

## · 肺动脉高压专题研究 ·

## 超声心动图在肺动脉高压患者右心功能评估中的应用进展



扫描二维码  
查看原文

顾家红<sup>1,2</sup>, 杨少玲<sup>3</sup>

**【摘要】** 肺动脉高压是一种以呼吸困难、胸痛等为主要临床症状的常见病,其诊断及治疗困难,预后极差,患者多因右心衰竭死亡。因此,右心功能在一定程度上决定了肺动脉高压患者的危险分层、生存状况及预后。近年来随着超声心动图技术发展,其评估右心室功能的准确性不断提高,且其能够对右心疾病患者进行危险分层及提供预后信息。本文主要综述了超声心动图在肺动脉高压患者右心功能评估中的应用进展。

**【关键词】** 肺动脉高压;右心功能;超声心动图;综述

**【中图分类号】** R 541.5 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2022.00.307

顾家红, 杨少玲. 超声心动图在肺动脉高压患者右心功能评估中的应用进展 [J]. 实用心脑血管病杂志, 2022, 30(11): 32-36. [www.syxnf.net]

GU J H, YANG S L. Application progress of echocardiography in evaluation of right ventricular function in patients with pulmonary hypertension [J]. Practical Journal of Cardiac Cerebral Pneumal and Vascular Disease, 2022, 30(11): 32-36.

### Application Progress of Echocardiography in Evaluation of Right Ventricular Function in Patients with Pulmonary Hypertension

GU Jiahong<sup>1,2</sup>, YANG Shaoling<sup>3</sup>

1. Anhui University of Science & Technology, Huainan 232000, China

2. Department of Cardiovascular Ultrasound, South Hospital of the Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 201400, China

3. Department of Ultrasound Medicine, Shanghai Eighth People's Hospital, Shanghai 200235, China

Corresponding author: YANG Shaoling, E-mail: drysl@163.com

**【Abstract】** Pulmonary hypertension is a common disease with dyspnea and chest pain as the main clinical symptoms. It is difficult to diagnose and treat, and the prognosis is very poor. Most patients die of right heart failure. Therefore, the right heart function determines the risk stratification, survival and prognosis of patients with pulmonary hypertension to some extent. In recent years, with the development of echocardiography technology, its accuracy in evaluating right ventricular function has been continuously improved, and it can provide risk stratification and prognostic information for patients with right heart disease. This article reviews the application of echocardiography in the evaluation of right ventricular function in patients with pulmonary hypertension.

**【Key words】** Pulmonary hypertension; Right heart function; Echocardiogram; Review

肺动脉高压 (pulmonary hypertension, PH) 指肺动脉压力升高的一种常见肺血管疾病,其血流动力学诊断标准为海平面静息状态时,右心导管检测平均肺动脉压 (mean pulmonary artery pressure, mPAP)  $\geq 25$  mm Hg (1 mm Hg = 0.133 kPa) [1-2]。PH发病机制较为复杂,患者预后较差,

故早期诊断该病并进行合理干预可减轻心脏损伤,进而提高患者的生存率 [3-4]。本文主要综述了超声心动图在PH患者右心功能评估中的应用进展。

#### 1 PH的病理生理学改变

PH患者的血流动力学紊乱是由小动脉和肌性肺动脉阻力增高引起的,而小动脉和肌性肺动脉阻力增高的病理生理学改变是血管平滑肌细胞增殖、肥大引起的肺动脉壁中层增厚及结缔组织弹性纤维增加,进而导致肺动脉壁内膜增厚,进一步损伤动脉管腔,引起各级肺动脉重构、中膜增厚、内膜粥样硬化及肺动脉扩张 [5-6]。

右心功能对PH严重程度及患者预后评估具有重要意义,若患者右心功能降低则会导致心排量增加,从而引起水钠潴留、血容量和心脏前负荷增加 [7]; 肺血管增生性改变可

基金项目:上海市科学技术委员会引导项目 (18411970000); 上海市奉贤区科学技术委员会课题 (20211838); 上海市卫生与计划生育委员会课题 (201740053)

