

· 临床研究 ·

基于心脏磁共振右心室-肺动脉耦联参数在评估CTD-PH危险分层中的研究

马珂凡¹, 刘王琰^{1*}, 王 婧², 孙晓萱², 祝因芬¹, 徐 怡¹

¹南京医科大学第一附属医院放射科, ²风湿科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的:探讨基于心脏磁共振(CMR)右心室-肺动脉耦联(VAC)参数在评估结缔组织疾病相关肺动脉高压(CTD-PH)危险分层中的应用价值。方法:回顾性分析2018年6月—2022年4月期间62例CTD-PH患者临床及CMR资料,根据危险分层将其分为组1(低危及中低危患者, $n=39$ 例)和组2(中高危及高危患者, $n=23$ 例),并对患者的左右心室容积、功能参数、左心室心肌组织学参数及VAC进行分析,寻找用于预测CTD-PH危险分层的最佳模型。结果:右心室容积功能参数和右心室插入部的组织学参数在两组PH患者间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。右心室舒张末期容积指数(RVEDVI)和VAC具有独立预测效能,联合RVEDVI和VAC具有最高的预测准确性($AUC=0.839$, $95\%CI:0.735\sim0.944$, $P < 0.001$)。结论:右心室相关的容积、功能参数和右心室插入部的组织学参数可用于评估CTD-PH危险分层,联合RVEDVI和VAC可提高评估危险分层的准确性。

[关键词] 右心室-肺动脉耦联;右心室功能;肺动脉高压;心脏磁共振

[中图分类号] R445.2

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2023)08-1121-07

doi:10.7655/NYDXBNS20230812

The study of CMR based right ventricular-pulmonary arterial coupling in the assessment of CTD-PH risk stratification

MA Kefan¹, LIU Wangyan^{1*}, WANG Qiang², SUN Xiaoxuan², ZHU Yinsu¹, XU Yi¹

¹Department of Radiology, ²Department of Rheumatology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

[Abstract] **Objective:** To investigate the value of cardiac magnetic resonance (CMR) based right ventricular-pulmonary arterial coupling (VAC) parameters in assessing risk stratification of connective tissue disease-related pulmonary hypertension (CTD-PH). **Methods:** The clinical and CMR data of 62 patients with CTD-PH between June 2018 and April 2022 were retrospectively analyzed, and they were divided into group 1 (low-risk and low-to-moderate-risk patients, $n=39$) and group 2 (moderate-to-high-risk and high-risk patients, $n=23$) according to risk stratification, and the patients' right and left ventricle-related volumetric and functional parameters, left ventricular tissue characterization parameters and VAC were statistically analyzed. The optimal model was sought to predict CTD-PH risk stratification. **Results:** The differences in right ventricle-related volumetric and functional parameters, and tissue characterization parameters of the right ventricular insertion were statistically significant in the two groups of patients with CTD-PH ($P < 0.05$). The right ventricular end-diastolic point (RVIP) volume index (RVEDVI) and VAC were independent predictors, and the combination of RVEDVI and VAC had the best predictive accuracy ($AUC=0.839$, $95\% CI: 0.735\sim0.944$, $P < 0.001$). **Conclusion:** Right ventricle-related volumetric and functional parameters, and RVIP tissue characterization parameters can be used to assess CTD-PH risk stratification; the combination of RVEDVI and VAC improves the accuracy of assessing risk stratification.

[Key words] right ventricular-pulmonary arterial coupling; right ventricular function; pulmonary hypertension; cardiac magnetic resonance

[J Nanjing Med Univ, 2023, 43(08):1121-1127]

[基金项目] 国家自然科学基金(81601464, 61871117)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: 15950536335@163.com

