

# 磁悬浮左室辅助装置的围术期超声心动图评估

贺林<sup>1,2,3</sup> 吴纯<sup>1,2,3</sup> 李贺<sup>1,2,3</sup> 方凌云<sup>1,2,3</sup> 李玉曼<sup>1,2,3</sup> 吴文谦<sup>1,2,3</sup>  
张静<sup>1,2,3</sup> 董念国<sup>4</sup> 谢明星<sup>1,2,3</sup>

**【摘要】** 目的:探讨超声心动图在磁悬浮左室辅助装置(LVAD)植入围术期评估中的临床应用价值。方法:回顾华中科技大学同济医学院附属协和医院接受磁悬浮 LVAD 植入手术的 22 例终末期心力衰竭患者的术前以及术后 1 个月的超声心动图检查参数,并对其进行评估与比较。术前超声心动图评估主要参数如下:左房内径、左室舒张期末期内径、右房横径、右室横径、肺动脉主干内径、右室面积变化率、三尖瓣环收缩期位移、三尖瓣环收缩期位移速度、左室射血分数、心输出量、主动脉瓣反流、二尖瓣反流、三尖瓣反流、下腔静脉内径,肺动脉收缩压和心内分流情况。术后超声心动图监测指标增加了 LVAD 转速与流量、右心输出量、左室有无过度充盈或者过度抽吸、室间隔位置和主动脉瓣有无开放及反流变化。结果:22 例患者均成功地进行了磁悬浮 LVAD 植入术,1 例因多器官衰竭于术后 14 天死亡,21 例患者术后恢复良好。与术前超声心动图参数比较,术后 1 个月患者的左房内径、左室舒张期末期内径显著减小,肺动脉收缩压显著下降,心输出量显著提高( $P < 0.05$ ),左室射血分数及右室收缩功能未见明显变化。术前 4 例患者合并主动脉瓣少量反流,复查时反流无明显变化,1 例反流较重者直接进行主动脉瓣置换,此时所有患者主动脉瓣均开放。术前 7 例合并二尖瓣大量反流患者,LVAD 植入同时行二尖瓣整形术,术后 1 个月 7 例患者反流量均减轻,其中 4 例为少至中量,3 例为少量。术前 4 例合并三尖瓣大量反流患者,LVAD 植入同时行三尖瓣整形术,术后 1 个月均未见明显反流。术后 LVAD 管道流速及流量运转正常,未出现左室过度充盈、过度抽吸现象以及不良事件。结论:磁悬浮 LVAD 可改善终末期心力衰竭患者左心重构,提高心功能。超声心动图可动态评估心脏大小、功能以及瓣膜功能,建立基线状态下的 LVAD 和自体心脏功能信息,在 LVAD 围术期评价中具有至关重要的临床价值。

**【关键词】** 左室辅助装置;超声心动图

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2023.08.003

[中图分类号] R541.3 [文献标志码] A

## Clinical application and perioperative echocardiographic evaluation of the magnetically levitated left ventricular assist device

HE Lin<sup>1,2,3</sup> WU Chun<sup>1,2,3</sup> LI He<sup>1,2,3</sup> FANG Lingyun<sup>1,2,3</sup> LI Yuman<sup>1,2,3</sup>  
WU Wenqian<sup>1,2,3</sup> ZHANG Jing<sup>1,2,3</sup> DONG Nianguo<sup>4</sup> XIE Mingxing<sup>1,2,3</sup>

(<sup>1</sup>Department of Ultrasound, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430022, China;<sup>2</sup>Hubei Province Clinical Research Center for Medical Imaging;<sup>3</sup>Hubei Province Key Laboratory of Molecular Imaging;<sup>4</sup>Department of Cardiovascular Surgery, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology)

