

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

杜锐 唐晓艳 钱胜利 杨莉 马洲 乔伟 黄炜

摘要 **目的** 应用实时三维超声联合三维斑点追踪技术评估左室射血分数(LVEF)保留的终末期慢性肾脏病(ESRD)患者的右室收缩功能。**方法** 选取我院血液净化中心规律血液透析的 LVEF 保留的 ESRD 患者 43 例,根据是否合并肺动脉高压分为 ESRD 组 23 例和 ESRD 合并肺动脉高压组 20 例;另选 25 例健康志愿者为对照组。应用常规超声测量各组右房横径(RAD)、右室基底部横径(RVD1)、右室中部横径(RVD2)、右室长径(RVD3)、主肺动脉内径(PAD)、LVEF 及右室心肌做功指数(RIMP);实时三维超声测量右室舒张末容积(EDV)、右室收缩末容积(ESV)、每搏输出量(SV)、右室每分输出量(RVCO)、右室射血分数(3DRVEF)、面积变化分数(FAC)及三尖瓣环收缩期位移(TAPSE);三维斑点追踪技术获取右室游离壁整体纵向应变(3DGLS);比较各组上述各参数差异;分析 3DGLS 与右室收缩功能参数的相关性。**结果** 与对照组比较,ESRD 组及 ESRD 合并肺动脉高压组 EDV、ESV、RVCO、RIMP 均增大,3DRVEF、TAPSE、FAC 均减低(均 $P<0.05$);ESRD 组 RVD1、RVD2、RVD3 差异均无统计学意义;ESRD 合并肺动脉高压组 RAD、RVD1、RVD2、PAD、SV 均增大(均 $P<0.05$)。与 ESRD 组比较,ESRD 合并肺动脉高压组 EDV、ESV、RVCO 均增大,3DRVEF、TAPSE、FAC 均减低(均 $P<0.05$)。3DGLS 绝对值在对照组、ESRD 组、ESRD 合并肺动脉高压组依次显著减低($P<0.01$)。相关性分析显示,3DGLS 的绝对值与 3DRVEF、TAPSE、FAC 均呈正相关($r=0.77, 0.62, 0.59$, 均 $P<0.01$),与 RIMP 呈负相关($r=-0.55, P<0.01$)。**结论** 实时三维超声联合三维斑点追踪技术可定量评估 LVEF 保留的 ESRD 患者右室收缩功能。

关键词 超声心动描记术;斑点追踪;终末期肾病;肺动脉高压;收缩功能;心室,右

[中图法分类号]R540.45;R692

[文献标识码]A

Evaluation of right ventricular systolic function by real-time three-dimensional echocardiography and speckle tracking imaging in end-stage renal dysfunction patients

DU Rui, TANG Xiaoyan, QIAN Shengli, YANG Li, MA Zhou, QIAO Wei, HUANG Wei

Department of Ultrasound, Chinese PLA Central War Command General Hospital, Wuhan 430010, China

ABSTRACT **Objective** To evaluate the right ventricular systolic function of patients with end-stage renal disease (ESRD) with normal left ventricular ejection fraction (LVEF) by real-time three-dimensional echocardiography and three-dimensional speckle tracking imaging. **Methods** A total of 43 ESRD patients with normal LVEF on regular hemodialysis in the blood purification center of our hospital were selected, which were divided into the ESRD group (23 cases) and the ESRD with pulmonary hypertension group (20 cases) according to whether they were combined with pulmonary hypertension. Twenty-five healthy volunteers were enrolled as the control group. The right atrium diameter (RAD), right ventricular basal diameter (RVD1), right ventricular mid diameter (RVD2), right ventricular longitudinal diameter (RVD3), pulmonary artery diameter (PAD), LVEF and right ventricular index of myocardial performance (RIMP) were measured by conventional echocardiography. The right ventricular end diastolic volume (EDV), right ventricular end systolic volume (ESV), stroke volume (SV), right ventricular output per minute (RVCO), 3D right ventricular ejection fraction (3DRVEF), fractional area change (FAC) and

