

机械支持治疗在急性心力衰竭中的应用

肖亚楠 张静

阜外华中心血管病医院冠心病重症监护室,河南郑州 451460



专家简介:张静,主任医师。现任阜外华中心血管病医院 CCU 病区主任,中国医师协会心脏重症专业委员会主任委员;中国医师协会心力衰竭专业委员会常务委员及河南省医师协会心血管内科分会副会长。担任河南省研究型医院学会心脏重症专业委员会主任委员;《中华心力衰竭和心肌病杂志》及《中华实用诊断与治疗》编委。主要研究方向为心血管内科急危重症的诊断与救治。曾获河南省科学技术进步二等奖 1 项,河南省卫生厅科学技术进步一等奖 1 项、二等奖 2 项,发表论文多篇,主编著作 2 部。

摘要 我国心力衰竭发病率、死亡率居高不下,成人心力衰竭患病率约 0.9%,心源性休克(CS)短期死亡率达 40%~50%。机械循环辅助(MCS)虽缺乏降低死亡率的随机对照试验证据,但短期 MCS 在急性心力衰竭重症患者中使用率显著增加。本文综述主动脉内球囊反搏(IABP)、Impella、Tandem Heart、静脉-动脉体外膜肺氧合(VA-ECMO)及右心室辅助装置(RVAD)等短期 MCS 的进展,以及各装置在支持力度、安全性、适用场景上各具特点。个体化选择、严控适应证及加强并发症管理是改善预后的关键,亟需高质量研究及标准化指南优化治疗策略。

关键词 急性心力衰竭;机械循环辅助

中图分类号 R742 **文献标识码** A **DOI** 10.11768/nkjwzzzz20250604

Application of mechanical support therapy in acute heart failure XIAO Ya-nan, ZHANG Jing. Coronary Care Unit (CCU) of Fuwai Central China Cardiovascular Hospital, Henan Zhengzhou 451460, China

Corresponding author: ZHANG Jing, E-mail: Zhangjingxnk@qq.com

Abstract The incidence and mortality of heart failure in China remain high, with a prevalence of 0.9% among adults, and the short-term mortality rate of patients with cardiogenic shock (CS) reaching 40%–50%. Although mechanical circulatory support (MCS) lacks evidence from randomized controlled trials to prove its efficacy in reducing mortality, the utilization rate of short-term MCS has increased significantly in critically ill patients with acute heart failure. This article reviews the progress of short-term MCS devices, including intra-aortic balloon pump (IABP), Impella, Tandem Heart, veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO), and right ventricular assist devices (RVAD), each with distinct characteristics in support intensity, safety, and applicable scenarios. Individualized selection, strict control of indications, and enhanced management of complications are key to improve prognosis. High-quality research and standardized guidelines are urgently needed to optimize the treatment strategy for patients with acute heart failure.

Key words Acute heart failure; Mechanical circulatory support

目前,我国心力衰竭(简称“心衰”)的发病率、死亡率仍持续升高,流行病学调查显示我国成人心衰患者患病率约 0.9%,给家庭及社会带来巨大的经济负担^[1]。患者一旦发生心源性休克(cardiogenic shock,CS),短期死亡率高达 40%~50%。

尽管目前尚无随机对照试验(randomized con-

trolled trial, RCT)表明,机械循环辅助(mechanical circulatory support, MCS)能有效改善此类患者的死亡率,但 MCS 的使用率已显著增加^[2]。目前, MCS 主要分为短期及中长期 MCS,考虑到中长期 MCS 主要用于慢性终末期心衰患者,尤其是未进行心脏移植的终末期心衰患者。本文将系统阐述短期 MCS

装置的分类、作用机制、适应证、禁忌证及其最新临床研究进展,以期对临床医生有所帮助。

一、主动脉内球囊反搏

主动脉内球囊反搏(intra-aortic balloon pump, IABP)起始于 20 世纪 60 年代,也是目前临床上使用最为广泛的血流动力学支持装置。IABP 通过降主动脉内的球囊反搏达到改善心输出量并增加冠状动脉灌注的作用。IABP 设备通常由一个双腔的 7.5F 或 8F 导管、聚乙烯球囊和控制台组成。在放置导管时需导丝指引,并可监测主动脉内的压力。目前临床上主要选择股动脉入路,但也有研究指出经左锁骨下或腋动脉进行 IABP 植入同样安全、可行^[3-5]。与传统的股动脉入路比较,经腋动脉或肱动脉植入的 IABP 留置时间更长,患者可直立、坐起或移动,更人性化。

