

· 标准与规范 ·

左心室辅助装置治疗终末期心力衰竭围术期 超声心动图评价指南（2025 版）

中华医学会超声医学分会超声心动图学组

通信作者：谢明星，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，

Email: xiemx64@126.com

基金项目：国家自然科学基金（82427805，82230066，81922033）；湖北省重点研发计划重点项目（2024BCB013，2020DCD015）

DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20240819-00446

Guidelines for perioperative evaluation using echocardiography in left ventricular assist device implantation for end-stage heart failure patients (2025 edition)

Echocardiography Group, Ultrasound Medical Branch of Chinese Medical Association

Corresponding author: Xie Mingxing, Department of Ultrasound Medicine, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China, Email: xiemx64@126.com

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82427805, 82230066, 81922033); Key Program and Development Program of Hubei Province (2024BCB013, 2020DCD015)

DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20240819-00446

左心室辅助装置（left ventricular assist device, LVAD）植入是终末期难治性心力衰竭患者的治疗方法之一^[1]，超声心动图评价在 LVAD 植入治疗中具有重要价值。LVAD 植入围术期超声心动图评价包括术前患者纳入与排除标准、术中监测、术后随访、识别 LVAD 故障及功能优化、自体心肌功能恢复评价等^[1-2]。目前，我国尚无 LVAD 植入围术期超声心动图评价的标准与规范。为促进我国 LVAD 围术期超声心动图评价规范化应用，提高其临床管理质量，中华医学会超声医学分会超声心动图学组基于国内外相关指南、共识和最新研究进展，主要回顾 2000—2024 年发表的相关文献资料，检索国内外的主要电子数据，包括 PubMed、中国知网和万方数据库，检索词包括 LVAD 植入、超声心动图、成像。通过分析总结目前国内外最新研究证据，并结合我国 LVAD 超声心动图评价临床实践^[3]，在广泛征求意见的基础上制定了《左心室辅助装置治疗终末期心力衰竭围术期超声心动图评价指南（2025 版）》。本指南适用于所有临床医师，尤其是超声医学科、心脏大血管外科、体外循环科及其他与 LVAD 围术期患者诊疗和管理相关学科的专业人员。推荐意见的应用目标人群为 LVAD 植入患者。

本指南根据临床研究、循证证据、荟萃分析和专家们的建议，对超声心动图常用指标进行了类别推荐。本指南对检查方法和证据等级推荐类别

（class of recommendation, COR）的表述沿用国际通用方式：

I 类指征（COR I）：指已证实和（或）一致公认有益、有用和有效的操作或治疗。

II 类指征（COR II）：指有用和（或）有效的证据，尚有矛盾或存在不同观点的操作或治疗。

II a 类指征（COR II a）：有关证据/观点倾向于有用和（或）有效，应用这些操作或治疗是合理的。

II b 类指征（COR II b）：有关证据/观点尚不能被充分证明有用和（或）有效，可考虑应用。

III 类指征（COR III）：指已证实和（或）一致公认无用和（或）无效，并对一些病例可能有害的操作或治疗，不推荐使用。

对证据来源水平（level of evidence, LOE）表达如下：

证据水平 A（LOE A）：资料来源于多项随机临床试验或荟萃分析。

证据水平 B（LOE B）：资料来源于单项随机临床试验或多项非随机对照研究。

证据水平 C（LOE C）：仅为专家共识和（或）小型临床试验、回顾性研究或注册登记研究。

一、LVAD 概述

LVAD 植入的治疗原理是利用可提供动力的体外机械泵替代患者功能衰竭的心脏进行泵血，以维持机体组织和器官的有效血供。通过外科手术，将



LVAD 流入管连接到左心室心尖处，流出管吻合到升主动脉。几十年来，为提高心脏泵血效率并减少并发症，研究者依据不同的工作原理，对 LVAD 进行了不断的创新设计。从第一代容积式心脏泵到第二代轴流泵，以及第三代悬浮离心型泵，LVAD 在泵的轴承、尺寸、耐用性、血液相容性等方面取得了巨大进步。LVAD 的临床应用包括以下 3 个方面：①为急性心力衰竭患者提供短期替代支持，待心脏功能恢复后撤除；②作为患者心脏移植前的过渡支持，为等待获得合适供体争取更多时间；③用于不适合心脏移植的终末期心力衰竭患者的终点治疗，支持患者长期携带生存^[4-5]。

据《中国心血管健康与疾病报告 2022》，截至 2022 年，中国共有 36 家医院开展了 200 例 LVAD 植入术。国家药品监督管理局针对植入式 LVAD 治疗终末期心力衰竭安全性和有效性评价，共批准了 4 项临床试验研究，分别为 EVAHEART I、CH-VAD、CorHeart6 和“火箭心（HeartCon）”。在我国，LVAD 植入已被证实具有良好的早期疗效，使用数量正在逐步增加，并呈高速增长态势。

二、LVAD 植入术前超声心动图评估

合适患者的选择是保证 LVAD 植入治疗成功的关键因素之一。经胸超声心动图（transthoracic echocardiography, TTE）检查是 LVAD 术前患者筛选的首选影像学评估方法。术前 TTE 应全面评估患者心脏结构与功能，识别有无 LVAD 植入的绝对或相对禁忌证，如右心室功能不全、感染性心内膜炎、未治疗的重度主动脉瓣关闭不全或重度二尖瓣狭窄。术前 TTE 评估要全面，尤其应针对高危因素行重点扫查，见表 1。若 TTE 无法明确，需要采用经食管超声心动图（transesophageal echocardiography, TEE）进一步检查。

1. 左心室结构与功能

患者 LVAD 植入前左心室结构和功能的超声心动图精准评估至关重要，关键切面及评估内容见表 2。

（1）左心室结构

左心室大小改变可反映 LVAD 植入前、后左心室去负荷程度。左心室舒张末期内径与容积是评价左心室最常用的参数。左心室舒张末期内径，于胸骨旁左心室长轴切面，在二尖瓣瓣尖水平或邻近瓣尖下水平进行测量。左心室舒张末期容积，推荐使用改良双平面 Simpson 法（COR I，LOE A），在心尖四腔心及两腔心切面上测量最大的左心室容积，并避免左心室心尖部短切。对于声窗好，图像质量佳的患者，推荐采用三维超声心动图测量左心室容

表 1 术前经胸超声心动图/经食管超声心动图高危所见

项目内容	高危所见
左心室与室间隔	左心室腔小，左心室肌小梁增多 左心室血栓 左心室心尖室壁瘤 室间隔缺损
右心室	右心室扩张 右心室收缩功能障碍
心房、房间隔与下腔静脉	左心耳血栓 卵圆孔未闭或房间隔缺损
瓣膜异常	任何人工瓣膜（尤其是机械主动脉瓣或二尖瓣） >轻度主动脉瓣反流 ≥中度二尖瓣狭窄 ≥中度三尖瓣反流或>轻度三尖瓣狭窄 >轻度肺动脉瓣狭窄，≥中度肺动脉瓣反流
其他	任何先天性心脏病 主动脉病理：动脉瘤、夹层、动脉粥样硬化斑块、缩窄 活动性团块 其他分流：动脉导管未闭、肺内分流

积（COR II a，LOE A），三维超声左心室容积测值与心脏磁共振测值相关性良好^[6]。

（2）左心室射血分数

目前，推荐将左心室射血分数（left ventricular ejection fraction, LVEF）<30% 作为 LVAD 治疗的主要参考指标之一^[7-8]，超声心动图准确评估 LVEF 至关重要。根据美国超声心动图协会（American Society of Echocardiography, ASE）指南^[9-11]，推荐改良双平面 Simpson 法测量 LVEF（COR I，LOE A）。对于心内膜显示欠清晰的患者，推荐使用超声增强剂，以提高 LVEF 测量的准确性^[12-13]（COR I，LOE B）。对于具备技术条件及有经验的超声心动图室，当患者图像质量良好时，推荐应用三维超声心动图测量 LVEF（COR II a，LOE A）。

2. 右心室结构与功能

右心室功能衰竭是导致 LVAD 术后发生不良事件和死亡的重要决定因素^[14-18]。术前准确评估右心室关键超声切面及评估内容见表 3。

（1）右心室大小

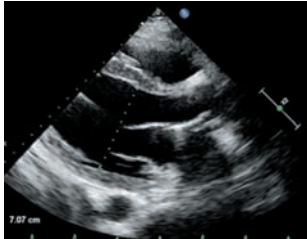
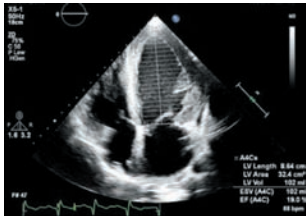
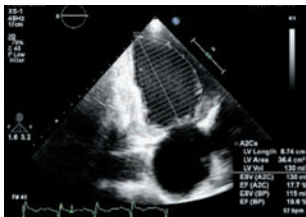
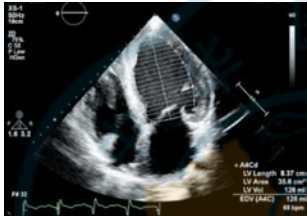
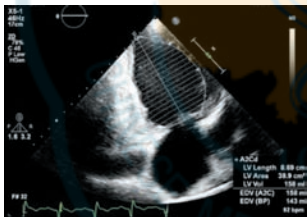
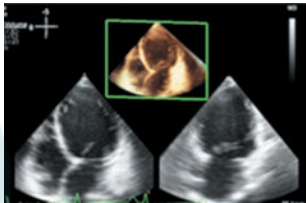
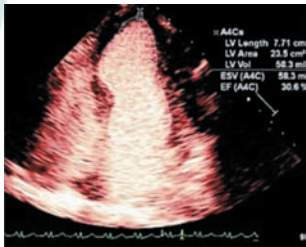
右心室内径应在聚焦右心室的心尖四腔心切面于舒张末期进行测量。应注意显示最大的右心室内径。

（2）右心室功能

根据 ASE 指南^[9,19]，超声心动图评估右心室收缩功能，包括如下参数：右心室面积变化率（right ventricular fractional area change, RVFAC）、三尖瓣环收缩期位移（tricuspid annular plane systolic



表 2 LVAD 植入术前左心室结构与功能关键超声评估内容

切面	内容	示例	切面	内容	示例
胸骨旁左心室长轴切面	左心室舒张末期内径			左心室收缩末期容积	 
心尖四腔/两腔心切面	左心室舒张末期容积	 	心尖四腔/两腔心切面	三维超声心动图测量左心室容积及 LVEF 值	
				声学造影下测量左心室容积及 LVEF 值	

