

血流向量成像技术定量评估慢性肾脏病患者左室功能的临床价值

王 伟 白 晖 周金玲 常 青 王岳恒

摘 要 **目的** 应用血流向量成像(VFM)技术分析慢性肾脏病患者左室能量损耗(EL)变化,探讨其评估慢性肾脏病患者左室功能受损的临床价值。**方法** 选取慢性肾脏病患者 61 例,其中左室射血分数(LVEF)≥50% 者 42 例(A 组),LVEF<50% 者 19 例(B 组),另选取 38 例健康成人作为正常对照组。应用 VFM 技术获取各组左室充盈早期、左房收缩期、等容收缩期及射血期平均 EL(E-EL-ave、A-EL-ave、I-EL-ave 及 Ej-EL-ave)。比较各组上述参数的差异,绘制受试者工作特征曲线分析其诊断不同程度左室功能受损的诊断效能,分析各时相 EL 与常规超声参数的相关性。**结果** 与正常对照组比较,A 组各时相 EL 均升高,B 组 A-EL-ave 升高,Ej-EL-ave 降低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。Ej-EL-ave 在正常对照组、A 组、B 组表现为双相变化趋向。Ej-EL-ave 对慢性肾脏病患者早期左室功能受损及 LVEF<50% 均有良好的诊断效能(曲线下面积分别为 0.907、0.861,均 $P<0.001$)。慢性肾脏病患者 Ej-EL-ave 与 LVEF 呈正相关($r=0.636, P<0.01$)。**结论** VFM 技术所测参数 Ej-EL-ave 可以作为评估慢性肾脏病患者左室泵功能效率的潜在新指标,有一定的临床应用价值。

关键词 血流向量成像;心室功能,左;能量损耗;肾脏病,慢性

[中图分类号]R540.45;R692.9

[文献标识码]A

Quantitative assessment of left ventricular function in patients with chronic kidney disease by vector flow mapping

WANG Wei, BAI Hui, ZHOU Jinling, CHANG Qing, WANG Yueheng

Department of Cardiac Ultrasound, the Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, China

ABSTRACT **Objective** To analyze the change characteristics of left ventricular energy loss (EL) in chronic kidney disease by vector flow mapping(VFM) technique, and to explore the clinical value of EL in quantitative evaluating left ventricular function in patients with chronic kidney disease. **Methods** Sixty-one patients with chronic kidney disease were selected in this study, including 42 patients with left ventricular ejection fraction (LVEF) ≥50% in group A, 19 patients with LVEF<50% in group B, 38 healthy adults were enrolled as control group. Left ventricle average EL in early filling phase (E-EL-ave), atrial filling phase (A-EL-ave), isovolumic contraction period (I-EL-ave), and ejection phase (Ej-EL-ave) were acquired and calculated by VFM technique, and the differences of above parameters in each group were compared. Receiver operating characteristic curve was drawn to analyze the diagnostic efficacy of different degrees of left ventricular dysfunction. The relationship between EL in each phase and conventional ultrasound parameters were analyzed. **Results** Compared with the control group, EL in all phases of group A were increased, A-EL-ave was increased in group B, and Ej-EL-ave was decreased in group B. The differences were statistically significant (all $P<0.05$). Ej-EL-ave showed a biphasic trend in the control group, group A and group B. Ej-EL-ave had good diagnostic efficacy for early left ventricular function impairment and LVEF<50% in patients with chronic kidney disease (area were 0.907, 0.861, respectively, both $P<0.001$). Ej-EL-ave was positively correlated with LVEF in the patients with chronic kidney disease ($r=0.636, P<0.01$). **Conclusion** The parameter of Ej-EL-ave measured by VFM technique can be used as a potential new indicator to evaluate the efficiency of left ventricular pump function in patients with chronic kidney disease, which has certain clinical value.