Corresponding author: XIE Mingxing, E-mail: xiemx@hust.edu.cn

**Abstract Objective:** To investigate the clinical value of echocardiography in the implantation of magnetically levitated left ventricular assist device(LVAD). **Methods:** Retrospectively analyze the clinical and echocardiographic data of 22 patients who implanted with the magnetically levitated LVAD at Union Hospital of Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, and compare the preoperative data with postoperative 1 month data. The preoperative echocardiographic parameters include: diameter of LA, RA, RV, PA and IVC, left ventricular end-diastolic diameter (LVIDd), RVFAC, TAPSE,  $s'$  of tricuspid ring TDI, LVEF, the cardiac output (CO), AR, MR, TR, the pulmonary artery systolic blood pressure (PASP), intracardiac shunt. Postoperative parameters added include: speed and output of LVAD, CO of RV, over filling or "sucking" of LV, position of IVS, opening and regurgitation change of AV. **Results:** All 22 patients successfully underwent magnetically lev-

<sup>1</sup>华中科技大学同济医学院附属协和医院超声医学科(武汉,430022)

<sup>2</sup>湖北省影像医学临床医学研究中心

<sup>3</sup>分子影像湖北省重点实验室

<sup>4</sup>华中科技大学同济医学院附属协和医院心脏大血管外科

通信作者:谢明星,E-mail:xiemx@hust.edu.cn

itated LVAD implantation, in which 21 patients recovered well, 1 patient died of multi-organ failure in day-14 after surgery. Compared with the preoperative echocardiographic parameters, the left atrial diameter(LA) and left ventricular end-diastolic diameter(LVIDd) of patients at one month after surgery were significantly reduced, the pulmonary artery systolic blood pressure(PASP) was significantly reduced, the cardiac output(CO) was significantly improved(All P value were  $< 0.05$ ), the left ventricular ejection fraction(LVEF) was slightly increased, and the right ventricular systolic function was not significantly changed. 4 patients with mild aortic regurgitation before surgery, which is still exist in 1 month. One patient with severe aortic regurgitation received replacement operation and all aortic valves open at follow up. There are 7 patients with severe mitral valve regurgitation before surgery. Thus, their LVAD implantation was accompanied by mitral valve plastic surgery, and the degree of regurgitation was reduced after surgery, in which 3 cases were mild and 4 cases were mild to moderate. LVAD implantation and tricuspid valve plastic surgery were conducted in 4 patients who were with severe tricuspid valve regurgitation preoperatively, and no significant regurgitation was detected in 1 month after surgery. After the operation, the flow rate of the LVAD was normal, and there was no left ventricular overfill, excessive suction and adverse events. **Conclusion:** Magnetically levitated LVAD could improve left heart remodeling and enhance cardiac function in patients with end-stage heart failure. Echocardiography can evaluate the cardiac morphology and valve function dynamically, thus establish the basal information of LVAD and autologous heart, which is used to evaluate the efficacy of LVAD.

**Key words** left ventricular assist device; echocardiography

目前全球范围有超过 2 600 万心力衰竭(心衰)患者,且患病人数正在逐年上升<sup>[1]</sup>。对于终末期左心衰患者,当移植供心缺乏、药物治疗及外科手术等其他手段效果不佳时,应用左心室辅助装置(LVAD)技术可以取得较好的治疗效果<sup>[2]</sup>。

根据结构及工作机制不同,左心室辅助血泵可分为 3 代:搏动性血泵、旋转血泵及悬浮血泵<sup>[3-4]</sup>。第 3 代磁悬浮血泵采用非接触式轴承设计,可以减少机械磨损及对血细胞的破坏,减少血栓及感染等并发症的发生<sup>[5]</sup>。国内 LVAD 的临床应用起步较晚,本世纪初才开始进行少量尝试<sup>[6]</sup>,尤其是第 3 代磁悬浮 LVAD 的临床应用直到近年来才正式开展。目前,我国自主研发的第 3 代磁悬浮 LVAD,苏州同心(CH-VAD)、深圳核心医疗(Corheart6)均已进入临床,但其临床应用疗效及植入后的超声评估未见报道。

华中科技大学同济医学院附属协和医院作为全国最大的心衰治疗中心之一,于 2018 年 10 月进行了华中地区首例 LVAD 植入手术,截至 2023 年 3 月已成功完成 22 例磁悬浮 LVAD 植入手术。现对其临床应用及围术期超声心动图评估经验总结如下,以期国内磁悬浮 LVAD 临床应用的超声评估提供参考。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

