

肺高血压之右心功能评估

蒋凯煜, 苏 新, 郭朝霞, 龙晓宙, 曹云山

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号:81460072,82070052)

作者单位: 730000 兰州,甘肃中医药大学内科学系(蒋凯煜); 730000 兰州,甘肃省人民医院核医学科(苏 新),心脏彩超室(郭朝霞),放射科(龙晓宙),心内二科(曹云山)

作者简介: 蒋凯煜(1996-),女,在读硕士研究生,研究方向:心、肺血管疾病的诊治。E-mail:KyJiang2018@126.com

通讯作者: 曹云山(1980-),男,医学博士,主任医师,博士研究生导师,研究方向:心、肺血管疾病和右心衰竭的诊治。E-mail:yunshancao@126.com



曹云山,医学博士,哈佛大学医学院附属麻省总医院博士后,主任医师,博士研究生导师。现任甘肃省人民医院心内二科副主任和肺高血压诊治多学科协作组组长。兼任欧洲心脏病学会心力衰竭协会会员,中国医师协会心血管内科医师分会肺血管疾病学组委员,中华预防医学会心脏康复评估与控制学组委员,中国中医药研究促进会中西医结合心血管病预防与康复专业委员会青年专家委员会副主任委员,甘肃省医学会高原医学分会常委,甘肃省青年公共关系协会副主席,国家自然科学基金函审专家。主要从事肺动脉高压、右心衰竭及肺血管介入治疗方面的研究;擅长肺动脉高压、肺血管炎、纤维纵隔炎、心力衰竭、心肌缺血等疾病诊治与康复治疗管理,以及血管炎导致的肺动脉狭窄介入治疗、纤维纵隔炎导致的肺动脉狭窄/肺静脉狭窄介入治疗、慢性血栓栓塞性肺高血压介入治疗等。参与编写《中国肺高血压诊治指南 2018》,多篇论文发表于《欧洲心脏病杂志》、《JACC 心血管介入分册》、《ESC 心衰》和《中华心血管病杂志》等权威期刊,提出了纤维纵隔炎三联征、三联征,以及纤维纵隔炎临床分型(动脉型、静脉型和混合型)等理论。目前主持国家自然科学基金项目 1 项,省自然科学基金 2 项,获“中国科学院 2016 年西部之光人才”项目资助。

【摘要】肺高血压是一种预后差的严重疾病,可发展为右心衰竭,进而导致死亡。及时、准确地评估右心功能对于判断疾病严重程度、制定治疗方案以及对疾病预后的评估有重要意义。该文对目前常用的评价右心功能的检查技术、指标及临床意义进行介绍,包括心电图、超声心动图、心脏磁共振、电子计算机断层扫描等。超声心动图是重要的筛查手段,通过三尖瓣环收缩期位移幅度(TAPSE)、右室心肌做功指数(RIMP)、面积变化分数(FAC)等指标可较为准确地反映右心功能,心脏磁共振是无创评估右心功能的金标准,电子计算机断层扫描技术除可反映右心功能外,还能反映胸腔内其他结构,有助于寻找导致肺高血压的病因。

【关键词】肺高血压; 右心功能; 超声心动图; 心脏磁共振
【中图分类号】R 544.1+6 【文献标识码】A 【文章编号】1674-3806(2020)09-0845-07
doi:10.3969/j.issn.1674-3806.2020.09.01

Assessment of right heart function in pulmonary hypertension JIANG Kai-yu, SU Xin, GUO Zhao-xia, et al.
Department of Internal Medicine, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

【Abstract】Pulmonary hypertension is a serious disease with poor prognosis, which can develop into right heart failure, and lead to death. Timely and accurate assessment of right heart function is of great significance for judging the severity of the disease, making treatment plans and assessing the prognosis of the disease. In this review, the commonly used examination techniques, indicators and clinical significance of right heart function assessment are introduced, including electrocardiogram, echocardiography, cardiac magnetic resonance, computed tomography scanning, etc. Echocardiography is an important screening method. Tricuspid annular plane systolic excursion(TAPSE), right ventricular index of myocardial performance(RIMP) and fractional area change(FAC) can reflect the right heart

function more accurately. Cardiac magnetic resonance is the gold standard for noninvasive assessment of right heart function. Computed tomography scanning technology can reflect not only the right heart function, but also other structures in the chest, which is helpful to find the causes of pulmonary hypertension.