肺动脉高压(pulmonary hypertension, PH)是指在静息状态下右心导管测量的平均肺动脉压力 ≥ 25 mmHg,主要表现为肺动脉压力和肺血管阻力的进行性升高^[1]。结缔组织疾病相关的肺动脉高压(pulmonary hypertension associated with connective tissue disease, CTD-PH)是PH中的一种特殊类型,其预后较差,如不及时处理往往发生右心衰竭甚至死亡^[2]。在疾病治疗决策中,对CTD-PH进行危险分层,从而对其进行个性化干预具有重要价值。目前对CTD-PH危险分层纳入的参数主要包括WHO心功能分级、6 min步行试验和血浆脑利钠肽(brain natriuretic peptide, BNP)或N末端脑利钠肽前体(N-terminal proBNP, NT-proBNP)^[3-4]。2022年ESC/ERS指南已建议将这些参数用于PH患者的随访中^[5],但其中一些数据的准确获取仍有一定难度。心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)可以准确获取右心室(right ventricle, RV)形态、功能以及左心室(left ventricle, LV)组织学等参数,尤其是右心室-肺动脉耦联(right ventricular-pulmonary arterial coupling, VAC)可以反映右心室对肺动脉压力增加的代偿功能。但以上CMR参数对于评估PH风险的应用价值目前尚不明确^[6-8]。本研究拟采用多数CMR,评估其在CTD-PH危险分层中的价值。

1 对象和方法

1.1 对象

回顾性分析2018年6月—2022年4月在南京医科大学第一附属医院行CMR检查的62例患者的临床及CMR资料。纳入标准:①明确诊断为结缔组织疾病^[9];②超声心动图诊断为PH,即收缩期肺动脉压力 > 35 mmHg^[1,10],且与CMR检查时间间隔不超过2周;③危险分层评估与CMR检查间隔时间不超过1个月。排除标准:①除CTD-PH外其他类型的肺动脉高压;②图像质量不佳,难以进行后处理分析。根据患者的危险分层^[3-4]分为两组:①组1包括危险分层为低危、中低危的患者39例,其中,女38例,男1例,年龄16~72岁;②组2包括危险分层为中高危、高危的患者23例,均为女性,年龄14~66岁。危险分层的具体方法详见表1^[3-5],危险分层等级的计算方法是将所有等级的总和除以变量的总数,使用进一法取整得到最终的等级。

1.2 方法

采用3T磁共振(MAGNETOM Skyra, Siemens公司,德国)、体部18通道相控阵线圈并联合心电门控

表1 CTD-PH危险分层

Table 1 Risk stratification of CTD-PH

分层	低危	中低危	中高危	高危
得分(分)	1	2	3	4
WHO心功能分级	I或II	—	III	IV
6 min步行试验(m)	>440	320~440	165~319	<165
BNP(ng/L)	<50	50~199	200~800	>800
NT-proBNP(ng/L)	<300	300~649	650~1 100	>1 100

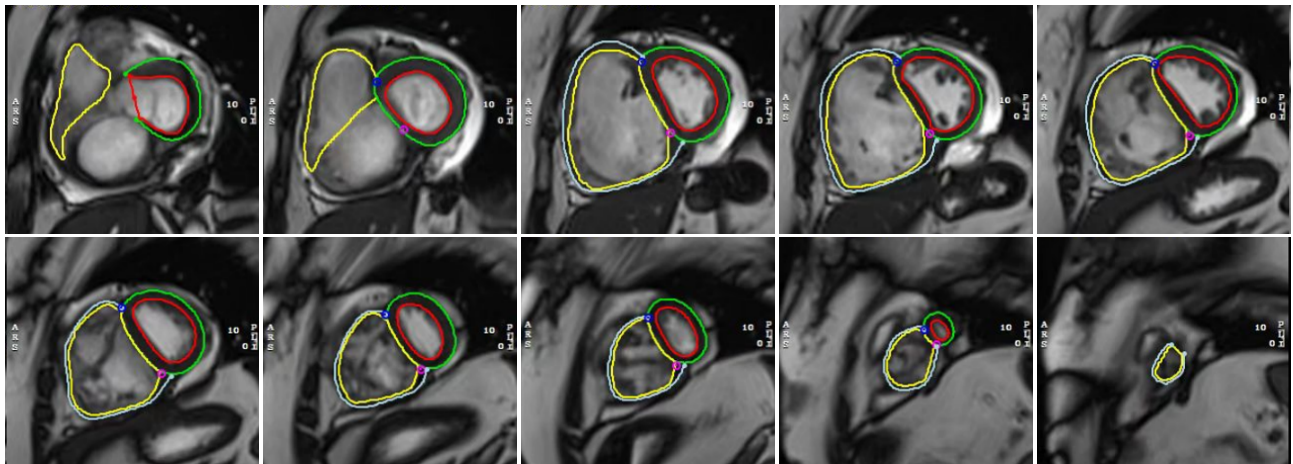
技术进行扫描。电影图像使用SSFP序列,采集包括3个长轴位(两腔心、三腔心、四腔心)及左室基底至心尖部的短轴位,主要扫描参数包括:TR 3.4 ms, TE 1.4 ms,视野(FOV)380 mm×380 mm,采集矩阵256×256,FA 47°,层厚8 mm,层间距2 mm。T1图像包括注射对比剂前及注射对比剂后15~20 min相同位置的左室基底、心中部、心尖部3层短轴图像,使用MOLLI序列获得,主要扫描参数包括:TR 2.9 ms, TE 1.15 ms, FOV 360 mm×360 mm,采集矩阵192×172,FA 35°,体素1.3 mm×1.3 mm×8.0 mm。