回顾性纳入 2019 年 8 月—2022 年 3 月在华中科技大学同济医学院附属协和医院行磁悬浮 LVAD 植入术的终末期心衰患者 22 例。纳入标准:①纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级Ⅲ或Ⅳ级,经抗心衰药物治疗仍无法控制病情进展,或存在严重心律失常长期依靠 ICD 维持;②年龄  $\geq 14$  岁,不存在外科手术禁忌、高危或其他危险因素;③

经术前综合评估适宜磁悬浮 LVAD 植入术治疗,术后能遵医嘱接受定期复查及随访。排除标准:①术前终末器官或多器官功能衰竭;②晚期肿瘤并转移;③不能使用抗凝剂;④其他严重心脏疾病,如非继发于左心疾病的右心室功能障碍、肥厚型心肌病、大室间隔缺损等;⑤患者个体缺乏社会支持或心理异常,依从性低。本研究经华中科技大学同济医学院伦理审批委员会审批同意[2021]伦审字(0625)号。

### 1.2 仪器与方法

Philips Epiq 7C 彩色多普勒超声诊断仪,配备 S5-1 经胸心脏探头(发射频率 1~5 MHz),X7-2t 经食管心脏三维探头(发射频率 2~7 MHz)。手术选用的磁悬浮 LVAD 有两种:苏州同心(CH-VAD)和深圳核心医疗(Corheart6)。二者工作方式、植入方式以及主要组件(流入管、泵、流出管、线缆、内含电池的外部控制器等)基本一致。

所有患者在术前均完成一般实验室检查及常规经胸超声心动图检查,从手术开始至术后 24 小时实行连续经食管超声心动图检查及监测,之后在术后 2 天、术后 1 周、术后 1 个月进行常规 TTE 全面扫查及实验室检查。

采集患者的术前及术后实验室指标,具体如下:红细胞、血红蛋白、红细胞压积、血小板、尿素氮、肌酐、肾小球滤过率、氨基末端脑钠肽前体(NT-pro BNP)、超敏肌钙蛋白、C-反应蛋白等。术前超声心动图参数如下:左房内径(LA)、左室舒张期末期内径(LVIDd)、右房横径(RA)、右室横径(RV)、肺动脉主干内径(PA)、右室面积变化率(RVFAC)、三尖瓣环收缩期位移(TAPSE)、三尖瓣环收缩期位移速度( $s$ )、左室射血分数(LVEF)、心输出量(CO)、主动脉瓣反流(AR)、二尖瓣反流

(MR)、三尖瓣反流(TR)、下腔静脉内径及吸气相塌陷率(IVC)。并根据三尖瓣反流、右心大小、下腔静脉宽度及吸气相塌陷率估测肺动脉收缩压(PASP),是否合并先天性左向右分流畸形,如卵圆孔未闭(PFO)、房间隔缺损(ASD)或室间隔缺损(VSD)等。在术前评估的基础上,术后超声心动图监测指标增加LVAD转速、LVAD输出量、右心输出量、左室有无过度充盈或者过度抽吸、室间隔位置(居中、偏左或偏右)、主动脉瓣有无开放及反流变化,及其他术后相关并发症。

### 1.3 统计学处理

采用SPSS 24.0软件处理分析数据,Shapiro-Wilk法进行正态性检验。连续变量用 $\bar{X} \pm S$ 或 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,正态分布的连续变量采用配对样本 $t$ 检验,非正态分布的连续变量采用Mann-Whitney  $U$ 检验。分类资料的组间比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher确切检验法。以双侧 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 患者基本情况及临床生化指标