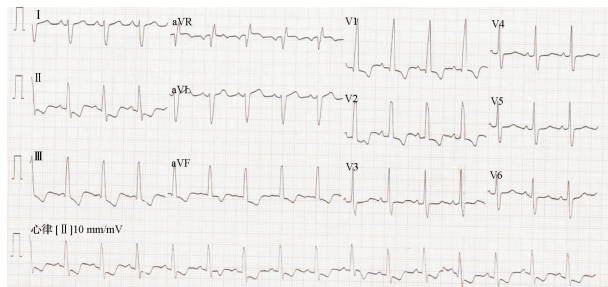
[**Key words**] Pulmonary hypertension(PH); Right heart function; Echocardiography; Cardiac magnetic resonance(CMR)

肺高血压(pulmonary hypertension, PH)的发生发展过程与肺血管重构密切相关。肺血管重构导致肺小动脉管腔进行性狭窄、闭塞,肺血管阻力(pulmonary vascular resistance, PVR)不断升高,进而导致右心室重构、左右心室收缩不同步、右心室功能衰竭(right ventricular failure, RVF),最终死亡^[1,2]。右心室功能障碍是 PH 患者生存的独立预测因子^[3],也是 PH 患者预后的主要决定因素,基线时右心室收缩功能不全可预测 PH 患者的早期死亡^[4],随访时右心功能恶化常提示预后不良^[5]。因此在 PH 的诊断及治疗中右心功能的评估非常重要。本文将介绍一些评估 PH 患者右心功能的常用技术及指标,包括心电图、胸片、超声心动图、心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)、电子计算机断层扫描(computed tomography, CT)、右心导管等。

1 心电图评估

心电图便捷易操作,接诊后即可获得,对诊断 PH 以及右心功能的初步评估有一定意义。PH 患者的心电图常表现为右心增大,检测到右心室肥厚对诊断 PH 具有高度特异性,但敏感性较低。Lewczuk 等^[6]在对 56 例慢性肺动脉血栓栓塞患者[平均肺动脉压(mean pulmonary artery pressure, mPAP) 15 ~ 80 mmHg]的研究中发现了 12 种提示右心阻力负荷增加的征象,包括 V₁ ~ V₅ 导联 T 波倒置、电轴右偏、II、III、aVF 导联 T 波倒置,肺型 P 波、aVF 导联 R > S 或 Q 波,右束支传导阻滞,V₁ 导联 R > S 或 V₁ ~ V₄ 导联 R 波,S I-Q III,V₅ ~ V₆ 导联 S > R,S I-S II-S III、房颤等征象,其中胸前 V₁ ~ V₅ 导联 T 波倒置最常见,有助于慢性血栓栓塞性肺动脉高压(chronic thromboembolic pulmonary hypertension, CTEPH)的诊断。这些心电图征象可能与右心室扩张、肥大和右心室心肌缺血有关。一项关于特发性肺动脉高压(idiopathic pulmonary arterial hypertension, IPAH)的回顾性研究发现,QRS 间期延长与右心房和右心室内径呈正相关,可能是 IPAH 不良结局的一个新的预测因子,QRS 波延长通常是传导系统心肌纤维化的标志,IPAH 中右束支传导阻滞可能是由于右心室压力/容量超负荷导致的右侧心肌的弥漫性损伤^[7]。此外,还有研究在 IPAH 患者中发现室上性心律失常发生率较高,

而室上性心律失常的发生常导致临床恶化和右心衰竭^[8]。典型病例的心电图表现见图 1。

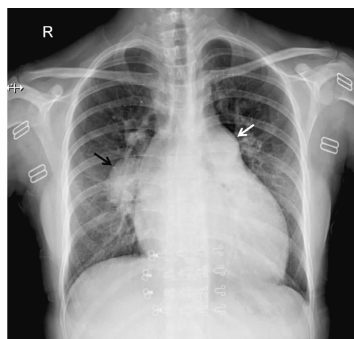


患者,女,33 岁,IPAH。心电图表现为窦性心律,电轴右偏,完全性右束支传导阻滞,V₁ 导联 R 波 2.1 mV,V₅ 导联 S 波 0.6 mV,提示右心室肥厚。胸壁导联 P 波振幅 > 0.15 mV,提示右心房肥大。II、III、aVF 导联 ST 段下斜型压低 0.1 ~ 0.2 mV,aVR 导联 ST 段水平型抬高 0.05 mV,V₁ ~ V₃、II、III、aVF 导联 T 波倒置

图 1 典型病例的心电图表现

2 胸片评估

PH 患者胸片中常观察到右心增大的表现。右心房增大表现为右心缘凸出。胸部侧位片上,软组织致密影应小于从胸骨上切迹到剑突顶部的 1/3 距离,若超过 1/3,在没有其他原因的解釋下,是右心室增大的可靠表现^[9]。典型病例胸片所见见图 2。



心脏增大,左心缘心尖上翘,右心缘膨出。肺动脉段膨出(白色箭头),右下肺动脉增宽(黑色箭头),双肺纹理增重

图 2 典型病例的胸部正位片所见

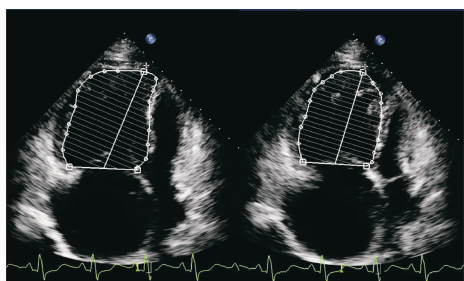
3 超声心动图评估

超声心动图是评估右心大小和功能的首选诊断工具^[10],有时还可用于分析 PH 的形成原因^[11]。二维经胸超声心动图可以有效评估右心室功能,是 PH 的独立危险因素^[12]。右心室结构形态复杂,超声不便于直接评估右心室功能,需通过间接测量来反映

