

超声心动图评估右房结构及功能的应用进展

孙振云(综述) 李巧(审校)

摘要 右房是临床上最易被低估的心腔,但其在心脏的电生理传导、内分泌和压力调节中均具有关键作用。右房扩张及功能障碍往往发生于右室扩张或肥厚之前,右房压力升高可以反映右室功能障碍和体循环淤血的程度,因此准确评估右房结构及功能变化对临床诊断、治疗和预后评估至关重要。目前右房功能的评估主要分为容量性右房泵功能评估和非容量性右房机械功能评估,本文就超声心动图在右房结构及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,右

[中图法分类号]R540.45

[文献标识码]A

Application progress of echocardiography in the evaluation of right atrial structure and function

SUN Zhenyun, LI Qiao

Shandong First Medical University, Ji'nan 250021, China

ABSTRACT The right heart function has long been overlooked, but it plays a pivotal role in electromechanical and endocrine regulation of the heart. The right atrium dilatation and dysfunction usually occur before right ventricle dilatation or hypertrophy. Increased right atrial pressure can reflect the degree of right ventricular dysfunction and systemic circulation congestion. Therefore, accurate assessment of right atrial structural and functional changes is essential for the diagnosis, treatment and prognosis in clinic. At present, the evaluation of right atrium function is mainly divided into volumetric right atrium pump function evaluation and non-volumetric right atrium mechanical function evaluation. This article reviews the application progress of echocardiography in the evaluation of right atrium structure and function.

KEY WORDS Echocardiography; Atrial structure, atrial function, right

右房作为右心系统不可或缺的一部分,对维持右室充盈至关重要。大多数右心疾病的病理生理过程中常发生右房结构及功能改变,因此准确评估其变化对患者的诊断、治疗和预后评估均有重要意义。本文就超声心动图在右房结构及功能评估中的应用进展进行综述。

一、右房的解剖结构和生理功能

解剖学上,右房主要由上下腔静脉口、冠状窦口、界嵴、右心耳及三尖瓣口等组成;其中界嵴和右心耳是右房的明显标志,当两者出现变化时,右房的电生理和应变特性均会随之变化。病变的界嵴可影响右房应变,是局灶性右房心律失常的常见来源^[1];右心耳易发生纤维化,导致心房颤动(以下简称房颤),同时右心耳也是右房电极导线的常用植入部位。右房壁薄、腔大,具有较强的扩张能力,既可应对右室舒张压的急剧升

高,为心房充盈不规律提供缓冲,也可通过增加血流量提高势能,以维持右室充盈。

生理学上,右房通过3个时相功能的相互作用调节右室充盈,包括:①体循环血液的“储存库”;②腔静脉血液流入右室的“管道”;③心房收缩促进右室充盈的“助力泵”。当右室后负荷增加时,右室壁增厚,收缩功能增强,右室收缩牵拉右房被动扩张的能力增强。随着后负荷持续增加,右室收缩功能有所下降,但右房容量性心腔的特点使其有较强的松弛扩张能力,弥补了右室收缩功能下降对右房储存功能的影响。而右室后负荷增加使舒张功能受损,右室主动舒张时抽吸作用减弱,使右房管道功能减低^[2]。由于右房储存功能增强、管道功能减低使右房收缩前容积增加,根据Frank-Starling定律,右房容积增加导致心肌初长度增加,主动收缩功能增强,因此右房助力泵功

基金项目:国家自然科学基金项目(82000239);山东省重大公关项目(2018GSF118112)

作者单位:250021 济南市,山东第一医科大学 山东省医学科学院(孙振云);山东第一医科大学附属省立医院 山东省立医院超声医学科(李巧)