KEY WORDS Vector flow mapping; Ventricular function, left; Energy loss; Kidney disease, chronic

基金项目:河北省卫生健康委青年科技课题(20210496)

作者单位:050000 石家庄市,河北医科大学第二医院心脏超声科

通讯作者:王岳恒, Email:wyhbm@sina.com

慢性肾脏病是冠状动脉粥样硬化性心脏病、慢性心力衰竭等常见心血管疾病的独立危险因素^[1]。血流向量成像(vector flow mapping, VFM)技术可以反映左室整体功能和心血管系统维持血液循环相对稳定的能力^[2]。本研究拟应用VFM技术分析处于不同心功能状态的慢性肾脏病患者各个时相平均EL变化特点,旨在从流体动力学角度探索其早期、定量评价慢性肾脏病患者左室功能的应用价值。

资料与方法

一、研究对象

选取2018年2~12月于我院诊治的慢性肾脏病患者61例,根据所测左室射血分数(LVEF)进行分组:LVEF $\geq$ 50%者42例(A组),男27例,女15例,年龄24~72岁,平均(53.52 $\pm$ 10.93)岁;LVEF $<$ 50%者19例(B组),男9例,女10例,年龄22~75岁,平均(57.64 $\pm$ 10.9)岁。纳入标准:①病例组患者均符合肾脏病预后质量指南(KDOQI)慢性肾脏病诊断标准^[3];②基础心率为窦性心律。排除标准:①先天性心脏病、心律失常、伴有中度以上反流瓣膜病、先天性肺动脉高压;②免疫系统疾病或肺部疾病引起的肺动脉高压;③各种心脏病、心肌梗死病史或由于心肌梗死引起的缺血性心脏病;④冠状动脉粥样硬化性心脏病、有心脏手术史及中量以上心包积液者。另选同期我院健康体检者38例作为正常对照组,男21例,女17例,年龄23~67岁,平均(41.5 $\pm$ 12.83)岁。三组年龄、性别等一般资料比较差异均无统计学意义。本研究经我院医学伦理委员会批准,入选者均知情同意。

二、仪器与方法

1. 仪器:使用日立 Aloka ProSound F 75 彩色多普勒超声诊断仪,UST-52105探头,频率3.5~5.0 MHz;配备DAS-RS1图像后处理工作站。

2. 常规超声心动图检测:嘱受检者取左侧卧位,连接肢导心电图,应用常规超声心动图测量左室后壁厚度(LVPW)、室间隔厚度(IVS)、左室舒张末内径(LVDd)、左室质量指数(LVMI)、左房内径(LAD)、左房最大容积指数(LAVImax)、舒张期二尖瓣跨瓣血流速度E峰及A峰(E/A);组织多普勒分别测量室间隔侧及左室侧壁侧二尖瓣环运动速度[e'(septal)、e'(lateral)]、心肌做功指数(Tei指数);M型超声测量LVEF。

3. VFM图像采集及分析:VFM模式下,采集连续3个心动周期心尖三腔及二腔观的二维及血流动态图像。在保证感兴趣区完整的前提下,调整血流模式参数设

置,获得彩色扫描区域最高帧率,存储并导入工作站进行分析。于心脏三腔及两腔观选取最清晰的一帧手动描记心内膜边界,软件自动跟踪其剩余帧数心内膜。然后依据时间-流量曲线及瓣膜开闭情况将1个完整心动周期分为4个时相:左室充盈早期、左房收缩期、等容收缩期及射血期,手动确定时相后勾画并计算每个时相对应的平均EL,即E-EL-ave、A-EL-ave、I-EL-ave及Ej-EL-ave。

三、统计学处理

应用SPSS 21.0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。绘制受试者工作特征(ROC)曲线,分析左室血流能量损耗参数对慢性肾脏病患者不同程度左室功能受损的诊断效能。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、各组左室血流能量损耗参数变化

1. A组E-EL-ave、A-EL-ave、I-EL-ave及Ej-EL-ave均高于正常对照组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);B组A-EL-ave高于正常对照组,Ej-EL-ave低于正常对照组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表1。A组各个时相能量损耗图较正常对照组和B组更加鲜亮,B组射血期能量损耗图较正常对照组和A组更加暗淡,见图1。