将图像导入CIV42软件(Circle Cardiovascular Imaging,加拿大)测量左心室射血分数(LV ejection fraction, LVEF)、左心室舒张末期容积指数(LV end diastolic volume index, LVEDVI)、左心室收缩末期容积指数(LV end systolic volume index, LVESVI)、左心室每搏输出量指数(LV stroke volume index, LVSVI)、左心室心脏指数(LV cardiac index, LVCI)、右心室射血分数(right ventricular ejection fraction, RVEF)、右心室舒张末期容积指数(RV end diastolic volume index, RVEDVI)、右心室收缩末期容积指数(RV end systolic volume index, RVESVI)、右心室每搏输出量指数(RV stroke volume index, RVSVI)、右心室心脏指数(RV cardiac index, RVCI)、右心室心肌质量指数(RV myocardial mass index, RVMMI),并计算RVSVI与RVESVI的比值得到VAC。以上参数使用体表面积进行标化(图1)。在PACS图像系统上手动测量四腔心右心房最大面积、室间隔角,通过勾画ROI测量右心室上下插入部和室间隔的打药前后T1值,并根据公式,计算出相应的细胞外容积(extracellular volume, ECV)(图2)。

$ECV = (1/\text{增强后心肌 } T1 - 1/\text{初始心肌 } T1) / (1/\text{增强后血池 } T1 - 1/\text{初始血池 } T1) \times (1 - \text{红细胞压积}) \times 100\%$,右心室插入部的初始T1值取上下插入部的最大值。

1.3 统计学方法

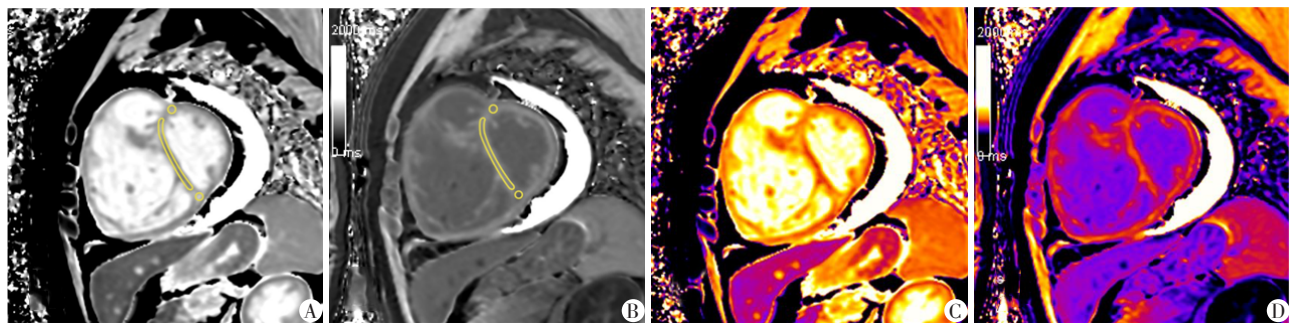
采用SPSS 26.0版本进行统计学分析。连续变



所有轮廓线均在心脏短轴位舒张末期圈画。红色轮廓线代表左心室心内膜,绿色轮廓线代表左心室外膜,黄色轮廓线代表右心室心内膜,蓝色轮廓线代表右心室外膜。肌小梁和乳头肌包含在心室容积内。

