

· 综述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.09.020

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240110.1520.002\(2024-01-10\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240110.1520.002(2024-01-10))

# 左心室辅助装置的发展历程、并发症及未来展望\*

罗渝翔,吴庆琛,帖红涛<sup>△</sup>

(重庆医科大学附属第一医院胸外科/心脏大血管外科,重庆 400016)

**[摘要]** 左心室辅助装置(LVAD)是终末期心力衰竭有效的治疗手段之一,发展迅速,应用前景广阔。出血、感染、卒中、右心衰及心律失常是 LVAD 植入术后需要关注的常见并发症。该文对 LVAD 的发展历程、并发症及未来展望进行总结,旨在持续优化及推广 LVAD。

**[关键词]** 心力衰竭;机械循环支持;心室辅助装置;人工心脏;并发症;综述

**[中图分类号]** R541.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)09-1391-06

## Development process, complications and future prospects of left ventricular assist device\*

LUO Yuxiang, WU Qingchen, TIE Hongtao<sup>△</sup>

(Department of Cardiothoracic Surgery, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

**[Abstract]** Left ventricular assist device (LVAD) is one of the effective treatment methods for end-stage heart failure, which has developed rapidly and has broad application prospects. Hemorrhage, infection, stroke, right heart failure, and arrhythmia are common complications that need to be paid attention to after LVAD implantation. This article summarizes the development process, complications and future prospects of LVAD, aiming to continuously optimize and promote LVAD.

**[Key words]** heart failure; mechanical circulatory support; ventricular assist device; artificial heart; complications; review

心力衰竭(简称心衰)是各种病因引起心脏结构和/或功能异常,进而导致心腔内压力升高、心输出量不足的一种临床综合征<sup>[1]</sup>。我国心衰现状严峻,据统计,超过 35 岁人群的心衰患病率为 1.3%,数量超千万,每年住院总费用逾百亿元<sup>[2]</sup>。目前终末期心衰最有效的治疗手段是心脏移植,但由于心脏供体数量的限制,医学界不得不探索治疗终末期心衰的其他方法,用于改善心脏泵血功能的左心室辅助装置(left ventricular assisted device, LVAD)应运而生<sup>[3]</sup>。2022 年机械辅助循环支持机构间登记处(Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support, INTERMACS)报告显示,2021 年北美地区共登记 2 464 例 LVAD 植入<sup>[4]</sup>。尽管 LVAD 在国际上发展迅速,应用前景广阔,但其在我国的发展较为滞后,应用规模较小<sup>[5]</sup>。据 2022 年中国心脏病大会数据显示,我国至今仅累计开展了 200 余例 LVAD 植入术。本文将简要介绍 LVAD 的发展历程、设备迭代及常见术后并发症,并探讨 LVAD 未来可能的发展方向。

### 1 LVAD 发展历程

1966 年,DEBAKEY 等<sup>[6]</sup>首次为 1 例患者植入了气动式 LVAD。1994 年,美国食品药品监督管理局(food and drug administration, FDA)首次批准了气动式 LVAD 用于终末期心衰患者的心脏移植前辅助支持(bridge to transplant, BTT)治疗<sup>[7]</sup>。2001 年发表的 REMATCH 研究结果显示, LVAD 可使不适合心脏移植的终末期心衰患者明显获益,由此,HeartMate VE 成为第一款被 FDA 批准用于终点治疗,即永久替代治疗的 LVAD 产品<sup>[8]</sup>。2008 年,HeartMate II 成为首款被 FDA 批准用于 BTT 治疗的第二代 LVAD<sup>[9]</sup>。2010 年, FDA 批准将 HeartMate II 用于终点治疗<sup>[10]</sup>。2012 年,新一代 LVAD 产品 HeartWare HVAD 被 FDA 批准用于 BTT 治疗,但 ENDURANCE 临床试验显示接受 HeartWare HVAD 植入患者的不良事件发生率增加,最终其于 2021 年退市<sup>[11]</sup>。另一款第三代 LVAD 产品 HeartMate 3 分别于 2017、2018 年被 FDA 批准用于 BTT 及终点治