注：LVAD 为左心室辅助装置，LVEF 为左心室射血分数

excursion, TAPSE)、三尖瓣环收缩期速度 (S')、右心室游离壁纵向应变 (right ventricular free wall longitudinal strain, RVFWLS)、右心室射血分数 (right ventricular ejection fraction, RVEF)。在聚焦右心室的心尖四腔心切面测量 RVFAC, RVFAC<35% 提示右心室收缩功能减低 (COR I, LOE A)。TAPSE 的测量采用聚焦右心室的心尖四腔心切面, M 型测量三尖瓣环舒张末期至收缩末期的位移距离, TAPSE<17 mm 提示右心室收缩功能减低 (COR I, LOE B)。RVFWLS>-20% 表明右心室收缩功能减低 (COR I, LOE B)。研究发现, 术前 RVFWLS 减低与术后 1 年发生右心衰竭相关^[20]。由于右心室几何形态不规则, 推荐应用三维超声心动图测量 RVEF, RVEF<45% 提示右心室收缩功能减低 (COR I, LOE B)。本指南不推荐通过单一参数评价右心室功能。

3. 心腔内血栓

虽然心腔内血栓并非 LVAD 植入的绝对禁忌证,

但其可增加 LVAD 植入过程中发生卒中的风险。当 LVEF 显著减低或伴有室壁瘤时, 左心室血栓形成的风险增加。因此, 应多切面扫查, 明确心腔内有无血栓。对于超声图像质量欠佳患者, 建议采用超声增强剂评估心室内血栓^[12-13] (COR I, LOE B)。术前应明确血栓的数目、大小及位置, 以指导手术医师在 LVAD 植入过程中避免血栓脱落。不同心腔位置血栓典型图像见表 4。

心房颤动者易合并左心房和左心耳血栓, 建议应用 TEE 评估左心房及左心耳有无血栓 (COR I, LOE A)。

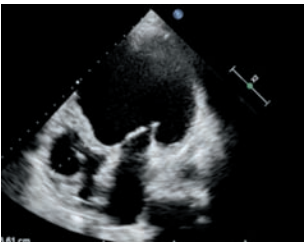
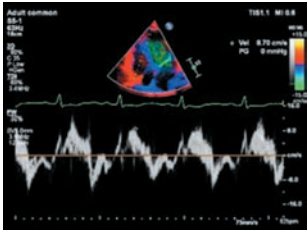
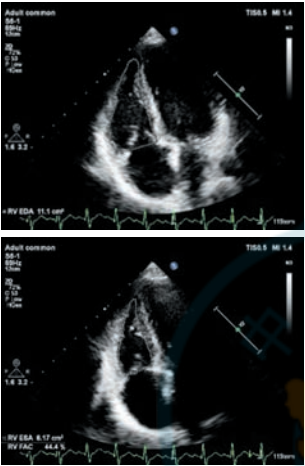
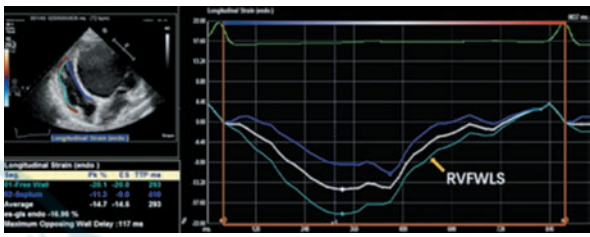
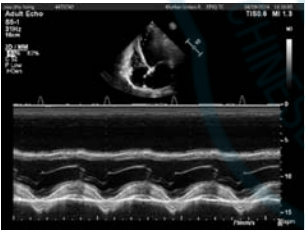
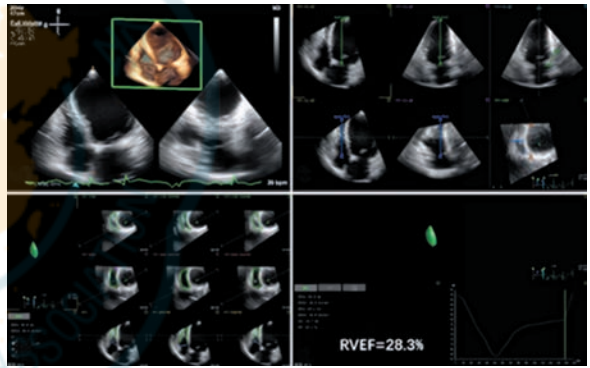
4. 心脏瓣膜

参照 ASE 指南^[21-23], 术前超声心动图应定量评估患者自体瓣膜有无狭窄、反流以及人工瓣膜结构和功能情况。

(1) 瓣膜狭窄

心力衰竭患者每搏排出量下降时, 应用频谱多普勒测量跨瓣压差将无法准确评价主动脉瓣狭窄严

表 3 LVAD 植入术前右心室结构与功能关键超声评估内容

切面	内容	示例	切面	内容	示例
聚焦右心室的心尖四腔心切面	右心室舒张末期横径		聚焦右心室的心尖四腔心切面	三尖瓣环收缩期峰值速度	
	右心室面积变化率			右心室游离壁纵向应变	
	三尖瓣环收缩期位移			三维超声成像测量 RVEF	

注：LVAD 为左心室辅助装置，RVFWLS 为右心室游离壁纵向应变，RVEF 为右心室射血分数

重程度。因此，推荐应用连续方程方法测量主动脉瓣瓣口面积，评估主动脉瓣狭窄程度^[24]（COR I，LOE B）。轻、中度主动脉瓣狭窄不影响 LVAD 功能，但重度主动脉瓣狭窄患者植入 LVAD 后，当 LVAD 功能异常时，重度狭窄的主动脉瓣无法保障左心室有效泵血。同时，识别二尖瓣狭窄亦具有重要临床意义，严重二尖瓣狭窄时，可影响 LVAD 流入管道的血流通畅。

(2) 瓣膜反流

严重主动脉瓣反流（aortic regurgitation，AR）导致经 LVAD 泵入升主动脉的血液反流入左心室，形成无效循环。因此，重度 AR 视为 LVAD 植入禁忌证。由于心力衰竭患者体循环压力低，且左心室舒张压高，AR 反流压差小，反流速度低，反流血细胞的超声波多普勒频移小，导致彩色多普勒显像反流信号不明显。因此，多普勒超声成像评估心力衰竭患者 AR 的严重程度存在挑战。若超声评估为轻度以上 AR，应及时与外科医师沟通，需在植入 LVAD 的

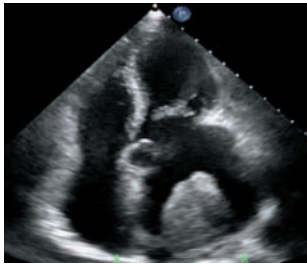
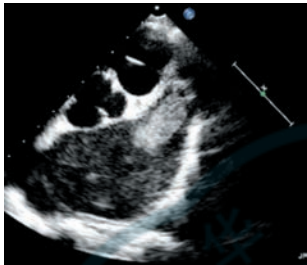
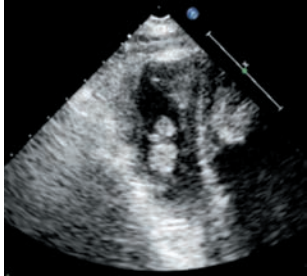
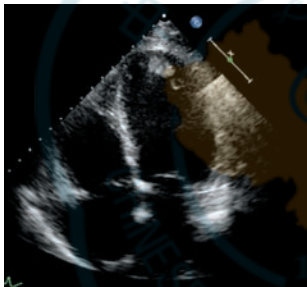
同时处理 AR^[25]。术前任何程度的二尖瓣反流均不影响 LVAD 植入，但中重度三尖瓣反流，常提示存在右心功能不全。此时应及时与外科医师沟通，在 LVAD 植入的同时进行三尖瓣修复^[22]。

(3) 人工瓣膜

应用 TTE 联合 TEE 对人工瓣膜进行全面的术前评估。对于疑似人工瓣膜功能障碍的患者，推荐 TEE 检查^[23,26-27]（COR I，LOE A）。LVAD 植入早期，流经人工主动脉瓣血流减少，可增加人工主动脉瓣或主动脉根部血栓形成风险。主动脉瓣机械瓣置换术后患者，植入 LVAD 的同时，常用主动脉瓣生物瓣置换原有的机械瓣，以减少血栓栓塞的风险。对于二尖瓣机械瓣置换术后拟行 LVAD 的患者，即使存在明显人工二尖瓣反流，不建议对二尖瓣机械瓣进行置换。但存在中重度人工二尖瓣机械瓣梗阻时，建议应用生物瓣置取代原有的二尖瓣机械瓣^[25]。

5. 先天性心脏病

表 4 LVAD 植入术前心腔血栓超声评估内容

切面	内容	示例	切面	内容	示例
短轴切面	左心室心尖血栓		心尖切面	左心房血栓	
	左心耳血栓			右心室血栓	
心尖切面	左心室心尖血栓			右心房血栓	

注：LVAD为左心室辅助装置，LV为左心室，RV为右心室

对拟行 LVAD 植入的先天性心脏病患者，术前需全面评估是否存在室间隔缺损、房间隔缺损或卵圆孔未闭。房间隔缺损和卵圆孔未闭可增加 LVAD 植入后低氧血症和矛盾性栓塞的风险，因此，LVAD 植入前应及时处理房间隔缺损和卵圆孔未闭^[25]。值得注意的是，心力衰竭患者因心房间压差下降，单纯采用彩色多普勒或右心造影判断房间隔水平分流，可能出现漏诊，推荐患者做 Valsalva 动作协助判断房水平分流（图 1）（COR I，LOE A）。室间隔缺损或心肌梗死后室间隔穿孔患者，植入 LVAD 后可出现右向左分流并伴低氧血症，增加矛盾性栓塞风险。因此，术前需应用彩色多普勒超声心动图全面扫查室间隔，若发现室间隔缺损或心肌梗死后室间隔穿孔，应在 LVAD 植入的同时，进行室间隔缺损/穿孔修补^[25]。

6. 其他高危因素

感染性心内膜炎患者，因细菌可能附着在植入设备上，是 LVAD 植入的绝对禁忌证^[25]。主动脉病变（如主动脉瘤样扩张或主动脉夹层）是 LVAD 植入的相对或绝对禁忌证。建议胸骨旁左心室切面、胸骨上窝切面、剑突下切面全面扫查，观察主动脉

有无异常。推荐计算机断层扫描或磁共振成像评估主动脉疾病^[28]（COR I，LOE A）。

三、LVAD 植入术中 TEE 评估

1. 体外循环前的 TEE 检查

LVAD 植入手术过程中，于体外循环开始前，应行 TEE 检查，以补充和完善术前 TTE 检查结果，特别是检出此前低估甚至漏诊的异常病变^[29]。术前 TEE 检查评估要点见表 5。患者麻醉后，从食管探头插入到体外循环开始之间的时间有限，故 TEE 检查应重点突出。关键评估内容包括以下 4 个方面：①有无 AR 及反流定量；心内有无占位，如血栓、赘生物；②心内有无分流，如卵圆孔未闭或房间隔缺损（图 2）；③心脏大小与功能，尤其是右心大小及功能，对左心室及右心室横径、LVEF、RVFAC 等指标，需建立基线值，便于 LVAD 激活后进行对比；④评估三尖瓣反流程度。全麻状态下，患者动脉血压及外周血管阻力较低，AR 程度将被低估，必要时应给予收缩血管药物辅助评价^[20]。