右心室功能。右心室收缩功能可以使用数个参数评估,包括右室心肌做功指数(right ventricular index of myocardial performance, RIMP)、三尖瓣环收缩期位移幅度(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)、面积变化分数(fractional area change, FAC)和多普勒组织成像(Doppler tissue imaging, DTI)测得的三尖瓣环外侧收缩速度(S'波)。新的技术包括三维超声测得的右室射血分数(right ventricular ejection fraction, RVEF)和右室纵向应变(right ventricular longitudinal strain, RVLS)及斑点追踪超声心动图(speckle-tracking echocardiography, STE)。在多数研究和临床应用实践中,RIMP、TAPSE、FAC、三尖瓣环 S'波的评估价值更好。RVEF 重复性好,误差小,但是缺乏足够的临床数据证实其临床价值。TAPSE 易于获取,可重复性好,是右心室功能量化时最常用的参数,<17 mm 即提示右心室功能障碍^[13]。低 TAPSE 值与较低的心脏指数和较差的存活率相关^[14,15]。TAPSE 反映右心室纵向收缩功能,测量时以选取部位的功能代表整个右心室的功能,因此不适用于右心室运动不协调的患者^[16]。此外,负荷和角度的变化也会影响测量结果。在某些严重肺动脉高压(pulmonary arterial hypertension, PAH)的病例中,尽管 TAPSE 值正常,但右心室收缩功能仍存在明显受损;而心脏外科手术后患者右心室整体功能可能正常但 TAPSE 值减低^[17,18]。三尖瓣环 S'波反映心室纵向收缩力,S'波 <0.095 m/s 提示右心室功能障碍。与其他心超指标相比,S'波与 CMR 测得的 RVEF 有更强的相关性^[19]。该参数与角度相关,受心室整体运动的影响,有时不能准确反映右心室收缩功能^[20]。RIMP [(等容舒张时间+等容收缩时间)/射血时间]反映右心室整体功能。RIMP 分为脉冲多普勒和组织多普勒,脉冲多普勒 RIMP >0.43 且组织多普勒 RIMP >0.54 提示右心室功能异常^[21]。RIMP 被认为与 PVR 相关^[22],并可预测 RVEF 降低^[23],与 PH 的预后相关^[24]。RIMP 依赖于时间间隔,可以避免因结构而导致的图像不清,因此时间间隔产生的轻微变化会导致误差。除时间间隔外,RIMP 还受负荷影响,当右心房压力增加或心律不齐(心房颤动)时,RIMP 不可靠^[16]。FAC 是 RVEF 的二维替代指标,反映整个心室的收缩功能,<35% 提示右心室收缩功能不全^[21,25],是 PH 患者发病率和死亡率的独立预测因子^[26]。FAC 不局限于心室单一方向的运动,可以提供有关右心室收缩的纵向和径向信息^[13]。但这一方法首先忽略了右心室流出道对右心室射血的贡献,

其次是测量过程中需保证右心室侧壁及心尖部可见,而且还需要小心分辨肌小梁,可重复性欠佳^[21,27]。RVLS 指心肌收缩缩短的百分比,用于评估局部和整体的收缩功能,应变值 <-20% (即绝对值 >20%) 提示右心室功能降低。右心室应变是评估右心室功能的有效方法,与右心室每搏量指数、右心房压力(right atrial pressure, RAP)^[28]和 RVEF^[29]有很好的相关性,是 PAH 患者生存的预测因子^[30]。三维超声心动图通过三维采集测量综合径向和纵向收缩得出 RVEF,克服了二维超声心动图对 RVEF 估计不准确的局限性^[21],RVEF 减低的阈值为 45%。三维测量的 RVEF 是各种心血管疾病患者不良心血管结局的独立预测因子^[31]。三维射血分数是对右心室收缩性能的整体测量,描述的是收缩性和负荷之间的相互作用。该参数的测量较易受图像质量、心律失常和室间隔反常运动的影响^[21]。二维斑点追踪[two-dimensional (2D) speckle tracking]是一种可靠、准确和可行的评估右心室功能的定量技术,它可以更早地发现亚临床右心室功能障碍,但局限于测量二维平面的变形。三维斑点追踪[three-dimensional (3D) speckle tracking]可以克服二维的限制,提供必要的全面、定量的心室性能评价^[32]。对于 PH 患者,理想情况下应该在四腔切面上测量右心室大小,右心室基底部直径参考上限为 4.2 cm,评估右心室大小时应与左心室相对大小进行比较,有时尽管右心室大小在正常范围内,但看起来会明显大于左心室。右心室室壁薄且顺应性好,在 PVR 明显增加时,会引起右心室增大,最终可能导致心室肥厚。可见右心室扩张是 PVR 增加的标志^[16]。右心室压力超负荷患者的室间隔在收缩末期向左移位,右心室收缩期及舒张期的“D”形改变有助于对右心室容积和(或)压力超负荷的诊断^[16]。右心室压力超负荷患者的室间隔运动有两种类型:收缩早期前移(A型)和舒张早期后移(B型)。A型是右心室收缩和舒张功能不全的敏感指标,可独立预测心指数减低^[33]。心包积液大小与右心房压力相关,和室间隔移位均可反映 PH 患者右心衰竭严重程度并预测不良预后,是死亡率的重要预测因子^[34]。除上述指标外,还有其他参数可用于评价右心功能或疾病严重程度,如右心房和右室内径、心室压力上升率、下腔静脉宽度和吸气塌陷率、三尖瓣前向血流的脉冲多普勒频谱、估测肺动脉收缩压等。右心房压力升高是右心室功能障碍的标志,扩张的右心房提示容量和(或)压力超负荷,结合下腔静脉宽度和吸气塌陷率可以评估

