

# 超声心动图联合肺部超声评估维持性血液透析合并肺动脉高压患者右心室收缩功能的临床价值

夏颖<sup>1</sup>, 刘昕<sup>2</sup>

**摘要** **目的** 探讨超声心动图联合肺部超声评估维持性血液透析(MHD)合并肺动脉高压患者右心室收缩功能的临床价值。**方法** 选取 95 例 MHD 合并肺动脉高压患者,根据肺动脉高压程度分为轻度组 42 例、中度组 29 例、重度组 24 例,均行二维超声心动图、二维斑点追踪技术、实时三维超声心动图和肺部超声检查,比较各组超声心动图参数及肺超声评分(LUS)的差异;采用多因素 Logistic 回归分析筛选诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的影响因素。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各超声心动图参数单独及其联合 LUS 诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的效能。**结果** 与轻度组比较,中度组和重度组左心室射血分数(LVEF)、右心室面积变化分数(FAC)、三尖瓣环收缩期峰值速度(S')、右心室射血分数(RVEF)、右心室游离壁纵向应变(RVFWLS)均减小,右心房横径(RAD)、右心室基底径(RVD1)、右心室中间径(RVD2)、主肺动脉内径(PAD)、右心室舒张末期容积指数(RVEDVI)、右心室收缩末期容积指数(RVESVI)、LUS 均增大,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。与中度组比较,重度组 LVEF、三尖瓣环收缩期位移(TAPSE)、FAC、S'、右心室每搏输出量指数、RVEF、RVFWLS 均减小,RAD、RVD1、RVD2、PAD、RVEDVI、RVESVI、LUS 均增大,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。多因素 Logistic 回归分析显示,RVFWLS、TAPSE、FAC、S' 均为诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的独立危险因素(均  $P < 0.05$ )。ROC 曲线分析显示,LUS 分别联合 RVFWLS、TAPSE、FAC、S' 诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的曲线下面积(AUC)分别为 0.910、0.843、0.814、0.850,其中 LUS 分别联合 TAPSE、S' 的 AUC 均高于 TAPSE、S' 单独应用,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。**结论** 超声心动图联合肺部超声在评估 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能方面有一定的临床价值。

**关键词** 超声心动描记术,三维,实时;斑点追踪技术;肺超声评分;肺动脉高压;右心功能  
[中图分类号]R540.45 [文献标识码]A

## Clinical value of echocardiography combined with lung ultrasound in the assessment of right ventricular systolic function in patients with maintenance hemodialysis combined with pulmonary hypertension

XIA Ying<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>2</sup>

1. Graduate School of Chengde Medical College, Chengde 067000, China. 2. Department of Ultrasound, the Baoding No.1 Central Hospital, Baoding 071000, China

**ABSTRACT Objective** To explore the clinical value of echocardiography combined with lung ultrasound in the assessment of right ventricular systolic function in patients with maintenance hemodialysis (MHD) combined with pulmonary hypertension. **Methods** Ninety-five patients with MHD combined with pulmonary hypertension were selected, and divided into mild group (42 cases), moderate group (29 cases), and severe group (24 cases) according to the degree of pulmonary hypertension. Two-dimensional echocardiography, two-dimensional speckle tracking imaging, real-time three-dimensional echocardiography and pulmonary ultrasound were performed. The differences of echocardiographic parameters and lung ultrasound score (LUS) among three groups were compared. Multivariate Logistic regression was used to screen the independent influencing factors for right ventricular systolic function in patients with MHD combined with pulmonary hypertension. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the efficacy of echocardiographic parameters alone and in combination with

基金项目:保定市超声心动图诊断重点实验室(2463P003)

作者单位:1.承德医学院研究生学院,河北承德 067000;2.保定市第一中心医院超声科,河北保定 071000

通讯作者:刘昕,Email:lxlx3369@126.com

LUS in diagnosing right ventricular systolic dysfunction in patients with MHD combined with pulmonary hypertension.

**Results** Compared with mild group, the left ventricular ejection fraction (LVEF), right ventricular area change fraction (FAC), tricuspid annular peak systolic velocity ( $S'$ ), right ventricular ejection fraction (RVEF) and right ventricular free wall longitudinal strain (RVFWLS) were decreased in moderate and severe groups, while the right atrial transverse diameter (RAD), right ventricular basal diameter (RVD1), right ventricular intermediate diameter (RVD2), and main pulmonary artery internal diameter (PAD), right ventricular end-diastolic volume index (RVEDVI), right ventricular end-systolic volume index (RVESVI) and LUS were increased, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). Compared with moderate group, the LVEF, tricuspid annular systolic displacement (TAPSE), FAC,  $S'$ , right ventricular stroke volume index, RVEF and RVFWLS were decreased in severe group, while the RAD, RVD1, RVD2, PAD, RVEDVI, RVESVI and LUS were increased, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). Multivariate Logistic regression analysis showed that RVFWLS, TAPSE, FAC,  $S'$  were independent risk factors for right ventricular systolic function in patients with MHD combined with pulmonary hypertension (all  $P < 0.05$ ). ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) of LUS combined with RVFWLS, TAPSE, FAC and  $S'$  for diagnosing right ventricular systolic dysfunction in patients with MHD combined with pulmonary hypertension were 0.910, 0.843, 0.814 and 0.850, respectively. Among them, the AUC of LUS combined with TAPSE and  $S'$  were significantly higher than that of TAPSE and  $S'$  used alone, with statistically significant differences (all  $P < 0.05$ ).