\* 基金项目:重庆市自然科学基金面上项目(CSTB2022NSCQ-MSX0840);重庆医科大学附属第一医院青年卓越科技人才项目(ZYRC2022-04)。<sup>△</sup> 通信作者, E-mail: hongtaotie@163.com。

疗, MOMENTUM 3 临床试验显示 HeartMate 3 在 BTT 及终点治疗中的效果均优于 HeartMate II<sup>[12-13]</sup>。HeartMate 3 暂为目前唯一一款经 FDA 批准上市且在市的 LVAD 产品。

## 2 LVAD 设备介绍

每种 LVAD 理论上均由以下几种组件组成: 流入管道、泵系统、流出管道、传动系统、外部控制器、电源及充电设备(图 1)。通常, 流入管道同左心室相连接, 接受来自左心的血液, 通过泵系统将血液由流出管道泵回患者的升主动脉, 从而部分或完全替代衰竭左心室的功能。传动系统通常指连接泵系统及外部控制器的经皮电缆, 它能为泵系统提供电力, 同时在设定变更时向泵系统传递指令。外部控制器本质上是一台小型计算机, 用于控制并显示泵的各项参数, 进行电力输送, 并可在设备工作异常时进行警报。电源及充电设备用于持续为 LVAD 提供动力, 多数 LVAD 使用锂电池供电, 并配有备用电源<sup>[14]</sup>。

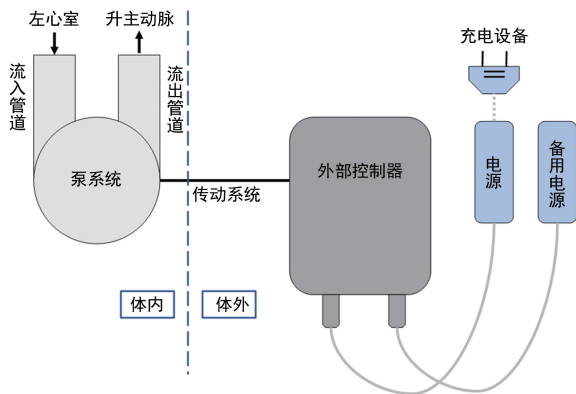


图 1 LVAD 主要组件

### 2.1 第一代 LVAD

第一代 LVAD 为搏动流泵, 通过气动或电动的方式为患者提供脉冲式的血流, 可较好地模拟心脏生理性泵血, 有助于改善器官灌注和功能<sup>[15]</sup>。泵进出口

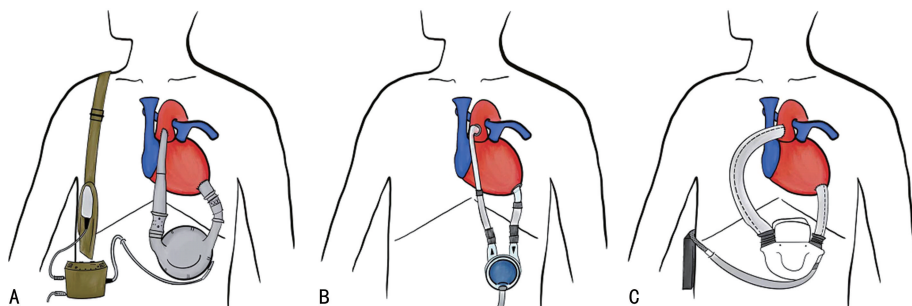
处设置有单向阀门, 以保证血液的单向流动。常见的第一代 LVAD 有 HeartMate VE、HeartMate XVE、Berlin Heart EXCOR 及 Novacor LVAS 等, 见图 2。临床试验证明在终末期心衰患者中, LVAD 的治疗效果优于药物治疗<sup>[8]</sup>。然而, 第一代 LVAD 的体积大、噪音大, 不良事件的发生率较高, 患者生活质量欠佳。