本研究共纳入22例行磁悬浮LVAD植入术患者,8例植入CH-VAD,14例植入Corheart6,其中Corheart6为目前全球体积最小、质量最轻的磁悬浮离心式“人工心脏”(表1)。22例患者中(男/女为18/4),6例为体重过大( $>100$  kg),无法匹配合适的供体心脏;2例为免疫异常,群体反应抗体(PRA)呈强阳性,高排异反应风险;14例为急重症,无法等待合适的供体出现,年龄28~64( $46 \pm 15$ )岁,身体质量指数(BMI)( $24.3 \pm 5.1$ ) kg/m<sup>2</sup>,体表面积(BSA)( $1.82 \pm 0.36$ ) m<sup>2</sup>,心率( $84 \pm 14$ )次/min,收缩压( $111 \pm 30$ ) mmHg(1 mmHg = 0.133 kPa),舒张压( $62 \pm 20$ ) mmHg。原发病主要为扩张型心肌病14例,心功能分级NYHA III和IV级各10例(表2)。根据术前患者心脏状况,同时行二尖瓣整形术7例,三尖瓣整形术4例,主动脉瓣置换1例,左室血栓清除术3例,手术持续时间( $330.5 \pm 97.0$ ) min。术后ICU时间( $13 \pm 6$ ) d,总住院时间( $127 \pm 51$ ) d。术后4例患者出现心包腔积液,8例患者继发肺部感染,1例患者于术后14 d因多器官功能衰竭死亡。与术前相比,术后1个月患者肾功能[肾小球滤过率:( $75.2 \pm 31.4$ ) mL/min/1.73 m<sup>2</sup> vs ( $86.7 \pm 44.3$ ) mL/min/1.73 m<sup>2</sup>,  $P = 0.694$ ]及心肌损伤指标[超敏肌钙蛋白: $659.5$  (50.5, 2439.1) ng/L vs  $102.3$  (29.4, 870.1) ng/L,  $P = 0.499$ ]均较术前好转(表3)。

### 2.2 超声心动图参数变化

22例患者均成功地进行了LVAD植入术,其中除1例因感染合并多器官功能衰竭于术后14天死亡外,其余患者均恢复良好。由于患者术后两周

内血流动力学状态尚不稳定,需要药物和其他机械循环支持,且患者体位受限,超声图像质量不佳,而术后1个月大部分患者病情稳定,已撤除其他机械循环辅助,因此仅对术前和术后1个月的超声心动图参数进行比较。表4结果显示,与术前超声心动图参数比较,术后1个月患者LA[( $55.8 \pm 18.0$ ) mm vs ( $45.0 \pm 10.5$ ) mm,  $P = 0.028$ ]和LVIDd[( $78.9 \pm 15.5$ ) mm vs ( $65.0 \pm 12.2$ ) mm,  $P = 0.015$ ]均减低,差异有统计学意义;由于术后1月三尖瓣均未见明显反流,因此估测PASP相较术前显著减低。LVEF[( $26.2 \pm 4.2$ )% vs ( $31.7 \pm 7.6$ )%,  $P = 0.090$ ]和CO[( $4.9 \pm 1.6$ ) L/min vs ( $6.8 \pm 2.1$ ) L/min,  $P = 0.001$ ]均增加,且后者差异具有统计学意义。有2例患者右心扩大,右室收缩功能测值减低(TAPSE = 1.2 cm/1.5 cm; RV-FAC = 18%/20%),但总体RV、RA、RVFAC、TAPSE未见明显变化。术前4例患者合并主动脉瓣少量反流,复查时反流无明显变化,1例反流较重者直接进行主动脉瓣置换,此时所有患者主动脉瓣均开放(图1)。术前7例合并二尖瓣大量反流患者,LVAD植入同时行二尖瓣整形术,术后1个月7例患者反流量均减轻,其中3例为少至中量,4例为少量;术前1例合并中至大量二尖瓣反流患者,术后1个月瓣膜反流程度转为少量。术前4例合并三尖瓣大量反流患者,LVAD植入同时行三尖瓣整形术,术后1个月均未见明显反流;术前1例中量及2例中至大量三尖瓣反流患者,术后1个月均转为少量反流;术前少至中量三尖瓣反流患者1例,术后1个月复查,未见明显反流。有4例患者术后1个月复查有少量心包积液,余患者心包腔未见明显积液(表4)。

表1 两种LVAD特点比较

Table 1 Comparison of characteristics of two LVADs

项目	苏州同心 (CH-VAD)	深圳核心医疗 (Corheart6)
植入方式	心包腔	心包腔
轴承技术	磁悬浮	磁悬浮
泵体直径/mm	50	34
重量/g	180	90g
转速/(转/min)	2400~3000	2200~4300
最大流量/(L/min)	10	10

### 2.3 LVAD及其流量监测

22例患者术后均未出现过人工管道和心腔血栓,流入管位置均正常,其轴线基本与二尖瓣口平面垂直。由于磁悬浮LVAD的工作方式,无论彩色还是频谱多普勒均有明显伪像干扰,从而影响对流入管道血流的评价。流出管道彩色多普勒显示