2. 体外循环结束时 TEE 检查

LVAD 治疗不可避免会使气体进入左心系统。在体外循环结束时，LVAD 泵尚未激活，应行 TEE

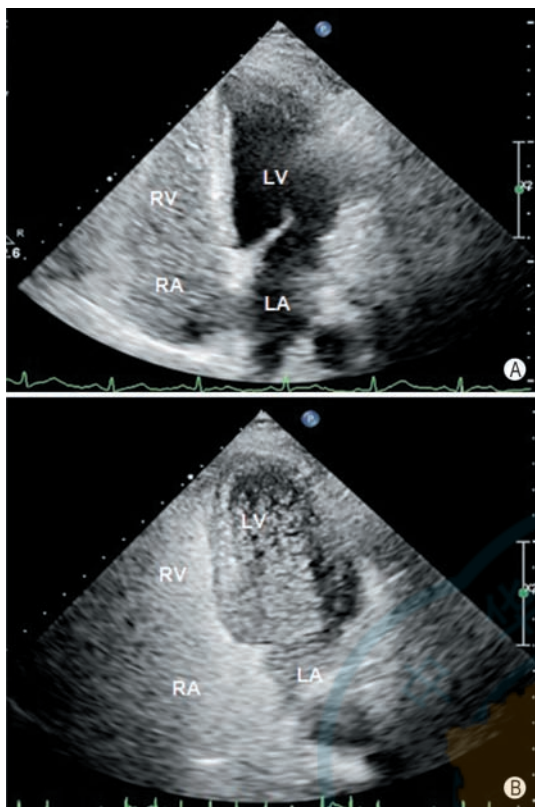


图1 A: 振荡生理盐水成像: 静息状态下, 左心未见气泡反射; B: Valsalva 动作后左心内见大量气泡反射回声, 提示房间隔水平存在右向左分流 (LA: 左心房; LV: 左心室; RA: 右心房; RV: 右心室)

检查, 协助进行心腔排气 (图3)。TEE 检查过程中, 应全面扫查左心房、左心室、升主动脉及降主动脉, 判明有无大量气体回声。手术中因患者为平卧位, 右冠窦及右冠状动脉开口的空间位置较高, 气体进入右冠窦与右冠状动脉最为常见。当出现右心室扩大、右心室功能减低和 (或) 急性右心衰竭、三尖瓣反流程度突然加重, 应考虑右冠状动脉气体栓塞可能^[25]。

3. TEE 指导 LVAD 植入后初始激活及速度优化

LVAD 植入后, 需即刻行 TEE 检查 (见表6), 主要是明确有无分流、评价 LVAD 装置功能、自体心脏功能等。LVAD 植入后, 左心房压力下降, 超声成像更易发现漏诊的卵圆孔未闭或房水平右向左分流等。建议植入术后早期再次行超声检查, 评估房间隔水平有无分流, 以及有无其他异常情况, 如新鲜血栓形成 (图4) 等 (COR I, LOE A)。

(1) 主动脉瓣开放与反流

术后主动脉瓣保持开放, 使患者维持一定的脉压, 有利于器官循环灌注。多数患者术后主动脉瓣开放幅度减低, 持续时间缩短, 或呈间歇性开放。左心室长轴切面显示主动脉瓣活动, 主动脉根部短轴切面或 M 型超声心动图能更清晰显示主动脉瓣开

表5 LVAD 植入术前的围术期 TEE 超声检查要点及评估

项目内容	检查要点及评估
目的	确认此前超声心动图 (TTE 或 TEE) 结果; 扫查 LVAD 植入前后非预期异常结果
血压	测量血压; 低血压患者考虑使用血管升压药评估 AR 程度
左心室	大小、收缩功能、血栓
左心房	大小、左心耳及左心房血栓
右心室	大小、收缩功能、导管/电极
右心房	大小、血栓、导管/电极
房间隔	详细的二维、彩色多普勒、静脉注射生理盐水造影; 高危所见: PFO/ASD
体静脉	评估 SVC、IVC
主动脉瓣	高危所见: >轻度 AR、人工主动脉瓣
二尖瓣	高危所见: ≥中度 MS、人工二尖瓣
肺动脉瓣	高危所见: >轻度 PS, ≥中度 PR, 如果计划 RVAD; 人工肺动脉瓣
肺动脉干	高危所见: 先天异常 (PDA, 肺动脉闭锁或动脉瘤)
三尖瓣	TR, TR 速度估测肺动脉收缩压, 高危所见: ≥中度 TR, >轻度 TS, 人工三尖瓣
心包	筛查心包积液, 考虑缩窄性生理改变
主动脉	主动脉根部、升主动脉、主动脉弓、胸降主动脉; 筛查动脉瘤、先天异常、夹层或复合型动脉粥样硬化斑块

注: LVAD 为左心室辅助装置, TTE 为经胸超声心动图, TEE 为经食管超声心动图, AR 为主动脉瓣反流, PFO 为卵圆孔未闭, ASD 为房间隔缺损, SVC 为上腔静脉, IVC 为下腔静脉, MS 为二尖瓣狭窄, PS 为肺动脉瓣狭窄, PR 为肺动脉瓣反流, RVAD 为右心室辅助装置, PDA 为动脉导管未闭, TR 为三尖瓣反流, TS 为三尖瓣狭窄

放幅度和持续时间 (图5A)。

泵启动和转速提高均可导致 AR 或程度加重 (图5B)。受图像质量及血流动力学改变影响, 术后评估 AR 严重程度较困难。术后 AR 既可以舒张期为主, 也可表现为近连续性或完全连续性反流。建议应用反流束收缩流颈宽度 (vena contracta, VC) 或与左心室流出道宽度比值、反流时相与持续时间、反流频谱信号的实填程度等超声参数综合超声图像表现加以判断^[30]。需注意的是, 在这种状态下, 压差降半时间参数无法准确评估 AR 程度。

(2) 右心室功能

LVAD 激活后, 右心室前负荷增加, 可致右心室功能不全。如伴严重三尖瓣反流, 则可进一步加重右心室功能不全。LVAD 转速过高, 左心室容积过小, 使室间隔向左心室侧偏移, 可致右心室结构包括三尖瓣环发生形变, 加重三尖瓣反流, 使右心室功能进一步恶化。严重右心室功能不全且进行性恶化时, 提示需要再次进行转流, 或植入双心室辅助装置^[31]。

(3) LVAD 流入管道

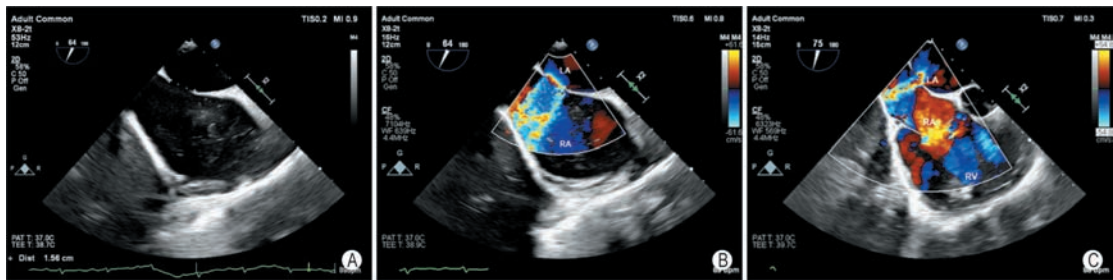


图2 左心室辅助装置植入术中经食管超声心动图显示房间隔缺损及三尖瓣反流 A：二维超声显示房间隔缺损；B：彩色多普勒显示房间隔缺损处左向右分流；C：彩色多普勒显示三尖瓣反流（LA：左心房；RA：右心房；RV：右心室）

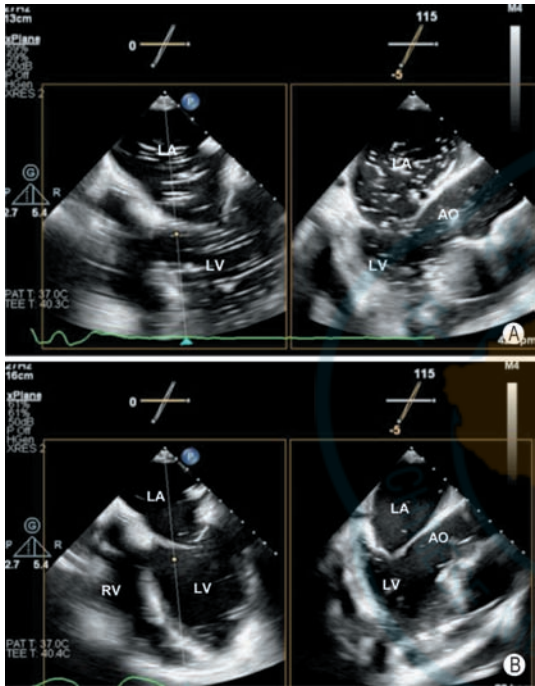


图3 左心室辅助装置植入术中经食管超声心动图显示左心腔及主动脉内气体 A：左心腔及主动脉可见较多气体；B：排气后左心腔及主动脉气体明显减少（AO：主动脉；LA：左心房；LV：左心室；RV：右心室）

流入管道常位于左心室心尖部。于食管中段左心室长轴或四腔心切面评价流入管与室间隔的相对位置关系（图6）。实时三维 TEE 可更直观地显示流入管道在左心室腔的位置。流入管道的理想轴线方向应基本垂直于二尖瓣环水平。流入管距周围心室壁距离应 $>1\text{ cm}$ 。LVAD 植入后，左心室腔变小，如果流入管与室间隔距离太近，或两者夹角较小，LVAD 激活后，可致流入管碰触室间隔，导致心律失常和（或）流入管梗阻。LVAD 正常工作时，流入管常为层流血流信号，峰速 $<1.5\text{ m/s}$ [32]。如果彩色多普勒成像显示流入管呈湍流信号，或收缩期峰值流速明显增高，均提示流入管道存在梗阻。如植入磁悬浮血泵，则会干扰彩色或频谱多普勒信号，产生超声伪像，从而影响流入管道血流评估。

（4）LVAD 流出管道

TEE 检查较难显示靠近心尖处流入管的流出管

表6 LVAD 植入术后的围术期 TEE 超声检查要点及评估

项目内容	检查要点及评估
目的	监测心内气体；排除分流；明确装置及自体心脏功能
泵型号	
泵转速	
血压	测量血压；低血压（平均动脉压 $<60\text{ mmHg}$ ）考虑使用血管升压药评估 AR 程度或其他血流动力学参数
心内气体	停跳前评估左心与主动脉根部气体
左心室	大小、流入管道的位置与血流速度、室间隔位置；高危所见：左室腔过小（泵速过高或右心室衰竭）、室间隔向左偏移、左心室增大（梗阻或泵速过低）
流入管道位置	二维/三维超声心动图评价可能的位置异常
流入管道血流	频谱和彩色多普勒（高危所见：异常血流频谱形态/血流速度，尤其在关胸之后）
左心房	评估左心耳
右心室	大小、收缩功能，高危所见：右心室功能不全征象
右心房	大小、评估血栓、导管/电极
房间隔	重复静脉注射生理盐水试验和彩色多普勒评估房间隔（高危所见：PFO/ASD）
体静脉	SVC、IVC
主动脉瓣	主动脉瓣开放程度与主动脉瓣反流程度（高危所见： $>$ 轻度 AR）
二尖瓣	排除流入管道干扰二尖瓣下装置；评估 MR
肺动脉瓣	评估 PR，测量 RVOT 每搏量
肺动脉干	彩色多普勒评估 RVAD 流出管道，评估 PR
三尖瓣	评估 TR（高危所见： $\geq$ 中度 TR）；通过 TR 评估肺动脉收缩压（非重度 TR 时）
心包	筛查心包积液或血肿
主动脉	排除医源性夹层
流出管道	彩色与频谱多普勒评估邻近右心室/右心房的流出管道情况
流出管道与主动脉吻合口	彩色与频谱多普勒评价管道血流情况（高危所见：管道扭曲/湍流/流速 $>2\text{ m/s}$ ，尤其在关胸后）