作者单位:430010 武汉市,中国人民解放军中部战区总医院超声科(杜锐、钱胜利、杨莉、乔伟),心血管内科(唐晓艳、黄炜);武汉大学中南医院肾内科(马洲)

通讯作者:黄炜, Email: huangwei0521@126.com

tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) were measured by real-time three-dimensional echocardiography. The global longitudinal strain of free wall (3DGLS) was obtained by three-dimensional speckle tracking imaging. The differences of the above parameters were compared, and the correlation between 3DGLS and right ventricular systolic function was analyzed.

Results Compared with the control group, EDV, ESV, RVCO, RIMP were increased in ESRD group, 3DRVEF, TAPSE, FAC were decreased (all $P < 0.05$). RVD1, RVD2, RVD3 in ESRD group were not statistically significant. RAD, RVD1, RVD2, PAD, SV were increased in ESRD with pulmonary hypertension group (all $P < 0.05$). Compared with the ESRD group, EDV, ESV and RVCO in the ESRD with pulmonary hypertension group were increased, while the 3DRVEF, TAPSE, FAC were decreased (all $P < 0.05$). The absolute value of 3DGLS decreased significantly in turn in ESRD group, ESRD with pulmonary hypertension group and the control group ($P < 0.01$). Correlation analysis showed that the absolute value of 3DGLS was strongly positively correlated with 3DRVEF, TAPSE, FAC ($r = 0.77, 0.62, 0.59$, all $P < 0.01$), and negatively correlated with RIMP value ($r = -0.55, P < 0.01$).

Conclusion Real-time three-dimensional echocardiography and three-dimensional speckle tracking imaging can be applied to evaluate the right ventricular systolic function of patients with LVEF-preserved ESRD.

KEY WORDS Echocardiography; Speckle tracking; End-stage renal disease; Pulmonary hypertension; Systolic function, ventricle, right

目前对终末期慢性肾脏病(end stage renal disease, ESRD)的心脏研究^[1-3]主要集中在左室功能的评价,对右室研究较少。近期研究^[4]表明,ESRD患者即使左室射血分数(LVEF)保留仍可出现不同程度的右室功能障碍。右室收缩功能障碍和肺动脉高压与全因死亡率呈独立相关,特别是对于LVEF保留的患者具有更高的死亡风险^[5]。传统二维超声难以早期准确评价右室收缩功能障碍,待诊断出右室功能障碍时患者大多已进入终末期心力衰竭,无论是对于治疗原发肾脏疾病还是改善心功能,均在一定程度上延误了早期诊断及最佳治疗时机。因此,准确评估血液透析患者右室容量及收缩功能,对临床医师判断患者心脏功能,指导透析策略及容量管理,减少心血管事件的发生有着重要意义。实时三维超声不依赖于心脏的几何构型假设,可定量分析右室的容积及功能;三维斑点追踪(3D-STI)技术可以定量检测心肌功能,对心肌运动功能更为敏感。本研究旨在应用实时三维超声联合3D-STI技术定量评估LVEF保留的ESRD患者右室构型及收缩功能。

资料与方法

一、研究对象

选取2018年1月至2019年12月在我院血液净化中心进行规律透析患者43例,根据中国肺高血压诊断和治疗指南2018版^[6]判断是否合并肺动脉高压分为单纯ESRD患者23例(ESRD组)和ESRD合并肺动脉高压者20例(ESRD合并肺动脉高压组),其中ESRD组,男13例,女10例,年龄30~67岁,平均(52.43±11.44)岁;ESRD合并肺动脉高压组,男12例,

