

无创心肌做功定量评估肺动脉高压患者右室功能的应用价值

樊昕颖 黄 消 程 巧 张 隽 孙 杰 汤乔颖 邓又斌 毕小军

摘要 目的 探讨无创心肌做功定量评估肺动脉高压(PH)患者右室功能的临床价值。方法 112例PH患者根据肺动脉收缩压(PASP)分为PH轻度组33例、PH中度组45例、PH重度组34例,另选同期健康志愿者44例为正常对照组,获取各组常规超声心动图参数,包括肺动脉内径(PAD)、左室收缩末期内径(LVEDd)、左室射血分数(LVEF)、三尖瓣环外侧收缩期峰值速度(S')、三尖瓣环收缩期位移(TAPSE)、右室面积变化分数(RVFAC)、右心做功指数(RIMP),以及右室游离壁纵向应变(RVFWLS)、右室整体纵向应变(RVGLS)。应用无创左室压力-应变环获得右室心肌做功参数,包括右室整体做功指数(RVGWI)、右室整体有用功(RVGCW)、右室整体无用功(RVGWW)、右室整体做功效率(RVGWE),比较各组上述参数的差异;分析右室心肌做功参数与常规超声心动图参数间的相关性。**结果** 常规超声心动图检查结果显示,与正常对照组、PH轻度组、PH中度组比较,PH重度组RIMP增高, S' 、TAPSE、RVFAC、RVFWLS及RVGLS均减低(均 $P<0.05$);与正常对照组比较,PH轻度组和中度组RIMP均增高(均 $P<0.05$)。无创心肌做功检查结果显示,随着PASP升高,RVGWI、RVGCW均逐渐增高,各组比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);与正常对照组、PH轻度组、PH中度组比较,PH重度组RVGWW明显增高,RVGWE明显减低(均 $P<0.05$)。与正常对照组比较,PH中度组RVGWW明显增高($P<0.05$)。相关性分析显示,RVGWI与 S' 、RIMP均呈正相关($P<0.05$);RVGCW与RVFAC呈负相关,与RIMP呈正相关(均 $P<0.05$);RVGWW与 S' 、TAPSE、RVFAC均呈负相关,与RIMP、RVFWLS、RVGLS均呈正相关(均 $P<0.05$);RVGWE与 S' 、TAPSE、RVFAC均呈正相关,与RIMP、RVFWLS、RVGLS均呈负相关(均 $P<0.05$)。**结论** 无创心肌做功可定量评估PH患者的右室功能,具有较好的临床应用价值。

关键词 超声心动描记术;无创心肌做功;肺动脉高压;心室功能,右

[中图法分类号]R540.45

[文献标识码]A

Application value of noninvasive myocardial work in the evaluation of right ventricular function in patients with pulmonary hypertension

FAN Xinying, HUANG Xiao, CHENG Qiao, ZHANG Jun, SUN Jie, TANG Qiaoying, DENG Youbin, BI Xiaojun

Department of Ultrasound Imaging, Tongji Hospital Affiliated to Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

ABSTRACT Objective To explore the value of noninvasive myocardial work in the evaluation of right ventricular function in patients with pulmonary hypertension (PH). **Methods** A total of 112 patients with PH were divided into PH mild group ($n=33$), PH moderate group ($n=45$) and PH severe group ($n=34$) according to pulmonary arterial systolic pressure (PASP). Meanwhile, a total of 44 healthy volunteers were selected as normal control group. Conventional echocardiographic parameters including pulmonary arterial diameter (PAD), left ventricular end-diastolic diameter (LVEDd), left ventricular ejection fraction (LVEF), peak systolic velocity of tricuspid annulus (S'), tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), right ventricular fractional area change (RVFAC), right ventricular index of myocardial performance (RIMP), and right ventricular free wall longitudinal strain (RVFWLS), right ventricular global longitudinal strain (RVGLS) were measured. The right ventricular myocardial work parameters were obtained by noninvasive pressure-strain loop, including right ventricular

基金项目:国家自然科学基金项目(81601507);2017年湖北省卫计委面上项目(WJ2017M080)