右心房压力。右心房面积 $>18\text{ cm}^2$ 时认为右心房压升高,与疾病严重程度及预后相关^[35]。典型病例的超声心动图表现见图3。



FAC 通过追踪舒张末期和收缩末期的右心室内膜边界得出,图示 FAC 为 17%, $<35\%$ 提示右心室收缩功能不全

图3 典型病例的超声心动图表现

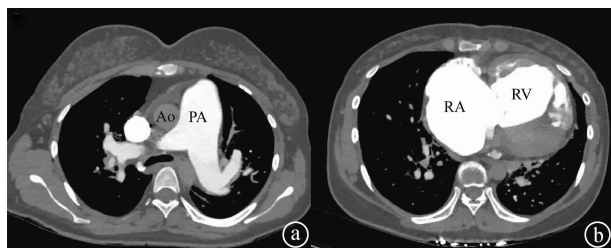
4 CMR 评估

CMR 是评估右心功能的金标准。PH 的 CMR 表现包括右心室扩张、右心室肥厚、室间隔变平直或反常运动、右心室腔形态由正常的新月形变为圆形。Shehata 等^[36]利用 CMR 发现 PH 患者的右心室纵向收缩力在基底段、中段和心尖部降低。CMR 还测得每搏输出量(stroke volume, SV)、心输出量(cardiac output, CO)和射血分数等指标^[37~39],结果与右心导管有较好的相关性,提示 CMR 采集的数据可以作为右心血流动力学的替代指标^[24]。SV 是判断 PH 患者预后的重要指标,无论是在基线状态还是在治疗中,SV 降低都与死亡率增加相关^[40,41]。由于向心性肥厚和右心室扩张,短轴位上可见右心室形态由新月形变为较圆的轮廓。在 $\text{mPAP} \geq 30\text{ mmHg}$ 的患者中,由于心室运动不同步,右心室处于收缩末期时左心室已进入舒张期,室间隔向左偏移,从而妨碍左心室充盈^[42],这一特点对诊断 PH 的敏感度为 86%,特异度为 91%^[7]。与健康对照组相比,PH 患者右心室质量更大,心室质量指数(右心室质量/左心室质量) >0.6 可提示 PH(敏感度为 84%,特异度为 71%)^[9]。一项原发性 PAH 队列研究发现,心室质量指数与有创测量的肺动脉压力相关性最强($r = 0.78, P < 0.0001$),对检测 PAH 的诊断准确率最高^[43]。CMR 在心脏纤维化和瘢痕区域可以看到造影剂清除延迟。这是由于 PH 中右心室压力长期较高,增加的机械应力不仅导致室间隔的运动变化,还导致右心室间隔插入部心肌的纤维化和强化^[9]。强化程度与右心室质量、mPAP、PVR 呈正相关,与 RVEF 呈负相关,强化程度越高,右心室功能和血流动力学越差^[24]。PAH 患者右心室容积变化先于临床恶化,CMR 评估的右心室容积变化可能是预测 PAH 患者

临床恶化的敏感指标^[44]。此外,右心室舒张末期和收缩末期容积增加、RVEF 降低也与 PH 患者预后较差相关,是 PH 死亡率的有效预测因子^[40,41],其中右心室舒张末期容积增加是进行性右心室功能衰竭最准确的标志^[9]。Rudski 等^[16]认为右心室舒张功能障碍与较差的心功能分级相关,并且是慢性心力衰竭和 PAH 患者死亡的独立预测因子。CMR 的缺点在于检查耗时长,不能用于体内有金属物的患者,且不能耐受长时间仰卧位或反复憋气的患者也不适用于该项检查。