人工血管血流通畅, 频谱提示无血流加速(均 < 2.5 m/s)(图 2)。LVAD 转速(2 752 ± 210.37) 转/min, 测得 LVAD 输出量(5.07 ± 1.57) L/min,

右心输出量(6.8 ± 1.05) L/min。术后观察室间隔居中或稍偏右, 未出现左室过度充盈、过度抽吸现象以及不良事件。

表 2 LVAD 植入术患者的一般临床资料

Table 2 General data of patients with LVAD implantation

例(%),  $\bar{X} \pm S$

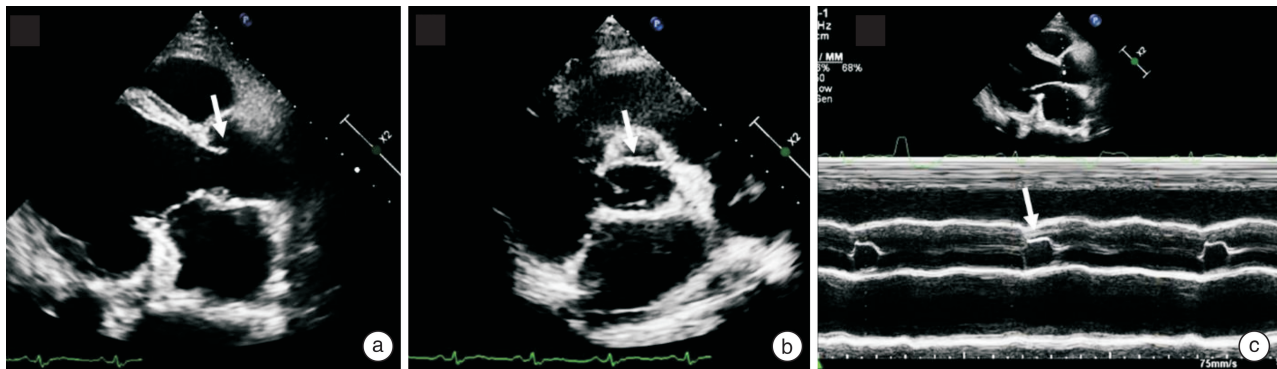
指标	数值(22 例)	指标	数值(22 例)	指标	数值(22 例)
LVAD 类型/例(%)		收缩压/mmHg	110.6 ± 29.9	手术持续时间/min	330.5 ± 97.0
CH-VAD	8(36.4)	舒张压/mmHg	62.1 ± 20.4	ICU 时间/d	13 ± 6
Corheart6	14(63.6)	心率/(次/min)	83.8 ± 14.3	总住院时间/d	127 ± 51
年龄/岁	50.1 ± 15.0	NYHA 心功能分级		术后并发症	
男	18(81.2)	IV 级	10(45.5)	心包腔血栓	4(18.2)
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	24.3 ± 5.1	III 级	10(45.5)	多器官衰竭死亡	1(4.5)
BSA/m <sup>2</sup>	1.82 ± 0.36	II 级	2(9.0)	肺部感染	8(36.4)
原发病		同时进行的手术			
扩张型心肌病	14(63.6)	三尖瓣整形术	4(26.7)		
肥厚型心肌病	1(4.5)	二尖瓣整形术	7(46.7)		
冠心病	6(27.4)	主动脉瓣置换术	1(6.6)		
心瓣膜病	1(4.5)	左室血栓清除术	3(20.0)		