1.232000安徽省淮南市,安徽理工大学医学院

2.201400上海市,上海交通大学附属第六人民医院南院心血管超声科

3.200235上海市第八人民医院超声医学科

通信作者:杨少玲, E-mail: drysl@163.com

导致内皮细胞、平滑肌细胞增殖及功能障碍,炎症和血栓形成,进而引起肺小动脉部分闭塞,导致肺动脉压力升高,使右心室后负荷增加,右心功能进行性衰竭<sup>[8]</sup>。

## 2 超声心动图在肺动脉压力估测中的应用

2.1 超声心动图直接估测肺动脉压力 超声心动图主要通过频谱多普勒技术和多普勒血流成像技术估测肺动脉压力,同时需要参考二维超声、M型超声及超声造影等影像学检查结果进行综合评估。

超声心动图估测肺动脉舒张压的主要方法是测量舒张末期肺动脉瓣反流速度及右心房压力,进而计算肺动脉舒张压。目前,测量肺动脉收缩压主要有两种方法,一种方法是通过三尖瓣反流速度峰值估测肺动脉收缩压,另一种方法是通过心内分流压差法估测肺动脉收缩压,其中前者是临床上诊断PH的最常用方法,但该方法估测的肺动脉收缩压可能大于右心导管检测的肺动脉收缩压,此外,该方法还受声束与三尖瓣反流方向夹角、右心室收缩功能等影响<sup>[9-10]</sup>。

2.2 超声心动图间接估测肺动脉压力 当肺动脉段突出、肺动脉内径 $>2.5$  cm时可考虑PH的可能;此外,肺动脉支与肺动脉分支明显增大、肺门动脉扩张、舒张早期肺动脉反流速度 $>2.2$  m/s等均是PH的间接表现<sup>[11]</sup>。JONE等<sup>[12]</sup>研究表明,右心室进行性扩大(即右心室内径/左心室内径 $>1$ 、右心室室壁增厚 $>0.5$  cm)也是超声心动图间接诊断PH的依据。除肺动脉和右心室改变之外,部分右心房改变亦可提示PH的可能,如右心房压力增大、右心房面积 $>18$  cm<sup>2</sup>,下腔静脉吸气塌陷率降低且下腔静脉直径 $>2.1$  cm均可作为超声心动图间接诊断PH的依据<sup>[13]</sup>。

## 3 超声心动图评估PH患者右心室形态及功能变化

目前,评估PH患者心脏结构及功能的主要方法有右心导管检查术、心脏磁共振成像、CT肺动脉造影、胸部CT、超声心动图等<sup>[14]</sup>,其中右心导管检查术可以直接检测肺动脉压力,是诊断PH的“金标准”,但其是一种侵入性检查。心脏磁共振成像是评估心脏大小、形态和功能的“金标准”,但其价格昂贵且费时,不利于长期观察PH患者心脏功能。CT肺动脉造影和胸部CT主要用于评估肺血管及PH患者预后,但其具有检查费用昂贵、有辐射等缺点<sup>[15]</sup>。超声心动图在诊断心脏解剖特点及功能方面具有重要作用,其可以观察心脏各腔室结构、血流状态及心室瓣膜运动情况,同时具有无创、低廉、操作简便等优点。此外,超声心动图的新技术(如斑点追踪技术)还可以评估PH患者心肌功能早期变化情况,在PH患者诊断、风险分层及预后评估方面具有重要作用。

3.1 超声心动图评估PH患者右心室形态 右心室是最靠前的腔室,其结构和几何形状较为复杂,由肌小梁、右心室流入道和右心室流出道3个不同的解剖部分组成,但由于这3个解剖部分不在同一个平面上,导致右心室的几何形状不规则;此外,右心室室壁较左心室薄,供应血管少,故测量其结构变得更加复杂<sup>[16]</sup>。右心室是肺循环动力器官,在正常负荷、循环情况下可维持机体肺灌注和体循环,但当肺动脉压力增高时,右心室游离壁增厚(右心室游离壁 $>5$  mm)。既往研究表明,右心导管检查术检测的肺动脉压力与右心室前壁厚