表1 各组左室血流能量损耗参数比较($\bar{x}\pm s$) J·m⁻¹·s⁻¹

组别	E-EL-ave	A-EL-ave	I-EL-ave	Ej-EL-ave
正常对照组	6.16 $\pm$ 2.19	3.26 $\pm$ 1.82	4.34 $\pm$ 2.00	5.49 $\pm$ 1.43
A组	10.15 $\pm$ 3.67 ^a	8.33 $\pm$ 3.49 ^a	7.17 $\pm$ 5.30 ^a	9.63 $\pm$ 2.92 ^a
B组	8.13 $\pm$ 4.65	8.67 $\pm$ 4.28 ^a	4.32 $\pm$ 1.17	3.79 $\pm$ 0.89 ^{ab}
F值	7.98	18.91	6.89	60.56
P值	0.001	<0.000	0.002	<0.000

与正常对照组比较,^a $P<0.05$;与A组比较,^b $P<0.05$ 。E-EL-ave:左室充盈早期平均能量损耗;A-EL-ave:左房收缩期平均能量损耗;I-EL-ave:等容收缩期平均能量损耗;Ej-EL-ave:射血期平均能量损耗

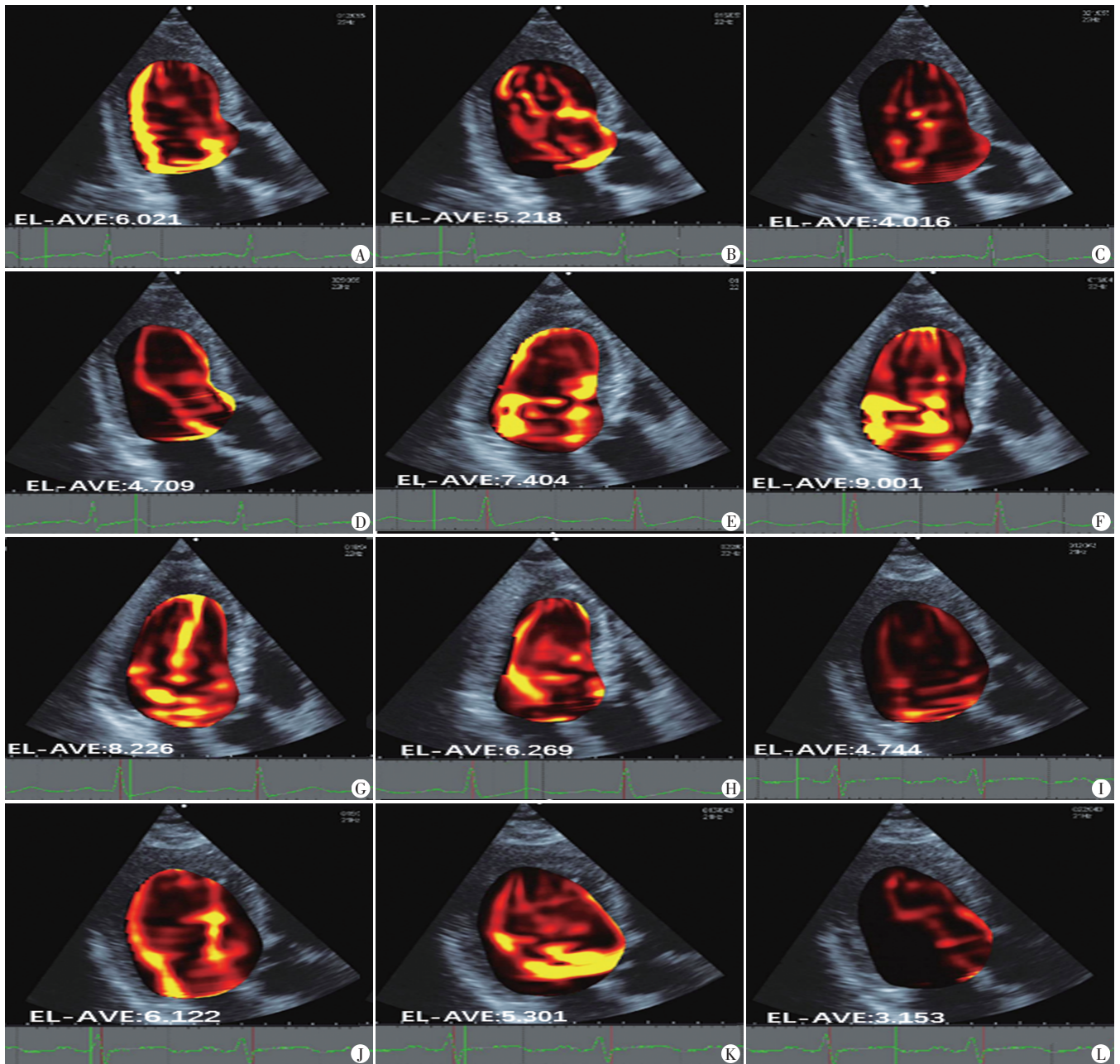
2. Ej-EL-ave在正常对照组、A组、B组表现出双相变化趋向,在A组最高,在B组最低,见图2。