女8例,年龄39~70岁,平均(55.35±10.75)岁。纳入标准:估测肾小球滤过率(eGFR)<15 ml/(min·1.73 m²)^[7];透析病程均>6个月,均以桡动脉-头静脉内瘘为通路;LVEF>50%。排除标准:①<18岁者;②合并其他导致右室功能改变的疾病,如先天性心脏病、心肌病、心肌梗死、中等量心包积液等;③合并其他导致肺动脉压力改变的疾病,如慢性阻塞性肺疾病、间质性肺纤维化等;④合并其他引起右室功能改变的慢性疾病或恶性肿瘤者;⑤孕妇或哺乳期妇女;⑥图像显示不清者。

另选健康志愿者25例(对照组),男14例,女11例,年龄42~72岁,平均(56.12±7.11)岁;经病史、实验室检查、超声心动图及胸片检查均未发现任何肾脏疾病及心肺系统疾病。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有研究对象均签署知情同意书。

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及4V探头,频率1.7~3.3 MHz;配备EchoPAC脱机工作站。为避免容量负荷的影响,透析患者超声检查均于透析结束后2 h内完成。受试者取左侧卧位,连接同步心电图后采用M5S探头行常规超声检查,获取右房横径(RAD)、右室基底部横径(RVD1)、右室中部横径(RVD2)、右室长径(RVD3)、主肺动脉内径(PAD);根据简化Bernoulli公式计算肺动脉收缩压(PASP);采用M型超声测得LVEF、左室舒张末期内径(LVID)及室间隔厚度(IVS);组织多普勒检测右室心肌做功指数(RIMP)。所有数值均测量3次取平均值。

2. 图像分析:采用4V探头采集以右室为主的心尖

四腔心切面动态图像并储存,将留存图像资料拷贝至 EchoPAC 工作站,选取预留的三维容积图像,运用 4DRV Volume 软件分析,手动调节各切面心内膜轨迹,系统自动追踪获得右室心内膜表面模型及相关参数:右室舒张末容积(EDV)、收缩末容积(ESV)、每搏输出量(SV)、右室射血分数(3DRVEF)、三尖瓣环收缩期位移(TAPSE)、右室面积变化分数(FAC),计算右室每分输出量(RVCO);于 4DRV Volume 软件的 3D-STI 子菜单中获取右室游离壁整体纵向应变(3DGLS)。所有参数均测量 3 次取平均值;为排除体表面积(BSA)的影响,心腔容积测值均以 BSA 矫正。所有图像采集均由同一高年资超声医师完成。

3. 临床资料:收集受试者的年龄、性别、身高、体质量、心率、血压等资料(透析患者血压及体质量均在行超声心动图检查前测量,血压测量 3 次取平均值);收集行超声检查前 3 天内肌酐、血红蛋白及电解质等实验室检查结果。

三、统计学处理

应用 SPSS 25.0 统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组间比较采用单因素方差分析,组间两两比较行 t 检验。相关性分析采用 Pearson 相关分析法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、各组临床资料比较

各组间性别、年龄、BSA、透析时长及血钙浓度比较差异均无统计学意义。与对照组比较,两病例组收缩压、舒张压、心率、血肌酐、尿素氮及血磷浓度均升高,血红蛋白均降低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);与 ESRD 组比较,ESRD 合并肺动脉高压组肺动脉压、血磷浓度均升高,血红蛋白降低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。见表 1。

二、各组常规超声参数比较

1. 左室参数比较:与对照组比较,两病例组 LVID、IVS 均增大,LVEF 减低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。两病例组 LVID、IVS、LVEF 比较差异均无统计学意义。见表 2。

2. 右心参数比较:与对照组比较,ESRD 组 RIMP 显著增大($P < 0.01$),RAD、RVD1、RVD2、PAD 比较差异均无统计学意义;ESRD 合并肺动脉高压组 RAD、RVD1、RVD2、PAD、RIMP 均显著增大,差异均有统计学意义(均 $P < 0.01$)。ESRD 合并肺动脉高压组 RAD、RVD1、RVD2 均较 ESRD 组增大,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。各组间 RVD3 比较差异无统计学意义。见表 2。