度明显相关<sup>[17]</sup>。研究表明,右心结构和右心功能在呼吸系统疾病、结缔组织疾病和心血管疾病等疾病的诊断、治疗及预后评估中具有重要作用,是判断PH患者病情进展、疾病转归的重要因素<sup>[18]</sup>。

## 3.2 超声心动图评估PH患者右心室收缩功能

3.2.1 三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE) TAPSE定义为右心室三尖瓣侧瓣环在收缩期的纵向偏离位移。既往研究表明,TAPSE每降低0.1 cm,PH患者死亡风险将会增加17%<sup>[19]</sup>。TAPSE $<17$  mm提示机体右心室纵向心肌收缩功能障碍,患者生存率降低<sup>[20]</sup>。TAPSE检测的重复性和可行性较好,其局限性为会受到右心室前负荷和取样线角度的影响,当右心室节段收缩活动异常时不能反映右心室整体功能。此外,TAPSE也可能严重高估右心室功能,特别是对严重泵功能损伤的PH患者。TELLO等<sup>[21]</sup>提出,可将TAPSE与肺动脉收缩压比值作为评估心力衰竭患者右心室功能的临床指标。

3.2.2 三尖瓣环收缩期峰值速度 目前,组织多普勒超声心动图检测的三尖瓣环收缩期峰值速度主要用于评估右心室游离壁基底段功能,如组织速度显像波 $<6.0$  cm/s、脉冲多普勒波 $<9.5$  cm/s提示右心室收缩功能异常<sup>[22]</sup>,故三尖瓣环收缩期峰值速度常与TAPSE及面积变化分数(fractional area change, FAC)联合评估右心室功能。检测三尖瓣环收缩期峰值速度的优点是可行性和重复性较好,局限性是存在负荷依赖、角度依赖及心脏大小依赖,故右心室节段收缩活动异常时其不能反映右心室整体功能。

3.2.3 FAC FAC可反映右心室横向和纵向收缩功能,FAC $<35\%$ 提示右心室收缩功能异常。既往研究表明,PH患者FAC降低,且FAC越低其预后越差<sup>[23]</sup>。此外,HOETTE等<sup>[24]</sup>研究表明,FAC是有效估测PH患者右心室射血分数的临床指标,且其对伴有严重血流动力学障碍的PH患者右心室射血分数的估测价值高于TAPSE。FAC不受右心室负荷和取样线角度影响,但其忽略了右心室流出道对右心室整体收缩功能的影响,故其可重复性较差。

3.2.4 右心室Tei指数 脉冲血流多普勒及脉冲组织多普勒技术均可用于检测右心室Tei指数,其中脉冲血流多普勒检测的右心室Tei指数上限为0.43,脉冲组织多普勒检测的右心室Tei指数上限为0.54。研究表明,Tei指数与右心室射血分数具有良好的相关性,且不易受到容量负荷或心率影响,重复性较好<sup>[25]</sup>。李岚等<sup>[26]</sup>研究表明,Tei指数与COPD合并PH患者肺动脉收缩压呈正相关,其可作为早期评估COPD合并PH患者右心室功能的参考指标。既往研究表明,随着Tei指数升高,PH患者病死率升高<sup>[27]</sup>。JIANG等<sup>[28]</sup>通过构建左向右分流致PH小猪模型发现,Tei指数是诊断早期PH的敏感指标,其与PH小猪模型肺动脉收缩压明显相关。AMANO等<sup>[29]</sup>研究表明,右心室Tei指数是有效估测PH患者右心室舒张功能的超声心动图参数,将其用于指导PH患者的治疗具有重要意义。相较于三尖瓣反流速度峰值,右心室Tei指数诊断PH的优势如下:首先,并非所有PH患者能精确测量到三尖瓣反流速度峰值;其次,右心室Tei指数与mPAP相关,故其估测的瞬时肺动脉压