作者单位:430030 武汉市,华中科技大学同济医学院附属同济医院超声影像科

通讯作者:毕小军, Email: Bixiaojun185@aliyun.com

global work index (RVGWI), right ventricular global constructive work (RVGCW), right ventricular global wasted work (RVGWW), right ventricular global work efficiency (RVGWE). The differences of the above parameters were compared among the groups, and the correlation between right ventricular myocardial work parameters and conventional echocardiographic parameters were also analyzed. **Results** The results of conventional echocardiography showed that compared with normal control group, PH mild and PH moderate group, RIMP in PH severe group was higher, S' , TAPSE, RVFAC, RVFWLS and RVGLS were lower (all $P < 0.05$), and RIMP in PH mild and moderate PH group was higher than that in normal control group (all $P < 0.05$). The results of noninvasive myocardial work showed that RVGWI and RVGCW gradually increased with increasing PASP. The differences of RVGWI and RVGCW in each group were statistically significant (all $P < 0.05$). Compared with normal control group, PH mild and PH moderate group, RVGWW was significantly higher and RVGWE was significantly lower in PH severe group (all $P < 0.05$). RVGWW in PH moderate group was significantly higher than that in normal control group ($P < 0.05$). The correlation analysis showed that RVGWI was positively associated with S' and RIMP (all $P < 0.05$), RVGCW was negatively associated with RVFAC, and was positively associated with RIMP (both $P < 0.05$), RVGWW was negatively correlated with S' , TAPSE and RVFAC, and was positively associated with RIMP, RVFWLS and RVGLS (all $P < 0.05$), RVGWE was positively correlated with S' , TAPSE and RVFAC, and negatively associated with RIMP, RVFWLS, RVGLS (all $P < 0.05$). **Conclusion** Noninvasive myocardial work allows for a quantitative assessment of right ventricular function in PH patients, which has good clinical value.

KEY WORDS Echocardiography; Noninvasive myocardial work; Pulmonary hypertension; Ventricular function, right

肺动脉压力的升高会导致患者右心结构功能发生改变,最终出现右心功能衰竭致患者死亡^[1]。右室功能情况是决定肺动脉高压(pulmonary hypertension, PH)患者预后的关键因素。超声心动图是目前临床诊断PH患者的重要检查手段,可通过多种指标评价右室功能,但仍有一定局限性。二维斑点追踪技术通过逐帧追踪心内膜散射斑点测量心肌局部及整体形变,能较准确地反映心肌运动及功能,对右室功能的评估具有较高价值,但其具有负荷依赖性,且目前大多研究仅针对四腔心切面,单一切面的检查结果不足以反映右室整体情况。通过无创心室压力-应变环(pressure-strain loop, PSL)测量心肌做功是近年出现的一种定量评估心脏功能的新方法,其将估测的心室压力曲线与斑点追踪技术获得的应变相结合^[2],解决了单独使用应变分析时存在负荷依赖性的不足^[3],但目前关于无创心肌做功的研究主要集中在左室。最近有研究^[4]证实了由超声心动图无创获得的压力-容积环定量评估右室功能的可行性和准确性。基于此,本研究尝试应用右室无创PSL分析右室心肌做功参数,探讨无创心肌做功对不同程度PH患者右室功能的评估价值。

资料与方法

一、研究对象

选取2020年11月至2022年2月于我院就诊的PH患者112例,根据超声心动图所测肺动脉收缩压(pulmonary arterial systolic pressure, PASP)^[5]将其分为