**Conclusion** Echocardiography combined with lung ultrasound has a certain clinical value in assessing right ventricular systolic function in patients with MHD combined with pulmonary hypertension.

**KEY WORDS** Echocardiography, three-dimensional, real-time; Speckle tracking imaging; Lung ultrasound score; Pulmonary hypertension; Right heart function

肺动脉高压是维持性血液透析 (maintenance hemodialysis, MHD) 患者的常见并发症之一, 研究<sup>[1]</sup>表明 MHD 合并肺动脉高压患者的生存率明显低于未合并肺动脉高压患者, 且患者确诊右心室收缩功能障碍时, 大多已进展为终末期心力衰竭<sup>[2]</sup>, 错过最佳治疗时机。既往研究<sup>[3-4]</sup>表明肺动脉高压与右心功能具有相关性, 但上述研究主要关注动脉性肺动脉高压或左心疾病引起的肺动脉高压患者右心功能变化, 对 MHD 引起的肺动脉高压患者右心功能变化研究较少。肺动脉压力升高可导致肺血管结构发生变化, 肺毛细血管通透性增加, 病理表现为肺水肿, MHD 患者长期处于液体负荷过重状态<sup>[5]</sup>, 右心作为静脉回流的终点, 容量负荷过重时可导致右心功能受损。肺部超声可敏感地识别早期无症状肺水肿, 评估患者的容量状态。目前临床关于右心室功能障碍与肺部超声的研究较少, 基于此, 本研究探讨了超声心动图联合肺部超声评估 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能的临床价值, 旨在为临床诊疗提供影像学依据。

## 资料与方法

### 一、研究对象

选取 2023 年 1 月至 2023 年 8 月保定市第一中心医院血液透析中心收治的 MHD 合并肺动脉高压患者 95 例, 根据 2022 年欧洲心脏病学会和欧洲呼吸学会发布的肺动脉高压诊断和诊治指南<sup>[6]</sup>分为轻度组 42 例,

中度组 29 例, 重度组 24 例。其中轻度组男 22 例, 女 20 例, 年龄 40 ~ 81 岁, 平均 (54.9 ± 8.95) 岁; 中度组男 16 例, 女 13 例, 年龄 35 ~ 78 岁, 平均 (55.8 ± 11.32) 岁; 重度组男 14 例, 女 10 例, 年龄 52 ~ 61 岁, 平均 (56.9 ± 8.71) 岁。纳入标准: ①年龄 > 18 岁; ②透析时间 ≥ 3 个月, 以桡动脉-头静脉内瘘为通路; ③每周透析 3 次, 每次透析时间 4 h, 透析时血流量 200 ~ 250 ml/min, 透析液流量 500 ml/min。排除标准: ①有明确的肺栓塞、肺癌等肺部疾病史; ②有心脏瓣膜病、风湿性心脏病、先天性心脏病史; ③有结缔组织病、恶性肿瘤、肝病及使用免疫抑制剂者; ④有特发性肺动脉高压、家族性肺动脉高压者; ⑤肾移植失败转血液透析者。本研究经医院医学伦理委员会批准 (批准号: 快 [2023] 123 号), 受试者均签署知情同意书。

### 二、仪器与方法

1. 仪器: 使用 Philips EPIQ 7C 彩色多普勒超声诊断仪, S5-1、X5-1 及 C5-1 探头, 频率均为 1 ~ 4 MHz; 配备 QLAB 13.0 定量分析软件。

2. 超声心动图检查及图像分析: 于透析结束后 2 h 内完成检查。患者取左侧卧位, 同步连接心电图, 应用二维超声心动图测量右心房横径 (RAD)、右心室基底径 (RVD1)、右心室中间径 (RVD2)、主肺动脉内径 (PAD), 测量三尖瓣环收缩期位移 (TAPSE)、右心室面积变化分数 (FAC)、三尖瓣环收缩期峰值速度 ( $S'$ ); 双平面 Simpson 法计算左心室射血分数 (LVEF)。留取以右心室为主的心尖四腔心切面的动态图像, 启动