图1 左心室和右心室的轮廓图

Figure 1 Contouring of the left and right ventricle



CTD-PH患者,女,52岁,危险分层为高危,在左心室中部层面进行勾画,条形区域为室间隔,圆形区域为右心室上下插入部。A:初始T1图像显示室间隔T1值为1322 ms,右心室插入部T1值为1565 ms;B:增强后T1图像显示室间隔T1值为659 ms,右心室插入部T1值为631 ms;C:与A对应的伪彩图,D:与B对应的伪彩图。

图2 右心室插入部和室间隔的打药前后T1值的测量

Figure 2 Measurement of T1 values of the right ventricular insertion point and interventricular septum before and after injection

量用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,通过独立样本 *t* 检验进行两组间差异比较;分类变量用百分比(%)表示,通过卡方检验或 Fisher 精确检验进行两组间差异比较。将单因素 Logistic 分析中 $P < 0.10$ 的变量纳入多因素分析,并剔除共线性诊断中方差膨胀因子 >10 或容忍度 <0.1 的变量,使用 Logistic 向前逐步回归得到预测 PH 危险分层的 Logistic 模型。对预测模型中的参数分别进行 ROC 曲线分析,寻找最佳阈值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究对象基本特征

纳入患者基本信息见表2。两组年龄、性别、体表面积(body surface area, BSA)无明显差异,组1系

统性红斑狼疮比例更高。与组1相比,中高危及高危患者的 NT-proBNP 升高更明显($P < 0.001$),且 WHO 心功能分级为Ⅲ级或Ⅳ级的比例更高($P < 0.001$)。

2.2 双心室相关形态、功能参数的组间比较

两组间左右心室形态、功能参数的比较见表3。组2患者的 RVESVI、RVEDVI、RVMMI、右心房最大面积、室间隔角均高于组1患者,而 RVEF 和 VAC 低于组1患者;其余参数在两组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 心肌组织学参数的组间比较

两组间心肌组织学参数比较见表4。右心室插入部的初始T1值($P=0.009$)及 ECV 值($P=0.008$)在两组间有统计学差异,而室间隔初始T1值及 ECV 值在两组间无统计学意义($P > 0.05$)。

2.4 危险分层预测模型比较

使用Logistic逐步回归,得出RVEDVI和VAC两个参数是区分CTD-PH危险分层的独立预测因子(表5),并得到预测CTD-PH危险分层的联合预测模型(表6)。ROC曲线分析显示该预测模型有良好的区分能力,AUC为0.839(95%CI:0.735~0.944, $P <$

0.001);Hosmer-Lemeshow检验显示该模型具有较好的校准能力($\chi^2=1.889,P=0.984$)。将联合预测模型与单独使用RVEDVI或VAC的预测模型分别进行ROC曲线分析,联合RVEDVI和VAC预测危险分层的AUC最高(表6,图3)。使用Z检验对3组模型的AUC进行两两比较,均显示没有统计学意义($P >$

表2 研究对象基本特征

Table 2 Basic characteristics of subjects

参数	组1(n=39)	组2(n=23)	t/χ^2 值	P值
女性[n(%)]	38(97.4)	23(100.0)	—	1.000
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	37.67 ± 14.50	41.17 ± 14.09	-0.930	0.356
BSA(m ² , $\bar{x} \pm s$)	1.55 ± 0.13	1.50 ± 0.12	1.264	0.211
收缩压(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	118.69 ± 15.64	110.96 ± 18.46	1.759	0.084
舒张压(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	77.67 ± 17.36	73.91 ± 12.57	0.905	0.369
NT-pro BNP(ng/L, $\bar{x} \pm s$)	595.69 ± 817.12	3 334.80 ± 2 217.05	-5.701	<0.001
WHO心功能分级(Ⅲ/Ⅳ级)[n(%)]	7(17.9)	21(91.3)	31.435	<0.001
原发病[n(%)]				
系统性红斑狼疮	22(56.4)	5(21.7)	7.074	0.008
干燥综合征	10(25.6)	5(21.7)	0.120	0.729
系统性硬化症	6(15.4)	6(26.1)	0.487	0.485