3组:PH轻度组33例(PASP 40~50 mm Hg, 1 mm Hg=0.133 kPa),男14例,女19例,年龄17~85岁,平均(50.42±17.77)岁;PH中度组45例(PASP 51~70 mm Hg),男17例,女28例,年龄23~80岁,平均(50.49±16.08)岁;PH重度组34例(PASP>70 mm Hg),男11例,女23例,年龄18~89岁,平均(50.03±18.10)岁。其中系统性红斑狼疮相关PH 32例,房间隔缺损相关PH 25例,慢性阻塞性肺疾病相关PH 18例,肺栓塞相关PH 4例,不明原因或多种因素所致PH 33例。排除标准:①肺动脉瓣或三尖瓣未见明显反流;②肺动脉狭窄或右室流出道梗阻、冠状动脉粥样硬化性心脏病、心肌病、心脏瓣膜病、严重的心律失常患者;③右室切面显示不佳者。另选同期与PH患者年龄相匹配的健康志愿者44例为正常对照组,其中男23例,女21例,年龄17~80岁,平均(46.07±17.25)岁;均无心血管疾病史,心电图和超声心动图检查均正常。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有受检者均知情同意。

二、仪器与方法

1. 超声检查:使用GE Vivid E 9彩色多普勒超声诊断仪, M5S探头,频率1.7~3.4 MHz;配备EchoPac 204图像分析软件。受检者取左侧卧位,同步连接胸导联心电图,所有检查切面均以2015年美国超声心动图协会和欧洲心血管成像协会诊断指南^[6]为标准,采集至少连续3个心动周期的超声图像,包括胸骨旁长轴切面、胸骨旁短轴切面、左室心尖四腔心切面、左室心尖两腔心切面、左室心尖三腔心切面,以及右室心尖四腔心切面、心尖流入道(两腔心)切面、心尖流出道(三

腔心)切面^[7-9]。

2. 图像分析及参数获取: 常规超声心动图参数根据指南^[6]获取, 包括肺动脉内径 (pulmonary arterial diameter, PAD)、左室舒张末期内径 (left ventricular end-diastolic diameter, LVEDd)、左室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、三尖瓣环外侧收缩期峰值速度 (peak systolic velocity of tricuspid annulus, S')、三尖瓣环收缩期位移 (tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)、右室面积变化分数 (right ventricular fractional area change, RVFAC)、右心做功指数 (right ventricular index of myocardial performance, RIMP)。将图像导入 EchoPac 204 分析软件, 首先确定肺动脉瓣和三尖瓣的启闭时间, 以定义右室等容收缩期和射血期的持续时间。进入自动功能成像分析模式, 勾画描记右室心内膜, 必要时可手动调节感兴趣区。根据简化的伯努利方程计算 PASP 和肺动脉舒张压 (pulmonary arterial diastolic pressure, PADP)^[10]。点击 Myocardial work, 输入 PASP 和 PADP, 软件自动计算右室游离壁纵向应变 (right ventricular free wall longitudinal strain, RVFWLS) 和右室整体纵向应变 (right ventricular global longitudinal strain, RVGLS); PSL 检测心肌做功参数, 包括右室整体做功指数 (right ventricular global work index, RVGWI)、右室整体有用功 (right ventricular global constructive work, RVGCW)、右室整体无用功 (right ventricular global wasted work, RVGWW) 及右室整体做功效率 (right ventricular global work efficiency, RVGWE)^[11]。所有参数均重复测量 3 次取平均值。

3. 一致性分析: 从不同程度 PH 组和正常对照组中随机选取 20 例受检者, 观察者内一致性分析在间隔 4 周后进行; 观察者间一致性分析在两位观察者互不知晓测量结果的情况下进行。

三、统计学处理

应用 SPSS 26.0 统计软件, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 多

组比较采用单因素方差分析, 两两比较采用 Bonferroni 校正显著性水平。相关性分析采用 Pearson 相关分析法。一致性分析采用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 评估。P<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

一、一般资料比较

不同程度 PH 组 PASP、PADP、PAMP 均较正常对照组增加, 心率较正常对照组减低, 差异均有统计学意义 (均 P<0.05); PH 中度组 PASP 和 PAMP 均高于 PH 轻度组 (均 P<0.05), PH 重度组 PASP、PADP、PAMP 均高于 PH 轻度组和 PH 中度组 (均 P<0.05)。各组年龄、体质量指数、体表面积、收缩压、舒张压比较差异均无统计学意义。见表 1。