三、各组实时三维超声参数比较

EDV、ESV、RVCO 在对照组、ESRD 组、ESRD 合并肺动脉高压组中依次增大,3DRVEF、TAPSE、FAC 在各组间依次减低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。与对照组比较,ESRD 合并肺动脉高压组 SV 增大,差异有

表 1 各组临床资料比较($\bar{x} \pm s$)

组别	男/女 (例)	年龄 (岁)	身高 (cm)	体质量 (kg)	BSA (m ²)	收缩压 (mm Hg)	舒张压 (mm Hg)	心率 (次/min)	透析时长 (个月)	肺动脉压 (mm Hg)	实验室检查				
											血肌酐(mmol/L)	尿素氮(mmol/L)	血红蛋白(g/L)	钙(mmol/L)	磷(mmol/L)
对照组	14/11	56.12±7.11	169.28±6.82	65.90±6.39	1.72±0.09	119.80±10.34	78.48±8.02	67.80±8.00	-	21.87±6.91	69.54±12.84	4.91±1.56	137.69±11.26	2.21±0.13	0.97±0.14
ESRD 组	13/10	52.43±11.44	167.39±7.25	68.59±7.07	1.75±0.12	143.78±21.02**	92.13±15.63**	76.13±8.70**	41.72±31.88	23.38±7.34	604.83±241.41**	13.55±3.52**	101.42±15.86**	2.14±0.23	1.24±0.28*
ESRD 合并肺动脉高压组	12/8	55.35±10.75	166.45±6.38	68.13±6.59	1.74±0.11	140.75±22.91**	93.15±17.22**	78.20±7.45**	37.16±27.64	46.33±8.71*◇	672.30±237.63**	14.89±2.68**	91.10±7.19**◇	2.29±0.21	1.65±0.92**◇
F 值	0.054	0.913	1.015	1.112	0.271	11.905	8.194	10.781	1.134	17.231	40.099	52.367	38.112	1.494	4.803
P 值	0.817	0.406	0.368	0.335	0.763	<0.001	0.001	<0.001	0.325	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.230	0.006

与对照组比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$;与 ESRD 组比较,◇ $P < 0.05$,◇◇ $P < 0.01$ 。BSA:体表面积。1 mm Hg=0.133 kPa

表 2 各组常规超声参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	左室参数			右心参数					
	LVID(mm)	IVS(mm)	LVEF(%)	RAD(mm)	RVD1(mm)	RVD2(mm)	RVD3(mm)	PAD(mm)	RIMP
对照组	44.48±3.64	10.28±0.89	64.08±4.45	34.68±2.70	32.64±2.75	25.85±3.08	53.12±3.77	23.36±2.16	0.45±0.04
ESRD 组	49.96±5.39**	12.09±1.31**	60.30±6.04*	36.30±2.77	34.17±2.89	27.58±2.78	53.13±5.42	24.87±2.62	0.58±0.07**
ESRD 合并肺动脉高压组	51.45±5.99**	12.25±0.79**	58.05±5.31**	40.70±5.32**◇◇	37.50±4.12**◇◇	30.00±4.22**◇◇	54.60±5.20	27.15±3.13**	0.60±0.07**
F 值	12.418	26.678	7.567	15.448	12.678	7.04	0.665	12.305	42.092
P 值	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.517	<0.001	<0.001

与对照组比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$;与 ESRD 组比较,◇ $P < 0.05$,◇◇ $P < 0.01$ 。LVID:左室舒张末期内径;IVS:室间隔厚度;LVEF:左室射血分数;RAD:右房横径;RVD1:右室基底部横径;RVD2:右室中部横径;RVD3:右室长径;PAD:主肺动脉内径;RIMP:右室心肌做功指数