5 CT 评估

CT 不仅可以显示肺实质、血管和心脏,还可用于寻找 PH 的病因,评估继发于 PH 的心血管变化,从而评估疾病的严重程度,适用于不能接受 CMR 的患者,还能提供较高的空间分辨率来确定心脏边界,但可能会高估右心室容积^[45,46]。常用的指标包括心腔的大小、右心室心肌增厚($>4\text{ mm}$)、室间隔变平直或向左偏曲、三尖瓣反流(对比剂反流到下腔静脉和肝静脉)、下腔静脉和肝静脉扩张、心包积液以及射血分数等血流动力学参数^[9]。CT 测量的部分指标与超声心动图相同,且具有同样的预后意义。RVEF 低于 40% 可作为中度充血性心力衰竭的重要死亡率预测因子,三尖瓣环平面收缩期位移降低与不良预后相关^[47]。在 CTEPH 患者中,mPAP、PVR 与马赛克灌注严重程度显著相关,主肺动脉、主肺动脉与主动脉直径之比与 mPAP 和右心房压力显著相关。Truong 等^[48]报道了主肺动脉增宽($\geq 31\text{ mm}$),以及主肺动脉与主动脉直径之比增大(>1)与死亡率增加相关。值得提出的是,CT 在鉴别各类 PH 中有重要的作用^[47]。典型病例的 CT 所见见图4。



①主肺动脉直径明显增宽,主肺动脉与同层面升主动脉直径之比 >1 ,左、右肺动脉增宽;②右心房右心室增大,室壁增厚。PA(pulmonary artery),肺动脉;Ao(aorta),主动脉;RA(right atrium),右心房;RV(right ventricle),右心室

图4 典型病例的肺动脉 CT 造影所见

6 右心导管评估

右心导管是诊断 PH 的金标准,可以评估右心功能。右心房压力用于估测右心室舒张末期容量(end-

diastolic volume, EDV) 或右心室前负荷, PAP 或 PVR 用于估测右心室后负荷, SV 反映右心室收缩性。右心导管中预测不良预后的指标包括 CO、RAP、PVR 和 PAP 等。该检查为有创检查, 其优势在于准确评估肺血管血流动力学参数^[49]。

7 放射性核素显像评估

放射性核素显像在超声心动图出现之前是一种准确可重复的右心室测量方法^[50]。它除可以反映收缩功能、灌注和代谢, 还可以评估形态学和射血分数^[9]。正常心肌主要以脂肪酸作为能量来源, 而不是葡萄糖, 代谢向糖酵解转变提示心肌处于病理状态。这种转变与心肌钙稳态异常和氧化应激增加有关^[51]。Bokhari 等^[52]发现 IPAH 患者在氟代脱氧葡萄糖-正电子发射计算机断层显像 (fluorodeoxyglucose positron emission tomography, FDG-PET) 扫描中右心室和左心室心肌葡萄糖摄取 (myocardial glucose uptake, MGU) 增加, 且右心室/左心室 MGU 比率与肺动脉压力之间存在相关性, 但仅右心室 MGU 增加不存在这种相关性。在 Lundgrin 等^[53]的研究中, 与健康对照组相比, IPAH 患者右心室摄取 18F-氟代脱氧葡萄糖 (fasting 2-deoxy-2-[(18)F] fluoro-d-glucose, FDG) 增加。Tatebe 等^[54]也在随访中发现临床恶化的 PH 患者右心室的 FDG 摄取显著增加。在 Wang 等^[55]的研究中, 虽然与 CMR 和 CT 相比, 门控正电子发射计算机断层显像 (positron emission tomography, PET) 有高估 RVEF 和低估右心室容积的趋势, 但三者之间存在高度的相关性。正电子发射计算机断层显像-核磁共振成像 (positron emission tomography-magnetic resonance imaging, PET-MRI) 结合了 MRI 与 PET, 可以同时获取结构、功能、灌注、组织特征和血流成像特点, 提高了对右心-肺动脉耦联的认识和理解^[9]。

8 生物标记物评估

B 型利钠肽 (B-type natriuretic peptide, BNP) 和 N 末端 B 型利钠肽原 (N-terminal pro-B-type natriuretic peptide, NT-proBNP) 用于 PH 患者的危险分层, 两者都是 PH 患者的死亡预测因子, 并可用于判断治疗效果。BNP 半衰期较短, 与血流动力学变化的相关性更好^[56], NT-proBNP 比 BNP 稳定, 更易评估^[57], 对右心室收缩功能障碍具有高度敏感性和特异性, 与 RVEF 呈负相关^[4]。C 反应蛋白 (C-reactive protein, CRP) 和 NT-proBNP 之间存在显著的相关性。CRP 作为炎症的生物标志物可反映右心室对压力负荷适应性的差异, CRP 升高的 PAH 患者预后较差, 这与右心室功能障碍有关。CRP 与右心室功能障碍有