IABP 的禁忌证包括主动脉夹层、中重度主动脉瓣关闭不全、严重外周血管疾病。IABP 相关的主要并发症为肢体缺血、血管损伤、脓毒症、球囊破裂和栓塞等。

目前有关 IABP 的大型 RCT 研究数量仍十分有限。其中 2019 年公布 IABP-SHOCK II 研究^[6]是一项多中心、随机、开放标签试验,其中纳入了在 2009-2012 年,600 例急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)合并 CS 且接受了早期血运重建的患者,并将其随机分为 IABP 组和对照组。结果表明,在 6 年的随访期间 IABP 组与对照组的死亡率比较,差异无统计学意义(66.3% vs 67.0%, $P = 0.98$)。生活质量和美国纽约心脏病学会(New York heart association, NYHA)评级相同,2 组间的再发心肌梗死、卒中、重复血运重建及因心脏病再住院的发生率比较,差异无统计学意义。

在 IABP-SHOCK II 研究后,欧洲及美国指南均降低了其推荐等级^[7]。但事实上这一研究本身也具有局限性:IABP-SHOCK II 研究作为开放标签设计存在无盲研究的常见偏倚;30 例对照组患者后行 IABP 植入,这些患者可能病情是最严重的,而影响研究结果解读。同时,研究中心骤停后患者比例较高,45% 的患者在随机化前接受了心肺复苏,37% 的患者接受了治疗性低温治疗。这些患者的血流动力学受损主要由功能性低血容量引起,可能稀释了 IABP 的潜在益处。据此并不能完全否认 IABP 在 CS 患者中的应用价值。此外,IABP 因其费用相对较低廉、操作简便,其临床使用率并未下降。尤其是在作为心脏移植的桥梁中,其使用率逐渐增加^[8]。

二、Impella

Impella 是一种介入式微型轴流泵,主要由微型轴流泵、叶轮、套管(体内的框架部分)和尾端猪尾管组成。通过经皮穿刺逆行跨过主动脉瓣插入左心室,由旋转叶轮推动血液流动,将左心室的血液直接泵入到升主动脉,可实现 2.5 ~ 5.0 L/min 的心脏辅助泵血。通过直接将心室血液泵入升主动脉,降低心室压力及容量负荷,减少心室做功,增加心输出量,使左心室得到充分休息,减低心肌氧耗。血流压力的增加和室壁张力的减少,可以增加冠状动脉血流,增加心肌供氧,改善心肌缺血。

目前主要分为经皮植入的 Impella 2.5、Impella CP 以及需要外科手术植入的 Impella 5.0 和 Impella 5.5,但是 Impella 2.5 国内已于 2017 年退市。其适应证包括,高危经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)术中保护、CS、慢性心衰急性发作、心脏移植、左心室辅助装置(left ventricular assist device, LVAD)术前调整。禁忌证主要包括严重的主动脉瓣狭窄(主动脉瓣口面积 $\leq 0.6 \text{ cm}^2$)、左心室血栓、主动脉瓣为机械瓣及严重外周动脉病变。并发症有器械移入左心室导致心肌穿孔/心脏压塞、室性心律失常、急性二尖瓣反流、溶血和血栓等。

Seyfarth 等^[9]研究表明,与 IABP 比较,在 CS 患者中使用 Impella 2.5 可显著改善患者的心输出量,安全可行,但并未降低其死亡率。2008 年公布的 PROTECT II 研究^[10]比较了 IABP 和 Impella 2.5 在复杂三支病变或无保护左主干病变高危 PCI 患者中的应用价值。该研究共入组 452 例患者,发现 Impella 2.5 不仅能更好的改善患者心输出量,而且在随访 90 d 时发现,接受 Impella 2.5 支持患者的主要心血管不良事件发生率(major adverse cardiovascular events, MACE)呈下降趋势。2017 年公布的 PROTECT III 研究^[11]入组了 1 143 例患者,其中 504 例符合 PROTECT-II 的入组标准,主要终点为出院时和 90 d 的主要不良心脑血管事件(major adverse cardiac and cerebrovascular events, MACCE),包括全因死亡率、卒中/短暂性脑缺血发作、心肌梗死和重复血运重建,无论是住院期间还是 90 d 内,PROTECT-III 相较于 PROTECT-II 具有较低的 MACCE 发生率(5.4% vs 10.2%, $P = 0.018$; 15.1% vs 21.9%, $P = 0.037$)。