QLAB 13.0 定量分析软件,应用 3DQ 功能,手动调节右心室心内膜边界,软件自动获取右心室舒张末期容积、右心室收缩末期容积、右心室每搏输出量、右心室射血分数(RVEF);以体表面积标准化获得右心室舒张末期容积指数(RVEDVI)、右心室收缩末期容积指数(RVESVI)、右心室每搏输出量指数(RVSVI)。应用 RV Auto Strain 功能,获得右心室游离壁纵向应变(RVFWLS)。以上操作均由 2 名具有 5 年以上工作经验的超声医师完成,若结果出现分歧则由第 3 名具有 5 年以上工作经验的超声医师进行复评,若仍存在争议则提交至具有高级职称的专家进行判定,所有参数均重复测量 3 次取平均值。

3.肺部超声检查:采用 2012 年国际肺脏超声会议推荐的 8 分区法进行检查,以胸骨旁线、腋前线、腋后线为界,将一侧的前胸和侧胸分为 2 个区域,再将其上下各分一半,单侧 4 区,双侧共 8 区。记录每个切面征象,并进行评分,具体为:①有 A 线或 B 线数量≤2 条,计 0 分;②有至少 1 个肋间隙内≥3 条离散型 B 线,计 1 分;③B 线相互融合,计 2 分;④有肺实变、碎片征或胸腔积液,计 3 分。每个分区评分相加所得总分即为肺超声评分(LUS)。以上操作均由 2 名具有 5 年以上工作经验的超声医师完成,若结果出现分歧则由第 3 名具有 5 年以上工作经验的超声医师进行复评,若仍存在争议则提交至具有高级职称的专家进行判定。

4.临床资料收集:记录患者性别、年龄、身高、体质量、体表面积、收缩压、舒张压、心率、基础病史、透析时长等;收集患者血钙、血磷、血红蛋白、白蛋白、血肌

酐、尿素氮、甲状旁腺激素等实验室指标。

### 三、统计学处理

应用 SPSS 26.0 和 MedCalc 20.0 软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,多组比较采用方差分析,两组比较采用 *t* 检验;计数资料以例或率表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验。采用多因素 Logistic 回归分析筛选诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的影响因素。根据实时三维超声心动图测量的 RVEF<45% 作为诊断右心室收缩功能障碍的标准<sup>[7]</sup>,绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各参数单独及联合应用诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的效能,曲线下面积(AUC)比较采用 DeLong 检验。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、各组临床资料比较

与轻度组比较,中度组和重度组尿素氮和甲状旁腺激素均升高,血红蛋白降低,差异均有统计学意义(均 *P*<0.05);与轻度组、中度组比较,重度组白蛋白降低,差异均有统计学意义(均 *P*<0.05)。各组性别、年龄、身高、体质量、体表面积、收缩压、舒张压、心率、基础病史、透析时长,以及血钙、血磷、血肌酐比较差异均无统计学意义。见表 1。

### 二、各组超声心动图参数和 LUS 比较

与轻度组比较,中度组和重度组 LVEF、FAC、S'、RVEF、RVFWLS 均减小,RAD、RVD1、RVD2、PAD、RVEDVI、RVESVI、LUS 均增大,差异均有统计学意义

表 1 各组临床资料比较

组别	男/女 (例)	年龄 (岁)	身高 (cm)	体质量 (kg)	体表面积 (m <sup>2</sup> )	收缩压 (mmHg)	舒张压 (mmHg)	心率 (次/min)	基础病史(例)			
									高血压 肾病	糖尿病 肾病	慢性肾小 球肾炎	其他
轻度组(42)	22/20	54.95±8.95	169.33±5.99	63.40±3.43	1.72±0.06	147.17±12.41	93.02±8.52	76.52±4.86	6	16	18	2
中度组(29)	16/13	55.83±11.32	169.83±5.33	63.66±4.62	1.74±0.05	147.31±14.69	92.79±9.53	76.55±6.37	4	11	13	1
重度组(24)	14/10	56.96±8.71	171.00±3.52	63.42±3.53	1.73±0.04	150.00±12.18	90.67±9.14	77.58±4.19	4	9	10	1
$\chi^2/F$ 值	0.222	0.330	0.770	0.041	1.005	0.404	0.573	0.361	0.098	0.020	0.056	0.074
<i>P</i> 值	0.895	0.720	0.466	0.960	0.370	0.669	0.566	0.698	0.952	0.999	0.972	0.963
组别	透析时长 (个月)	实验室指标										
		血钙 (mmol/L)	血磷 (mmol/L)	血红蛋白 (g/L)	白蛋白 (g/L)	血肌酐 (mmol/L)	尿素氮 (mmol/L)	甲状旁腺激素 (pg/ml)				
轻度组(42)	42.14±18.23	2.50±0.24	1.71±0.44	102.40±11.08	44.88±9.66	533.50±237.98	14.48±8.12	153.74±103.85				
中度组(29)	35.38±15.44	2.56±0.22	1.77±0.46	91.86±4.86 <sup>#</sup>	40.90±14.46	592.03±217.64	24.55±10.12 <sup>#</sup>	239.07±104.68 <sup>#</sup>				
重度组(24)	34.79±15.21	2.58±0.22	1.75±0.40	90.38±4.67 <sup>#</sup>	34.63±7.13 <sup>**</sup>	622.67±309.64	27.92±12.65 <sup>#</sup>	255.92±97.68 <sup>#</sup>				
$\chi^2/F$ 值	2.085	1.011	0.162	22.074	6.812	1.065	16.407	9.794				
<i>P</i> 值	0.130	0.368	0.850	<0.001	0.002	0.350	<0.001	<0.001				