统计学意义($P<0.05$)。3DGLS绝对值在各组间依次显著减低,差异有统计学意义($P<0.01$)。见表3和图1。

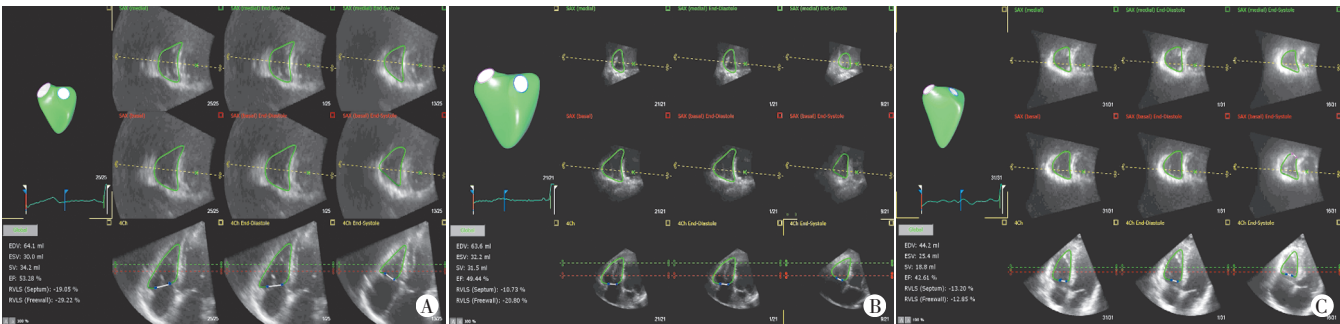
四、相关性分析

所有受检者3DGLS绝对值与3DRVEF、TAPSE、FAC均呈正相关($r=0.77、0.62、0.59$,均 $P<0.01$);与RIMP呈负相关性($r=-0.55, P<0.01$)。见图2。

表3 各组右室三维参数及应变参数比较($\bar{x}\pm s$)

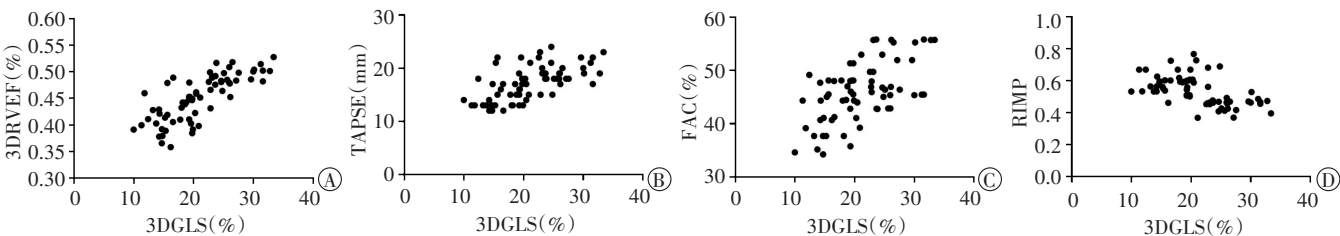
组别	EDV(ml/m ²)	ESV(ml/m ²)	SV(ml/m ²)	RVCO(ml)	3DRVEF(%)	TAPSE(mm)	FAC(%)	3DGLS(%)
对照组	40.92±3.45	20.83±1.86	20.08±1.90	2342.97±347.54	49.07±1.79	19.84±1.99	50.20±4.66	-26.89±3.51
ESRD组	47.66±3.53**	26.58±1.97**	21.08±2.74	2794.64±493.93**	44.12±3.56**	17.09±2.37**	45.34±3.50**	-19.62±2.77**
ESRD合并肺动脉高压组	54.24±5.52**◇	31.80±3.12**◇	22.44±3.27**	3082.99±641.36**◇	41.27±3.16**◇	13.60±1.54**◇	41.25±4.66**◇	-15.32±2.94**◇
F值	46.862	98.270	2.976	11.460	26.882	40.163	21.888	56.319
P值	<0.001	<0.001	0.036	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与对照组比较,* $P<0.05$,** $P<0.01$;与ESRD组比较,◇ $P<0.05$,◇◇ $P<0.01$ 。EDV:右室舒张末容积;ESV:右室收缩末容积;SV:每搏输出量;RVCO:右室每分输出量;3DRVEF:右室射血分数;TAPSE:三尖瓣环收缩期位移;FAC:右室面积变化分数;3DGLS:右室游离壁整体纵向应变