力更可靠。超声心动图检测的右心室Tei指数具有操作简便、敏感性高、重复性好等优势,且不受右心室形态及右心室压力负荷影响,但其具有容量依赖性,在右心房压力增高时不适用。

**3.3 超声心动图评估PH患者右心舒张功能** 当PH患者出现右心舒张功能不全时,提示其心功能更差,预后不良<sup>[30]</sup>。目前,右心舒张功能的主要评估指标有三尖瓣血流多普勒速度(E、A、E/A)、三尖瓣环组织多普勒速度(e′、a′、e′/a′)、减速时间等。三尖瓣E/e′、右心房容积、肝静脉多普勒频谱、下腔静脉内径塌陷率等指标在右心室舒张功能评估中具有潜在的应用价值<sup>[31]</sup>。但由于上述指标受到血流动力学影响,故其在评估右心室舒张功能时需要结合多项指标进行综合判断<sup>[22]</sup>。PH导致的右心衰竭是由右心室收缩功能障碍和右心室舒张功能障碍共同引起的,其中右心室舒张功能异常主要与右心室心肌受损、容量超负荷及肺静脉压升高相关。此外,右心室舒张功能还受到右心室心肌僵硬度和松弛度、年龄、心率、呼吸、负荷状态的影响<sup>[32-33]</sup>。

#### 4 应变和应变率成像

由于心室几何形状复杂,故量化右心室整体功能仍是一个挑战。近年来,应变和应变率成像成为评价左、右心室功能的一项新技术。斑点追踪技术通过逐帧追踪心肌运动的斑点并进行定量分析,进而描绘心肌组织的运动轨迹,最后得到应变及应变率等参数。应变可反映心肌发生形变的程度,应变率可反映心肌发生形变的能力。斑点追踪技术能准确、快速、定量评估射血分数、心室体积、心肌速度、应变和应变率,进而评估心肌功能,早期识别无明显临床症状的心肌损伤人群。

PH患者峰值收缩期心肌速度、应变和应变率降低,故根据右心室基底游离壁应变、应变率及室间隔基底部应变率可区分PH患者和正常人群。KEMAL等<sup>[34]</sup>研究表明,斑点追踪技术较常规超声心动图能更准确地反映先天性心脏病合并PH患者的心肌功能。LIU等<sup>[35]</sup>研究表明,右心室游离壁的二维斑点追踪技术可以预测毛细血管前PH患者的临床结局和心血管事件,这种优势主要与二维斑点追踪技术可整体评估右心室功能有关。一项Meta分析结果证实,TAPSE仍是一种三尖瓣环运动指标,而右心室纵向应变在预测PH患者死亡风险方面较TAPSE更准确<sup>[36]</sup>。与常规超声心动图相比,右心室二维斑点追踪技术可能是一种检测功能性心肌损伤的更准确方法<sup>[37-38]</sup>。

斑点追踪技术所获得的应变反映的是形变与负荷的关系,基于右心室特殊的形态规则,右心室壁相对较薄,轻微的后负荷改变即可引起右心室壁形态的变化,因此,斑点追踪技术检测右心室游离壁应变的可行性更高,理论上能更准确地评价PH患者心肌功能早期细微的变化,识别无明显临床症状的心肌损伤,从而防止其发展为肺源性心脏病,对临床诊断与治疗有指导作用<sup>[39]</sup>。

#### 5 三维超声心动图和超声造影

三维超声心动图在右心室容量和右心室功能评估方面具有较高的准确率,且其不依赖心室几何形状假设,故可以更

准确地评估PH患者的右心室容积和功能<sup>[40]</sup>。LATTANZIO等<sup>[41]</sup>研究表明,三维超声心动图是一种检测PH患者右心室重构的可行方法,在PH患者右心室容量和功能评估中,三维超声心动图检查结果与心脏磁共振成像结果的一致性较高。OSTENFELD等<sup>[42]</sup>研究表明,三维超声心动图检测的右心室射血分数与肺血管阻力、肺动脉收缩压呈负相关,且其与血流动力学指标的相关程度优于传统超声心动图检测的右心室射血分数,故三维超声心动图能更准确地预测PH患者的死亡风险。但由于三维超声心动图对右心室内膜显示不清等原因,故其并未成为评估右心室功能最常用的方法。