与轻度组比较,<sup>#</sup>*P*<0.05;与中度组比较,<sup>\*</sup>*P*<0.05。1 mmHg=0.133 kPa

(均  $P < 0.05$ )；与中度组比较，重度组 LVEF、TAPSE、FAC、S'、RVSVI、RVEF、RVFWLS 均减小，RAD、RVD1、RVD2、PAD、RVEDVI、RVESVI、LUS 均增大，差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。见表 2 和图 1、2。

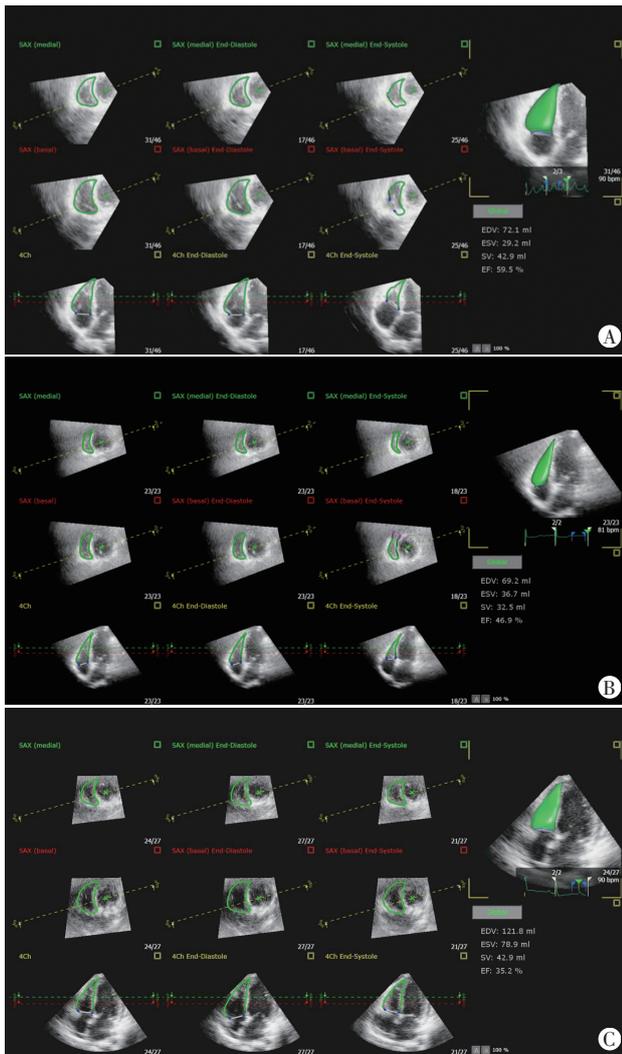
三、多因素 Logistic 回归分析结果

将上述比较差异有统计学意义的参数纳入多因素 Logistic 回归分析，结果显示 RVFWLS、TAPSE、FAC、S'、LUS 均为诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的独立危险因素(均  $P < 0.05$ )。见表 3。

表 2 各组超声心动图参数和 LUS 比较( $\bar{x} \pm s$ )