二、常规超声心动图参数和纵向应变比较

与正常对照组、PH 轻度组、PH 中度组比较, PH 重度组 RIMP 增高, LVEDd、S'、TAPSE、RVFAC、RVFWLS 及 RVGLS 均减低 (均 P<0.05); 与正常对照组比较, PH 轻度组及 PH 中度组 RIMP 均增高 (均 P<0.05), PH 轻度组、PH 中度组、PH 重度组 PAD 均增宽 (均 P<0.05)。各组 LVEF 比较差异无统计学意义。见表 2。

三、右室心肌做功参数比较

随着 PASP 升高, RVGWI、RVGCW 均逐渐增高, 各组比较差异均有统计学意义 (均 P<0.05); 与正常对照组、PH 轻度组、PH 中度组比较, PH 重度组 RVGWW 明显增高, RVGWE 明显减低 (均 P<0.05)。与正常对照组比较, PH 中度组 RVGWW 明显增高 (P<0.05)。见表 3 和图 1。

四、相关性分析

相关性分析显示, RVGWI 与 S'、RIMP 均呈正相关 (均 P<0.05); RVGCW 与 RVFAC 呈负相关, 与 RIMP 呈正相关 (均 P<0.05); RVGWW 与 S'、TAPSE、RVFAC 均呈负相关, 与 RIMP、RVFWLS、RVGLS 均呈正相关 (均 P<0.05); RVGWE 与 S'、TAPSE、RVFAC 均呈正相关, 与 RIMP、RVFWLS、RVGLS 均呈负相关 (均 P<0.05)。

表 1 各组一般资料比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	年龄(岁)	BMI(kg/m ²)	BSA(m ²)	收缩压(mm Hg)	舒张压(mm Hg)	心率(次/min)	PASP(mm Hg)	PADP(mm Hg)	PAMP(mm Hg)
正常对照组	46.07±17.25	22.05±2.89	1.68±0.25	126.34±19.15	83.82±12.27	83.65±12.92	28.41±4.35	11.02±3.08	16.82±2.74
PH轻度组	50.42±17.77	20.65±3.22	1.59±0.16	120.39±15.49	77.27±11.08	73.91±11.59 ^a	45.55±3.25 ^a	18.39±5.96 ^a	27.55±4.48 ^a
PH中度组	50.49±16.08	20.88±2.67	1.65±0.18	118.07±13.32	78.58±9.45	73.09±11.01 ^a	58.51±5.40 ^{ab}	21.22±7.70 ^a	36.78±9.11 ^{ab}
PH重度组	50.03±18.10	21.90±3.19	1.64±0.19	122.32±13.52	78.32±10.12	67.65±10.27 ^a	99.35±22.28 ^{abc}	30.74±10.46 ^{abc}	53.50±11.92 ^{abc}
F 值	0.650	2.179	1.326	2.186	1.201	1.942	272.761	49.639	152.399
P 值	0.584	0.093	0.268	0.092	0.031	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与正常对照组比较, ^aP<0.05; 与 PH 轻度组比较, ^bP<0.05; 与 PH 中度组比较, ^cP<0.05。BMI: 体质量指数; BSA: 体表面积; PASP: 肺动脉收缩压; PADP: 肺动脉舒张压; PAMP: 肺动脉平均压。1 mm Hg=0.133 kPa

表2 各组常规超声心动图参数和纵向应变比较($\bar{x}\pm s$)