关的原因可能是微血管或全身性炎症介导了右心室功能变化, 或 CRP 是右心室功能障碍引起的全身性炎症的下游生物标志物^[58]。血清肌钙蛋白 T (serum troponin T) 是心肌损伤的生物标志物, 在 13% ~ 20% 的 PAH 患者中可检测到。肌钙蛋白 T 升高除了在慢性左心室衰竭中有报道, 与右心室功能障碍也有关, 可作为 PH 右心室后负荷增加的生物标志物^[57]。有研究发现低钠血症 (血清钠 ≤ 136 mEq/L) 与右心衰竭和 PAH 患者的低生存率密切相关, 并提示 PAH 低钠血症是由晚期右心室反应引起的神经激素激活所致, 入院时的血清钠水平已被证明与患有右心衰竭急性加重的 PAH 患者的存活率相关^[57]。胱抑素 C (cystatin C, CysC) 是一种高度敏感的肾滤过内源性标志物。肾功能不全预示着 PAH 患者右心功能衰竭。肾小球滤过率和 CysC 与 RVEF 及右心室重量指数呈正相关, 但与其他右心室标志物均无相关性, 提示 CysC 可能是心肌重构的特异性标志物^[59]。此外, PH 所致右心室压力超负荷患者的 MicroRNA 较正常者有所异常, 这些异常水平的 MicroRNA 提示了心肌纤维化、心脏应激和右心室重构^[60]。

9 结语

PH 是一类严重的肺血管疾病, 右心功能对病情的准确评估、预后判断及临床决策有重要的意义。CMR 是无创评估右心功能的金标准, 但检查耗时长, 且对影像医师要求较高。超声心动图是 PH 重要的首选筛查及评估手段, 有时还有助于明确病因。多项反映右心功能的指标与 PH 患者预后及死亡率相关, 合理应用现有手段, 准确评估右心功能有助于更好的管理 PH 患者。

参考文献

- 1 Naeije R, Brimiouille S, Dewachter L. Biomechanics of the right ventricle in health and disease (2013 Grover Conference series) [J]. *Pulm Circ*, 2014, 4(3): 395–406.
- 2 中华医学会心血管病学分会肺血管病学组, 中华心血管病杂志编辑委员会. 中国肺高血压诊断和治疗指南 2018 [J]. *中华心血管病杂志*, 2018, 46(12): 933–964.
- 3 Chin KM, Kim NH, Rubin LJ. The right ventricle in pulmonary hypertension [J]. *Coron Artery Dis*, 2005, 16(1): 13–18.
- 4 Blyth KG, Groenning BA, Mark PB, et al. NT-proBNP can be used to detect right ventricular systolic dysfunction in pulmonary hypertension [J]. *Eur Respir J*, 2007, 29(4): 737–744.
- 5 Sitbon O, Humbert M, Nunes H, et al. Long-term intravenous epoprostenol infusion in primary pulmonary hypertension: prognostic factors and survival [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2002, 40(4): 780–788.
- 6 Lewczuk J, Ajlan AW, Piszko P, et al. Electrocardiographic signs of