A: 对照组,3DRVEF为53.28%,3DGLS为-29.22%;B:ESRD组,3DRVEF为49.44%,3DGLS为-20.80%;C:ESRD合并肺动脉高压组,3DRVEF为42.61%,3DGLS为-12.85%

图1 各组右室三维超声成像图



A:3DGLS绝对值与3DRVEF呈正相关($r=0.77$);B:3DGLS绝对值与TAPSE呈正相关($r=0.62$);C:3DGLS绝对值与FAC呈正相关($r=0.59$);D:3DGLS绝对值与RIMP呈负相关($r=-0.55$)

图2 所有受检者3DGLS绝对值与右室收缩功能参数相关性散点图

讨论

ESRD是各类慢性肾脏病发展的终末阶段,全球患者估计在490万~708万^[8],心脏结构和功能异常是ESRD患者常见的并发症和主要死亡原因^[9]。研究^[10]发现,与正常成人比较,LVEF正常及LVEF减低的尿毒症患者EDV显著增大,提示ESRD患者右心功能受损。国外学者^[11]证实对于透析的ESRD患者,RVEF是预测死亡率的独立因素。因此,准确评估血液透析患者右室容量及收缩功能,对临床医师判断患者心脏功能、指导透析策略和容量管理,以及减少心血管事件的发生有着重要意义。本研究ESRD组中

3DRVEF范围为38.89%~51.67%,其中有4例<45%,右室收缩功能不全的发生率约为17.39%。ESRD合并肺动脉高压组3DRVEF范围为35.82%~48.89%,其中11例患者<45%,收缩功能不全发生率约55.00%,显著高于ESRD组,表现为更明显的右室重构与功能损伤^[12-13]。因此早期准确评估ESRD患者右室收缩功能,对于准确评估病情、制定合适的早期治疗方案和透析容量管理,以及预测患者预后意义重大。

实时三维超声可以获得心脏的真实形态,较为客观准确地描绘心腔的形状和体积,可以从三维空间上定量获得心脏结构和功能参数,较常规超声更敏感。本研究中,EDV、ESV、RVCO在对照组、ESRD组、

ESRD 合并肺动脉高压组中依次增大(均 $P < 0.05$),提示 LVEF 正常的 ESRD 患者即使不合并肺动脉高压,其右室已经出现不同程度的扩张,当合并肺动脉高压时扩张程度更为显著。而常规超声参数测得的右室大小(RVD1、RVD2)在 ESRD 患者中并无显著变化,仅当合并肺动脉高压时明显增大。虽然常规超声参数 RIMP 在 ESRD 组显著增高,可提示右心功能减低,但由于引起 RIMP 改变的原因众多,包括右室收缩功能下降、舒张功能异常等,因此 RIMP 改变在诊断右室收缩功能方面缺乏特异性^[14]。

3D-STI 通过实时地对心肌斑点追踪,计算出应变参数从而对心肌力学特征进行定性及定量评估,与 MRI 有较好的一致性^[15]。本研究中 3DGLS 的绝对值随着 ESRD 的进展而逐渐减低,提示 3DGLS 与右室心肌收缩力呈良好的相关性。既往研究^[10]认为, TAPSE 和 FAC 是评价右室收缩功能的重要参数,本研究中 ESRD 组 TAPSE、FAC 较对照组明显减低,且合并肺动脉高压时减低更加显著(均 $P < 0.01$),与既往研究^[16]结果一致,并且与应变参数 3DGLS 有较好的一致性,因此在评估 ESRD 患者的右室收缩功能时, TAPSE 和 FAC 的敏感性和特异性均较高。本研究应用实时三维超声联合 3D-STI 技术评价 LVEF 保留的 ESRD 患者的右室收缩功能,因两种方法各参数间具有较强的相关性,故认为可应用多参数更全面定量评估右室容积及收缩功能的变化。