表3 两组间双心室相关容积、功能参数比较

Table 3 Comparison of biventricular related volumetric and functional parameters between two groups ($\bar{x} \pm s$)

参数	组1(n=39)	组2(n=23)	t值	P值
LVEF(%)	57.09 ± 13.48	55.19 ± 9.83	0.591	0.552
LVEDVI(mL/m ²)	66.27 ± 16.25	58.17 ± 13.37	2.019	0.054
LVESVI(mL/m ²)	27.77 ± 8.47	25.97 ± 7.87	0.829	0.405
LVSVI(mL/m ²)	38.50 ± 13.53	32.21 ± 9.45	1.965	0.062
LVCI[L/(min·m ²)]	2.79 ± 0.87	2.41 ± 0.67	1.822	0.081
RVEF(%)	41.64 ± 12.13	29.09 ± 10.83	4.090	0.001
RVEDVI(mL/m ²)	87.23 ± 21.17	124.85 ± 45.69	-3.721	0.001
RVESVI(mL/m ²)	51.47 ± 18.62	91.24 ± 44.91	-4.047	<0.001
RVSVI(mL/m ²)	35.76 ± 11.75	33.62 ± 12.86	0.672	0.498
RVCI[L/(min·m ²)]	2.62 ± 0.76	2.48 ± 0.83	0.656	0.508
RVMMI(g/m ²)	11.46 ± 5.04	19.05 ± 8.98	-3.722	0.001
右心房最大面积(cm ²)	19.11 ± 6.25	26.04 ± 9.85	-3.033	0.005
室间隔角(°)	154.14 ± 27.42	182.26 ± 21.22	-4.224	0.001
VAC	0.78 ± 0.36	0.44 ± 0.22	4.018	0.001

表4 两组间左心室组织学参数比较

Table 4 Comparison of left ventricular tissue characterization parameters between two groups ($\bar{x} \pm s$)

参数	组1(n=39)	组2(n=23)	t值	P值
初始T1值 _{RVIP} (ms)	1 476.85 ± 119.11	1 593.39 ± 179.49	-2.775	0.009
ECV _{RVIP} (%)	41.87 ± 6.37	47.35 ± 9.47	-2.726	0.008
初始T1值 _{IVS} (ms)	1 318.74 ± 96.64	1 323.09 ± 61.45	-0.193	0.847
ECV _{IVS} (%)	30.93 ± 3.95	31.89 ± 5.56	-0.789	0.433

0.05)。

3 讨论

本研究发现右室结构、功能参数有助于CTD-PH危险分层:①反映右室形态和功能的多个参数在CTD-PH不同危险分层组间存在差异;②联合右室舒张末期容积参数和右室-肺动脉耦联,对于评估CTD-PH危险分层具有较好的预测价值。左室组织

学参数(初始T1值_{RVIP}和ECV_{RVIP})在中高危及高危患者中明显升高,但是对于评估PH危险分层的意义仍有待进一步研究。

右室收缩和舒张功能的下降是评估PH严重程度及预后的重要指标^[11-12]。RVEF与RVESVI与VAC有较高的共线性,且2021年的四分法将中危PH患者进一步细分,增加了低危及中低危患者的比例,因此本研究中RVEDVI是预测PH危险分层

表5 CTD-PH患者CMR参数的单因素及多因素分析

Table 5 Univariate and multivariate analysis of CMR parameters in CTD-PH patients