### 2.2 第二代 LVAD

第二代 LVAD 较第一代设计上更轻便、更具生物相容性, 一般被称为轴流泵。通过集成无阀轴向泵与可变磁场的设计, 泵的叶轮得以快速旋转, 从而产生平行于旋转轴的连续血流。轴流泵无需瓣膜及泵室, 仅有 1 个活动部件即转子, 此种设计明显提高了设备耐用性, 明显降低了噪音, 同时减少了不良事件的发生。常见的第二代 LVAD 有 HeartMate II、Jarvik 2000 及 DeBakey VAD 等, 见图 3。第二代 LVAD 的机械轴承仍与血液直接接触, 血细胞可能被轴承碾压而破碎, 增加了血栓形成的风险。

### 2.3 第三代 LVAD

第三代 LVAD 为磁液悬浮泵, 设计上采用磁悬浮或液力悬浮技术, 可使用更低的转速产生足够的连续离心血流, 具有更高的泵血效率<sup>[14,16]</sup>。第三代 LVAD 同血液的接触面进一步减小, 血流间隙更宽, 设备对血液成分的破坏明显减少。同时, 体积的进一步减小使得泵体可被放置于心包腔内<sup>[5]</sup>, 也使不采用正中开胸或体外循环即完成 LVAD 的植入变得可能<sup>[17]</sup>。常见的第三代 LVAD 有 HeartWare HVAD、HeartMate 3 及 EVAHEART 等, 见图 4。尽管仍存在右心衰、感染、血栓及溶血等并发症风险<sup>[18]</sup>, 但持续优化的生存结果、明显提高的生活质量及仍旧严峻的心脏移植现状, 使第三代 LVAD 具有广阔的应用前景和发展空间<sup>[4,19-21]</sup>。



A: HeartMate XVE; B: Berlin Heart EXCOR; C: Novacor LVAS。

图 2 第一代 LVAD 示意图

## 3 LVAD 常见并发症

接受 LVAD 植入患者的生活质量在很大程度上取决于所遭受的不良事件数量及其严重程度。制造商必须尽最大努力改进设备, 而临床医师则应通过多

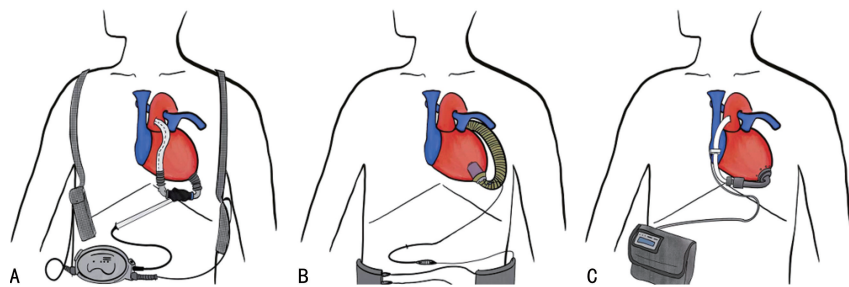
学科协作的手段加强对患者的管理, 以尽量预防并发症, 或在其发生时做到迅速识别和及时干预<sup>[22]</sup>。

### 3.1 出血

出血是 LVAD 患者最常见的不良事件, 可分为围

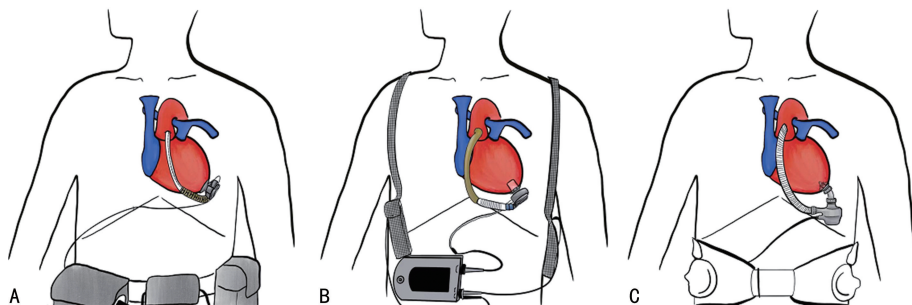
手术期出血和非手术期出血。围手术期出血与术中肝素化及手术创伤有关,各研究报道需要再次手术的出血患者比例为 0~45%<sup>[20]</sup>。非手术期出血被认为与多方面因素有关,研究认为 LVAD 术后内、外源性凝血途径可被激活,导致机体凝血因子被大量消耗<sup>[23]</sup>;同时观察到 LVAD 患者在术后出现获得性血管性血友病、动静脉畸形及血小板聚集功能受损<sup>[24]</sup>。