通讯作者:李巧,Email:ey_liqiao@163.com

能增强,从而维持了右室的正常充盈。

二、右房结构及功能的评估现状

右房大小及功能是评价早期心脏损害的常用指标。右室压力或容量超负荷患者如心力衰竭、先天性心脏病、肺动脉高压(pulmonary arterial hypertension, PAH)、冠状动脉粥样硬化性心脏病或心律失常(尤其是房颤)患者中,右房大小及功能的改变较为明显。目前临床评估右房功能的常用方法有X线、CT、心脏磁共振成像(cardiac magnetic resonance, CMR)、有创血管造影和超声心动图等。但X线只能提供右房解剖结构和病理特征的有限信息;CT空间分辨率虽高,但时间分辨率较低,且有电离辐射,造影剂也有诱发肾病的风险;CMR是右房可视化和容量量化的“金标准”^[3],但其价格昂贵,空间分辨率低,临床应用受限;右心导管术可以准确测量血流动力学指标,但属有创检查。而超声心动图安全、便捷、无辐射,可实时评估心脏解剖结构及功能,在右心结构及功能评估中具有重要价值。

三、超声心动图评价右房结构及功能

1. M型超声心动图

M型超声心动图于心尖四腔心切面将取样线置于三尖瓣侧壁瓣环,通过测量三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE),定量评估右心纵向功能。TAPSE代表右室在收缩过程中从心底至心尖的位移。右房收缩发生在舒张末期,因此不会直接影响TAPSE,但收缩期右室的总位移部分取决于收缩开始时右室基底与心尖之间的距离,因此右房收缩间接增大了TAPSE。基于此,应用M型超声心动图将TAPSE分为右房收缩期间发生的位移(TAPSE-RA)和右房收缩前发生的位移(TAPSE-RV)两部分,通过分析TAPSE-RA在总TAPSE中的占比来评估右房纵向功能占总体右心纵向功能的比例。正常成人中,TAPSE-RA约占TAPSE的32%;而在PAH患者中,TAPSE-RA约占TAPSE的51%^[4],表明PAH患者大部分右房排空发生在右房收缩期,提示右房收缩功能在PAH时对右心具有保护和代偿方面的关键作用。

2. 二维超声心动图

二维超声心动图是评价右房结构及功能的最常用方法,目前常用于评估右房大小和压力。美国超声心动图学会指南^[5]建议通过标准的心尖四腔心和两腔心切面测量右房面积,并提出右房面积 $>18\text{ cm}^2$ 、右房长径 $>53\text{ mm}$ 或右房横径 $>44\text{ mm}$ 提示舒张末期右房增大。研究^[6-7]发现右室扩张及功能障碍程度是急性肺栓塞患者预后的主要决定因素,但右房壁薄,无法快速适应血栓栓塞引起的肺动脉压力急剧升高,故在右室扩张前右房已经扩张,右、左心房面积比与肺动脉阻塞程度相关,当其截断值为1.8时可预测肺栓塞患者的不良临床结局(曲线下面积为0.64,95%可信区间0.56~0.71)。儿童PAH起病隐匿且预后差,早期判断疾病进展至关重要,右房导管排空指数降低可准确预测PAH患儿临床恶化风险^[8-9]。

右房压是评价右心顺应性的综合指标,与右室舒张功能、容量状态和右房顺应性均相关。右房压升高不但是PAH患者不良预后的预测因子^[10],还是法洛四联症患者不良心血管事件的独立预测因子,与患者的疾病严重程度和死亡率相关,可用

于风险分层^[11]。右房压常通过下腔静脉内径和吸气塌陷率来评估。需注意的是,在右房压正常的情况下,健康年轻运动员下腔静脉内径可表现为扩张,此外使用呼吸机的患者下腔静脉内径通常扩张且无塌陷现象^[5],因此上述两种情况不建议通过下腔静脉内径估测右房压。其他评估右房压升高的指标有限制性右心舒张期充盈模式、三尖瓣舒张早期血流速度与三尖瓣环舒张早期运动速度比值 >6 、肝静脉舒张期血流占优势(收缩充盈分数 $<55\%$)。

3. 三维超声心动图(three-dimensional echocardiography, 3DE)