表 3 患者术前及术后随访生化指标

Table 3 Preoperative and postoperative follow-up biochemical indexes

$\bar{X} \pm S, M(P_{25}, P_{75})$

指标	术前	术后	P 值
红细胞/(T/L)	3.6 ± 1.2	3.1 ± 0.7	0.238
血红蛋白/(g/L)	107.8 ± 38.6	91.9 ± 16.1	0.257
红细胞压积/%	32.7 ± 11.3	28.0 ± 5.2	0.274
血小板/%	186.3 ± 45.1	162.9 ± 92.6	0.480
尿素氮/(mmol/L)	10.0(7.3, 15.9)	6.5(4.3, 17.5)	0.208
肌酐/(μmol/L)	89.1(57.1, 127.5)	66.2(54.9, 95.7)	0.208
肾小球滤过率/(mL/min/1.73m <sup>2</sup> )	75.2 ± 31.4	86.7 ± 44.3	0.694
NT-proBNP/(pg/mL)	1 661.3(506.2, 6 035.1)	563.7(217.2, 919.1)	0.161
超敏肌钙蛋白/(ng/L)	659.5(50.5, 2 439.1)	102.3(29.4, 870.1)	0.499
C-反应蛋白/(mg/L)	25.3(3.1, 70.9)	5.1(3.1, 70.9)	0.866



a: 左室长轴显示主动脉瓣开放; b: 大动脉短轴显示主动脉瓣开放; c: 主动脉瓣 M 型显示主动脉瓣开放。箭头示开放的主动脉瓣。

图 1 主动脉瓣开启的超声图像

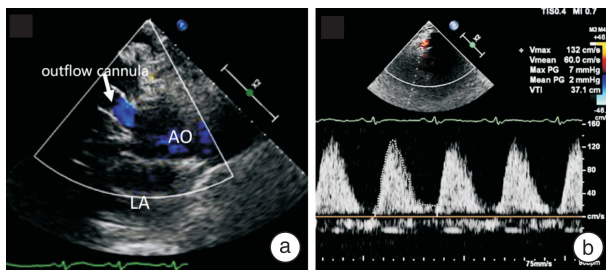
Figure 1 Ultrasound image of aortic valve opening

表 4 患者术前及术后随访超声指标

Table 4 Preoperative and postoperative follow-up ultrasound indexes  $\bar{X} \pm S$

超声参数	术前	术后	P 值
LA /mm	55.8±18.0	45.0±10.5	0.028
LVIDd/mm	78.9±15.5	65.0±12.2	0.015
RA/mm	42.2±9.7	36.6±4.7	0.065
RV/mm	37.4±10.1	35.2±4.6	0.672
PA/mm	30.6±10.4	28.0±5.1	0.339
RVFAC/%	34.8±9.7	35.5±5.3	0.807
TAPSE/mm	13.6±3.0	13.6±1.8	1.000
LVEF/%	26.2±4.2	31.7±7.6	0.090
PASP/mmHg	58.5±14.36	—	—
CO/(L/min)	4.9±1.6	6.8±2.1	0.001
LVAD 转速/(转/min)	—	2 752±210.37	—
LVAD 管道 VTI /cm	—	35.37±13.5	—
LVAD 管道流量/(L/min)	—	5.07±1.57	—

注: VTI:速度时间积分。



a: 彩色多普勒显示流出道位于主动脉前壁, 血流通畅; b: 频谱多普勒测得流出道最大峰值约 1.3 m/s。  
Outflow cannula: 流出管。

图 2 LVAD 流出道评估

Figure 2 Assessment of the LVAD outflow tract

### 3 讨论

目前,在药物治疗效果不理想、供体短缺的情况下, LVAD 可以为终末期心衰患者提供短期的血流动力学支持, 或为等待心脏移植供体争取时间, 甚至作为最终治疗手段<sup>[7-8]</sup>。本研究纳入的 22 例患者均采用了国产磁悬浮 LVAD, 也体现了我国在高精尖医疗设备研发方面的进步与发展。

超声心动图作为重要的医学影像学成像方法, 一直是研究心脏结构与功能的有效手段, 本研究体现其评价 LVAD 的重要临床价值。北京阜外医院与本中心同期进行了 LVAD 应用的临床研究结果亦表明, 超声心动图在 LVAD 植入前可确认诊断, 围手术期监测患者的心脏结构和功能变化, LVAD 植入后可监测手术疗效、协助优化泵功能、排除外科并发症等, 为临床评估 LVAD 治疗效果提供依据<sup>[9-10]</sup>。