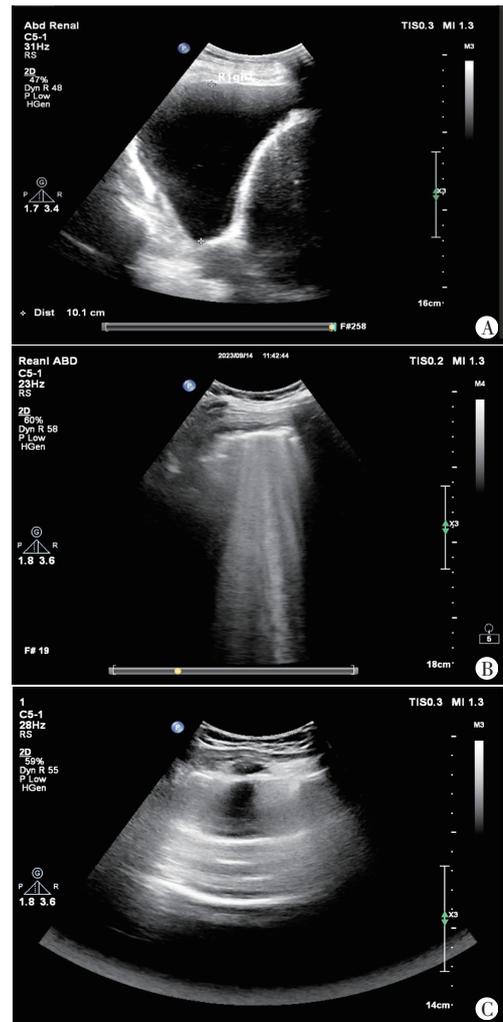
组别	二维超声心动图参数								实时三维超声心动图参数				RVFWLS (%)	LUS (分)
	LVEF (%)	RAD (mm)	RVD1 (mm)	RVD2 (mm)	PAD (mm)	TAPSE (mm)	FAC (%)	S' (cm/s)	RVEDVI (ml/m <sup>2</sup> )	RVESVI (ml/m <sup>2</sup> )	RVSVI (ml/m <sup>2</sup> )	RVEF (%)		
轻度组	57.02±2.02	37.12±2.42	34.36±2.42	28.43±2.41	25.29±2.28	19.45±2.90	41.86±4.06	13.02±2.52	50.80±3.65	25.90±2.47	24.90±2.04	49.04±2.56	-22.63±2.21	3.64±2.57
中度组	55.76±1.99 <sup>#</sup>	38.72±2.00 <sup>#</sup>	35.90±2.02 <sup>#</sup>	30.07±1.94 <sup>#</sup>	27.03±1.94 <sup>#</sup>	19.10±2.93	38.31±3.66 <sup>#</sup>	11.37±1.91 <sup>#</sup>	53.15±3.77 <sup>#</sup>	28.85±2.84 <sup>#</sup>	24.30±1.66	45.78±2.38 <sup>#</sup>	-19.67±1.82 <sup>#</sup>	5.45±2.36 <sup>#</sup>
重度组	53.83±2.34 <sup>#*</sup>	41.13±3.10 <sup>#*</sup>	37.71±2.83 <sup>#*</sup>	31.79±2.68 <sup>#*</sup>	28.75±2.61 <sup>#*</sup>	15.52±3.22 <sup>#*</sup>	34.63±4.31 <sup>#*</sup>	9.62±1.46 <sup>#*</sup>	56.13±3.99 <sup>#*</sup>	33.65±4.18 <sup>#*</sup>	22.47±2.44 <sup>#*</sup>	40.15±4.62 <sup>#*</sup>	-17.44±1.38 <sup>#*</sup>	7.29±2.17 <sup>#*</sup>
F 值	19.066	19.717	14.752	15.894	18.177	14.500	25.338	12.474	15.322	47.969	10.858	60.156	58.995	17.788
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与轻度组比较，<sup>#</sup> $P < 0.05$ ；与中度组比较，<sup>\*</sup> $P < 0.05$ 。LVEF：左心室射血分数；RAD：右心房横径；RVD1：右心室基底径；RVD2：右心室中间径；PAD：主肺动脉内径；TAPSE：三尖瓣环收缩期位移；FAC：右心室面积变化分数；S'：三尖瓣环收缩期峰值速度；RVEDVI：右心室舒张末期容积指数；RVESVI：右心室收缩末期容积指数；RVSVI：右心室每搏输出量指数；RVEF：右心室射血分数；RVFWLS：右心室游离壁纵向应变；LUS：肺超声评分



A:轻度组患者(女,55岁),RVEF为59.5%;B:中度组患者(男,56岁),RVEF为46.9%;C:重度组患者(男,56岁),RVEF为35.2%

图 1 各组实时三维超声心动图表现



A:轻度组患者(男,42岁),见A线,LUS为0分;B:中度组患者(女,51岁),B线数量>3条,LUS为1分;C:重度组患者(男,61岁),见胸腔积液,LUS为3分

图 2 各组肺部超声图

四、ROC 曲线分析结果

ROC 曲线分析显示, LUS、RVFWLS、TAPSE、FAC、S' 诊断维持性血液透析合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的 AUC 分别为 0.696、0.906、0.756、0.760、0.771, 灵敏度分别为 67.57%、97.30%、81.08%、86.49%、71.27%, 特异度分别为 75.86%、86.21%、67.24%、

60.34%、81.03%。LUS 分别联合 RVFWLS、TAPSE、FAC、S' 的 AUC 分别为 0.910、0.843、0.814、0.850, 灵敏度分别为 97.31%、68.97%、77.59%、84.48%。其中 LUS 分别联合 TAPSE、S' 的 AUC 均高于 TAPSE、S' 单独应用, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。见表 4 和图 3。

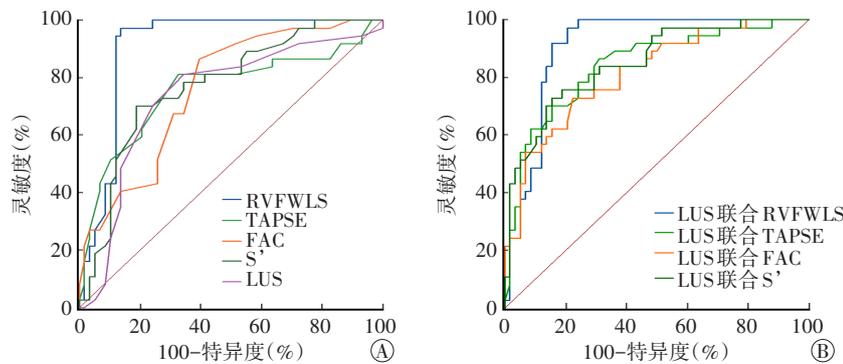
表 3 多因素 Logistic 回归分析筛选诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的影响因素