注：LVAD 为左心室辅助装置，TEE 为经食管超声心动图，PFO 为卵圆孔未闭，ASD 为房间隔缺损，SVC 为上腔静脉，IVC 为下腔静脉，AR 为主动脉瓣反流，MR 为二尖瓣反流，PR 为肺动脉瓣反流，RVOT 为右心室流出道，RVAD 为右心室辅助装置，TR 为三尖瓣反流。1 mmHg = 0.133 kPa

近心段，中段走行邻近心脏右侧，远段与升主动脉连接。在左心室长轴切面基础上，调整探头插入深

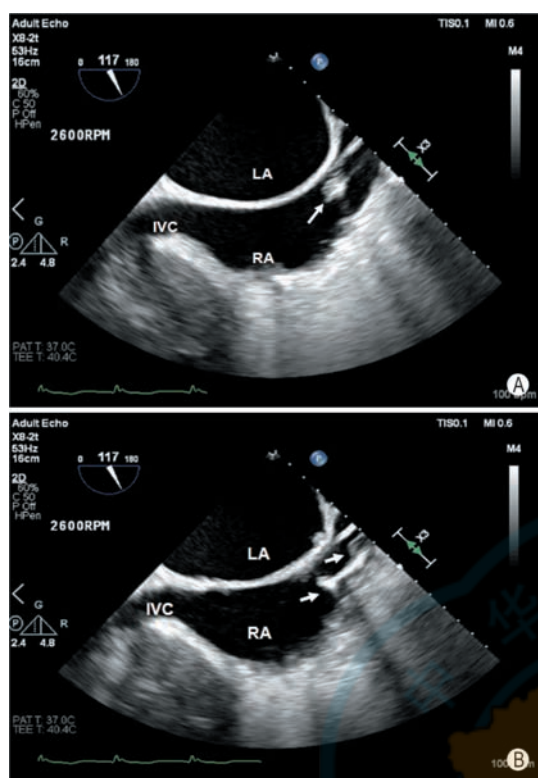


图4 左心室辅助装置植入术后即刻经食管超声心动图显示新发的来自上腔静脉的心腔内血栓(箭头所示)(LA:左心房;RA:右心房;IVC:下腔静脉)

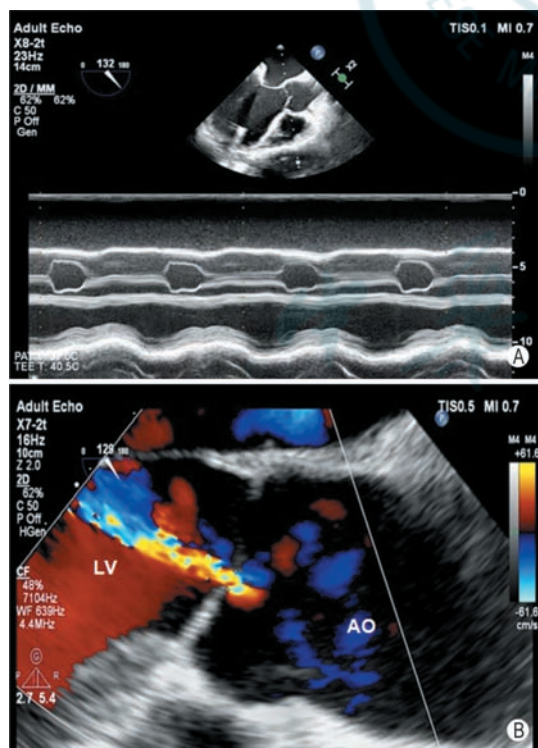


图5 左心室辅助装置植入术中经食管超声心动图显示泵启动后主动脉瓣反流 A: M型超声显示主动脉瓣开放; B: 彩色多普勒显示主动脉瓣口少量反流(AO:主动脉;LV:左心室)

度, 尽可能显示升主动脉。流出管通常自升主动脉的前壁或右前壁汇入(图7)。多切面成像或实时三维TEE显像可更清晰显示吻合口。在显示与测量流出管道血流频谱多普勒时, 应调整取样线方向, 使之与管道长轴平行。流出管通常为低速、单向、层流血流信号, 以收缩期为主, 血流峰速通常 <2.0 m/s^[31]。

四、LVAD植入术后监测

LVAD术后定期监测和随访, TTE或TEE检查是首选影像学手段(COR I, LOE B)。主要评价内容见表7: ①评估LVAD功能和自体心脏结构与功能, 包括与LVAD植入相关特殊切面及血流动力学参数监测; ②LVAD植入相关并发症评估; ③LVAD参数优化评估。术后无明显并发症时, 建议术后2周随访提供基线超声监测参数, 并于出院前, 术后1、3、6、12个月随访; 1年以后, 每6~12个月随访1次。每次评估前或调整LVAD转速时, 需常规记录患者心率、血压和泵转速。

1. LVAD疗效评价

(1) 左心室结构与功能

左心室舒张末期内径与容积是评估LVAD术后左心室的基线参数, 可简单、快速对比术前测值。LVAD术后, 左心室呈去负荷状态, 左心室收缩末期、舒张末期内径和容积常较术前降低。如果左心室或右心室腔明显减小, 则提示血容量不足^[31]。当左心室舒张末期内径小于收缩末期内径时, 提示存在LVAD过度去负荷或右心室功能不全^[33], 临床应进行及时干预。

推荐采用双平面Simpson法测量LVEF评价LVAD植入后左心室收缩功能(COR I, LOE A)。LVAD工作时, 左心室前负荷降低, 故LVEF测值需与临床相结合, 对左心室收缩功能进行综合评估。研究表明, 术后6个月, 部分患者可出现持续性中重度左心室收缩功能降低^[34-35]。LVAD患者的每个心动周期, 其每搏排出量不同^[32], 故不推荐通过测量每搏排出量的方法计算LVEF(COR III, LOE B)。目前不推荐对LVAD术后患者进行舒张功能评估(COR III, LOE B)。

(2) 右心室大小与功能

推荐测量右心室内径、右心室偏心指数、TAPSE、RVFAC等参数, 对LVAD术后右心室大小和收缩功能进行评估^[18,36](COR I, LOE B), RVFAC较TAPSE更为可靠^[37-38](图8)。右心室基底段内径 >42 mm、中间段内径 >35 mm、右心室偏心指数 >1.0 是评价右心室增大的有效指标^[39]。术后多数患者由于左心室负荷减低, 可致二尖瓣反流减



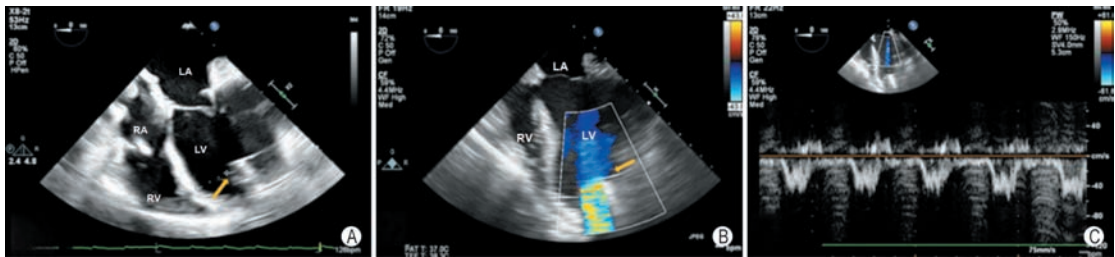


图6 左心室辅助装置植入术中经食管超声心动图显示泵启动后流入管 A：二维超声显示左心室心尖处流入管的位置（箭头所示）；B：彩色多普勒显示左心室心尖处流入管内血流（箭头所示）；C：频谱多普勒显示左心室心尖处流入管内的血流频谱（LA：左心房；RA：右心房；LV：左心室；RV：右心室）

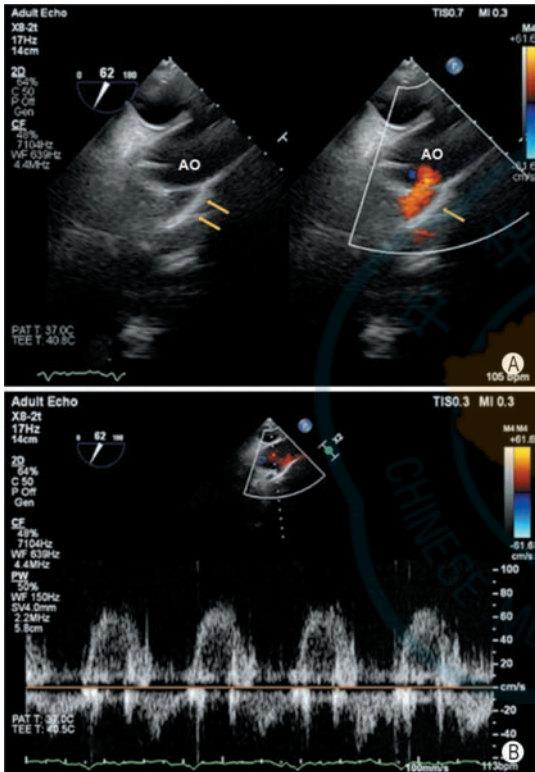


图7 左心室辅助装置植入术中经食管超声心动图显示泵启动后流出管汇入升主动脉的前壁或右前壁 A：二维及彩色多普勒超声显示流出管的位置及血流（箭头所示）；B：频谱多普勒显示流出管内的血流频谱（AO：主动脉）

少及肺动脉压减低，右心室后负荷减低可改善右心室收缩功能。但由于静脉回心血量增加，或室间隔运动模式改变，以及过高泵转速，可导致部分患者右心室收缩功能障碍^[38,40-41]。

（3）心脏瓣膜评价

LVAD工作时，准确评价主动脉瓣活动及其功能具有重要意义。主动脉瓣活动描述为每个心动周期均开放、或间歇性开放、或持续性关闭。建议采用主动脉瓣M型超声显像并记录5~6个心动周期，评价主动脉瓣开放频率和持续时间（图9）。主动脉瓣的半月瓣形态、心脏的运动及超声成像角度会造成主动脉瓣开放的假阳性，结合彩色多普勒可以鉴别主动脉瓣假性开放。推荐在泵速调至最低的条件下，保持主动脉瓣间歇性开放（COR I，LOE B）。