参数	单因素分析			多因素分析		
	OR	95%CI	P值	OR	95%CI	P值
LVEF	0.987	0.946~1.030	0.552	—	—	—
LVEDVI	0.964	0.930~1.001	0.054	—	—	—
LVESVI	0.973	0.911~1.038	0.405	—	—	—
LVSVI	0.957	0.913~1.002	0.062	—	—	—
LVCI	0.539	0.269~1.079	0.081	—	—	—
RVEF	0.915	0.868~0.964	0.001	—	—	—
RVEDVI	1.042	1.017~1.068	0.001	1.031	1.005~1.057	0.019
RVESVI	1.055	1.025~1.086	<0.001	—	—	—
RVSVI	0.985	0.943~1.029	0.498	—	—	—
RVCI	0.798	0.408~1.558	0.508	—	—	—
RVMMI	1.181	1.067~1.307	0.001	—	—	—
右心房最大面积	1.121	1.035~1.213	0.005	—	—	—
室间隔角	1.043	1.018~1.068	0.001	—	—	—
VAC	0.017	0.002~0.192	0.001	0.054	0.004~0.703	0.026
初始T1值 _{RVIP}	1.006	1.001~1.010	0.010	—	—	—
ECV _{RVIP}	1.103	1.018~1.194	0.016	—	—	—
初始T1值 _{IVS}	1.001	0.995~1.007	0.845	—	—	—
ECV _{IVS}	1.047	0.934~1.174	0.429	—	—	—

表6 联合预测模型与单独使用RVEDVI或VAC预测PH危险分层的比较

Table 6 Comparison of joint prediction model with RVEDVI or VAC alone for predicting PH risk stratification

参数	AUC	95%CI	截断值	灵敏度 (%)	特异度 (%)
RVEDVI+VAC	0.839	0.735~0.944	0.53	65.2	92.3
RVEDVI	0.779	0.650~0.908	110.85	65.2	84.6
VAC	0.803	0.693~0.912	0.53	73.9	79.5

的最佳参数之一。同时中高危及高危患者的RVMMI进一步增大,反映了PH患者持续向右室高容量、高质量进展^[13]。室间隔角和右心房最大面积的增大也同样反映了这一点。

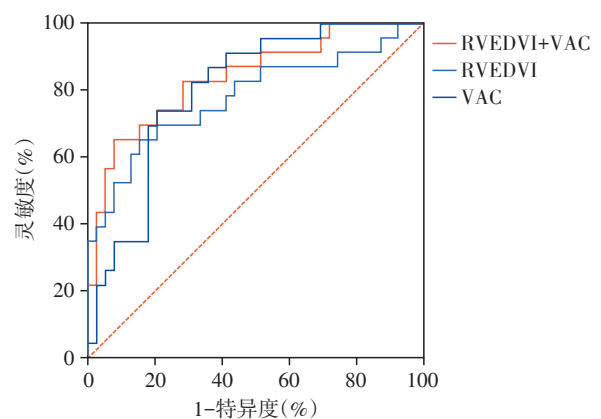


图3 预测模型与单独使用RVEDVI或VAC的ROC曲线
Figure 3 ROC curves of joint prediction model and RVEDVI or VAC alone

右室-肺动脉耦联,即右室收缩末期弹性

(end-systolic elastance, Ees)与肺动脉有效动脉弹性(arterial elastance, Ea)的比值。其中, Ees指收缩末期心室压力-容积曲线的斜率, 主要取决于心肌收缩力, 同时还受心肌细胞生化特性以及心腔解剖结构的影响, 是反映心脏收缩功能的综合指标^[14]。Ea指收缩末期压力与每搏输出量的比值, 代表心室后负荷, 受动脉管壁僵硬、顺应性、血管阻力以及收缩期和舒张期时间间隔的影响, 是反映动脉不同特性的综合指标^[14]。CMR中常用容积法计算Ees/Ea, 即右心室每搏输出量与收缩末期容积的比值^[15-16]。既往研究显示, 随着PH的进展, Ea逐渐升高, 而Ees先升高后下降, Ees/Ea则在早期保持不变, 继而随着PH严重程度的提高明显下降, 出现解耦联^[6]。这表明随着疾病的进展, 心室后负荷逐渐增加, 而心室的收缩功能没有同步增加, 最终导致PH患者右心室-肺动脉解耦联的发生。Tello等^[17]的研究还显示Ees/Ea<0.8与右心衰竭(RVEF<35%)密切相关。本研究中, 中高危及高危PH患者的VAC更低, 可见在中高危及高危PH患者右心室后负荷的增加较低危患者更明显, 其发生不良预后事件的风险也更高。但可能由于VAC简化公式忽略了肺毛细血管楔压的影响^[6], 因此单独使用VAC预测PH危险分层的敏感度和特异度一般。而联合VAC和RVEDVI可以提高预测模型区分不同危险分层的能力。