Impella 则是目前最小介入心脏泵,直径仅有 9F,但可提供高达 5 L/min 的峰值流量,其跨瓣部分

没有金属丝,减少了主动脉瓣损伤的风险,且采用体外电机路线。2024 年美国经导管心血管治疗学术会议公布了 Impella Pivotal 研究,是全球首个已完成的针对高风险 PCI 患者的关键性试验。该研究涉及 18 个中心共招募 256 例患者,主要研究终点为 30 d MACCE 事件发生率。安全性终点:①与器械相关的出血;②与器械相关的重大血管并发症。结果显示,30 d 内 MACCE 事件发生率仅为 6.3%,远低于预先设定的性能目标 24.4%。安全性终点的数据中,器械相关的出血发生率为 5.9%,器械相关的血管并发症发生率仅为 1.6%,未发生主动脉损伤事件及溶血事件。

三、Tandem Heart

Tandem Heart 是一种连续血流离心体外辅助设备,它将左心房内氧合血液直接泵入主动脉中。由股动脉导管、穿房间隔导管、离心泵及体外控制系统 4 个部分组成,可提供 4~6 L/min 的血流,与静脉-动脉体外膜肺氧合(veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation, VA-ECMO)支持力度几乎相当^[12]。而且美国食品和药物管理局(food and drug administration, FDA)批准 Tandem Heart 的临床使用时间可达 21 d。这种系统利用经间隔穿刺使插管穿过房间隔进入左心房,由外部离心泵提供动力,将血液通过股动脉送回体循环。其主要应用于 CS、心脏骤停、顽固性室性心律失常、高风险 PCI、心脏切除术后心衰和临时桥接或心脏移植期间^[13]。该装置的禁忌证包括主动脉夹层、主动脉关闭不全、严重外周血管疾病、左心房血栓、室间隔缺损和凝血功能障碍。目前国内尚未开展此项研究。

在血流动力学方面,由于 Tandem Heart 可以直接将左心房血液泵入主动脉,可明显降低左心室前负荷、左心室容积及左心室室壁压力,同时有效增加平均动脉压,改善冠脉灌注,改善血流动力学,改善全身血流,降低肺毛细血管楔压(pulmonary capillary wedge pressure, PCWP)与 VA-ECMO 有显著区别。

尽管 Tandem Heart 能提供更高力度的血流动力学支持,但有多中心研究指出,与 IABP 比较, Tandem Heart 并未改善 CS 患者 30d 死亡率,2 组间主要不良事件发生率比较,也差异无统计学意义^[14]。由于 Tandem Heart 的植入需要穿刺房间隔,风险较高,也导致其在国外临床使用率十分受限。但 Tandem Heart 与其他机械循环支持设备本质相同,均是一架“桥梁”,帮助患者康复或过渡至下一步治疗、决策。

四、体外膜肺氧合

体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)装置主要由血管通路、驱动单元(泵)、膜式氧合器(又称“膜肺”)、监测及控制系统、空氧混合器和变温水箱组成。ECMO 可通过血泵将静脉血引出体外,经膜肺氧合后回输至体内,回到静脉端为静脉-静脉体外膜肺氧合(veno-venous ECMO, VV-ECMO),回到动脉端为 VA-ECMO。目前,急性心衰患者中主要应用 VA-ECMO。VA-ECMO 可增加心输出量,改善全身灌注,稳定循环系统,为救治赢得宝贵时间。

在全球范围内,ECMO 的临床应用也在迅速增加。统计数据表明,2019 年全球 ECMO 中心数为 488 个^[15],而 2020 年全球注册的 ECMO 中心高达 521 个,2020 年全年开展 18 260 例 ECMO,累计共开展 154 106 例。ECMO 目前主要用于严重心肺衰竭及心脏骤停的患者,其主要并发症为溶血、出血、感染、血栓及肾衰竭事件。而对于心脏骤停前意识状态严重受损、多脏器功能障碍、创伤性出血无法控制、消化道大出血、活动性颅内出血、左心室血栓及严重的主动脉瓣关闭不全的患者,禁止使用 ECMO 辅助^[16]。