表7 LVAD植入术后超声定期监测

监测项目	监测要点
血压	如无脉,应用多普勒评价平均动脉压
LVAD泵	泵型号及基本转速
主动脉瓣	开放/关闭程度
房、室间隔	房间隔与室间隔位置
流入管道	位置/注意选取最佳切面进行观察 血流类型 血流方向 收缩期峰值流速速度与舒张期流速(脉冲多普勒) 速度频谱形态
流出管道	位置/注意选择最佳切面进行观察 血流类型 血流方向 收缩期峰值流速速度与舒张期流速(脉冲多普勒) 速度频谱形态
LVAD流量	流出管道脉冲多普勒VTI 通过测量管道直径或已知参数计算管道横截面积
总心排出量	RVOT 脉冲多普勒 VTI 通过 RVOT 内径计算横截面积
心包	心包积液/血肿
LVAD植入术后 超声高危所见	房、室间隔是否存在偏移 心内分流 管道内血流速度过快 管道机械性梗阻 管道抽吸事件 主动脉瓣或二尖瓣反流加重 心内血栓形成 心包血肿/积液,伴或不伴心脏压塞 右心室功能不全(综合多个参数) 右心室增大 右心室收缩功能不全(定量评价) 中度或重度 TR 右心房压升高

注：LVAD为左心室辅助装置，VTI为速度时间积分，RVOT为右心室流出道，TR为三尖瓣反流

主动脉瓣间歇性开放依赖于自体左心室功能及LVAD转速、前后负荷之间的相互平衡^[42]。当自体左心室功能极度受损时，即使转速调至最低，主动脉瓣仍无开放。主动脉瓣呈持续性关闭时，可能存在左心室过度去负荷，此时需注意观察主动脉根部有无血栓。

LVAD植入术后，25%~33%患者出现AR^[43-45]

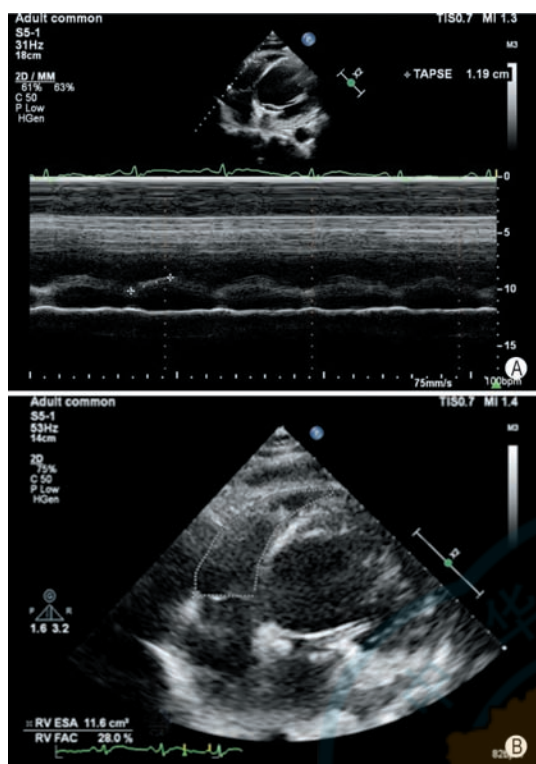


图8 左心室辅助装置植入术后经胸超声心动图复查右心室收缩功能 A: M型超声显示三尖瓣环收缩期峰值位移; B: 二维超声测量右心室面积变化率

(图10), 新出现的AR可影响LVAD工作效率, 并产生不良预后影响^[46-48]。LVAD工作状态下, AR可以舒张期为主, 也可持续整个心动周期, 常规方法评价AR程度并不适用。推荐采用AR持续时间、VC宽度、反流束宽度占左心室流出道宽度比值等超声参数综合评估AR (COR I, LOE B)。Nyquist极限设定为50~60 cm/s时, 当 $VC \geq 3$ mm, 或VC宽度

与左心室流出道宽度之比 $>46\%$, 提示反流至少为中度或中度以上^[33]。

LVAD术后, 二尖瓣反流的严重程度可改善, 且左心室充盈压减少、左心室变小^[49]。若LVAD状态下出现持续重度二尖瓣反流, 则提示左心室去负荷不足, 或流入管位置异常致二尖瓣瓣下装置功能失调, 出现反流。

LVAD术后出现中度以上的三尖瓣反流, 可能与左心室去负荷不足所致的功能性反流有关, 亦可能与左心室去负荷过度所致的室间隔向左偏移、肺高压、右心室收缩功能不全有关^[50]。

(4) 室间隔位置判断

LVAD工作时, 室间隔位置改变反映了左右心室间的压力变化。舒张末期室间隔的位置通常描述为居中、左移或右移。目前推荐: 在保证足够泵速条件下, 在心尖四腔心切面上, 室间隔处居中位置 (COR I, LOE C) (图11A)。右心室舒张末期压力增高、左心室前负荷减低、泵速过高等状态下, 常致左心室过度去负荷, 室间隔左移。左心室舒张末期压力增高、左心室后负荷增加、泵速过低等, 则致左心室去负荷不足或严重AR, 室间隔右移 (图11B)^[33]。

(5) 流入管和流出管评估

LVAD植入后, 流入管空间位置与血流是否通畅也是评估的重要内容。需明确流入管的位置及其与室间隔的空间位置关系, 通常在非标准左心室长轴、心尖切面显示流入管位置, 三维超声心动图可更清晰地显示其空间位置关系。流入管血流速度大小与不同种类心室辅助装置有关, 速度一般低于1.5

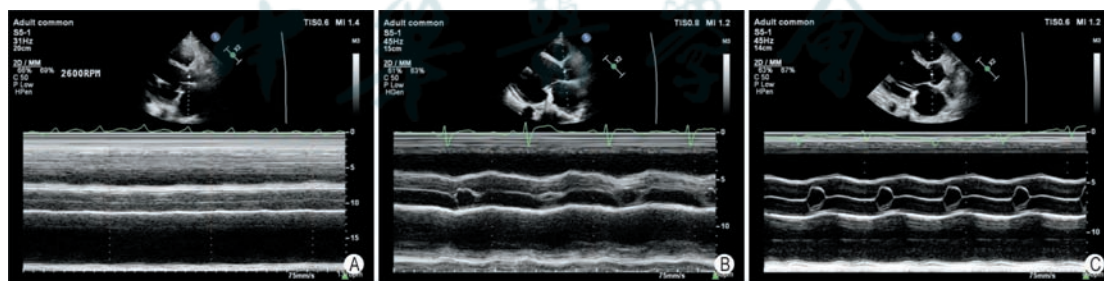


图9 M型超声显示主动脉瓣开放情况 A: 主动脉瓣无开放; B: 主动脉瓣部分开放; C: 主动脉瓣开放

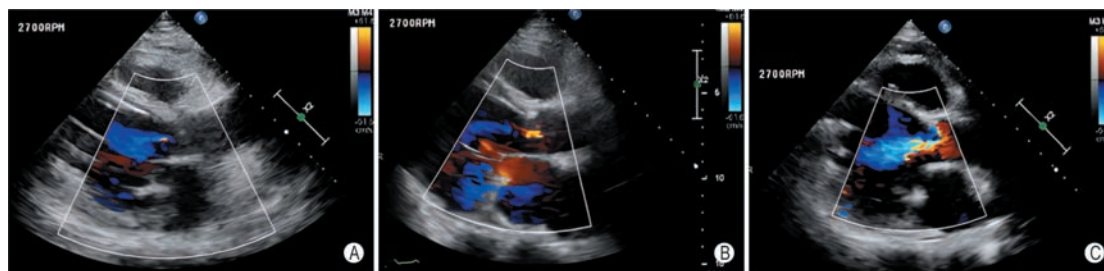


图10 左心室辅助装置植入术后主动脉瓣反流 (AR) A: 术后1个月患者出现AR; B: 术后3个月AR增加; C: 术后6个月复查AR进一步增加。本例为磁悬浮系统, 泵速约2700 r/min



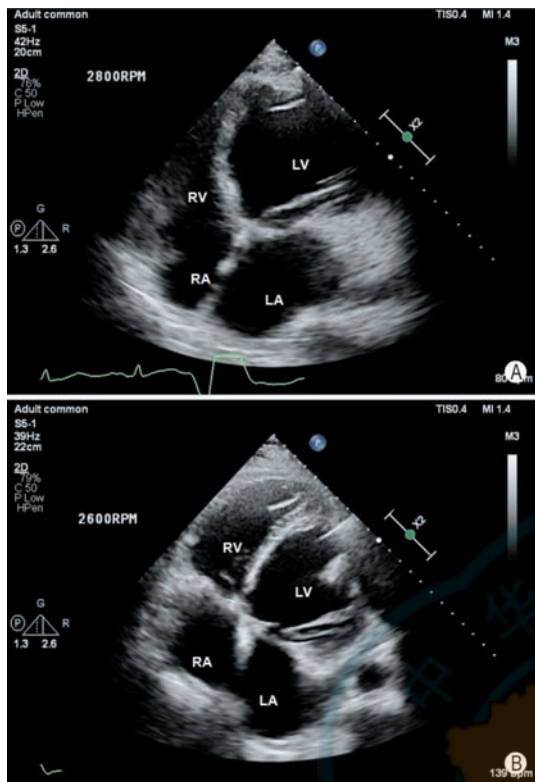


图 11 术后二维超声显示室间隔位置 A: 室间隔右偏; B: 室间隔基本居中 (RA: 右心房; LA: 左心房; LV: 左心室; RV: 右心室)

m/s^[33] (图 12) (COR I, LOE C)。推荐选用脉冲波和连续波多普勒测量流速, 记录至少 3~5 个心动周期的收缩期峰值速度和舒张期速度 (COR I, LOE C)。通过测量流入管血流速度判断有无流入管梗阻。在使用磁悬浮系统的辅助装置时, 存在彩色伪像干扰, 无法准确测量流入管道流速 (图 13)。

通常在非标准切面, 如左侧高位胸骨旁、右侧胸骨旁切面, 显示流出管结构并探测流出管道-吻合口位置。上述切面显示困难时, 可尝试剑突下切面显示。推荐选用脉冲波和连续波多普勒测量流出管血流速度, 并记录至少 3~5 个心动周期的收缩期峰值和舒张期速度 (图 14), 判断有无流出管梗阻 (COR I, LOE C)。尽管目前缺乏临床证据, 但流出管任何部位血流峰速大于 2 m/s 时, 提示可能存在梗阻^[33]。

(6) 自体心脏和 LVAD 血流量评估

LVAD 控制器显示的流量值, 是基于转速和功率计算的估测值。控制器的低流量或高流量报警, 并不一定提示真实的心排出量异常。通过超声心动图测量 LVAD 血流量, 可协助临床评估 LVAD 流量正常或异常, 有助于判断导致流量异常的原因。低流量时, 需行超声评估, 并与 LVAD 抽吸事件、右心衰竭、低血容量、心脏压塞、流入管或流出管梗