综上所述, ESRD 患者即使 LVEF 保留时已出现右室功能障碍,且肺动脉高压时,其发生率显著增加;实时三维超声联合 3D-STI 技术可早期定量评估 LVEF 保留的 ESRD 患者右室容积及收缩功能的变化。但本研究样本量少,且未对病例组进行细分,后续将进行相应研究。

参考文献

- [1] Jahn L, Kramann R, Marx N, et al. Speckle tracking echocardiography and all-cause and cardiovascular mortality risk in chronic kidney disease patients [J]. *Kidney Blood Press Res*, 2019, 44(4):690-703.
- [2] 柯茜茜,杨静洲,欧阳达. 三维斑点追踪显像技术评价慢性肾脏病患者左室整体及局部收缩功能的研究 [J]. *临床超声医学杂志*, 2018, 20(9):590-593.
- [3] 赵冰冰,曲绍辉,田家玮. 三维斑点追踪技术评价早晚期慢性肾脏病患者左室局部收缩功能 [J]. *中国超声医学杂志*, 2018, 34(9):796-799.
- [4] Surkova E, Muraru D, Genovese D, et al. Relative prognostic importance of left and right ventricular ejection fraction in patients with cardiac diseases [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(11):1407-1415.
- [5] Fan J, Salameh H. Impact of chronic kidney disease on risk for vascular events [J]. *Curr Vasc Pharmacol*, 2016, 14(5):409-414.
- [6] 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.
- [7] Chen W, Bushinsky DA. Chronic kidney disease: KDIGO CKD-MBD guideline update: evolution in the face of uncertainty [J]. *Nat Rev Nephrol*, 2017, 13(10):600-602.
- [8] GBD Chronic Kidney Disease Collaboration. Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 [J]. *Lancet*, 2020, 395(10225):709-733.
- [9] Babu M, Drawz P. Masked Hypertension in CKD: increased prevalence and risk for cardiovascular and renal events [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2019, 21(7):58.
- [10] 冯闯丽,陈金玲,马媛媛,等. 4D RV Volume 软件评价尿毒症患者右心室收缩功能及维持性血液透析对其影响 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2019, 28(6):468-473.
- [11] Hickson LJ, Negrotto SM, Onuigbo M, et al. Echocardiography criteria for structural heart disease in patients with end-stage renal disease initiating hemodialysis [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 67(10):1173-1182.
- [12] Harrison A, Hatton N, Ryan JJ. The right ventricle under pressure: evaluating the adaptive and maladaptive changes in the right ventricle in pulmonary arterial hypertension using echocardiography (2013 Grover Conference series) [J]. *Pulm Circ*, 2015, 5(1):29-47.
- [13] Vitarelli A, Mangieri E, Terzano C, et al. Three-dimensional echocardiography and 2D-3D speckle-tracking imaging in chronic pulmonary hypertension: diagnostic accuracy in detecting hemodynamic signs of right ventricular (RV) failure [J]. *J Am Heart Assoc*, 2015, 4(3):e1584.
- [14] 赵嘉. 心肌做功指数、应变率成像定量评价慢性肾衰患者左、右心室功能 [D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- [15] Carluccio E, Biagioli P, Lauciello R, et al. Superior prognostic value of right ventricular free wall compared to global longitudinal strain in patients with heart failure [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(7):836-844.
- [16] Jone PN, Schafer M, Pan Z, et al. 3D echocardiographic evaluation of right ventricular function and strain: a prognostic study in paediatric pulmonary hypertension [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19(9):1026-1033.

(收稿日期: 2020-04-28)