参数	回归系数	标准误	Wald $\chi^2$ 值	P 值	OR 值及其 95% 可信区间
白蛋白	0.068	0.080	0.731	0.393	1.071(0.915~1.253)
尿素氮	0.144	0.084	2.912	0.088	1.155(0.979~1.363)
血红蛋白	0.201	0.109	3.410	0.065	1.223(0.988~1.515)
甲状旁腺激素	-0.010	0.007	2.143	0.143	0.990(0.978~1.003)
LVEF	-0.379	0.388	0.958	0.169	0.684(0.320~1.463)
TAPSE	0.589	0.259	5.158	0.023	1.801(1.084~2.994)
FAC	0.311	0.153	4.129	0.042	1.364(1.011~1.841)
S'	0.767	0.383	4.015	0.045	2.153(1.017~4.559)
RVEDVI	-0.140	0.142	0.979	0.322	0.869(0.658~1.148)
RVESVI	0.672	0.419	2.572	0.109	1.958(0.861~4.449)
RVSVI	-0.004	0.443	0.000	0.992	0.996(0.417~2.374)
RVFWLS	-0.335	0.159	4.441	0.035	0.715(0.524~0.977)
LUS	-1.067	0.500	4.549	0.033	0.344(0.129~0.917)

表 4 各参数单独及联合应用诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的效能

方法	AUC 及其 95% 可信区间	截断值	P 值	灵敏度(%)	特异度(%)
LUS	0.696(0.593 ~ 0.786)	4 分	<0.001	67.57	75.86
RVFWLS	0.906(0.831 ~ 0.957)	-19.6%	<0.001	97.30	86.21
TAPSE	0.756(0.657 ~ 0.838)	18 mm	<0.001	81.08	67.57
FAC	0.760(0.661 ~ 0.845)	34.7%	<0.001	86.49	60.34
S'	0.771(0.674 ~ 0.851)	9.7 cm/s	<0.001	71.27	81.03
LUS 联合 RVFWLS	0.910(0.830 ~ 0.957)	0.52	<0.001	97.03	79.31
LUS 联合 TAPSE	0.843(0.754 ~ 0.909)	0.56	<0.001	86.49	68.97
LUS 联合 FAC	0.814(0.721 ~ 0.887)	0.70	<0.001	72.97	77.59
LUS 联合 S'	0.850(0.762 ~ 0.915)	0.40	<0.001	72.97	84.48

AUC: 曲线下面积



A: 单独超声心动图参数; B: LUS 联合超声心动图参数

图 3 各参数单独及联合应用诊断 MHD 合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的 ROC 曲线图

讨 论

MHD 患者是心血管事件的极高危人群, 心血管疾病已成为终末期肾病患者最主要的死亡原因之一<sup>[7]</sup>, 且 MHD 患者常合并肺动脉高压, 而持续性肺动脉压力升高可进展为右心衰竭并最终导致患者死亡<sup>[8]</sup>。研究<sup>[9]</sup>表明, RVEF 是预测 MHD 患者全因死亡的独立危险因素 ( $HR=4.95, P < 0.05$ ), 提示早期监测患者右心功能并进行干预对改善预后具有重要意义。目前右心导管检查为诊断肺动脉高压的金标准, 但其有创、价格昂贵, 临床应用受限。肺部超声具有无创、安全、操作简便等优势, 在评估患者容量状态方面有一定价值。超声心动图作为一种非侵入性影像学检查手段, 在肺动脉高压的筛查和动态监测中展现出重要的价值。研究<sup>[10]</sup>表明, 实时三维超声心动图与心脏 MRI 测量的 RVEF 具有良好的相关性 ( $r=0.72, P < 0.05$ ), 而后者作为评估右心室功能的金标准, 因成本及禁忌证等限制难以常规开展。本研究纳入的 95 例患者中有 37 例 RVEF < 45%, 其中重度组右心室收缩功能障碍发生率高达 79.2%, 表明随着疾病进展, MHD 患者右心功能逐渐减低。本研究轻度组中有 6 例患者存在右心室收缩功能障碍, 表明右心功能受损与肺动脉高压严重程度并非线性相关, 提示对于 MHD 合并肺动脉高压患者, 系统评估其右心室收缩功能对评估病情、制定治疗策略及预测患者远期预后均具有重要的临床意义。基于此, 本研究探讨了超声心动图联合肺部超声评估 MHD 合并肺动脉高压患者右