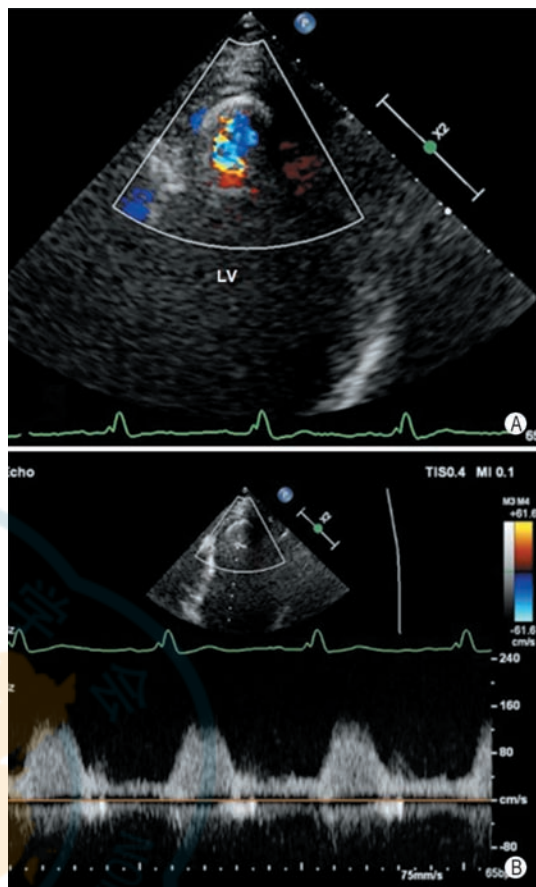


图 12 左心室辅助装置流入管道 A: 彩色多普勒显示左心室心尖部流入管道血流; B: 脉冲波多普勒测量流入管内血流峰值流速, 本例为轴流泵, 泵速 1 800 r/min (LV: 左心室)

阻等情况相鉴别; 高流量时, 需与血栓形成所致的泵功能异常、脓毒症或明显 AR 等相鉴别。

以下不同状态下的流量计算方法可供参考: 通常情况下, 心排出量为左心室流出量和 LVAD 流量总和, 等同于右心排出量 (图 15); 主动脉瓣关闭且无明显 AR, 右心室流出道排出量等于 LVAD 流量; 如主动脉瓣开放且无明显反流, LVAD 流量为右心室流出道排出量减去左心室流出道排出量; 当存在主动脉瓣明显反流, 且无明显主动脉瓣开放时, 可通过流出管道脉冲波频谱计算 LVAD 流量 (图 16), 估算主动脉瓣反流量即 LVAD 流量减去右心室流出道排出量。建议结合彩色多普勒测量流出管道内径, 不建议采用厂家提供的流出管道内径计算。

2. 并发症

LVAD 并发症有多种, 本指南主要讨论 LVAD 术后重要并发症。

(1) 抽吸现象

抽吸现象提示 LVAD 工作状态异常, 需及时处理。常见于流入管入口与左心室内膜相接触, 致流入管入口阻塞, 流量降低。任何致左心室充盈不足的原因 (如低血容量、右心室衰竭、心脏压塞或



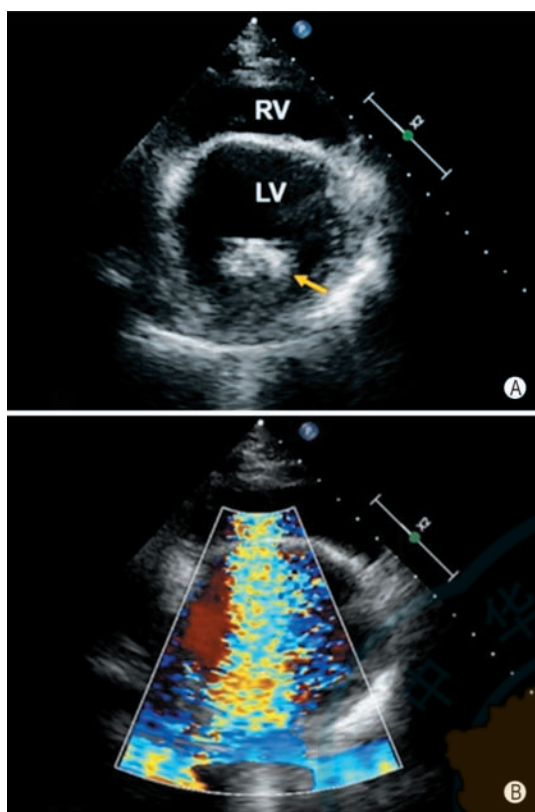


图 13 磁悬浮系统的左心室辅助装置泵头伪像 A: 二维超声显示左心室心尖处的磁悬浮泵头强回声 (箭头所示); B: 彩色多普勒显示明显的彩色伪像干扰, 无法测量流入管道血流速度; 本例为磁悬浮系统, 泵速 2 840 r/min (LV: 左心室; RV: 右心室)

泵速过高), 均可引发抽吸事件 (图 17)。发生抽吸现象时, 超声心动图表现为左心室腔过小, 室间隔向左偏移。

(2) 右心室功能不全

超声心动图可明确右心室功能不全的严重程度。重度右心室功能不全或右心室衰竭患者, 可观察到室间隔明显向左偏移。与基线数据比较, 通过评价右心室大小和功能、下腔静脉内径及呼吸塌陷率, 以及多普勒评估肺动脉压力、三尖瓣反流程度等参数, 明确是否出现右心室功能不全, 或原有右心室功能不全是否加重。

(3) 心包积液或心脏压塞

心包积液可见于 LVAD 术后血压正常、血流动力学稳定的患者。当伴有低血压、低流量、左心室或右心室容积过小时应高度怀疑心脏压塞^[51]。

(4) 流入管或流出管梗阻

流入管梗阻可继发于血栓、赘生物、左心室肌小梁阻挡、抽吸现象或管道移位^[52]。流入管道速度异常增加, 提示可能存在梗阻, 抽吸现象所导致的梗阻在降低泵速后可恢复正常。流出管梗阻见于流出管道弯曲、移位、外部挤压或血栓形成。若取样容积置于梗阻部位, 彩色多普勒见血流信号混叠, 频谱多普勒流速增高大于 2.0 m/s。若取样容积置于梗阻部位的近端或远端, 则流出管道的血流速度正常或降低。此外, 如增加泵速提高流量, 则可出现左室内径不减小反而增大的征象。

(5) 术后血栓评估

术后血栓包括心腔内血栓、与 LVAD 相关的血栓形成。原因不明的短暂性脑缺血发作或脑梗死, 需排除心腔内血栓, 尤其是主动脉瓣处于闭合状态时, 要注意有无主动脉根部血栓。临床存在溶血证据时, 则提示可能存在泵内血栓及继发性泵功能异常。超声表现为较前次检查, 左心室去负荷减少, 左心室增大, 室间隔向右偏移, 严重功能性二尖瓣反流, 主动脉瓣开放频率增加, 且改变泵速后, 这些参数不会随之变化^[30,33]。

3. 超声心动图对 LVAD 的优化

LVAD 植入后, 可通过超声心动图评估参数指导、调整 LVAD 泵的转速, 对 LVAD 的工作状态进行优化, 使左心室充分去负荷但不过度减少前负荷。不同种类的 LVAD, 转速调整范围不同。理想转速的调整方法是, 自保证该种类 LVAD 基本工作的最低转速开始, 逐渐加大转速, 同时观察超声心动图图像, 直到出现转速过高所致警戒图像征象, 再稍降低转速, 即为理想转速^[33]。需注意的是, 每次应以小幅度调整, 避免负荷变化过快导致循环状态不稳定。目前国内采用的植入式磁悬浮 LVAD, 转速范围大多为 1 500~3 000 r/min, 建议每次调整的范围

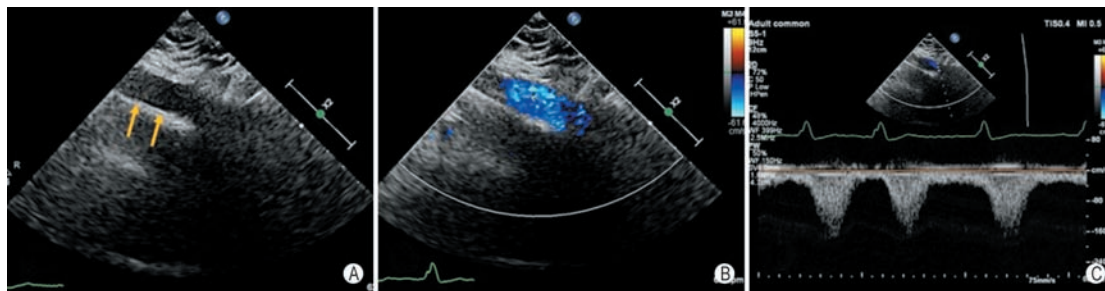


图 14 左心室辅助装置显示流出管道 A: 二维超声非标准切面显示位于升主动脉的流出管道 (箭头所示); B: 彩色多普勒显示流出管道内为层流; C: 频谱多普勒测量流出管道内血流峰值流速 1.5 m/s。本例为轴流泵, 泵速 1 800 r/min



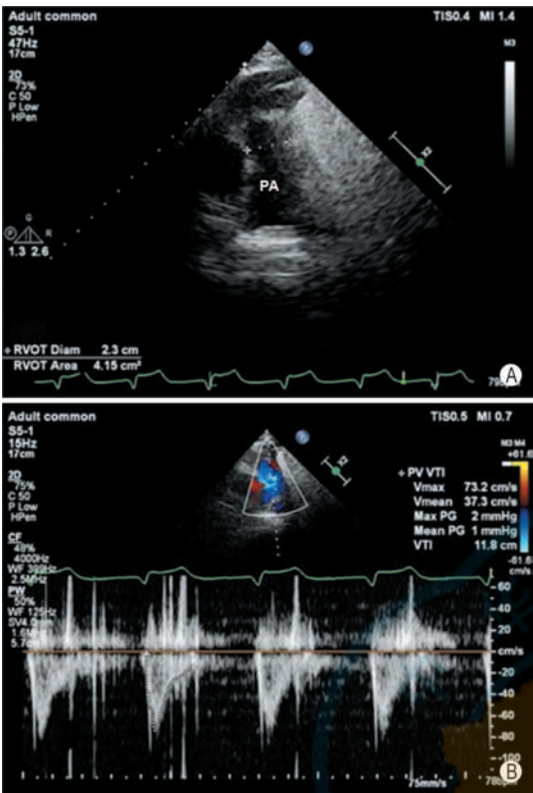


图 15 右心排出量的计算 A: 二维超声显示肺动脉瓣环内径; B: 肺动脉瓣速度时间积分测量, 计算右心排出量约 3.8 L/min (PA: 肺动脉)