2019 年 Brunner 等^[17]首次将 AMI 合并 CS 患者随机分为体外循环支持组(extracorporeal life support, ECLS)和无机械循环支持组。该研究共纳入 42 例患者,所有患者均计划行早期血运重建,研究主要终点为 30 d 内的左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF),次要终点为 30d 内全因死亡率及安全性评估。结果表明,在存活患者中,实验组 and 对照组 30 d 内的 LVEF 及全因死亡率比较,差异无统计学意义(50% vs 50.8%; 19% vs 33%, P 均 ≥ 0.05)。

此外,还有两项 RCT(ECMO-CS 研究和 EURO SHOCK 研究)探索了 ECMO 在 CS 患者中的临床价值^[18,19]。ECMO-CS 研究检验了 VA-ECMO 在快速恶化或严重 CS 患者中的有效性^[18]。该研究比较了在血流动力学恶化的情况下,随机分入 VA-ECMO 的患者与分入保守治疗并延迟 VA-ECMO 患者的结果。在保守治疗组中,39% 最终接受了 VA-ECMO,2 组间不良事件发生率(61.3% vs 61.0%)及 30 d 时的全因死亡率(50.0% vs 47.5%)比较,差异无统计学意义,表明在进展快速或严重 CS 中立即开始 VA-ECMO 并不能改善预后。

EURO SHOCK 试验是一项前瞻性、多中心的

RCT 研究,将 35 例 PCI 术后 30 min 仍存在 CS 的患者随机进行 VA-ECMO 或标准治疗的结果进行比较,其中 VA-ECMO 组 17 例,标准治疗组 18 例。结果表明,VA-ECMO 组 30d 时的全因死亡率与对照组比较,差异无统计学意义(43.8% vs 61.1%, $P = 0.22$);1 年时 2 组间的全因死亡率分别为 51.8% 和 81.5% ($P = 0.22$)^[19]。但 VA-ECMO 组的不良事件发生率明显高于标准治疗组;21.4% 的患者出现血管并发症,35.7% 的患者出现出血并发症,而标准治疗组为 0% 和 5.6%。尽管生存结果表明,使用 VA-ECMO 有益处,但鉴于样本量有限和并发症风险,无法根据该试验做出明确建议。

尽管上述研究对 VA-ECMO 在 CS 患者中的应用均未得出阳性结果。但有观察研究指出,体外心肺复苏的总体住院和出院存活率约 15% ~ 50%,而传统心肺复苏术为 10% ~ 20%^[20,21]。Chen 等^[22]报道了接受治疗的严重心脏骤停患者出院总生存率为 34.1%。一项回顾性分析表明,在院内心肺复苏患者中,ECMO 辅助下的患者 2 年生存率是传统心肺复苏组的 4 倍,且患者神经功能缺陷最小^[23]。尽管 VA-ECMO 辅助的患者死亡风险高且有潜在的致命并发症,但 ECMO 仍为 CS 或其他预后极差的患者提供了生存机会。

五、右心室辅助装置

(一) Protek Duo 右心室辅助装置

Protek Duo 右心室辅助装置(right ventricular assist device, RVAD)和 CentriMag RVAD 均为 RVAD。两者均可将血液从右心房引入肺动脉,但前者可提供的最高流量为 4L/min^[24],后者最高流量可达 10L/min^[25]。遗憾的是目前两种设备均未在国内开展。

Protek Duo RVAD 是双腔插管,通过右颈静脉置入,流入端位于右心室或右心房,流出端位于肺动脉干,外部连接离心泵^[24]。有研究探索了 Protek Duo 在心脏移植后急性右心室原发性移植功能障碍患者中的疗效,结果植入 Protek Duo RVAD 后,患者的收缩压和舒张压均显著升高,中心静脉压显著降低。Protek Duo RVAD 支持时间为 4 ~ 12 d 不等,所有患者成功撤机^[24]。但所有患者均出现急性肾损伤,可能是植入前患者病情危重外周组织灌注不足所致。在心脏移植术后出现急性右心衰竭的患者中,Protek Duo RVAD 提供了一种安全、可行的 MCS 辅助选择。