二、各组常规超声心动图参数比较

与正常对照组比较,A、B组LVPW、IVS均增厚,LVMI、LAVImax、A、E/e'均升高,E/A、e'(septal)、e'(lateral)均降低;与A组比较,B组LVDd、LAD、LAVImax均升高,LVEF、A均降低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表2。

三、ROC曲线分析

A组LVEF、I-EL-ave、Ej-EL-ave诊断慢性肾脏



A~D、F~H、I~L:分别为正常对照组、A组、B组左室充盈早期、左房收缩期、等容收缩期及射血期能量损耗图

图1 各组不同时期VFM图

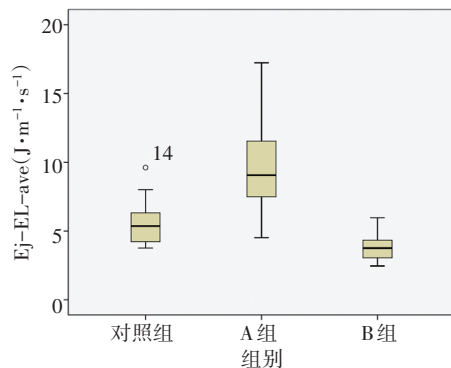


图2 Ej-EL-ave在正常对照组、A组、B组变化的箱式图

病患者早期左室功能受损的曲线下面积分别为0.460、0.647、0.907。当 $Ej-EL-ave > 8.01 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,其预测慢性肾脏病患者早期左室功能受损的敏感性、特异性分别为97.4%、73.8%。见图3。B组I-EL-ave、Ej-EL-ave诊断慢性肾脏病左室收缩功能减低的曲线下面积分别为0.453、0.861。当 $Ej-EL-ave < 3.978 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 时其预测慢性肾脏病患者LVEF<50%的敏感性、特异性分别为89.5%、66.7%。见图4。

四、相关性分析

影响慢性肾脏病患者各个时期能量损耗的相关性

表2 各组常规超声心动图参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	LVMI(g/m ²)	Tei 指数	IVS (mm)	e' (septal)(cm/s)	e' (lateral) (cm/s)	LVPW (mm)	LVDd(mm)	LVEF(%)
正常对照组	68.4±13.3	0.3±0.1	8.16±1.0	9.5±2.3	13.2±4.0	8.0±0.8	46.6±3.9	67.5±4.6
A组	116.6±33.4 ^a	0.4±0.1	11.8±2.2 ^a	5.7±1.8 ^a	8.9±2.6 ^a	10.4±1.9 ^a	49.7±5.0	60.72±4.5
B组	131.9±47.8 ^a	1.4±0.2 ^{ab}	11.7±1.9 ^a	5.2±0.9 ^a	7.7±3.1 ^a	10.8±2.0 ^a	54.8±6.0 ^{ab}	42.86±7.5 ^{ab}
F值	28.03	2.11	43.98	49.62	23.51	24.78	18.87	164.11
P值	<0.000	0.127	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000