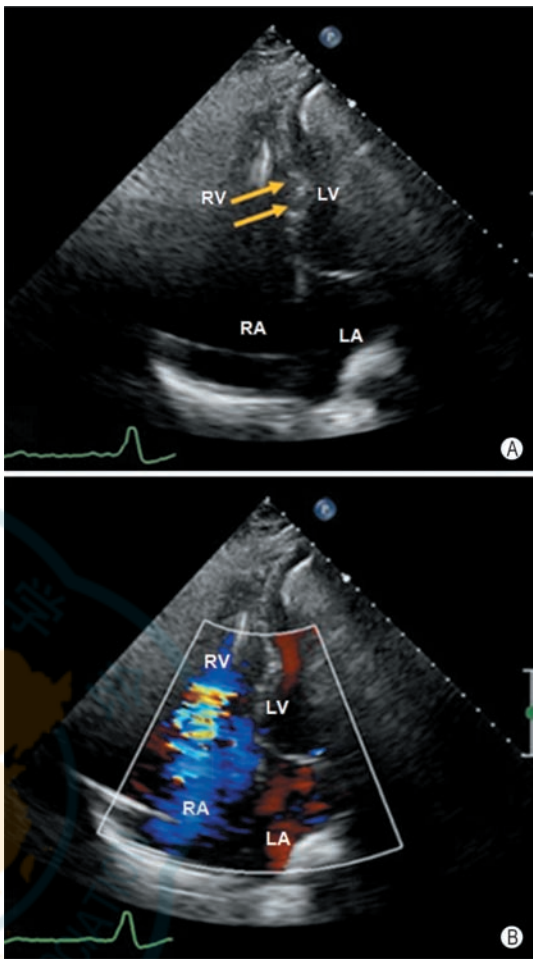


图 17 泵速过高所致抽吸现象 A: 二维超声显示室间隔向左偏移 (箭头所示); B: 彩色多普勒显示三尖瓣大量反流, 为室间隔左偏移导致的右心增大, 三尖瓣瓣环扩张所致 (LA: 左心房; RA: 右心房; LV: 左心室; RV: 右心室)

围不超过 50~100 r/min。

通过超声心动图参数选择合适的 LVAD 转速, 必须识别转速过低和过高时的超声警戒征象。泵速过低时, 超声警戒征象包括左心室内径相对基线值增加、室间隔明显偏向右心室侧、二尖瓣反流明显加重以及肺动脉压力显著升高。泵速过高时, 超声警戒征象包括室间隔偏向左心室侧、室间隔凸入 LVAD 流入管、三尖瓣反流明显加重、右心功能恶化、主动脉瓣无开放以及主动脉瓣反流明显增加, 尤其是出现左心室抽吸现象时高度提示泵速过高。临床管理中, 选择实际工作转速以满足主动脉瓣间歇或每个心动周期均开放为目标, 且一般会略低于理想转速^[30]。此外, 如需快速判断泵速是否处于合理范围, 可重点观察室间隔位置和运动, 如果室间隔处于正常位置且运动协调, 左、右心室短轴切面观察形态基本正常, 提示泵速较为合理。

每次转速调整后, 超声心动图观察内容包括右心大小与右心室收缩功能、左心室舒张末期内径、

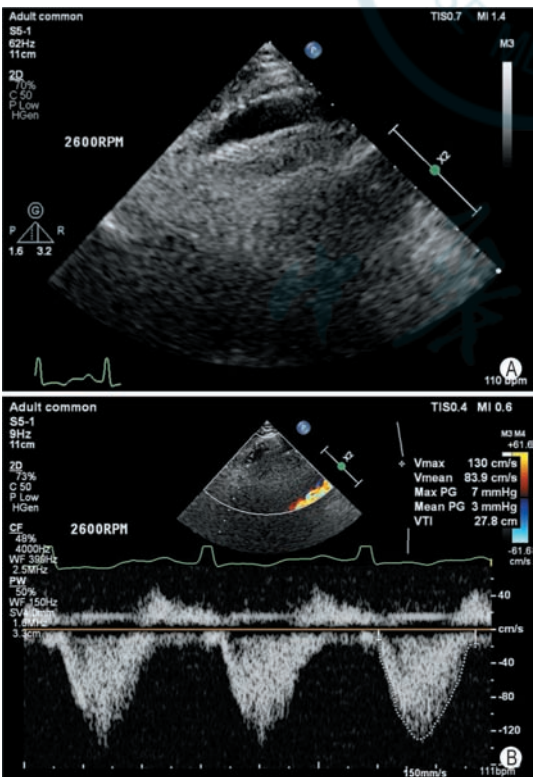


图 16 通过左心室辅助装置流出管计算流量 A: 二维超声显示流出管内径; B: 进行流出管速度时间积分测量, 计算流出管排出量约 3.8 L/min



室间隔位置、主动脉瓣开放频率及时相、二尖瓣反流程度、三尖瓣反流程度及反流压差（估测肺动脉收缩压）、LVAD 流入管/流出管血流速度及流量，其中心腔大小、右心室收缩功能、瓣膜反流程度以及肺动脉收缩压需要与基线值进行对比^[33]。

五、展望

在 LVAD 植入术前患者选择、术中实时引导、术后血流动力学与并发症监测中，超声心动图是不可或缺的影像学工具，为 LVAD 治疗的围术期管理提供至关重要的信息^[30,53]。本指南结合国内外指南和共识、既往研究结果及我国 LVAD 超声心动图评价临床实践，旨在促进我国 LVAD 围术期超声心动图评价的标准化与规范化发展。随着我国临床上 LVAD 应用不断增加，以及临床数据的积累，并结合国际本领域最新技术与学术进展，本指南将适时更新，从而促进我国 LVAD 患者临床管理的高质量发展。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

编写组成员

组长：谢明星

副组长：穆玉明 许迪 袁丽君 马春燕 舒先红 董念国

执笔人：张丽 李玉曼 吴文谦

秘书组：吴纯 谢雨霁

专家组成员：（按姓氏汉语拼音排序）

邓荷萍（河北医科大学第三医院）；丁云川（昆明市延安医院）；董念国（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；方理刚（中国医学科学院北京协和医院）；方凌云（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；费洪文（广东省人民医院）；谷颖（贵州医科大学附属医院）；关欣（天津市胸科医院）；郭盛兰（广西医科大学第一附属医院）；郭薇（福建省立医院）；郭燕丽（陆军军医大学第一附属医院）；贺林（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；姜岚（昆明医科大学第一附属医院）；景香香（海南省人民医院）；冷晓萍（哈尔滨医科大学附属第二医院）；李贺（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；李玉曼（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；刘俐（北京大学深圳医院）；刘丽文（空军军医大学西京医院）；刘娅妮（华中科技大学同济医学院附属同济医院）；芦桂林（石河子大学医学院第一附属医院）；吕清（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；吕秀章（北京朝阳医院）；马小静（武汉亚洲心脏病医院）；蒲朝霞（浙江大学医学院附属第二医院）；冉海涛（重庆医科大学附属第二医院）；任建丽（重庆医科大学附属第二医院）；申镔（上海交通大学医学院附属松江医院）；田芳艳（贵州医科大学附属医院）；王浩（中国医学科学院阜外医院）；王小丛（吉林大学第一医院）；王志斌（青岛大学附属医院）；吴文谦（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；夏家红（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；薛继平（山西白求恩医院）；薛莉（哈尔滨医科大学附属第四医院）；姚桂华（山东大学齐鲁医院青岛院区）；尹立雪（四川省医学科学院·四川省人民医院）；余蕾（浙江大学医学院附属第一医院）；袁建军（河南省人民医院）；张蕾（哈尔滨医科大学附属第一医院）；张丽（华中科技大学同济医学院附属协和医院）；张连仲（河南省人民医院）；张梅（山东大学齐鲁医院）；张瑞芳（郑州

大学第一附属医院）；张小杉（内蒙古医科大学附属医院）；章春泉（南昌大学第二附属医院）；朱文晖（中南大学湘雅三医院）；朱向明（皖南医学院弋矶山医院）

参 考 文 献

- [1] Estep JD, Nicoara A, Cavalcante J, et al. Recommendations for multimodality imaging of patients with left ventricular assist devices and temporary mechanical support: updated recommendations from the american society of echocardiography [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2024, 37 (9): 820-871. DOI: 10.1016/j.echo.2024.06.005.
- [2] Writing Committee Members, Wiggers SE, Ryan T, et al. 2019 ACC/AHA/ASE advanced training statement on echocardiography (revision of the 2003 ACC/AHA clinical competence statement on echocardiography): a report of the ACC competency management committee[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2019, 32(8): 919-943. DOI: 10.1016/j.echo.2019.04.002.
- [3] 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置入术围手术期中的应用[J]. 中华心血管病杂志, 2021, 49 (6): 610-614. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20210207-00140. Shi YS, Niu LL, Zhu ZH, et al. Clinical application value of transthoracic echocardiography during perioperative period in patients undergoing left ventricular assist device implantation[J]. Chin J Cardiol, 2021, 49 (6): 610-614. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20210207-00140.
- [4] 袁莉, 孙晓宁, 王春生. 左心室辅助装置治疗心力衰竭的现状 & 进展[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2022, 29(4): 508-513. DOI: 10.7507/1007-4848.202012116. Yuan L, Sun XN, Wang CS. Current status and progress of left ventricular assist device for end-stage heart failure[J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2022, 29 (4): 508-513. DOI: 10.7507/1007-4848.202012116.
- [5] Frigerio M. Left ventricular assist device: indication, timing, and management [J]. Heart Fail Clin, 2021, 17 (4): 619-634. DOI: 10.1016/j.hfc.2021.05.007.
- [6] Zhao D, Quill GM, Gilbert K, et al. Systematic comparison of left ventricular geometry between 3D-echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging [J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8: 728205. DOI: 10.3389/fcvm.2021.728205.
- [7] Lander M, Bhardwaj A, Kanwar M. Selection and management considerations to enhance outcomes in patients supported by left ventricular assist devices [J]. Curr Opin Cardiol, 2022, 37 (6): 502-510. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000996.
- [8] 中国心室辅助装置专家共识委员会. 中国左心室辅助装置候选者术前评估与管理专家共识(2023年)[J]. 中国循环杂志, 2023, 38(8): 799-814. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2023.08.003. Chinese Expert Consensus Committee on Ventricular Assist Devices. 2023 Expert consensus on pre-procedure evaluation and management of eligible patients for left ventricular assist devices [J]. Chinese Circulation Journal, 2023, 38 (8): 799-814. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2023.08.003.
- [9] Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. J Am Soc