此外, 随着PH患者病情的进展, 右心室后负荷增加, 室间隔受到右心室压力的影响向左偏移, 因此PH患者心肌重构主要累及右心室插入部及室间隔^[18-19]。本研究中亦可见中高危及高危PH患者右心室插入部的初始T1值和ECV值明显升高, 但室间隔区域升高不明显。

综上, 基于CMR测得的右心室相关的容积、功能参数和右心室插入部的组织学参数在区分CTD-PH危险分层中具有一定的价值。联合RVEDVI和VAC具有较高的预测准确性, 在CTD-PH诊疗和预后评估中具有重要价值。但本研究尚存不足: ①样本量较少, 统计结果可能受限于目前的样本量; ②未对患者进行随访, 缺少预后研究的进一步验证。

[参考文献]

[1] 中华医学会呼吸病学分会肺栓塞与肺血管病学组, 中国医师协会呼吸医师分会肺栓塞与肺血管病工作委员会, 全国肺栓塞与肺血管病防治协作组, 等. 中国肺动脉高压诊断与治疗指南(2021版)[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(1): 11-51

[2] 武倩文, 孙晓萱, 叶黄戎, 等. 静息心率预测结缔组织疾病相关肺动脉高压患者远期预后的价值[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2022, 42(4): 498-502

[3] HOEPER M M, PAUSCH C, OLSSON K M, et al. COMPERA 2.0: a refined 4-strata risk assessment model for pulmonary arterial hypertension[J]. Eur Respir J, 2021, 60(1): 2102311

[4] BOUCLY A, WEATHERALD J, SAVALE L, et al. External validation of a refined 4-strata risk assessment score from the French pulmonary hypertension registry[J]. Eur Respir J, 2021, 59(6): 2102419

[5] HUMBERT M, KOVACS G, HOEPER M M, et al. 2022 ESC/ERS guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension[J]. Eur Heart J, 2023, 61(1): 2200879

[6] SANZ J, GARCÍA-ALVAREZ A, FERNÁNDEZ-FRIERA L, et al. Right ventriculo-arterial coupling in pulmonary hypertension: a magnetic resonance study[J]. Heart, 2012, 98(3): 238-243

[7] 周小洋, 许兆军. 心室-动脉耦联机制及相关影响因素研究进展[J]. 中国全科医学, 2018, 21(9): 6

[8] 吕致, 董杨, 陈玉成. 心脏磁共振在肺动脉高压右心室评价中的应用[J]. 心血管病学进展, 2019, 40(1): 16-19

[9] 中国医师协会风湿免疫科医师分会风湿病相关肺血管/间质病学组, 国家风湿病数据中心, 国家皮肤与免疫疾病临床医学研究中心. 2020中国结缔组织病相关肺动脉高压诊治专家共识[J]. 中华内科杂志, 2021, 60(5): 15

[10] RUDSKI L G, LAI W W, AFILALO 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

[11] ALABED S, SHAHIN Y, GARG P, et al. Cardiac-MRI predicts clinical worsening and mortality in pulmonary arterial hypertension: a systematic review and meta-analysis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2021, 14(5): 931-942

[12] BRONCANO J, BHALLA S, GUTIERREZ F R, et al. Cardiac MRI in pulmonary hypertension: from magnet to bedside[J]. Radiographics, 2020, 40(4): 982-1002

[13] GOH Z M, BALASUBRAMANIAN N, ALABED S, et al. Right ventricular remodelling in pulmonary arterial hypertension predicts treatment response[J]. Heart, 2022, 108(17): 1392-1400

[14] SAEED S, HOLM H, NILSSON P M. Ventricular-arterial coupling: definition, pathophysiology and therapeutic tar-