(1)3DE:采用三维重建技术,即以二维超声心动图记录右房各时相、各角度图像,然后经计算机系统重建三维右房图像,不依赖几何假设,与CMR密切相关,但其所测容积由不同心动周期的图像构成,失去了超声心动图实时成像的优点。3DE可通过测量右室大小区分心房功能性反流与心室功能性反流,还可鉴别对称或非对称瓣叶变形,并准确定量瓣环面积、周长及复杂的瓣环力学^[12]。Guta等^[13]应用3DE量化了孤立性、持续性房颤和功能性三尖瓣反流(functional tricuspid regurgitation, FTR)患者右心腔体积和功能、三尖瓣环几何形状和功能,发现右房重构和三尖瓣环扩张是FTR的主要原因,证实右房最小容积与三尖瓣环面积独立相关,可作为FTR严重程度的独立预测因子;而右室舒张末期容积与FTR严重程度无关。

(2)实时三维超声心动图(real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE):3DE经过静态和动态三维重建阶段,现已走向RT-3DE时期,可实现实时采集、同步显示心脏三维图像,并从多个角度观察右心形态结构、大血管的连接、瓣膜活动情况及各室壁的收缩运动幅度,更准确地测量右房收缩末和舒张末容积,并计算右房排空分数。当右室心肌梗死时,右室舒张功能减低,右房管道功能下降,随着右室收缩功能下降,通过增强右房助力泵功能来维持右室充盈。由于右房血供仅来源于右冠状动脉的分支,若右室梗死累及右房梗死时,右房收缩功能下降将加重右室充盈受损^[14]。Kanar等^[15]发现RT-3DE所测右房最大容积指数 $>27.9\text{ ml/m}^2$ 是急性下壁心肌梗死(inferior myocardial infarction, INFMI)后右室受累的独立预测因子,急性INFMI患者右室受累可导致右房容积增加及管道功能恶化。阻塞性睡眠呼吸暂停综合征(obstructive sleep apnea syndrome, OSAS)和高血压病均可导致不同类型的左室重构及心肌肥厚,不同左室构型的临床特点不同,其中向心性肥厚患者并发心血管病的风险最高^[16-17]。由于左、右心室共用室间隔并在舒张期相偶联,当左室僵硬增加时,会使右室舒张功能受损,从而影响右房功能,OSAS不同左室构型患者的右房受损程度不同,随着病情严重程度的增加,右房储存和助力泵功能增高,管道功能减低,提示OSAS患者右室充盈依赖于右房的储存和助力泵功能^[18]。而在高血压病引起的不同左室构型患者中,非扩张性向心性肥厚、扩张性离心性肥厚和扩张性向心性肥厚患者的右房结构及功能最易受损,右房储存和管道功能减低,助力泵功能增高,提示高血压病患者通过降低储存和管道