组别	E(cm/s)	A(cm/s)	E/A	LAD(mm)	LAVImax(ml/m ²)	E/e'
正常对照组	70.6±13.2	56.7±16.2	1.3±0.5	30.7±3.3	23.6±4.2	6.6±1.7
A组	71.5±13.3	87.4±21.3 ^a	0.8±0.1 ^a	37.4±4.4 ^a	36.9±8.7 ^a	10.0±1.9 ^a
B组	71.4±20.7	72.7±16.8 ^{ab}	1.1±0.4 ^a	42.5±5.8 ^{ab}	50.4±14.7 ^{ab}	12.0±3.4 ^a
F值	0.03	26.19	15.24	54.92	60.75	28.40
P值	0.975	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000

与正常对照组比较,^a $P<0.05$;与A组比较,^b $P<0.05$ 。LVMI:左室质量指数;Tei指数:心肌做功指数;IVS:室间隔厚度;e'(septal):室间隔侧二尖瓣环运动速度;e'(lateral):左室侧壁侧二尖瓣环运动速度;LVPW:左室后壁厚度;LVDd:左室舒张末内径;LVEF:左室射血分数;E:舒张期二尖瓣跨瓣血流速度E峰;A:舒张期二尖瓣跨瓣血流速度A峰;LAD:左房内径;LAVImax:左房最大容积指数;e':室间隔侧与侧壁侧二尖瓣环运动速度平均值

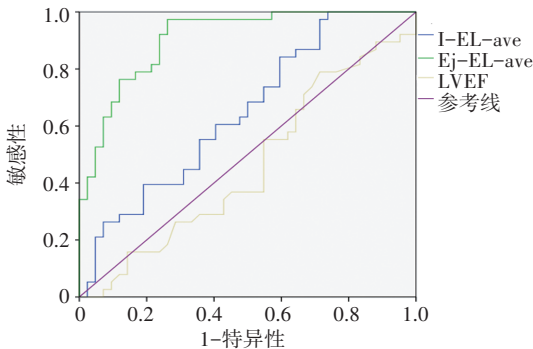


图3 LVEF、I-EL-ave、Ej-EL-ave 预测慢性肾脏病患者早期左室功能受损的ROC曲线图

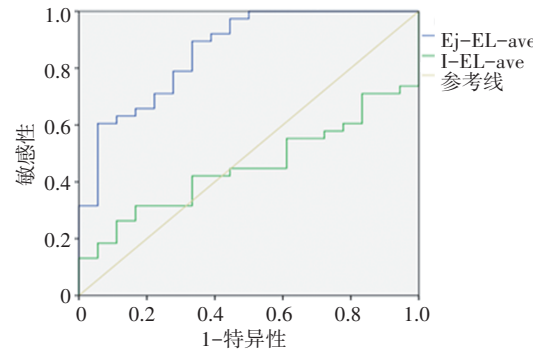


图4 I-EL-ave、Ej-EL-ave 预测慢性肾脏病患者LVEF<50%的ROC曲线图

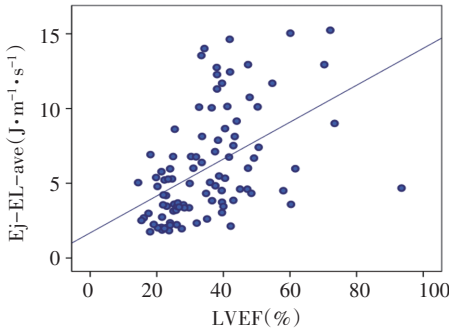


图5 Ej-EL-ave与LVEF的相关性分析散点图

分析结果显示,E与E-EL-ave呈正相关($r=0.646, P<0.01$); A、E/e'、LAVImax、E/A与A-EL-ave均相关($r=0.740$ 、 0.550 、 0.473 、 -0.528 , 均 $P<0.01$); LVEF与Ej-EL-ave呈正相关($r=0.636, P<0.01$), 见图5。