- gets in cardiovascular disease [J]. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 2021, 19(8):753-761
- [15] BREEMAN K T N, DUFVA M, PLOEGSTRA M J, et al. Right ventricular-vascular coupling ratio in pediatric pulmonary arterial hypertension: a comparison between cardiac magnetic resonance and right heart catheterization measurements [J]. *Int J Cardiol*, 2019, 293:211-217
- [16] VANDERPOOL R R, PINSKY M R, NAEIJE R, et al. RV-pulmonary arterial coupling predicts outcome in patients referred for pulmonary hypertension [J]. *Heart*, 2015, 101(1):37-43
- [17] TELLO K, DALMER A, AXMANN J, et al. Reserve of right ventricular-arterial coupling in the setting of chronic overload [J]. *Circ Heart Fail*, 2019, 12(1):e005512
- [18] SHARIFI KIA D, KIM K, SIMON M A. Current understanding of the right ventricle structure and function in pulmonary arterial hypertension [J]. *Front Physiol*, 2021, 12:641310
- [19] ALABED S, SAUNDERS L, GARG P, et al. Myocardial T1-mapping and extracellular volume in pulmonary arterial hypertension: a systematic review and meta-analysis [J]. *Magn Reson Imaging*, 2021, 79:66-75
- [收稿日期] 2023-02-19
(本文编辑:唐 震)

(上接第 1120 页)

- [14] PAN J A, MICHAELSSON E, SHAW P W, et al. Extracellular volume by cardiac magnetic resonance is associated with biomarkers of inflammation in hypertensive heart disease [J]. *J Hypertens*, 2019, 37(1):65-72
- [15] FENG C, LIU W, SUN X, et al. Myocardial involvement characteristics by cardiac MR imaging in patients with polymyositis and dermatomyositis [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2022, 61(2):572-580
- [16] LIU X H, FENG X J, SHI J Y, et al. The quest for diagnostic approaches of cardiac involvement in polymyositis and dermatomyositis [J]. *Ann Palliat Med*, 2020, 9(4):2256-2270
- [17] JIANG L, WANG Y, PENG Q, et al. Serum YKL-40 level is associated with severity of interstitial lung disease and poor prognosis in dermatomyositis with anti-MDA5 antibody [J]. *Clin Rheumatol*, 2019, 38(6):1655-1663
- [18] HOZUMI H, FUJISAWA T, ENOMOTO N, et al. Clinical utility of YKL-40 in polymyositis/dermatomyositis-associated interstitial lung disease [J]. *J Rheumatol*, 2017, 44(9):1394-1401
- [19] LEE C G, DA S C, DELA C C, et al. Role of chitin and chitinase/chitinase-like proteins in inflammation, tissue remodeling, and injury [J]. *Annu Rev Physiol*, 2011, 73:479-501
- [20] WANG Q, SHEN H, MIN J, et al. YKL-40 is highly expressed in the epicardial adipose tissue of patients with atrial fibrillation and associated with atrial fibrosis [J]. *J Transl Med*, 2018, 16(1):229
- [21] CANPOLAT U, AYTEMIR K, HAZIROLAN T, et al. Serum YKL-40 as a marker of left atrial fibrosis assessed by delayed enhancement mri in lone atrial fibrillation [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2015, 38(12):1386-1395
- [22] 陈 浩,周培媚. YKL-40在炎症性疾病中的研究进展 [J]. *四川医学*, 2022, 43(4):392-396
- [23] ROLLER F C, HARTH S, SCHNEIDER C, et al. T1, T2 mapping and extracellular volume fraction (ECV): application, value and further perspectives in myocardial inflammation and cardiomyopathies [J]. *Rofo*, 2015, 187(9):760-770
- [24] HAAF P, GARG P, MESSROGHLI D R, et al. Cardiac T1 mapping and extracellular volume (ECV) in clinical practice: a comprehensive review [J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2016, 18(1):89
- [25] 马晓海,赵 蕾,李松南,等.心房颤动患者左心室心肌纤维化的MR定量分析研究 [J]. *中国医学影像技术*, 2017, 33(8):1134-1138
- [26] 郝赢政,白文伟,孟 永. sST2在急、慢性心力衰竭中的应用价值及最新进展 [J]. *四川医学*, 2020, 41(4):438-441
- [收稿日期] 2023-02-17
(本文编辑:唐 震)