功能、增加助力泵功能来维持右室充盈^[19]。

4. 斑点追踪超声心动图

(1) 二维斑点追踪超声心动图 (two-dimensional speckle tracking echocardiography, 2D-STE): 通过追踪二维灰阶图像上心肌斑点运动计算心肌形变的成像技术, 能够定量分析心肌整体及节段的收缩功能, 获得右房容积、应变和应变率等参数。应变即心动周期内心肌增厚或形变的百分比, 应变率即这种增厚或形变的速率。2D-STE 测得的右房应变参数在不同疾病中预测价值不同。右房纵向峰值应变 (peak atrial longitudinal strain, PALS) 和右房大小可预测 PAH 患者的心功能状态和活动耐力^[20], 右房整体 PALS 随心功能不全的发展逐渐降低, 并与 6 min 步行距离呈正相关 ($r=0.44, P=0.003$), 当 PALS<38.08% 时预测 PAH 患者 WHO 心功能分级 \geq II 级的敏感性和特异性分别为 86.8% 和 84.0%^[21]。研究^[22]表明 PAH 患者的右房整体 PALS 联合右室游离壁纵向应变评估可提高风险评分系统预测的准确性, 可用于危险分层。Nourian 等^[23]发现与单纯 INFMI 患者相比, INFMI 伴右室心肌梗死患者的右房储存和管道功能受损, 舒张早期右房纵向应变 <27.5% 鉴别 INFMI 伴右室心肌梗死与单纯 INFMI 的敏感性为 59.3%, 特异性为 79.1%。但 Kanar 等^[15]和 Nourian 等^[23]均忽略了右房的血流灌注, 当右室梗死时, 右房血供可能受损, 也可能不受损, 这两种状态对右房容积和应变的影响不同。今后的研究可明确 INFMI 伴右室心肌梗死时右房的血供状态, 并比较右房血供受损和未受损时的右房功能。Govindan 等^[24]应用 2D-STE 评价右房功能来预测阵发性房颤患者的房颤复发情况, 证实较高的舒张晚期右房纵向应变 (代表右房收缩功能) 可独立预测窦性心律维持长达 1 年 ($P=0.001$), 且其值降低可预测房颤复发。此外, 应用右房应变评估右房不同步是接受经皮封堵术后的房间隔缺损患者发生阵发性房颤的独立预测因子, 且较左房扩张指数更敏感^[25-26]。

(2) 三维斑点追踪超声心动图 (three-dimensional speckle tracking echocardiography, 3D-STE): 融合了 RT-3DE 和 2D-STE 的优点, 从同一 3DE 数据集同时进行心腔容积和应变的评估^[27]。通过汇总右房容积和应变数据, 获得各时相功能参数: ①收缩期储存功能参数包括总心房每搏输出量、排空分数及右房峰值应变; ②舒张早期管道功能参数包括被动心房每搏输出量和排空分数; ③舒张晚期助力泵功能参数包括主动心房每搏输出量、排空分数及心房收缩时的右房应变。应变包括单向 (径向、纵向和周向) 和多向 (面积和 3D) 应变, 既可计算整体应变和平均应变, 还可计算节段 (基底段、中间段和心尖段) 应变。3D-STE 测得的右房容积和应变正常参考值在健康人群中具有年龄和性别依赖性^[28-29], 随着年龄增长, 被动右房功能降低, 主动右房功能增加, 与三尖瓣舒张早期和舒张晚期血流速度比值随年龄增长而降低相一致。

3D-STE 可提示不同疾病患者的右房功能受损程度。如高嗜酸性粒细胞增多综合征和伴有左室受累的致密化不全性心肌病患者可出现轻度右房功能障碍, 总心房每搏输出量和被动心房每搏输出量增加, 右房排空分数或应变无明显变化; 心肌淀粉样变性患者可检测到总心房排空分数和主动心房排空分

数降低, 收缩期和舒张晚期右房应变减低, 表明储存和助力泵功能受损; 矫正的法洛四联症患者则表现为总心房排空分数、被动心房排空分数和应变均降低^[30-32]。虽然众多学者在 3D-STE 评估右房容积和应变方面进行了大量研究, 但其参考值在很多疾病中尚未确定, 上述右房容积和功能的变化模式是否特定于某些疾病 (或疾病组), 是否可应用于疾病的鉴别诊断, 还需进行进一步研究。

四、总结

总之, 超声心动图具有安全、无创、便捷、重复性强等优点, 是一个重要的心肌力学与血流动力学研究工具, 在多种心脏疾病的评估方面具有不可替代的优势。但针对右房的各种操作模式也存在不足: 如二维超声心动图对心内膜面显示欠完整, 对右房大小的评估依赖几何假设; RT-3DE 依赖于高分辨率的图像; 2D-STE 对帧频要求较高; 3D-STE 的时间和空间分辨率较低, 且尚未标准化。临床应用中需根据不同疾病特点选择合适的方法对右房功能进行综合评价。另外, 超声心动图对于右房重构程度的评估尚缺乏明确的参数指标, 关于右房重构与右心功能相关性的研究也鲜见报道。目前指南推荐的标准仅对右房大小进行评估, 而不包括右房功能, 且对右房大小的评估也可能受到负荷依赖性和几何假设的限制。此外, 对于右房大小正常的亚临床患者, 可能难以检测其右房功能障碍。随着临床对右房功能评估的重视, 对右房力学的深入, RT-3DE 和 STE 技术的不断发展和广泛使用, 以及超声技术与各项影像学技术的对比结合, 超声心动图必将在多种疾病的右房功能评价、临床疗效评估及判断疾病预后等方面展现出广阔的应用前景。