(二) CentriMag RVAD

CentriMag 是一种外科植入体外离心泵,可支持左心室或右心室,或提供双心室支持。CentriMag RVAD 的流入管通过外科手术或经由股静脉经皮放置在右心房中,流出管放置在肺动脉中,形成右心室旁路。但 CentriMag 系统的主要优势为输送高达 10 L/min 的流量。在 Thomas 等^[26]一项研究中,38 例原发性移植功能障碍患者接受了 CentriMag 治疗,其中 10 例患者需要在 RVAD 位置使用 CentriMag。这 10 例患者中有 6 例在支持过程中死亡;1 例患者再次移植后死亡。出血是 MCS 治疗最常见的并发症(70%)。

Bhama 等^[27]对 29 例需行 CentriMag RVAD 支持的患者进行了回顾性分析,这 29 例患者分别为外科术后 CS、心脏移植术后及长期使用 LVAD 的患者。结果表明,14 例患者中有 48% 的患者早期死亡(<30 d 或出院前),其中 9 例(31%)在器械植入时死亡;存活至出院的 15 例患者中有 2 例(13%)发生晚期死亡,器械故障率为 0。主要并发症为严重感染(肺炎、脓毒症或 LVAD 囊袋感染)、需要手术的大出血、心律失常、卒中/脑病及空气栓塞(仅 1 例)。

六、总结

多种 MCS 层出不穷,但设计理念与工作原理,植入方式与管理方法,均存在较大差别,个体化选择与应用可能是此类重症患者获益的关键。无论是哪一类 MCS,最终目的是给与患者循环支持,为诊断和治疗干预以及潜在的器官恢复留出时间。MCS 更像是一座桥梁为患者桥接至恢复、进一步决策或等待心脏移植提供支持。MCS 在选择具体的装置时要做好患者筛选并充分衡量潜在的并发症。MCS 辅助患者的预后很大程度取决于患者是否有此类器械支持的适应证、合并症、循环辅助开始时器官功能障碍程度以及辅助期间的并发症。

目前仍需要大型的前瞻性 RCT 研究来提供高质量的循证医学证据,并制定标准化的管理指南,以对急性心衰患者进行最佳治疗。

参考文献

- 1 王华.中国心力衰竭的防控回顾[J].中国心血管杂志,2019,24(5):397.
- 2 Geller BJ, Sinha SS, Kapur NK, et al. Escalating and De-escalating Temporary Mechanical Circulatory Support in Cardiogenic Shock: A Scientific Statement From the American Heart Association[J]. Circulation, 2022, 146(6): e50-e68.
- 3 Nwaejike N, Son AY, Milano CA, et al. Is there a role for upper-ex-