本研究超声心动图评估结果显示: LVAD 植入

术后 1 个月, LA、LVIDd 缩小, CO 提高, 左室存在自主收缩射血引起主动脉瓣开放, 术前继发肺高压亦在术后减轻。与此同时, 由于肺血管阻力降低, 心输出量提高, 终末器官的灌注增加, 患者的心肌损伤指标——超敏肌钙蛋白与肾功能指标——肾小球滤过率均较术前改善。上述结果均提示 LVAD 植入可有效改善患者左室重构及临床心衰症状与体征。研究表明, LVAD 可以通过调节神经内分泌和逆转心室重构, 显著减少血浆肾上腺素、去甲肾上腺素、血管紧张素 II、减少血清白细胞介素-6、8 的水平, 减少心肌中肿瘤坏死因子的含量, 从而阻止或逆转心衰<sup>[11]</sup>。

右心的大小和功能是 LVAD 术前到术后临床关注的核心问题, ASE 指南将右心扩大和功能不全作为不推荐 LVAD 植入的重要指征<sup>[12]</sup>。在 22 例患者中, 3 例术前存在右心扩大和功能不全, 术后 1 例因感染合并多器官功能衰竭于术后 14 天死亡。此外, 有研究发现术前右心大小和功能均正常的患者, 术后有 6%~44% 出现不同程度的右心功能不全<sup>[13-14]</sup>。因而, 无论是术前或是术后, 对右心功能准确的评估都至关重要。目前超声心动图评估右心功能的参数主要包括内径、TAPSE、RVFAC、下腔静脉内径及其吸气相塌陷率、三尖瓣反流程度。有研究结果表明, 术前超声心动图能够预测术后严重右室功能不全发生, 包括临床参数在内的临床多变量模型研究, 提示右室纵向峰值应变绝对值小于 9.6%<sup>[15]</sup>, 舒张末期 RV/LV 比值大于 0.75<sup>[16]</sup>, 可作为超声心动图的独立预测因子。Kato 等<sup>[17]</sup>研究表明结合右室组织多普勒成像和右室纵向应变, 能够提高 LVAD 术后预测右心衰竭的准确性。目前, 依赖某一个超声心动图参数作为预测因子尚缺乏统一意见。因此, 探索、建立一套预测术后右心功能不全的超声评估体系对 LVAD 临床应用及患者预后具有重要价值。

LVAD 植入术后, 对泵工作效能及患者血流动力学的监测评价至关重要。术后可通过超声心动图协助调节 LVAD 的工作流速, 使装置对左室去负荷程度达到理想状态。超声心动图主要通过观察室间隔的位置, 当其居中或由于术前左心扩张的原因稍偏右时, 可视为处于理想泵速及左室减负状态。由于心导管为有创检查并无法一直置于心腔内, 超声心动图成为对 LVAD 输出量和心输出量连续监测的重要手段<sup>[18]</sup>。超声心动图通过勾勒血流频谱面积, 利用公式(单位时间流量 = TVI × 管道截面积 × 心率), 即能简便、重复地计算流量, 通过此方法可以快速获取泵流量、肺血流量并据此计算通过主动脉瓣口的血流量, 亦可根据体表面积标化计算心脏指数(CI), 配合对心腔大小、形态和瓣膜反流的观察和评估肺动脉压变化, 快速判断患者

心脏负荷状态。当 LVAD 输出量与右心输出量比值增高时,则提示 LVAD 流量超负荷,此种情况可能是由于主动脉瓣反流引起。如果术前无主动脉瓣反流而术后新出现主动脉瓣反流,此时应警惕感染性心内膜发生的可能性。

磁悬浮 LVAD 因其泵在运转过程中对多普勒成像有明显的干扰,术后左室心尖部以及流入管彩色血流和频谱均无法显示,故磁悬浮 LVAD 的血流仅能在流出管处进行评估。这需要在胸骨旁左室长轴切面的基础上调整切面,必要时将探头置于胸骨右缘充分显示升主动脉,然后在其前壁仔细扫查并定位流出管吻合口,继而显示流出管近升主动脉段。此外在获取流出管血流频谱时,应尽可能调整切面使管道方向与取样线平行。部分情况下近升主动脉段流出管显示困难,尤其是经食管超声心动图往往不易显示升主动脉远段,则需要近泵侧寻找流出管。