- right ventricular overload in patients who underwent pulmonary embolism event(s). Are they useful in diagnosis of chronic thromboembolic pulmonary hypertension? [J]. *J Electrocardiol*, 2004,37(3): 219 – 225.
- 7 Alunni JP, Degano B, Arnaud C, et al. Cardiac MRI in pulmonary artery hypertension; correlations between morphological and functional parameters and invasive measurements[J]. *Eur Radiol*, 2010, 20(5): 1149 – 1159.
 - 8 Wen L, Sun ML, An P, et al. Frequency of supraventricular arrhythmias in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension[J]. *Am J Cardiol*, 2014, 114(9): 1420 – 1425.
 - 9 Hur DJ, Sugeng L. Non-invasive multimodality cardiovascular imaging of the right heart and pulmonary circulation in pulmonary hypertension [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2019,6:24.
 - 10 Bellsham-Revell HR, Simpson JM, Miller OI, et al. Subjective evaluation of right ventricular systolic function in hypoplastic left heart syndrome: how accurate is it? [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013, 26(1): 52 – 56.
 - 11 刘娜迪, 黄云洲, 李冬蓓, 等. 右室流出道狭窄患者合并肺动脉高压的超声心动图特征及形成原因分析[J]. *中国临床新医学*, 2020,13(5): 504 – 508.
 - 12 Murata M, Tsugu T, Kawakami T, et al. Right ventricular dyssynchrony predicts clinical outcomes in patients with pulmonary hypertension[J]. *Int J Cardiol*, 2017,228: 912 – 918.
 - 13 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. e14.
 - 14 Ghio S, Klersy C, Magrini G, et al. Prognostic relevance of the echocardiographic assessment of right ventricular function in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension[J]. *Int J Cardiol*, 2010, 140(3): 272 – 278.
 - 15 Forfia PR, Fisher MR, Mathai SC, et al. Tricuspid annular displacement predicts survival in pulmonary hypertension[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2006,174(9): 1034 – 1041.
 - 16 Rudski LG, Lai WW, Afialo J, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010,23(7): 685 – 713.
 - 17 Tamborini G, Muratori M, Brusoni D, et al. Is right ventricular systolic function reduced after cardiac surgery? A two- and three-dimensional echocardiographic study [J]. *Eur J Echocardiogr*, 2009,10(5): 630 – 634.
 - 18 Nguyen T, Cao L, Movahed A. Altered right ventricular contractile pattern after cardiac surgery; monitoring of septal function is essential[J]. *Echocardiography*, 2014, 31(9): 1159 – 1165.
 - 19 Wang Z, Yang Z, Wan Z, et al. Association between echocardiography derived right ventricular function parameters with cardiac magnetic resonance derived right ventricular ejection fraction and 6-minute walk distance in pulmonary hypertension patients[J]. *Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi*, 2014,42(9): 748 – 752.
 - 20 Smolarek D, Gruchala M, Sobiczewski W. Echocardiographic evaluation of right ventricular systolic function; the traditional and innovative approach[J]. *Cardiol J*, 2017, 24(5): 563 – 572.
 - 21 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*, 2015,16(3): 233 – 270.
 - 22 Blanchard DG, Malouf PJ, Gurudevan SV, et al. Utility of right ventricular Tei index in the noninvasive evaluation of chronic thromboembolic pulmonary hypertension before and after pulmonary thromboendarterectomy[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2009,2(2): 143 – 149.
 - 23 Pavlicek M, Wahl A, Rutz T, et al. Right ventricular systolic function assessment; rank of echocardiographic methods vs. cardiac magnetic resonance imaging [J]. *Eur J Echocardiogr*, 2011, 12(11): 871 – 880.
 - 24 McLure LE, Peacock AJ. Imaging of the heart in pulmonary hypertension[J]. *Int J Clin Pract Suppl*, 2007, (156): 15 – 26.
 - 25 Ling LF, Obuchowski NA, Rodriguez L, et al. Accuracy and inter-observer concordance of echocardiographic assessment of right ventricular size and systolic function; a quality control exercise[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012,25(7): 709 – 713.
 - 26 Austin C, Alassas K, Burger C, et al. Echocardiographic assessment of estimated right atrial pressure and size predicts mortality in pulmonary arterial hypertension[J]. *Chest*, 2015,147(1): 198 – 208.
 - 27 Portnoy SG, Rudski LG. Echocardiographic evaluation of the right ventricle: a 2014 perspective[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2015,17(4): 21.
 - 28 Sachdev A, Villarraga HR, Frantz RP, et al. Right ventricular strain for prediction of survival in patients with pulmonary arterial hypertension[J]. *Chest*, 2011, 139(6): 1299 – 1309.
 - 29 Focardi M, Cameli M, Carbone SF, et al. Traditional and innovative echocardiographic parameters for the analysis of right ventricular performance in comparison with cardiac magnetic resonance[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015,16(1): 47 – 52.
 - 30 Haeck ML, Scherptong RW, Marsan NA, et al. Prognostic value of right ventricular longitudinal peak systolic strain in patients with pulmonary hypertension[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2012,5(5): 628 – 636.
 - 31 Nagata Y, Wu VC, Kado Y, et al. Prognostic value of right ventricular ejection fraction assessed by transthoracic 3D echocardiography [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(2): e005384.
 - 32 Li Y, 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.
 - 33 Mori S, Nakatani S, Kanzaki H, et al. Patterns of the interventricular septal motion can predict conditions of patients with pulmonary hyper-