超声造影是一项无创检查方法,主要用于检测心内分流情况,判断右心收缩功能,但其检查结果存在一定误差。张奇等<sup>[43]</sup>研究表明,右心声学造影不仅可以检出彩色多普勒超声难以发现的小卵圆孔未闭或缺损,还在评估PH患者右心室损伤方面具有重要作用。

#### 6 小结与展望

目前,右心导管检查术是诊断PH的“金标准”,但其为有创检查,且对操作者技术要求较高。近年来随着超声心动图技术的发展,其在评估PH患者危险分层及预后方面显示出重要作用,其中常规超声心动图指标右心室Tei指数与PH患者预后明显相关,其可作为PH发展的潜在随访指标,且其在诊断早期PH方面具有重要参考价值<sup>[44]</sup>。超声心动图新技术如斑点追踪技术、三维超声心动图技术在PH患者诊断及预后评估方面具有重要作用,二维、三维斑点追踪技术可以区分不同严重程度的PH,并可独立预测PH患者不良临床结局<sup>[45]</sup>,三维超声心动图检测的右心室容积、射血分数和自由壁应变是PH及其他心血管疾病患者死亡的独立预测因子,其中射血分数在PH患者病情严重程度及预后评估等方面更具优势<sup>[46]</sup>。应用超声心动图对PH患者进行右心功能评估可以有效防止疾病的进展与恶化,提高患者生存率。未来随着超声技术尤其是斑点追踪技术和三维超声心动图的发展,超声心动图可能会成为诊断PH及右心疾病不可或缺的影像学检查方法。

作者贡献:顾家红进行文章的构思与设计,文章的可行性分析,文献/资料收集、整理,撰写、修订论文;杨少玲负责文章的质量控制及审校,并对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

#### 参考文献

- [1] RUOPP N F, COCKRILL B A. Diagnosis and treatment of pulmonary arterial hypertension: a review [J]. JAMA, 2022, 327 (14): 1379-1391. DOI: 10.1001/jama.2022.4402.
- [2] 周声志, 陈建英. 炎症及NLRP3炎性小体在肺动脉高压中的作用研究进展 [J]. 实用心脑血管病杂志, 2020, 28 (5): 116-120. DOI: 10.3969/j.issn.1008-5971.2020.05.023.
- [3] NAEIJE R, RICHTER M J, RUBIN L J. The physiological basis of pulmonary arterial hypertension [J]. Eur Respir J, 2022, 59 (6): 2102334. DOI: 10.1183/13993003.02334-2021.
- [4] NI S L, JI T T, DONG J R, et al. Immune cells in pulmonary arterial hypertension [J]. Heart Lung Circ, 2022, 31 (7): 934-