本研究回顾了磁悬浮 LVAD 植入患者的围术期临床及超声心动图资料,结果显示 LVAD 短期内可改善左室重构,提高左室射血分数,增加心输出量,极大地提升了终末期心衰患者的预后,为终末期心衰患者提供了更多更好的治疗方案的选择。

本研究存在一定局限性,为单中心回顾性研究且病例数较少,亟需后续多中心、大样本量、随访周期更长的临床研究资料完成进一步探讨。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] Benjamin EJ, Virani SS, Callaway CW, et al. Heart disease and stroke statistics-2018 update; a report from the american heart association[J]. *Circulation*, 2018, 137(12): e67-e492.
- [2] Schumer EM, Black MC, Monreal G, et al. Left ventricular assist devices; current controversies and future directions[J]. *Eur Heart J*, 2016, 37(46): 3434-3439.
- [3] 张岩,孙寒松,胡盛寿.左心室辅助血泵及其临床应用研究进展[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2017, 20(2): 152-155.
- [4] Lima B, Mack M, Gonzalez-Stawinski GV. Ventricular assist devices: The future is now[J]. *Trends Cardiovasc Med*, 2015, 25(4): 360-369.
- [5] Dell'Aquila AM, Schneider SR, Stypmann J, et al. Survival results after implantation of intrapericardial third-generation centrifugal assist device; an INTERMACS-matched comparison analysis [J]. *Artif Organs*, 2014, 38(5): 383-390.
- [6] Luo XJ, Hu SS, Sun HS, et al. Clinical application of BVS5000 left ventricular assist device in heart failure patients[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2008, 121(10): 877-880.
- [7] Frazier OH, Rose EA, Macmanus Q, et al. Multicenter clinical evaluation of the HeartMate 1000 IP left ventricular assist device[J]. *Ann Thorac Surg*, 1992, 53(6): 1080-1090.
- [8] Rose EA, Gelijns AC, Moskowitz AJ, et al. Long-term use of a left ventricular assist device for end-stage heart failure[J]. *N Engl J Med*, 2001, 345(20): 1435-1443.
- [9] 施怡声,朱振辉,王浩,等.左心室辅助装置植入术围术期经食道超声心动图的应用研究[J]. *中国循环杂志*, 2021, 30(6): 574-578.
- [10] 施怡声,牛丽莉,朱振辉,等.经胸超声心动图在左心室辅助装置植入术围术期中的应用[J]. *中国循环杂志*, 2021, 30(6): 610-614.
- [11] Felkin LE, Lara-Pezzi EA, Hall JL, et al. Reverse remodelling and recovery from heart failure are associated with complex patterns of gene expression[J]. *J Cardiovasc Transl Res*, 2011, 4(3): 321-331.
- [12] Stainback RF, Estep JD, Agler DA, et al. Echocardiography in the management of patients with left ventricular assist devices: recommendations from the american society of echocardiography[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(8): 853-909.
- [13] Kavarana MN, Pessin-Minsley MS, Urtecho J, et al. Right ventricular dysfunction and organ failure in left ventricular assist device recipients; a continuing problem[J]. *Ann Thorac Surg*, 2002, 73(3): 745-750.
- [14] Koprivanac M, Kelava M, Sirić F, et al. Predictors of right ventricular failure after left ventricular assist device implantation[J]. *Croat Med J*, 2014, 55(6): 587-595.
- [15] Grant AD, Smedira NG, Starling RC, et al. Independent and incremental role of quantitative right ventricular evaluation for the prediction of right ventricular failure after left ventricular assist device implantation [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(6): 521-528.
- [16] Vivo RP, Cordero-Reyes AM, Qamar U, et al. Increased right-to-left ventricle diameter ratio is a strong predictor of right ventricular failure after left ventricular assist device [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2013, 32(8): 792-799.
- [17] Kato TS, Jiang J, Schulze PC, et al. Serial echocardiography using tissue Doppler and speckle tracking imaging to monitor right ventricular failure before and after left ventricular assist device surgery [J]. *JACC Heart Fail*, 2013, 1(3): 216-222.
- [18] Estep JD, Chang SM, Bhimaraj A, et al. Imaging for ventricular function and myocardial recovery on non-pulsatile ventricular assist devices [J]. *Circulation*, 2012, 125(18): 2265-2277.

(收稿日期:2023-07-20)