- tension[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2008,21(4): 386-393.
- 34 Raymond RJ, Hinderliter AL, Willis PW, et al. Echocardiographic predictors of adverse outcomes in primary pulmonary hypertension [J]. J Am Coll Cardiol, 2002,39(7): 1214-1219.
 - 35 Galie N, Humbert M, Vachiery JL, 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 Heart J, 2016, 37(1): 67-119.
 - 36 Shehata ML, Harouni AA, Skrok J, et al. Regional and global biventricular function in pulmonary arterial hypertension: a cardiac MR imaging study[J]. Radiology, 2013, 266(1): 114-122.
 - 37 Tardivon AA, Mousseaux E, Brenot F, et al. Quantification of hemodynamics in primary pulmonary hypertension with magnetic resonance imaging[J]. Am J Respir Crit Care Med, 1994,150(4): 1075-1080.
 - 38 Paz R, Mohiaddin RH, Longmore DB. Magnetic resonance assessment of the pulmonary arterial trunk anatomy, flow, pulsatility and distensibility[J]. Eur Heart J, 1993, 14(11): 1524-1530.
 - 39 Marcus JT, Noordegraaf AV, Roeleveld RJ, et al. Impaired left ventricular filling due to right ventricular pressure overload in primary pulmonary hypertension; noninvasive monitoring using MRI[J]. Chest, 2001,119(6): 1761-1765.
 - 40 Bourji KI, Hassoun PM. Right ventricle dysfunction in pulmonary hypertension: mechanisms and modes of detection[J]. Curr Opin Pulm Med, 2015,21(5): 446-453.
 - 41 Baggen VJ, Leiner T, Post MC, et al. Cardiac magnetic resonance findings predicting mortality in patients with pulmonary arterial hypertension: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Radiol, 2016,26(11): 3771-3780.
 - 42 Roeleveld RJ, Marcus JT, Faes TJ, et al. Interventricular septal configuration at MR imaging and pulmonary arterial pressure in pulmonary hypertension[J]. Radiology, 2005, 234(3): 710-717.
 - 43 Kochav J, Simprini L, Weinsaft JW. Imaging of the right heart—CT and CMR[J]. Echocardiography, 2015, 32 Suppl 1: S53-S68.
 - 44 van de Veerdonk MC, Marcus JT, Westerhof N, et al. Signs of right ventricular deterioration in clinically stable patients with pulmonary arterial hypertension[J]. Chest, 2015,147(4): 1063-1071.
 - 45 Tadic M. Multimodality evaluation of the right ventricle: an updated review[J]. Clin Cardiol, 2015, 38(12): 770-776.
 - 46 Guo YK, Gao HL, Zhang XC, et al. Accuracy and reproducibility of assessing right ventricular function with 64-section multi-detector row CT: comparison with magnetic resonance imaging[J]. Int J Cardiol, 2010, 139(3): 254-262.
 - 47 Dupont MV, Drăgean CA, Coche EE. Right ventricle function assessment by MDCT[J]. AJR Am J Roentgenol, 2011,196(1): 77-86.
 - 48 Truong QA, Bhatia HS, Szymonifka J, et al. A four-tier classification system of pulmonary artery metrics on computed tomography for the diagnosis and prognosis of pulmonary hypertension[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2018,12(1): 60-66.
 - 49 Naeije R. Assessment of right ventricular function in pulmonary hypertension[J]. Curr Hypertens Rep, 2015, 17(5): 35.
 - 50 Rich JD, Ward RP. Right-ventricular function by nuclear cardiology [J]. Curr Opin Cardiol, 2010, 25(5): 445-450.
 - 51 Ritchie RH, Delbridge LM. Cardiac hypertrophy, substrate utilization and metabolic remodelling: cause or effect? [J]. Clin Exp Pharmacol Physiol, 2006, 33(1-2): 159-166.
 - 52 Bokhari S, Raina A, Rosenweig EB, et al. PET imaging may provide a novel biomarker and understanding of right ventricular dysfunction in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension [J]. J Circ Cardiovasc Imaging, 2011, 4(6): 641-647.
 - 53 Lundgrin EL, Park MM, Sharp J, et al. Fasting 2-deoxy-2-[18F] fluoro-D-glucose positron emission tomography to detect metabolic changes in pulmonary arterial hypertension hearts over 1 year[J]. Ann Am Thorac Soc, 2013,10(1): 1-9.
 - 54 Tatebe S, Fukumoto Y, Oikawa-Wakayama M, et al. Enhanced [18F] fluorodeoxyglucose accumulation in the right ventricular free wall predicts long-term prognosis of patients with pulmonary hypertension: a preliminary observational study[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2014, 15(6): 666-672.
 - 55 Wang L, Zhang Y, Yan C, et al. Evaluation of right ventricular volume and ejection fraction by gated (18)F-FDG PET in patients with pulmonary hypertension: comparison with cardiac MRI and CT[J]. J Nucl Cardiol, 2013, 20(2): 242-252.
 - 56 Anwar A, Ruffenach G, Mahajan A, et al. Novel biomarkers for pulmonary arterial hypertension[J]. Respir Res, 2016, 17(1): 88.
 - 57 Cracowski JL, Leuchte HH. The potential of biomarkers in pulmonary arterial hypertension[J]. Am J Cardiol, 2012,110(6 Suppl): 32S-38S.
 - 58 DuBrock HM, AbouEzzedine OF, Redfield MM. High-sensitivity C-reactive protein in heart failure with preserved ejection fraction [J]. PLoS One, 2018,13(8): e0201836.
 - 59 Fenster BE, Lasalvia L, Schroeder JD, et al. Cystatin C: a potential biomarker for pulmonary arterial hypertension[J]. Respirology, 2014,19(4): 583-589.
 - 60 Batkai S, Bär C, Thum T. MicroRNAs in right ventricular remodeling[J]. Cardiovasc Res, 2017,113(12): 1433-1440.
- [收稿日期 2020-08-04][本文编辑 吕文娟 余 军]

本文引用格式

蒋凯煜, 苏 新, 郭朝霞, 等. 肺高血压之右心功能评估[J]. 中国临床新医学, 2020, 13(9): 845-851.