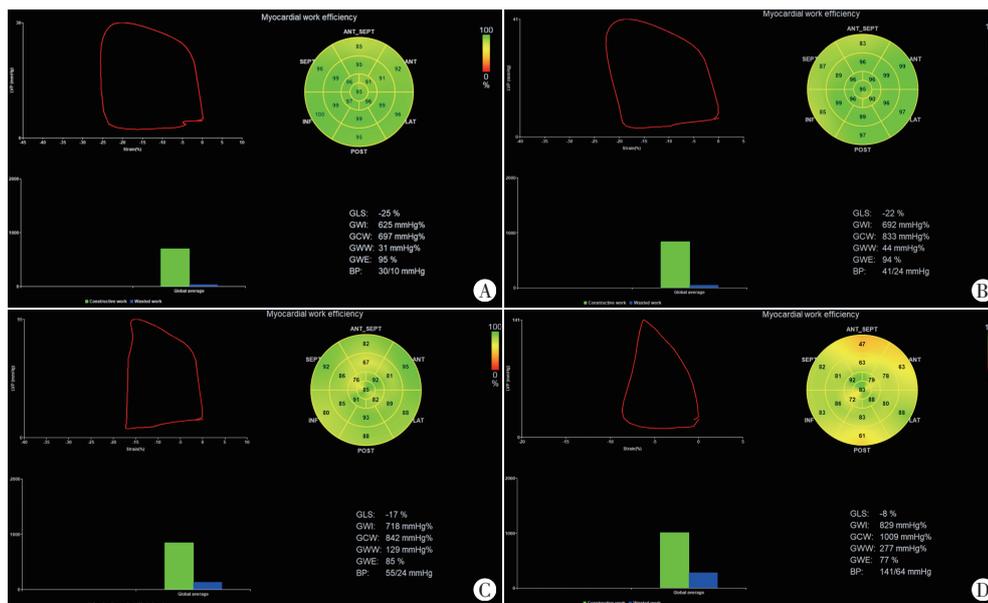
组别	常规超声心动图参数							纵向应变(%)	
	PAD(mm)	LVEDd(mm)	LVEF(%)	S'(cm/s)	TAPSE(mm)	RVFAC(%)	RIMP	RVFWLS	RVGLS
正常对照组	22.82±2.93	46.18±4.05	68.84±4.54	13.57±2.10	23.30±3.16	45.45±5.60	0.34±0.06	-27.08±3.54	-22.97±1.87
PH轻度组	27.73±5.25 ^a	43.79±5.34	65.76±6.36	14.39±2.30	21.94±4.74	42.45±7.14	0.42±0.11 ^a	-27.00±4.54	-22.24±3.17
PH中度组	30.51±7.56 ^a	44.62±5.48	66.04±6.62	14.89±2.92	22.29±4.40	41.67±7.69	0.41±0.08 ^a	-25.34±4.58	-21.62±3.55
PH重度组	30.62±5.27 ^a	39.15±8.27 ^{abc}	66.18±8.60	11.65±2.72 ^{abc}	16.38±4.13 ^{abc}	29.53±10.80 ^{abc}	0.50±0.14 ^{abc}	-16.20±7.39 ^{abc}	-14.41±5.75 ^{abc}
F值	18.325	9.893	1.994	11.595	20.852	28.741	15.588	36.911	40.234
P值	<0.001	<0.001	0.117	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与正常对照组比较,^a $P<0.05$;与PH轻度组比较,^b $P<0.05$;与PH中度组比较,^c $P<0.05$ 。PAD:肺动脉内径;LVEDd:左室舒张末期内径;LVEF:左室射血分数;S':三尖瓣环外侧收缩期峰值速度;TAPSE:三尖瓣环收缩期位移;RVFAC:右室面积变化分数;RIMP:右心做功指数;RVFWLS:右室游离壁纵向应变;RVGLS:右室整体纵向应变

表3 各组右室心肌做功参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	RVGWI(mm Hg%)	RVGCW(mm Hg%)	RVGWW(mm Hg%)	RVGWE(%)
正常对照组	473.00±76.13	588.20±109.46	39.34±20.22	92.93±2.45
PH轻度组	716.21±106.46 ^a	894.27±135.56 ^a	58.09±21.10	92.58±2.63
PH中度组	879.42±155.79 ^{ab}	1125.13±199.19 ^{ab}	108.13±59.02 ^a	90.53±4.12
PH重度组	1024.53±341.35 ^{abc}	1331.71±343.27 ^{abc}	211.03±169.26 ^{abc}	84.29±10.17 ^{abc}
F值	62.00	91.25	28.77	18.60
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与正常对照组比较,^a $P<0.05$;与PH轻度组比较,^b $P<0.05$;与PH中度组比较,^c $P<0.05$ 。RVGWI:右室整体做功指数;RVGCW:右室整体有用功;RVGWW:右室整体无用功;RVGWE:右室整体做功效率