- Echocardiogr, 2015, 28 (1) : 1-39. e14. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
- [10] Lang RM, Badano LP, Tsang W, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2012, 25(1):3-46. DOI:10.1016/j.echo.2011.11.010.
- [11] 中华医学会超声医学分会超声心动图学组,中国医师协会心血管分会超声心动图专业委员会. 超声心动图评估心脏收缩和舒张功能临床应用指南[J]. 中华超声影像学杂志, 2020, 29(6): 461-477. DOI:10.3760/cma.j.cn131148-20200227-00115.
- [12] Zhang M, Chen X, Yang F, et al. Evaluation of left ventricular mass in different cardiac geometry using three-dimensional contrast-enhanced echocardiography [J]. Int Heart J, 2023, 64 (5):885-893. DOI:10.1536/ihj.22-663.
- [13] Senior R, Becher H, Monaghan M, et al. Clinical practice of contrast echocardiography recommendation by the european association of cardiovascular imaging (EACVI) 2017 [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2017, 18 (11) : 1205-1205af. DOI: 10.1093/ehjci/jex182.
- [14] Cogswell R, John R, Shaffer A. Right ventricular failure after left ventricular assist device[J]. Cardiol Clin, 2020 ,38(2):219-225. DOI:10.1016/j.ccl.2020.01.007.
- [15] Soliman OII, Akin S, Muslem R, et al. Derivation and validation of a novel right-sided heart failure model after implantation of continuous flow left ventricular assist devices: the EUROMACS (European registry for patients with mechanical circulatory support) right-sided heart failure risk score[J]. Circulation, 2018, 137 (9) : 891-906. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.030543.
- [16] Singh SK, Takeda K. Right heart failure after left ventricular assist device implantation - from prediction to action[J]. J Heart Lung Transplant, 2022, 41 (12) : 1727-1728. DOI: 10.1016/j.healun.2022.08.012.
- [17] Rajapreyar I, Soliman O, Brailovsky Y, et al. Late right heart failure after left ventricular assist device implantation: contemporary insights and future perspectives [J]. JACC Heart Fail, 2023, 11 (8 Pt 1) : 865-878. DOI: 10.1016/j.jchf.2023.04.014.
- [18] Miller T, Lang FM, Rahbari A, et al. Right heart failure after durable left ventricular assist device implantation[J]. Expert Rev Med Devices, 2024, 21 (3) : 197-206. DOI: 10.1080/17434440.2024.2305362.
- [19] Rudski LG, Lai WW, 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. DOI:10.1016/j.echo.2010.05.010.
- [20] Charisopoulou D, Banner NR, Demetrescu C, et al. Right atrial and ventricular echocardiographic strain analysis predicts requirement for right ventricular support after left ventricular assist device implantation[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2019, 20(2):199-208. DOI:10.1093/ehjci/jeu065.
- [21] Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, et al. Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2009, 22(1):1-23; quiz 101-2. DOI:10.1016/j.echo.2008.11.029.
- [22] Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, et al. Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation: a report from the american society of echocardiography developed in collaboration with the society for cardiovascular magnetic resonance [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2017, 30 (4) : 303-371. DOI:10.1016/j.echo.2017.01.007.
- [23] Zoghbi WA, Chambers JB, Dumesnil JG, et al. Recommendations for evaluation of prosthetic valves with echocardiography and doppler ultrasound: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Task Force on Prosthetic Valves, developed in conjunction with the American College of Cardiology Cardiovascular Imaging Committee, Cardiac Imaging Committee of the American Heart Association, the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography and the Canadian Society of Echocardiography, endorsed by the American College of Cardiology Foundation, American Heart Association, European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography, and Canadian Society of Echocardiography [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2009, 22 (9) : 975-1014; quiz 1082-4. DOI: 10.1016/j.echo.2009.07.013.
- [24] Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, et al. Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2017 , 30 (4) : 372-392. DOI: 10.1016/j.echo.2017.02.009.
- [25] Saeed D, Feldman D, Banayosy AE, et al. The 2023 International Society for Heart and Lung Transplantation Guidelines for Mechanical Circulatory Support: A 10- Year Update[J]. J Heart Lung Transplant, 2023, 42 (7) : e1-e222. DOI: 10.1016/j.healun.2022.12.004.
- [26] Kim JY, Suh YJ, Han K, et al. Diagnostic Value of Advanced Imaging Modalities for the Detection and Differentiation of Prosthetic Valve Obstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2019, 12 (11 Pt 1) : 2182-2192. DOI:10.1016/j.jcmg.2018.11.033.
- [27] Zoghbi WA, Jone PN, Chamsi-Pasha MA, et al. Guidelines for the evaluation of prosthetic valve function with cardiovascular imaging: a report from the american society of echocardiography developed in collaboration with the society for cardiovascular magnetic resonance and the society of cardiovascular computed tomography [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2024, 37 (1) : 2-63. DOI:10.1016/j.echo.2023.10.004.
- [28] Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J, et al. 2022 ACC/AHA guideline for the diagnosis and management of aortic disease: a report of the american heart association/american college of cardiology joint committee on clinical practice guidelines [J]. Circulation, 2022, 146 (24) : e334-e482. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001106.
- [29] Katapadi A, Umland M, Khandheria BK. Update on the Practical role of echocardiography in selection, implantation, and management of patients requiring left ventricular assist device therapy [J]. Curr Cardiol Rep, 2022, 24 (11) : 1587-1597. DOI: 10.1007/s11886-022-01771-9.



- [30] Imamura T, Chung B, Nguyen A, et al. Clinical implications of hemodynamic assessment during left ventricular assist device therapy [J]. *J Cardiol*, 2018, 71 (4) : 352-358. DOI: 10.1016/j.jjcc.2017.12.001.
- [31] Sciacaluga C, Soliman-Aboumarie H, Sisti N, et al. Echocardiography for left ventricular assist device implantation and evaluation: an indispensable tool [J]. *Heart Fail Rev*, 2022, 27 (3) : 891-902. DOI: 10.1007/s10741-021-10073-1.
- [32] Estep JD, Stainback RF, Little SH, et al. The role of echocardiography and other imaging modalities in patients with left ventricular assist devices [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2010, 3 (10) : 1049-1064. DOI: 10.1016/j.jcmg.2010.07.012.
- [33] 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. DOI: 10.1016/j.echo.2015.05.008.
- [34] Kenny JS. Echocardiography and volume status: lessons from left ventricular assist devices [J]. *Intensive Care Med*, 2022, 48 (12) : 1820-1821. DOI: 10.1007/s00134-022-06870-3.
- [35] Mulzer J, Krastev H, Hoermandinger C, et al. Cardiac remodeling in patients with centrifugal left ventricular assist devices assessed by serial echocardiography [J]. *Echocardiography*, 2022, 39 (5) : 667-677. DOI: 10.1111/echo.15338.
- [36] 向船舶, 左明良, 尹立雪, 等. 超声心动图评估左心室辅助装置植入术后右心室功能和心室-动脉耦联的研究进展 [J]. *中华心血管病杂志*, 2022, 50 (11) : 1124-1127. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20221007-00769.
- Xiang SB, Zuo ML, Yin LX, et al. Research advances on echocardiography detected right ventricular function and ventricular-arterial coupling changes after LVAD implantation [J]. *Chin J Cardiol*, 2022, 50 (11) : 1124-1127. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20221007-00769.
- [37] 魏颖, 张波. 超声心动图评估左心室辅助装置对围手术期右心室功能的影响 [J]. *中国医学影像技术*, 2020, 36 (10) : 1571-1574. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2020.10.036.
- Wei Y, Zhang B. Echocardiography in evaluating effect of left ventricular assist devices on perioperative right ventricular function [J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2020, 36 (10) : 1571-1574. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2020.10.036.
- [38] Ramani G, Chen W, Patel S, et al. Noninvasive assessment of right ventricular function in patients with pulmonary arterial hypertension and left ventricular assist device [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2019, 21 (8) : 82. DOI: 10.1007/s11886-019-1156-2.
- [39] Frea S, Centofanti P, Pidello S, et al. Noninvasive assessment of hemodynamic status in heartware left ventricular assist device patients: validation of an echocardiographic approach [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12 (7 Pt 1) : 1121-1131. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.01.026.
- [40] Hatano M, Jimba T, Fujiwara T, et al. Late-onset right ventricular failure after continuous-flow left ventricular assist device implantation: case presentation and review of the literature [J]. *J Cardiol*, 2022, 80 (2) : 110-115. DOI: 10.1016/j.jjcc.2021.12.009.
- [41] Miller T, Lang FM, Rahbari A, et al. Right heart failure after durable left ventricular assist device implantation [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2024, 21 (3) : 197-206. DOI: 10.1080/17434440.2024.2305362.
- [42] Longobardo L, Kramer C, Carerj S, et al. Role of echocardiography in the evaluation of left ventricular assist devices: the importance of emerging technologies [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2016, 18 (7) : 62. DOI: 10.1007/s11886-016-0739-4.
- [43] Truby LK, Garan AR, Givens RC, et al. Aortic insufficiency during contemporary left ventricular assist device support: analysis of the INTERMACS registry [J]. *JACC Heart Fail*, 2018, 6 (11) : 951-960. DOI: 10.1016/j.jchf.2018.07.012.
- [44] Park JR, Brady PA, Clavell AL, et al. Predictors and long-term impact of de novo aortic regurgitation in continuous flow left ventricular assist devices using vena contracta [J]. *ASAIO J*, 2022, 68 (5) : 691-697. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001564.
- [45] 王志华, 胡俊龙, 程兆云. 左心室辅助装置植入同期干预主动脉瓣反流的现状与研究进展 [J]. *临床心血管病杂志*, 2024, 40 (8) : 623-627. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1439.2024.08.004.
- Wang ZH, Hu JL, Cheng ZY. Current status and research progress of left ventricular assist device implantation with concomitant intervention of aortic regurgitation [J]. *Journal of Clinical Cardiology (China)*, 2024, 40 (8) : 623-627. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1439.2024.08.004.
- [46] Naganuma M, Akiyama M, Sasaki K, et al. Aortic insufficiency causes symptomatic heart failure during left ventricular assist device support [J]. *Tohoku J Exp Med*, 2021, 255 (3) : 229-237. DOI: 10.1620/tjem.255.229.
- [47] Gasparovic H, Jakus N, Brughts JJ, et al. Impact of progressive aortic regurgitation on outcomes after left ventricular assist device implantation [J]. *Heart Vessels*, 2022, 37 (12) : 1985-1994. DOI: 10.1007/s00380-022-02111-1.
- [48] Kagawa H, Aranda-Michel E, Kormos RL, et al. Aortic insufficiency after left ventricular assist device implantation: predictors and outcomes [J]. *Ann Thorac Surg*, 2020, 110 (3) : 836-843. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2019.12.030.
- [49] Jain R, Truby LK, Topkara VK. Residual mitral regurgitation in patients with left ventricular assist device support - An INTERMACS analysis [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2022, 41 (11) : 1638-1645. DOI: 10.1016/j.healun.2022.03.002.
- [50] Nakanishi K, Homma S, Han J, et al. Prevalence, Predictors, and prognostic value of residual tricuspid regurgitation in patients with left ventricular assist device [J]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7 (13) : e008813. DOI: 10.1161/JAHA.118.008813.
- [51] Victor S, Hayanga JWA, Bozek JS, et al. Cardiac tamponade causing predominant left atrial and ventricular compression after left ventricular assist device placement [J]. *Am J Case Rep*, 2022, 23 : e938115. DOI: 10.12659/AJCR.938115.
- [52] Hannawi B, Estep JD. A comprehensive imaging approach to guide the management of patients with continuous-flow left ventricular assist devices [J]. *Cardiol Clin*, 2018, 36 (4) : 583-597. DOI: 10.1016/j.ccl.2018.06.010.
- [53] Cameli M, Aboumarie HS, Pastore MC, et al. Multimodality imaging for the evaluation and management of patients with long-term (durable) left ventricular assist devices [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2024, 25 (10) : e217-e240. DOI: 10.1093/ehjci/jeae165.

(收稿日期: 2024-08-19)