讨论

慢性肾脏病患者左室功能障碍发生率较高, 研究^[4]表明在慢性肾脏病发病早期, 其心脏结构已发生细微改变, 心脏功能有所减低, 若未进行干预, 则可进展为不可逆转的心力衰竭。因此, 早期发现其心脏功能异常对改善患者预后意义重大。本研究结果发现A组LVPW、IVS均增厚, LVMI、LAVImax、A-wave、E/e'均升高, E/A、e'(septal)、e'(lateral)均降低, 分析这可能与心肌重构和左室前、后负荷增加等因素有关。但A组与正常对照组LVEF比较差异无统计学意义, 提示应用常规超声心动图评估慢性肾脏病患者左室收缩功能有一定局限性。

应用斑点追踪技术可以早期检测慢性肾脏病患者左室心肌功能受损情况^[5]。较单纯评价心脏结构和功能而言, 全面评价心腔内血流状态及动力学变化更能真实地反映患者心功能状态。VFM是一种基于彩色多普勒成像及斑点追踪, 以速度向量反映血流速度大小和方向, 并能够可视化呈现心腔内血流状态的超声新技术, 其衍生的EL是由涡流环、左室侧壁与血流之间的粘滞摩擦引起的, 在血流模式变化大的位点较大, 在层流的位点较小, 可以反映心腔内血流流动的效率及早期受损的血流场情况^[6]。本研究结果显示, A组LVEF与正常对照组比较差异无统计学意义时, I-EL-ave、Ej-EL-ave较正常对照组增加(均 $P<0.05$)。

这是因为正常情况下,等容收缩期的涡流以顺时针方向将流入道的血流转向流出道,同时储存能量,在收缩期时涡流转为层流,进而以最小耗能方式帮助射血。该机制可以防止血流分散,避免过度消耗腔内血流动能。而 A 组患者的结构性因素变化会引起心腔内涡流运动状态、大小、持续时间的改变,进而破坏涡流高效的运动模式,影响了血流势能、动能的转换并增加血液的湍流,从而增加心脏能量耗损及额外做功^[7],这是左室泵功能减低的早期表现。本研究发现,与 LVEF 相比, I-EL-ave、Ej-EL-ave 对慢性肾脏病早期左室功能受损的诊断效能较高,尤其是 Ej-EL-ave 的诊断效能最高;且 Ej-EL-ave 对于 LVEF<50% 的慢性肾脏病患者的诊断效能也高于 I-EL-ave,当 Ej-EL-ave<3.978 J·m⁻¹·s⁻¹ 时,可以预测慢性肾脏病患者 LVEF<50%。由此可见, Ej-EL-ave 较 LVEF 可以更敏感地反映慢性肾脏病患者早期心功能受损情况及其受损程度。本研究还发现 A 组 E-EL-ave、A-EL-ave 均较正常对照组增加(均 $P<0.05$),这是因为 A 组患者心脏结构改变及增加的心室壁僵硬可引起血流速度与方向的改变,进而增加血液间、血液与室壁间摩擦。由此可见,慢性肾脏病患者 EL 的增加为左室收缩及舒张功能的早期受损情况提供了可靠的流体力学依据。