A: 正常对照组; B: PH轻度组; C: PH中度组; D: PH重度组

图1 各组右室心肌做功分析图(左上角为PSL,其面积为RVGWI;右上角为RVGWE牛眼图,越接近绿色表示工作效率越高,越接近红色表示工作效率越低;左下角柱状图中绿色代表RVGCW,蓝色代表RVGWW)

见表4。

五、一致性分析

一致性分析结果显示, RVGWI、RVGCW、RVGWW和RVGWE观察者内ICC分别为0.969、0.982、0.892、0.957(均 $P<0.001$);观察者间ICC分别为0.963、0.980、0.850、0.798(均 $P<0.001$)。见表5。

讨论

PH是一种以心血管及呼吸系统受累为主,并与其他多个系统相关的病理生理综合征。PH患者临床表现无特异性,早期易被忽视。随着肺动脉压力的不断增高,右心负荷持续加重,严重者可进展为右心衰竭,最终导致死亡^[12]。文献^[13]报道右室对后负荷的增加较左室更为敏感,后负荷明显增加时右室功能更易恶化^[3],因此准确评估右室功能对临床具有重要意义。超声心动图可评估PH患者的右室功能,是其诊疗

过程中重要的诊断及病情评估方法^[5]。目前超声心动图评估右室功能的常用参数主要为S'、TAPSE、RVFAC、RIMP、RVFWLS、RVGLS^[6],但由于右室形态结构的复杂性及特殊性,这些指标仍存在局限。S'和TAPSE可以通过测量右室游离壁基底部纵向收缩能

表 4 右室心肌做功参数与常规超声心动图参数和纵向应变的相关性分析

参数	S'		TAPSE		RVFAC		RIMP		RVFWLS		RVGLS	
	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值
RVGWI	0.166	0.038	-0.083	0.305	-0.084	0.300	0.165	0.039	0.057	0.477	0.013	0.869
RVGCW	0.118	0.143	-0.155	0.053	-0.176	0.028	0.207	0.009	0.154	0.054	0.119	0.141
RVGWW	-0.231	0.004	-0.387	<0.001	-0.544	<0.001	0.274	0.001	0.551	<0.001	0.597	<0.001
RVGWE	0.346	<0.001	0.442	<0.001	0.665	<0.001	-0.389	<0.001	-0.649	<0.001	-0.741	<0.001

S': 三尖瓣环外侧收缩期峰值速度; TAPSE: 三尖瓣环收缩期位移; RVFAC: 右室面积变化分数; RIMP: 右心做功指数; RVFWLS: 右室游离壁纵向应变; RVGLS: 右室整体纵向应变

表 5 观察者内及观察者间的一致性分析

参数	观察者内			观察者间		
	ICC	95% 可信区间	P 值	ICC	95% 可信区间	P 值
RVGWI	0.969	0.923~0.987	<0.001	0.963	0.909~0.985	<0.001
RVGCW	0.982	0.955~0.993	<0.001	0.980	0.949~0.992	<0.001
RVGWW	0.892	0.749~0.956	<0.001	0.850	0.661~0.938	<0.001
RVGWE	0.957	0.894~0.983	<0.001	0.798	0.558~0.915	<0.001

ICC: 组内相关系数

力反映右室功能, 但仅能反映右室局部收缩功能, 且具有角度依赖性^[14]; RVFAC 包含了右室收缩纵向和径向信息, 但忽略了右室流出道对射血的贡献, 且对图像质量要求较高; RIMP 是综合衡量心室收缩和舒张功能的指标, 但具有负荷依赖性, 且易受心脏节律影响, 检测右房压力升高或心律失常患者时结果并不可靠^[6]。斑点追踪技术不存在角度依赖性, 其通过逐帧追踪心内膜散射斑点测量心肌局部和整体形变能力, 能够较准确地反映心脏功能, 但目前对右室的应变分析大多停留在四腔心切面, 在反映右室整体功能方面仍存在局限^[7-8]。本研究结果显示, 与正常对照组比较, S'、TAPSE、RVFAC、RVFWLS、RVGLS 均仅在 PH 重度组发生了显著变化, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$); RIMP 在 PH 轻度组与 PH 中度组比较也未见明显差异, 证实了上述参数的局限性。

