic variation in alpha2-macroglobulin and tau: a population-based autopsy study [J]. *Ann Med*, 2008, 40 (3): 232–239. DOI: 10.1080/07853890701842988.
- [14] 李莹莹, 朱婉榕, 柴珂, 等. 85 岁及以上射血分数保留的心力衰竭患者心肌淀粉样物质沉积分析[J]. *中华心血管病杂志*, 2018, 46 (6): 438–443. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253–3758.2018.06.006.
- [15] Upadhyay B, Kitzman DW. Heart failure with preserved ejection fraction: new approaches to diagnosis and management [J]. *Clin Cardiol*, 2020, 43 (2): 145–155. DOI: 10.1002/clc.23321.
- [16] Omote K, Verbrugge FH, Borlaug BA. Heart failure with preserved ejection fraction: mechanisms and treatment strategies [J]. *Annu Rev Med*, 2022, 73: 321–337. DOI: 10.1146/annurev-med-042220–022745.
- [17] Kosmala W, Rojek A, Przewlocka-Kosmala M, et al. Contributions of nondiastolic factors to exercise intolerance in heart failure with preserved ejection fraction [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 67 (6): 659–670. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.10.096.
- [18] Luo XX, Fang F, Lee AP, et al. What can three-dimensional speckle-tracking echocardiography contribute to evaluate global left ventricular systolic performance in patients with heart failure? [J]. *Int J Cardiol*, 2014, 172 (1): 132–137. DOI: 10.1016/j.ijcard.2013.12.314.
- [19] Nochioka K, Quarta CC, Claggett B, et al. Left atrial structure and function in cardiac amyloidosis [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18 (10): 1128–1137. DOI: 10.1093/ehjci/jex097.
- [20] 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. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.07.029.
- [21] 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. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.06.022.
- [22] Kitaoka H, Izumi C, Izumiya Y, et al. JCS 2020 guideline on diagnosis and treatment of cardiac amyloidosis [J]. *Circ J*, 2020, 84 (9): 1610–1671. DOI: 10.1253/circj.CJ–20–0110.
- [23] Morris DA, Gailani M, Vaz Pérez A, et al. Right ventricular myocardial systolic and diastolic dysfunction in heart failure with normal left ventricular ejection fraction [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2011, 24 (8): 886–897. DOI: 10.1016/j.echo.2011.04.005.
- [24] Morris DA, Krisper M, Nakatani S, et al. Normal range and usefulness of right ventricular systolic strain to detect subtle right ventricular systolic abnormalities in patients with heart failure: a multicentre study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18 (2): 212–223. DOI: 10.1093/ehjci/jew011.
- [25] Ruppert M, Lakatos BK, Braun S, et al. Longitudinal strain reflects ventriculoarterial coupling rather than mere contractility in rat models of hemodynamic overload-induced heart failure [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33 (10): 1264–1275.e4. DOI: 10.1016/j.echo.2020.05.017.
- [26] Palmiero G, Rubino M, Monda E, et al. Global left ventricular myocardial work efficiency in heart failure patients with cardiac amyloidosis: pathophysiological implications and role in differential diagnosis [J]. *J Cardiovasc Echogr*, 2021, 31 (3): 157–164. DOI: 10.4103/jcecho.jeecho_16_21.
- [27] Roger-Rollé A, Cariou E, Rguev K, et al. Can myocardial work indices contribute to the exploration of patients with cardiac amyloidosis? [J]. *Open Heart*, 2020, 7 (2): e001346. DOI: 10.1136/openhrt–2020–001346.
- [28] Briasoulis A, Bampatsias D, Petropoulos I, et al. Left ventricular myocardial work improves in response to treatment and is associated with survival among patients with light chain cardiac amyloidosis [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2024, 25 (5): 698–707. DOI: 10.1093/ehjci/jead351.
- [29] Cotella JJ, Slivnick JA, Sanderson E, et al. Artificial intelligence based left ventricular ejection fraction and global longitudinal strain in cardiac amyloidosis [J]. *Echocardiography*, 2023, 40 (3): 188–195. DOI: 10.1111/echo.15516.
- [30] Duffy G, Cheng PP, Yuan N, et al. High-throughput precision phenotyping of left ventricular hypertrophy with cardiovascular deep learning [J]. *JAMA Cardiol*, 2022, 7 (4): 386–395. DOI: 10.1001/jamacardio.2021.6059.
- [31] Alwan L, Benz DC, Cuddy S, et al. Current and evolving multimodality cardiac imaging in managing transthyretin amyloid cardiomyopathy [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2024, 17 (2): 195–211. DOI: 10.1016/j.jcmg.2023.10.010.
- [32] 于静, 崔倩, 葛夕洪, 等. 心脏磁共振检查对不明原因急性心力衰竭患者的诊断价值[J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2019, 26 (1): 54–57. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2019.01.014.
- [33] 崔倩, 于静, 沈文. 心脏磁共振成像评估心肌淀粉样变性的研究进展[J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2019, 26 (3): 383–385. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2019.03.032.

(收稿日期: 2026–04–02)

(责任编辑: 邸美仙)

关于经过广告审批后的广告中存在不规范医学名词术语未予更改的声明

依照广告审批的相关规定,按照广告厂家的要求,本刊刊登的血必净、力文广告图片和内容均按照广告审查批准文件的原件刊出,故广告内容“成份”未修改为“成分”,“适应症”“禁忌症”未按标准医学名词术语修改为“适应证”“禁忌证”,时间单位仍用汉字表示,剂量单位“ml”未修改为“mL”,“kcal”未修改为“kJ”,“其它”未修改为“其他”,“甘油三酯”未修改为“三酰甘油”。特此声明!