参考文献

- [1] Turkmen Y, Insulander P, Bastani H, et al. Focal atrial tachycardia—the localization differences between men and women: a study of 487 consecutive patients [J]. *Anatol J Cardiol*, 2020, 24(6):405-409.
- [2] Richter MJ, Fortuni F, Wiegand MA, et al. Association of right atrial conduit phase with right ventricular lusitropic function in pulmonary hypertension [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(4):633-642.
- [3] Petersen SE, Aung N, Sanghvi MM, et al. Reference ranges for cardiac structure and function using cardiovascular magnetic resonance (CMR) in Caucasians from the UK Biobank population cohort [J]. *Cardiovasc Magn Reson*, 2017, 19(1):18.
- [4] Sivak JA, Raina A, Forfia PR. Assessment of the physiologic contribution of right atrial function to total right heart function in patients with and without pulmonary arterial hypertension [J]. *Pulm Circ*, 2016, 6(3):322-328.
- [5] 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]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(1):1-39.
- [6] Lerchbaumer MH, Ebner M, Ritter CO, et al. Prognostic value of right atrial dilation in patients with pulmonary embolism [J]. *ERJ Open*

- Res, 2021, 7(2): 00414–2020.
- [7] Kiran GR, Chandrasekhar P, Ali SM. Association between 2D echocardiographic right atrial volume to left atrial volume (RAV/LAV) ratio and in-hospital prognosis in thrombolysed acute pulmonary thromboembolism patients [J]. *Indian Heart J*, 2020, 72(6): 610–613.
- [8] Frank BS, Schafer M, Thomas TM, et al. Right atrial conduit phase emptying predicts risk of adverse events in pediatric pulmonary arterial hypertension [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(8): 1006–1013.
- [9] Olguntürk FR. An update on the diagnosis and treatment of pediatric pulmonary hypertension [J]. *Expert Opin Pharmacother*, 2020, 21(10): 1253–1268.
- [10] Mańczak R, Kurzyna M, Piłka M, et al. Prediction of prognostic hemodynamic indices in pulmonary hypertension using non-invasive parameters [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2020, 10(9): 644.
- [11] Egbe AC, Bonnicksen C, Reddy YNV, et al. Pathophysiologic and prognostic implications of right atrial hypertension in adults with tetralogy of Fallot [J]. *J Am Heart Assoc*, 2019, 8(22): e014148.
- [12] Muraru D, Guta AC, Ochoa-Jimenez RC, et al. Functional regurgitation of atrioventricular valves and atrial fibrillation: an elusive pathophysiological link deserving further attention [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(1): 42–53.
- [13] Guta AC, Badano LP, Tomaselli M, et al. The Pathophysiological link between right atrial remodeling and functional tricuspid regurgitation in patients with atrial fibrillation: a three-dimensional echocardiography study [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2021, 34(6): 585–594.
- [14] Femia G, French JK, Juergens C, et al. Right ventricular myocardial infarction: pathophysiology, clinical implications and management [J]. *Rev Cardiovasc Med*, 2021, 22(4): 1229–1240.
- [15] Kanar BG, Sunbul M, Sahin AA, et al. Evaluation of right atrial volumes and functions by real-time three-dimensional echocardiography in patients after acute inferior myocardial infarction [J]. *Echocardiography*, 2018, 35(11): 1806–1811.
- [16] Myslinski W, Rekas-Wojcik A, Dybala A, et al. Clinical characteristics of hypertensive patients with obstructive sleep apnoea syndrome developing different types of left ventricular geometry [J]. *Biomed Res Int*, 2021; 6631500. doi: 10.1155/2021/6631500.
- [17] Tadic M, Cuspidi C, Saeed S, et al. The influence of left ventricular geometry on myocardial work in essential hypertension [J]. *J Hum Hypertens*, 2022, 36(6): 524–530.