无创心肌做功将无创估测的心室压力曲线与斑点追踪技术获得的应变相结合得出心室 PSL, 可定量评估心室功能^[2]。其不仅能解决应变存在负荷依赖性的问题, 还可以反映心肌代谢情况。目前研究^[15]已证实该方法在高血压病等多种心血管疾病的评估中具有重要意义, 但多用于左室功能评估。Richter 等^[4]研究证明无创估测的右室压力-容积环与有创方法获得的压力-容积环有较强的相关性和一致性, 一定程度上可以替代有创方法对右室进行评估, 同时也提示可以进一步对无创右室 PSL 展开研究。基于此, 本研究应用 PSL 检测不同程度 PH 患者及正常成人右室心肌做功参数, 旨在探讨无创心肌做功评估 PH 患者右室功能的价值。

研究^[2]证实心肌整体做功指数与心肌耗氧量及能量代谢相关; Chan 等^[15]研究显示, 与健康对照组比较, 中至重度高血压病患者左室心肌整体做功指数显著升高 ($P < 0.05$), 表明高血压病患者左室心肌耗氧量及能量代谢显著增高。同样, 在 PH 早期, 为抵抗后负荷的增加以维持右室正常的射血功能, 右室心肌做功量激增, 心肌耗氧量及能量代谢必然也会增加。本研究结果显示, PH 患者 RVGWI 和 RVGCW 均较正常对照组明显增加(均 $P < 0.05$), 与上述病理生理机制相符。值得注意的是, PH 患者 RVGWI 与 RVGCW 的增加在轻度组就已出现, 而常规超声心动图参数在轻度组与正常对照组比较差异均无统计学意义。表明右室心肌做功参数较常规超声心动图参数更敏感, 在 PH 患者右室常规超声心动图参数尚未发生明显改变时, RVGWI 和 RVGCW 就已经反映右室功能变化。本研究结果还显示 RVGWE 仅在 PH 重度组与 PH 轻度组、PH 中度组及正常对照组间比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$), 分析其原因: ①在肺动脉压力增高早期 RVGCW 与 RVGWW 随着后负荷的增加成比例增加, 故 PH 轻度组和 PH 中度组 RVGWE 相对保留; ②可能与早期代偿机制相关, 在肺动脉压力轻中度增高时, 右室功能尚可, 但随着肺动脉压力的持续增高, 右室结构和功能开始变化, 逐渐发展为右室扩张和收缩功能障碍^[16], 此时右室所做有用功的增加已不足以弥补右室所做无用功的增加, RVGWE 开始表现出明显降低。肺动脉压力增高时右室的这种代偿机制与高血压时左室功能的代偿机制类似。Mansour 等^[17]认为高血压病患者左室所做有用功的增加弥补了无用功的增加, 因此左室整体做功效率相对不变; 王小林^[18]研究发现, 原发性高血压病患者左室整体做功指数较健康者明显增高, 且左室肥厚患者整体做功效率低于健康者, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$); 而非左室肥厚患者整体做功效率与健康者比较差异无统计学意义。以上研究均表明整体做功效率能够反映当后负荷的增加超过心室代偿能力时心脏结构功能的改变。RVGWE 的降低能更直接地反映右室功能的下

降,对提示PH患者的不良预后具有重要意义。

Butcher等^[1]研究表明,RVGCW与有创方法测得的心功能参数具有相关性。国内研究^[19]也证明右室心肌做功参数与临床心功能评估参数间有较好的相关性。本研究结果显示,RVGCW与RVFAC呈负相关,与RVFWLS、RVGLS呈正相关;RVGWE则与RVFAC呈正相关,与RVFWLS、RVGLS呈负相关(均 $P<0.05$)。表明无创心肌做功能够较真实地反映PH患者右室功能。