- tremity intra-aortic balloon counterpulsation as a bridge-to-recovery or a bridge-to-transplant in the treatment of end-stage heart failure? [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2017, 25(4):654-658.
- 4 Estep JD, Cordero-Reyes AM, Bhimaraj A, et al. Percutaneous placement of an intra-aortic balloon pump in the left axillary/subclavian position provides safe, ambulatory long-term support as bridge to heart transplantation[J]. *JACC Heart Fail*, 2013, 1(5):382-388.
- 5 Bhimaraj A, Agrawal T, Duran A, et al. Percutaneous Left Axillary Artery Placement of Intra-Aortic Balloon Pump in Advanced Heart Failure Patients[J]. *JACC Heart Fail*, 2020, 8(4):313-323.
- 6 Thiele H, Zeymer U, Thelemann N, et al. Intraaortic balloon pump in cardiogenic shock complicating acute myocardial infarction: Long-Term 6-Year Outcome of the Randomized IABP-SHOCK II Trial[J]. *Circulation*, 2019, 139(3):395-403.
- 7 Thiele H, Zeymer U, Thelemann N, et al. Intraaortic Balloon Pump in Cardiogenic Shock Complicating Acute Myocardial Infarction: Long-Term 6-Year Outcome of the Randomized IABP-SHOCK II Trial[J]. *Circulation*, 2019, 139(3):395-403.
- 8 Strom JB, Zhao Y, Shen C, et al. National trends, predictors of use, and in-hospital outcomes in mechanical circulatory support for cardiogenic shock[J]. *EuroIntervention*, 2018, 13(18):e2152-e2159.
- 9 Seyfarth M, Sibbing D, Bauer I, et al. A randomized clinical trial to evaluate the safety and efficacy of a percutaneous left ventricular assist device versus intra-aortic balloon pumping for treatment of cardiogenic shock caused by myocardial infarction[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2008, 52(19):1584-1588.
- 10 O'Neill WW, Kleiman NS, Moses J, et al. A prospective, randomized clinical trial of hemodynamic support with Impella 2.5 versus intra-aortic balloon pump in patients undergoing high-risk percutaneous coronary intervention: the PROTECT II study[J]. *Circulation*, 2012, 126(14):1717-1727.
- 11 O'Neill WW, Anderson M, Burkhoff D, et al. Improved outcomes in patients with severely depressed LVEF undergoing percutaneous coronary intervention with contemporary practices[J]. *Am Heart J*, 2022, 248:139-149.
- 12 Wong A, Sin S. Short-term mechanical circulatory support (intra-aortic balloon pump, Impella, extracorporeal membrane oxygenation, Tandem Heart): a review[J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(13):829.
- 13 Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, et al. Venoarterial ECMO for Adults: JACC Scientific expert Panel[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(6):698-716.
- 14 Burkhoff D, Cohen H, Brunckhorst C, et al. A randomized multicenter clinical study to evaluate the safety and efficacy of the Tandem Heart percutaneous ventricular assist device versus conventional therapy with intraaortic balloon pumping for treatment of cardiogenic shock[J]. *Am Heart J*, 2006, 152(3):461-469.
- 15 Organization ELS. ECLS International Summary of Statistics [EB/OL]. 2022.
- 16 中国心胸血管麻醉学会, 中华医学会麻醉学分会, 中国医师协会麻醉学医师分会, 等. 不同情况下成人体外膜肺氧合临床应用专家共识(2020 版)[J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(11):1052-1063.
- 17 Brunner S, Guenther S, Lackermair K, et al. Extracorporeal life support in cardiogenic shock complicating Acute Myocardial Infarction[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(18):2355-2357.
- 18 Ostadal P, Rokyta R, Karasek J, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation in the Therapy of Cardiogenic Shock: Results of the ECMO-CS Randomized Clinical Trial[J]. *Circulation*, 2023, 147(6):454-464.
- 19 Banning AS, Sabate M, Orban M, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation or standard care in patients with cardiogenic shock complicating acute myocardial infarction: the multicentre, randomised EURO SHOCK trial[J]. *EuroIntervention*, 2023, 19(6):482-492.
- 20 Abrams D, MacLaren G, Lorusso R, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults: evidence and implications[J]. *Intensive Care Med*, 2022, 48(1):1-15.
- 21 Kim SJ, Kim HJ, Lee HY, et al. Comparing extracorporeal cardiopulmonary resuscitation with conventional cardiopulmonary resuscitation: A meta-analysis[J]. *Resuscitation*, 2016, 103:106-116.
- 22 Chen YS, Lin JW, Yu HY, et al. Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis [J]. *Lancet*, 2008, 372(9638):554-561.
- 23 Shin TG, Jo IJ, Sim MS, et al. Two-year survival and neurological outcome of in-hospital cardiac arrest patients rescued by extracorporeal cardiopulmonary resuscitation [J]. *Int J Cardiol*, 2013, 168(4):3424-3430.
- 24 Carrozzini M, Merlanti B, Olivieri GM, et al. Percutaneous RVAD with the Protek Duo for severe right ventricular primary graft dysfunction after heart transplant [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2021, 40(7):580-583.
- 25 Hart EA, Braithwaite SA, Hermens J, et al. Mechanical circulatory support for right ventricular primary graft dysfunction after heart transplant: A review[J]. *Clin Transplant*, 2025, 39(1):e70066.
- 26 Thomas HL, Dronavalli VB, Parameshwar J, et al. Incidence and outcome of Levitronix CentriMag support as rescue therapy for early cardiac allograft failure: a United Kingdom national study[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2011, 40(6):1348-1354.
- 27 Bhama JK, Kormos RL, Toyoda Y, et al. Clinical experience using the Levitronix CentriMag system for temporary right ventricular mechanical circulatory support[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2009, 28(9):971-976.

(2025-09-16 收稿)