术后常见出血部位包括鼻腔、消化道、颅内、纵隔或胸腔<sup>[25]</sup>。出血事件会严重影响患者预后及术后生活质量,尤其是颅内出血(即出血性卒中)。即便如此,目前 LVAD 术后仍常规需要抗血小板及抗凝治疗,指南推荐在阿司匹林的基础上加用华法林口服,并控制国际标准化比值在 2.0~3.0<sup>[26]</sup>。



A: HeartMate II; B: Jarvik 2000; C: DeBakey VAD.

图 3 第二代 LVAD 示意图



A: HeartWare HVAD; B: HeartMate 3; C: EVAHEART.

图 4 第三代 LVAD 示意图

### 3.2 感染

国际上将 LVAD 植入术后感染分为以下几大类,(1)LVAD 特有感染:泵和/或管道感染、泵袋感染、经皮传动系统感染(包括浅表感染及深部感染);(2)LVAD 相关感染:感染性心内膜炎、血液感染(包括中心静脉导管感染)、纵隔炎;(3)非 LVAD 感染:下呼吸道感染、胆囊炎、艰难梭菌感染及尿道感染等<sup>[27]</sup>。据统计, LVAD 患者群体的总感染率为 19%~39%,其中经皮传动系统感染最常见,发生率为 12%~35%<sup>[22]</sup>。目前暂无针对 LVAD 感染管理策略的随机对照研究,国际共识认为对感染的管理应基于病原体、感染部位、感染类型及心脏移植候选状态(即 BTT 或终点治疗)等多因素进行综合评估<sup>[28]</sup>。加强医务人员和患者家属的无菌观念、及时应用抗生素,可以减少感染的发生<sup>[29]</sup>。

### 3.3 卒中

LVAD 植入术后可能发生卒中,高收缩压、术后感染及既往卒中史是其危险因素<sup>[30]</sup>。研究表明,卒中风险随着 LVAD 支持时间的延长而增加<sup>[31]</sup>。一项 INTERMACS 数据库研究分析了 HeartMate 3 和 HVAD 这两种第三代主流 LVAD 产品的神经系统不

良事件发生率,结果显示前者缺血性卒中发生率为 3.4%,后者为 7.7%;前者出血性卒中发生率为 2.0%,后者为 7.2%<sup>[32]</sup>。此结果同 2017 年发布的 ENDURANCE 试验<sup>[11]</sup>结果一致,说明 HVAD 的卒中发生率较高,这也是 HVAD 被 FDA 警告并最终退市的重要原因之一。制订个体化的抗凝策略,准确识别和把控卒中相关危险因素有助于减少 LVAD 术后卒中的发生。

### 3.4 右心衰

研究认为,10%~40%的 LVAD 患者会发生术后右心衰<sup>[33]</sup>。术后右心衰会增加患者死亡率,延长住院时间,并可能导致凝血功能障碍、药物代谢改变、营养状况恶化、利尿剂抵抗和生活质量下降等<sup>[33]</sup>。术前对右心室功能的充分评估、围手术期对血流动力学的监测及正确的用药和液体管理,对于预防、早期识别并处理右心衰具有重要意义<sup>[34]</sup>。

### 3.5 心律失常

LVAD 患者房性心律失常及室性心律失常发生率分别为 21%~50%和 34%~53%<sup>[35-36]</sup>。心律失常的发生可能与缺血、右心衰、电解质紊乱及 LVAD 植入后的电生理变化有关<sup>[37-39]</sup>。房性心律失常,特别是