- 943.DOI: 10.1016/j.hlc.2022.02.007.
- [ 5 ] LAN N S H, MASSAM B D, KULKARNI S S, et al.Pulmonary arterial hypertension: pathophysiology and treatment [ J ] . Diseases, 2018, 6 ( 2 ) : 38.DOI: 10.3390/diseases6020038.
- [ 6 ] LUNA-LÓPEZ R, RUIZ MARTÍN A, ESCRIBANO SUBÍAS P.Pulmonary arterial hypertension [ J ] .Med Clín ( Barc ) , 2022, 158 ( 12 ) : 622-629.DOI: 10.1016/j.medeli.2022.01.003.
- [ 7 ] DODSON M W, BROWN L M, ELLIOTT C G.Pulmonary arterial hypertension [ J ] .Heart Fail Clin, 2018, 14 ( 3 ) : 255-269. DOI: 10.1016/j.hfc.2018.02.003.
- [ 8 ] HAJRA A, SAFIRIYU I, BALASUBRAMANIAN P, et al.Recent advances and future prospects of treatment of pulmonary hypertension [ J ] .Curr Probl Cardiol, 2022: 101236.DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2022.101236.
- [ 9 ] MONTANÉ B E, FIORE A M, REZNICEK E C, et al.Optimal tricuspid regurgitation velocity to screen for pulmonary hypertension in tertiary referral centers [ J ] .Chest, 2021, 160 ( 6 ) : 2209-2219.DOI: 10.1016/j.chest.2021.06.046.
- [ 10 ] BJÖRKMAN A, LUND L H, FAXÉN U L, et al.Accuracy and diagnostic performance of Doppler echocardiography to estimate mean pulmonary artery pressure in heart failure [ J ] .Echocardiography, 2021, 38 ( 9 ) : 1624-1631.DOI: 10.1111/echo.15188.
- [ 11 ] GALIE N, HUMBERT M, VACHIERY J L, et al.2015 ESC/ERS guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: the joint task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European Society of Cardiology ( ESC ) and the European Respiratory Society ( ERS ) : endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology ( AEPC ) , International Society for Heart and Lung Transplantation ( ISHLT ) [ J ] .Eur Respir J, 2015, 46 ( 4 ) : 903-975.DOI: 10.1183/13993003.01032-2015.
- [ 12 ] JONE P N, HINZMAN J, WAGNER B D, et al.Right ventricular to left ventricular diameter ratio at end-systole in evaluating outcomes in children with pulmonary hypertension [ J ] .J Am Soc Echocardiogr, 2014, 27 ( 2 ) : 172-178.DOI: 10.1016/j.echo.2013.10.014.
- [ 13 ] BOILSON B A, PISLARU S V, MCGREGOR C G.Accuracy of echocardiographic assessment of pulmonary hypertension severity and right ventricular dysfunction in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [ J ] .Minerva Cardioangiol, 2012, 60 ( 3 ) : 257-265.
- [ 14 ] KONDO T, OKUMURA N, ADACHI S, et al.Editors' choice pulmonary hypertension: diagnosis, management, and treatment [ J ] .Nagoya J Med Sci, 2019, 81 ( 1 ) : 19-30.DOI: 10.18999/nagjms.81.1.19.
- [ 15 ] BESHAY S, SAHAY S, HUMBERT M.Evaluation and management of pulmonary arterial hypertension [ J ] .Respir Med, 2020, 171: 106099.DOI: 10.1016/j.rmed.2020.106099.