心室收缩功能的临床价值,旨在为临床诊疗提供依据。

本研究结果显示,与轻度组比较,中度组和重度组尿素氮和甲状旁腺激素均升高,血红蛋白降低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ );与轻度组和中度组比较,重度组白蛋白降低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。表明随着疾病程度的加重,MHD合并肺动脉高压患者的尿素氮、甲状旁腺激素逐渐升高,而血红蛋白和白蛋白降低,提示患者的肾功能及营养状态可能进一步恶化。尿素氮升高提示肾功能严重受损,而甲状旁腺激素变化与肾功能障碍引起的钙磷代谢紊乱相关,这些均可能影响心血管系统<sup>[11]</sup>。血红蛋白和白蛋白降低则反映了患者营养不良,一定程度上也会影响心脏功能和机体的整体状态<sup>[12]</sup>,与右心功能的变化可能存在潜在关联,可能共同影响患者的预后。提示在临床诊疗中,需重视MHD合并肺动脉高压患者的肾功能和营养状态,从而改善预后。

因右心形态和结构并不规则,测量方法较为复杂,且影响图像质量的因素较多,二维超声心动图在评估右心功能时其结果的准确性受操作者经验及水平影响较大<sup>[13]</sup>。斑点追踪技术作为评估心功能的新方法,不受周围心肌运动的影响<sup>[14]</sup>,其所测右心室应变参数在反映右心功能变化方面较二维超声心动图参数更准确<sup>[15]</sup>。右心室心肌由心外膜的纵行肌和心内膜下的环形肌构成,室间隔侧的心肌受左心室功能影响较大,与右心室整体纵向应变相比,RVFWLS对右心室收缩功能的评估更为准确<sup>[16]</sup>,故本研究仅纳入RVFWLS进行分析。实时三维超声心动图无需假设心脏几何形状,通过对右心室进行三维重构,可以立体显示心脏空间结构,能更准确地评估右心室容积和功能。既往对于MHD患者的研究侧重于左心功能评估,对右心功能关注较少,或对右心功能评估时仅使用二维超声心动图参数。本研究分析了不同程度MHD合并肺动脉高压患者二维超声心动图参数、RVFWLS及实时三维超声心动图参数的变化,发现中度组RVFWLS已低于正常值,但TAPSE、FAC、S'尚未发生明显变化,表明TAPSE、FAC、S'在评估MHD合并肺动脉高压患者右心功能时存在一定局限性。此外,轻、中、重度组RVEDVI、RVESVI均依次增大,RVEF依次减小,两两比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ ),而中度组与轻度组RVSVI比较差异无统计学意义。分析其原因:在肺动脉高压疾病前期,右心室可发生代偿性改变以维持射血量,但随着肺动脉高压程度加

重,患者长期处于后负荷增加状态,右心室发生失代偿,导致其功能进行性减低。

超声心动图可准确评估患者心功能,间接反映血管外肺水量<sup>[17]</sup>,而肺部超声能直接反映肺水肿的严重程度,二者结合能有效地反映MHD合并肺动脉高压患者心功能和容量状态。研究<sup>[18]</sup>表明MHD患者透析前后LUS均与肺动脉压力和LVEF相关,本研究考虑左心收缩功能对LUS影响较小,纳入患者均为LVEF保留者,且选择透析后进行测量,减小了容量负荷的影响。本研究结果显示,轻、中、重度组LUS依次增大,两两比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ ),提示LUS随着肺动脉高压的病情进展而逐渐增大,与D'Alto等<sup>[3]</sup>研究结论一致。分析其原因:肺动脉压力升高导致肺毛细血管静水压升高,继而导致肺组织渗出增多,形成肺水肿,故LUS增大。

研究<sup>[3]</sup>发现LUS不但能早期发现无症状肺水肿患者,且LUS的变化与右心功能改变密切相关。本研究ROC曲线分析显示,RVFWLS、TAPSE、FAC、S'诊断MHD合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍均具有较高的效能(AUC分别为0.906、0.756、0.760、0.771),其中RVFWLS的AUC最高,考虑与二维斑点追踪技术能早期发现心肌细微损伤有关。但在临床实际工作中,TAPSE、S'易受容量负荷的影响,RVFWLS测量对图像质量要求高,在评估右心功能上均存在一定的局限性,而LUS可准确反映容量负荷状态,故LUS联合常规右心功能参数可在一定程度弥补后者的不足。本研究进一步探讨了LUS分别联合RVFWLS、TAPSE、FAC、S'诊断MHD合并肺动脉高压患者右心室收缩功能障碍的效能,结果显示AUC分别为0.910、0.843、0.814、0.850,提示在无实时三维超声心动图的情况下,联合肺部超声和二维超声心动图亦能较好地评估患者容量状态和右心室收缩功能,对预防血液透析后持续性容量超负荷引发的右心功能受损具有重要意义。此外,由于右心室解剖结构具有室壁薄、顺应性高的特点,对容量和压力负荷变化敏感,MHD合并肺动脉高压患者常处于容量负荷过重、后负荷增加状态,易导致其右心室压力增高,通过室间隔相互作用间接影响左心舒张功能,从而增加左心室充盈压导致肺水肿,因此右心功能也参与了肺水肿的形成,故评估MHD合并肺动脉高压患者右心功能时需多方面综合判断。