研究^[8]证实当收缩功能下降时,舒张早期血流动力学严重受损。本研究发现随着慢性肾脏病患者心功能的减低, E-EL-ave 有减低的趋向,但 A、B 组间比较差异无统计学意义,可能与本研究样本量少有关。而 Ej-EL-ave 在慢性肾脏病不同心功能情况下表现出双相行为,在 A 组患者中最高,在 B 组患者中最低。A 组患者 Ej-EL-ave 的增加,表明存在一种新的流体-组织-动力学平衡,可以作为补偿机制维持足够的 LVEF。而当慢性肾脏病患者 LVEF<50% 时, Ej-EL-ave 减低,究其原因,根据能量守恒定律,收缩期血流的动能来源于心肌收缩产生的机械能及舒张期进入左室内的血液动能^[9]。舒张期心室抽吸作用是由心肌收缩这一主动耗能过程引起,随着左室收缩能力下降,机械能减少,心力衰竭时心肌纤维的走行及运动发生变化,导致心室抽吸能力减弱,使得舒张期进入左室血液动能也减低,因此患者收缩期血流的动能减低,由此动能转化而来的热能也随之减低。由此可见,慢性肾脏病心力衰竭患者收缩期 EL 的减低反映了左室泵功能的衰退。

本研究相关性分析发现,舒张早、晚期充盈速率与舒张早晚期 EL 明显相关,且与左室充盈压相关的 E/e'、

LAVI_{max} 与舒张期 EL 也有很好的相关性,这与研究^[10]报道一致。本研究还发现慢性肾脏病患者 LVEF 与 Ej-EL-ave 呈正相关,说明血流能量损耗参数在血流动力学方面对左室收缩功能评估具有补充作用,可作为慢性肾脏病患者左室功能定量评估的辅助工具。

综上所述,血流能量损耗参数虽然不能替代常规评价左室功能的参数,但在血流动力学方面可作为早期、定量评价慢性肾脏病患者左室功能障碍的补充指标。但本研究结论还需要进行大规模的纵向研究进一步证实;另外, VFM 在二维彩色多普勒超声基础上对血流速度向量的分析,不能真实反映心腔内的三维血流信息,有待今后进一步完善该技术。

参考文献

- [1] Hatta T, Nishimura S, Nishimura T. Prognostic risk stratification of myocardial ischaemia evaluated by gated myocardial perfusion SPECT in patients with chronic kidney disease [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2009, 36(11): 1835-1841.
- [2] Kim MK, Kim B, Lee JY, et al. Tissue Doppler-derived E/e' ratio as a parameter for assessing diastolic heart failure and as a predictor of mortality in patients with chronic kidney disease [J]. Korean J Intern Med, 2013, 28(1): 35-44.
- [3] Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) CKD-MBD Update Work Group. KDIGO 2017 Clinical Practice Guideline Update for the Diagnosis, Evaluation, Prevention, and Treatment of Chronic Kidney Disease-Mineral and Bone Disorder (CKD-MBD) [J]. Kidney Int Suppl (2011), 2017, 7(1): 1-59.
- [4] 符梦竹, 杨俊华, 李杏. 三维定量分析与自动心肌运动定量技术评估慢性肾脏病患者左室收缩功能的价值 [J]. 中华医学杂志, 2019, 99(4): 312-317.
- [5] 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.
- [6] Suwa K, Saitoh T, Takehara Y, et al. Intra-left ventricular flow dynamics in patients with preserved and impaired left ventricular function: analysis with 3D cine phase contrast MRI (4D-Flow) [J]. J Magn Reson Imaging, 2016, 44(6): 1493-1503.
- [7] Chen R, Zhao BW, Wang B, et al. Assessment of left ventricular hemodynamics and function of patients with uremia by vortex formation using vector flow mapping [J]. Echocardiography, 2012, 29(9): 1081-1090.
- [8] 徐瑶, 李萌萌, 徐铭俊, 等. 血流向量成像技术评估左心室内压力梯度在心力衰竭患者中的应用价值 [J]. 中华超声影像学杂志, 2019, 28(12): 1019-1024.
- [9] Pedrizzetti G, Sengupta PP. Vortex imaging: new information gain from tracking cardiac energy loss [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2015, 16(7): 719-720.
- [10] Akiyama K, Maeda S, Matsuyama T, et al. Vector flow mapping analysis of left ventricular energetic performance in healthy adult volunteers [J]. BMC Cardiovasc Disord, 2017, 17(1): 21.

(收稿日期: 2020-06-14)