- [ 16 ] 何洁欣, 张莹.超声心动图评估右心室功能的应用进展 [ J ] .岭南心血管病杂志, 2021, 27 ( 4 ) : 504-507.DOI: 10.3969/j.issn.1007-9688.2021.04.23.
- [ 17 ] GREINER S, JUD A, AURICH M, et al.Reliability of noninvasive assessment of systolic pulmonary artery pressure by Doppler echocardiography compared to right heart catheterization: analysis in a large patient population [ J ] .J Am Heart Assoc, 2014, 3 ( 4 ) : e001103.DOI: 10.1161/JAHA.114.001103.
- [ 18 ] BADAGLIACCA R, PAPA S, POSCIA R, et al.The importance of right ventricular function in patients with pulmonary arterial hypertension [ J ] .Expert Rev Respir Med, 2018, 12 ( 10 ) : 809-815.DOI: 10.1080/17476348.2018.1515629.
- [ 19 ] SCHNEIDER M, PISTRITTO A M, GERGES C, et al.Multi-view approach for the diagnosis of pulmonary hypertension using transthoracic echocardiography [ J ] .Int J Cardiovasc Imaging, 2018, 34 ( 5 ) : 695-700.DOI: 10.1007/s10554-017-1279-8.
- [ 20 ] AUGUSTINE D X, COATES-BRADSHAW L D, WILLIS J, et al.Echocardiographic assessment of pulmonary hypertension: a guideline protocol from the British Society of Echocardiography [ J ] .Echo Res Pract, 2018, 5 ( 3 ) : G11-24.DOI: 10.1530/ERP-17-0071.
- [ 21 ] TELLO K, AXMANN J, GHOFrani H A, et al.Relevance of the TAPSE/PASP ratio in pulmonary arterial hypertension [ J ] .Int J Cardiol, 2018, 266: 229-235.DOI: 10.1016/j.ijcard.2018.01.053.
- [ 22 ] KASPRZAK J D, HUTTIN O, WIERZBOWSKA-DRABIK K, et al.Imaging the right heart-pulmonary circulation unit: the role of ultrasound [ J ] .Heart Fail Clin, 2018, 14 ( 3 ) : 361-376. DOI: 10.1016/j.hfc.2018.03.003.
- [ 23 ] SAKATA K, SATOH T, ISAKA A, et al.Cardiac dysfunction of pulmonary artery aneurysm in patients with pulmonary arterial hypertension [ J ] .Int J Cardiol, 2017, 228: 1035-1040.DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.10.082.
- [ 24 ] HOETTE S, CREUZÉ N, GÜNTHER S, et al.RV fractional area change and TAPSE as predictors of severe right ventricular dysfunction in pulmonary hypertension: a CMR study [ J ] .Lung, 2018, 196 ( 2 ) : 157-164.DOI: 10.1007/s00408-018-0089-7.
- [ 25 ] LU K J, CHEN J X, PROFITIS K, et al.Right ventricular global longitudinal strain is an independent predictor of right ventricular function: a multimodality study of cardiac magnetic resonance imaging, real time three-dimensional echocardiography and speckle tracking echocardiography [ J ] .Echocardiography, 2015, 32 ( 6 ) : 966-974.DOI: 10.1111/echo.12783.
- [ 26 ] 李岚, 翟晓君, 李国英, 等.Tei指数评价慢性阻塞性肺疾病伴肺动脉高压患者右心功能的意义 [ J ] .河北医药, 2022, 44 ( 9 ) : 1385-1388.
- [ 27 ] MOCERI P, BAUDOY D, CHICHE O, et al.Imaging in pulmonary hypertension: focus on the role of echocardiography [ J ] .Arch Cardiovasc Dis, 2014, 107 ( 4 ) : 261-271.DOI:

- 10.1016/j.acvd.2014.02.005.
- [28] JIANG Y Y, HE G W. Early diagnostic features of left-to-right shunt-induced pulmonary arterial hypertension in piglets [J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 106 (5): 1396-1405. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2018.05.052.
- [29] AMANO H, ABE S, HIROSE S, et al. Comparison of echocardiographic parameters to assess right ventricular function in pulmonary hypertension [J]. *Heart Vessels*, 2017, 32 (10): 1214-1219. DOI: 10.1007/s00380-017-0991-6.
- [30] KASPRZAK J D, HUTTIN O, WIERZBOWSKA-DRABIK K, et al. Imaging the right heart-pulmonary circulation unit: the role of ultrasound [J]. *Heart Fail Clin*, 2018, 14 (3): 361-376. DOI: 10.1016/j.hfc.2018.03.003.
- [31] MENG H, SONG W, LIU S, et al. Right ventricular diastolic performance in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension assessed by echocardiography [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 755251. DOI: 10.3389/fcvm.2021.755251.
- [32] HARROD K K, ROGERS J L, FEINSTEIN J A, et al. Predictive modeling of secondary pulmonary hypertension in left ventricular diastolic dysfunction [J]. *Front Physiol*, 2021, 12: 666915. DOI: 10.3389/fphys.2021.666915.
- [33] MORIYAMA H, MURATA M, TSUGU T, et al. The clinical value of assessing right ventricular diastolic function after balloon pulmonary angioplasty in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2018, 34 (6): 875-882. DOI: 10.1007/s10554-017-1296-7.
- [34] KEMAL H S, KAYIKÇIOĞLU M, NALBANTGIL S, et al. Assessment of right ventricular function in patients with pulmonary arterial hypertension-congenital heart disease and repaired and unrepaired defects: correlation among speckle tracking, conventional echocardiography, and clinical parameters [J]. *Anatol J Cardiol*, 2020, 23 (5): 277-287. DOI: 10.14744/AnatolJCardiol.2020.01379.
- [35] LIU B Y, WU W C, ZENG Q X, et al. Two-dimensional speckle tracking echocardiography detected interventricular dyssynchrony predicts exercise capacity and disease severity in pre-capillary pulmonary hypertension [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8 (7): 456. DOI: 10.21037/atm.2020.03.146.
- [36] 朱云琴, 朱永胜. 斑点追踪技术在右心疾病中的应用 [J]. *心脏杂志*, 2019, 31 (5): 606-609. DOI: 10.12125/j.chj.201905042.
- [37] SHUKLA M, PARK J H, THOMAS J D, et al. Prognostic value of right ventricular strain using speckle-tracking echocardiography in pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis [J]. *Can J Cardiol*, 2018, 34 (8): 1069-1078. DOI: 10.1016/j.cjca.2018.04.016.
- [38] PRIETO O, CIANCIULLI T F, STEWART-HARRIS A, et al. Speckle tracking imaging in patients with pulmonary hypertension [J]. *J Cardiovasc Imaging*, 2021, 29 (3): 236-251. DOI: 10.4250/jcvi.2020.0192.
- [39] THERES L, HÜBSCHER A, STANGL K, et al. Associations of 2D speckle tracking echocardiography-based right heart deformation parameters and invasively assessed hemodynamic measurements in patients with pulmonary hypertension [J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2020, 18 (1): 13. DOI: 10.1186/s12947-020-00197-z.
- [40] KOSSAIFY A. Echocardiographic assessment of the right ventricle, from the conventional approach to speckle tracking and three-dimensional imaging, and insights into the "right way" to explore the forgotten chamber [J]. *Clin Med Insights Cardiol*, 2015, 9: 65-75. DOI: 10.4137/CMC.S27462.
- [41] LATTANZIO M, SCELISI L, GOLINO M, et al. Assessment of right ventricle in pulmonary arterial hypertension with three-dimensional echocardiography and cardiovascular magnetic resonance [J]. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*, 2021, 22 (12): 929-936. DOI: 10.2459/JCM.0000000000001250.
- [42] OSTENFELD E, WERTHER-EVALDSSON A, ENGBLOM H, et al. Discriminatory ability of right atrial volumes with two- and three-dimensional echocardiography to detect elevated right atrial pressure in pulmonary hypertension [J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2018, 38 (2): 192-199. DOI: 10.1111/cpf.12398.
- [43] 张奇, 徐薇, 张红, 等. 超声评价肺动脉高压患者右心室功能的研究进展 [J]. *影像研究与医学应用*, 2019, 3 (23): 10-11.
- [44] YÜCEL M, ALP H, YORULMAZ A, et al. Prediction of the development of pulmonary arterial hypertension with Tei Index in congenital heart diseases with left-to-right shunt [J]. *Turk Kardiyol Dern Ars*, 2019, 47 (6): 466-475. DOI: 10.5543/tkda.2019.33558.
- [45] LI Y M, WANG T, HAINES P, et al. Prognostic value of right ventricular two-dimensional and three-dimensional speckle-tracking strain in pulmonary arterial hypertension: superiority of longitudinal strain over circumferential and radial strain [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33 (8): 985-994.e1. DOI: 10.1016/j.echo.2020.03.015.
- [46] LIU B Y, WU W C, ZENG Q X, et al. The value of three-dimensional echocardiography in risk stratification in pulmonary arterial hypertension: a cross-sectional study [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36 (4): 577-584. DOI: 10.1007/s10554-019-01743-1.

(收稿日期: 2022-08-15; 修回日期: 2022-09-29)

(本文编辑: 谢武英)