- [18] 吴小娟, 张勇, 王健, 等. 实时三维超声心动图评价阻塞性睡眠呼吸暂停综合征不同左室构型患者右房结构和功能的临床研究 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2019, 28(6): 480–486.
- [19] Tadic M, Cuspidi C, Kocijancic V, et al. Does Left ventricular geometric patterns impact right atrial phasic function? Findings from the hypertensive population [J]. *Echocardiography*, 2016, 33(8): 1186–1194.
- [20] Hasselberg NE, Kagiyama N, Soyama Y, et al. The prognostic value of right atrial strain imaging in patients with precapillary pulmonary hypertension [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2021, 34(8): 851–861.
- [21] Liu W, Wang Y, Zhou J, et al. The association of functional capacity with right atrial deformation in patients with pulmonary arterial hypertension: a study with two-dimensional speckle tracking [J]. *Heart Lung Circ*, 2018, 27(3): 350–358.
- [22] Stolfo D, Albani S, Biondi F, et al. Global right heart assessment with speckle-tracking imaging improves the risk prediction of a validated scoring system in pulmonary arterial hypertension [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(11): 1334–1344.
- [23] Nourian S, Hosseinsabet A, Jalali A, et al. Evaluation of right atrial function by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in patients with right ventricular myocardial infarction [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2017, 33(1): 47–56.
- [24] Govindan M, Kiotsekokglou A, Saha SK, et al. Right atrial myocardial deformation by two-dimensional speckle tracking echocardiography predicts recurrence in paroxysmal atrial fibrillation [J]. *J Echocardiogr*, 2017, 15(4): 166–175.
- [25] Vitarelli A, Mangieri E, Gaudio C, et al. Right atrial function by speckle tracking echocardiography in atrial septal defect: prediction of atrial fibrillation [J]. *Clin Cardiol*, 2018, 41(10): 1341–1347.
- [26] Sánchez FJ, Gonzalez VA, Farrando M, et al. Atrial dyssynchrony measured by strain echocardiography as a marker of proarrhythmic remodeling and oxidative stress in cardiac surgery patients [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2020; 8895078. doi: 10.1155/2020/8895078.
- [27] Lotti R, DE Marzo V, Della Bona R, et al. Speckle-tracking echocardiography: state of art and its applications [J]. *Minerva Med*, 2021, doi: 10.23736/S0026–4806.21.07317–1.
- [28] Nemes A, Kormányos Á, Domsik P, et al. Normal reference values of right atrial strain parameters using three-dimensional speckle-tracking echocardiography (results from the MAGYAR-Healthy Study) [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35(11): 2009–2018.
- [29] Nemes A, Kormányos Á, Domsik P, et al. Normal reference values of three-dimensional speckle-tracking echocardiography-derived right atrial volumes and volume-based functional properties in healthy adults (insights from the MAGYAR-Healthy Study) [J]. *J Clin Ultrasound*, 2020, 48(5): 263–268.
- [30] Nemes A, Marton I, Domsik P, et al. The right atrium in idiopathic hypereosinophilic syndrome: insights from the 3D speckle tracking echocardiographic MAGYAR-Path Study [J]. *Herz*, 2019, 44(5): 405–411.
- [31] Cheung YF, Yu CKM, So EKF, et al. Atrial strain imaging after repair of tetralogy of Fallot: a systematic review [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2019, 45(8): 1896–1908.
- [32] Nemes A, Domsik P, Kalapos A, et al. Three-dimensional speckle-tracking echocardiography detects different patterns of right atrial dysfunction in selected disorders: a short summary from the MAGYAR-Path Study [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2018, 8(2): 182–186.