本研究的局限性:①右室心肌做功分析使用的是左室分析软件,所得结果可能会有一定偏差;②无创估测的肺动脉压未与心导管测值进行比较;③目前尚无指南报道右室两腔心及右室三腔心的标准扫描切面;④样本量有待进一步扩大;⑤未进行右室心肌做功参数与心脏磁共振等其他临床右室功能评估指标间的相关性分析。今后应考虑分析不同病因所致PH患者的右室功能,同时研究无创心肌做功在评估PH患者疗效及预后中的价值。

综上所述,无创心肌做功能够反映不同程度PH患者的右室功能,为临床诊疗提供有价值的定量参数,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] Wang J, Qian J, Wang Y, et al. Serological biomarkers as risk factors of SLE-associated pulmonary arterial hypertension: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Lupus*, 2017, 26(13): 1390-1400.
- [2] Russell K, Eriksen M, Aaberge L, et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work[J]. *Eur Heart J*, 2012, 33(6): 724-733.
- [3] Takenaka K. Nimura lecture: why are you evaluating RV function in patients with pulmonary arterial hypertension? [J]. *J Echocardiogr*, 2019, 17(1): 1-4.
- [4] Richter MJ, Yogeswaran A, Husain-Syed F, et al. A novel non-invasive and echocardiography-derived method for quantification of right ventricular pressure-volume loops [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2022, 23(4): 498-507.
- [5] Cordina RL, Playford D, Lang I, et al. State-of-the-art review: echocardiography in pulmonary hypertension [J]. *Heart Lung Circ*, 2019, 28(9): 1351-1364.
- [6] 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.
- [7] Evaldsson AW, Ingvarsson A, Smith JG, et al. Echocardiographic right ventricular strain from multiple apical views is superior for assessment of right ventricular systolic function [J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2019, 39(2): 168-176.
- [8] Forsha D, Risum N, Smith PB, et al. Frequent activation delay-induced mechanical dyssynchrony and dysfunction in the systemic right ventricle [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(11): 1074-1083.
- [9] Rajagopal S, Forsha DE, Risum N, et al. Comprehensive assessment of right ventricular function in patients with pulmonary hypertension with global longitudinal peak systolic strain derived from multiple right ventricular views [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2014, 27(6): 657-665.
- [10] 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) [J]. *Eur Respir J*, 2015, 46(6): 1855-1856.
- [11] Butcher SC, Fortuni F, Montero-Cabezas JM, et al. Right ventricular myocardial work: proof-of-concept for non-invasive assessment of right ventricular function [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(2): 142-152.
- [12] 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.
- [13] Haddad F, Hunt SA, Rosenthal DN, et al. Right ventricular function in cardiovascular disease. part I: anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle [J]. *Circulation*, 2008, 117(11): 1436-1448.
- [14] Longobardo L, Suma V, Jain R, et al. Role of two-dimensional speckle-tracking echocardiography strain in the assessment of right ventricular systolic function and comparison with conventional parameters [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017, 30(10): 937-946.
- [15] Chan J, Edwards NFA, Khandheria BK, et al. A new approach to assess myocardial work by non-invasive left ventricular pressure-strain relations in hypertension and dilated cardiomyopathy [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(1): 31-39.
- [16] Ryan JJ, Huston J, Kutty S, et al. Right ventricular adaptation and failure in pulmonary arterial hypertension [J]. *Can J Cardiol*, 2015, 31(4): 391-406.
- [17] Mansour MJ, Aljaroudi W, Mansour L, et al. Value of myocardial work for assessment of myocardial adaptation to increased afterload in patients with high blood pressure at peak exercise [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(9): 1647-1656.
- [18] 王小林. 心肌做功评价不同构型原发性高血压患者左室功能的临床研究 [D]. 江西: 南昌大学, 2020.
- [19] 王俭, 杨梦慧, 孙灵跃, 等. 无创性压力-应变环评估肺动脉高血压患者右心功能和预后的价值 [J]. *国际心血管病杂志*, 2021, 48(5): 306-311.

(收稿日期: 2022-04-27)