本研究存在一定的局限性:①为单中心、小样本研究,可能存在选择偏倚;②实时三维超声心动图对

图像质量要求高,且不同后处理软件间的参数测量存在差异;③采用无创超声技术评估肺动脉压力,今后研究可通过右心导管检查等进一步验证。

综上所述,随着肺动脉高压的病情进展,MHD 合并肺动脉高压患者的右心室收缩功能逐渐降低,应用超声心动图联合肺部超声可较准确地评估患者右心室收缩功能,为临床治疗及预后评估提供依据。

#### 参考文献

- [1] Rroji M, Cafka M, Seferi S, et al. The potential effect of cardiac function on pulmonary hypertension, other risk factors, and its impact on survival in dialysis patients [J]. *Int Urol Nephrol*, 2021, 53(2):343-351.
- [2] 杜锐,唐晓艳,钱胜利,等.实时三维超声联合斑点追踪技术评价终末期慢性肾脏病患者右室收缩功能[J]. *临床超声医学杂志*, 2020, 22(11):824-828.
- [3] D'Alto M, Di Maio M, Argiento P, et al. Right heart failure as a cause of pulmonary congestion in pulmonary arterial hypertension [J]. *Eur J Heart Fail*, 2024, 26(4):817-824.
- [4] Rischard FP, Bernardo RJ, Vanderpool RR, et al. Classification and predictors of right ventricular functional recovery in pulmonary arterial hypertension [J]. *Circ Heart Fail*, 2023, 16(10):e010555.
- [5] Loutradis C, Sarafidis PA, Ferro CJ, et al. Volume overload in hemodialysis: diagnosis, cardiovascular consequences, and management [J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2021, 36(12):2182-2193.
- [6] Humbert M, Kovacs G, Hoeper MM. 2022 ESC/ERS guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension [J]. *Eur Heart J*, 2022, 43(38):3618-3731.
- [7] Zaidi A, Knight DS, Augustine DX, et al. Echocardiographic assessment of the right heart in adults: a practical guideline from the British Society of Echocardiography [J]. *Echo Res Pract*, 2020, 7(1):19-41.
- [8] Tadic M, Nita N, Schneider L, et al. The predictive value of right ventricular longitudinal strain in pulmonary hypertension, heart failure, and valvular diseases [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8:698158.
- [9] Kitano T, Nabeshima Y, Nagata Y, et al. Prognostic value of the right ventricular ejection fraction using three-dimensional echocardiography: systematic review and Meta-analysis [J]. *PLoS One*, 2023, 18(7):e0287924.
- [10] Otani K, Nabeshima Y, Kitano T, et al. Accuracy of fully automated right ventricular quantification software with 3D echocardiography: direct comparison with cardiac magnetic resonance and semi-automated quantification software [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(7):787-795.
- [11] Voelkl J, Egli-Spichtig D, Alesutan I, et al. Inflammation: a putative link between phosphate metabolism and cardiovascular disease [J]. *Clin Sci (Lond)*, 2021, 135(1):201-227.
- [12] Pignatelli P, Farcomeni A, Menichelli D, et al. Serum albumin and risk of cardiovascular events in primary and secondary prevention: a systematic review of observational studies and Bayesian Meta-regression analysis [J]. *Intern Emerg Med*, 2020, 15(1):135-143.
- [13] 练菲菲,纪文艳,丁静,等.二维斑点追踪技术和右室量化分析系统评估尿毒症患者透析前后右室收缩功能的临床价值 [J]. *临床超声医学杂志*, 2023, 25(4):241-245.
- [14] Tian F, Zhang L, Xie Y, et al. 3-dimensional versus 2-dimensional STE for right ventricular myocardial fibrosis in patients with end-stage heart failure [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(7):1309-1320.
- [15] Werther Evaldsson A, 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.
- [16] Abe N, Kato M, Kono M, et al. Right ventricular dimension index by cardiac magnetic resonance for prognostication in connective tissue diseases and pulmonary hypertension [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2020, 59(3):622-633.
- [17] Mayr U, Lukas M, Habenicht L, et al. B-lines scores derived from lung ultrasound provide accurate prediction of extravascular lung water index: an observational study in critically ill patients [J]. *J Intensive Care Med*, 2022, 37(1):21-31.
- [18] Kharat A, Tallaa F, Lepage MA, et al. Volume status assessment by lung ultrasound in end-stage kidney disease: a systematic review [J]. *Can J Kidney Health Dis*, 2023, 10:20543581231217853.

(收稿日期:2024-06-25)