慢性心房颤动,可能会增加血栓事件的风险,术前射频消融治疗或术中同期缝闭左心耳等措施可在一定程度上解决该问题<sup>[26]</sup>,而植入式心律转复除颤器的应用对于预防致命性心律失常具有重要意义<sup>[38,40]</sup>。

## 4 LVAD 未来展望

### 4.1 更高比例的终点治疗

随着心脏移植在供受体匹配方面不断精细化发展,很大一部分移植候选者的生存时间比从前更长、年龄更大、基础疾病更多<sup>[41]</sup>。持续增长的终末期心衰患者数量及心脏供体短缺的问题使绝大多数患者无法等到心脏移植<sup>[42]</sup>。以美国为例,2018 年美国更新了心脏移植分配制度,在此之后选择 LVAD 作为 BTT 治疗的患者比例明显下降<sup>[43-44]</sup>。2022 年,选择 LVAD 作为 BTT 治疗的患者比例已低于 20%<sup>[4]</sup>。这不仅说明 LVAD 的应用受到分配制度的影响,还说明在 LVAD 日渐发展成熟的背景下,重新审视心脏移植与长期 LVAD 支持的关系及其各自的适应证将会对心衰患者的治疗决策提出新的挑战<sup>[45]</sup>。特别是在我国每年心脏移植仅约 600 例的背景下,或许更适合以更高比例的终点治疗进行 LVAD 的推广应用<sup>[46]</sup>。

### 4.2 产品优化及技术进步

国际上 LVAD 的研究热点已逐步从延长生存时间过渡至提高术后生活质量上, LVAD 产品及技术逐渐向微创化、微型化、无线化、智能化及信息化方向发展<sup>[47]</sup>。已有术者对小切口植入 LVAD 的路径进行了探索<sup>[48]</sup>,同时不使用体外循环技术的 LVAD 植入也有相应研究。未来的 LVAD 产品将更加小巧便携,也许能在低能耗、高效率的基础上利用经皮能量传输(transcutaneous energy transmission, TET)等无线充电技术实现无需经皮电缆的全植入式 LVAD 临床应用<sup>[49]</sup>。除此之外,机器学习及人工智能的发展有望为 LVAD 提供持续优化、高度自主的设备调控方案,使其进一步适应患者的心脏生理学变化,降低并发症风险<sup>[50]</sup>。持续优化的 LVAD 产品、更全面的患者管理方案及更成熟的手术理念将有效降低并发症发生率、提高生活质量、延长生存时间,最终使广大心衰患者获益。

### 4.3 LVAD 在我国的发展

目前我国上市及在研的 LVAD 产品绝大部分为第三代磁液悬浮泵,其中包括重庆永仁心(EVA-HEART I)、苏州同心(CH-VAD)、航天泰心(Heart-Con)和深圳核心(CorHeart 6)等,其效能不逊于国外产品,在体积、能耗等方面甚至更有优势。EVA-HEART I 引进于日本,是我国第一款获批上市的 LVAD 产品,具有低转速、高流量、生理脉动性及高耐久性的特点。CH-VAD 于 2021 年 11 月获批上市,是我国拥有完备自主知识产权的全磁悬浮泵。Heart-Con 于 2022 年 7 月获批上市,其采用泵机一体化、电控双冗余等拥有自主知识产权的核心技术,是一款磁

液悬浮泵。CorHeart 6 是目前体积最小、重量最轻的全磁悬浮泵,其特点是低功耗、高耐久及良好血液相容性。由于心脏供体的稀缺, LVAD 在我国具有广阔的发展前景。为提升我国在该领域的科学研究水平及国际竞争力,应加大科研投入,进行临床应用推广,争取缩短我国在该领域同国际上的差距;同时应认识到, LVAD 技术复杂,研发及应用过程中可能遭遇不良事件甚至产品召回,影响设备的进一步推广。LVAD 费用高昂,国内相关的价格及医保政策尚不明确,花费过高也将制约设备的推广。此外,国内仅少数机构可开展 LVAD 植入术并进行术后管理,如何推广该类术式、扩大受益人群,问题亟待解决。

## 5 结 语

LVAD 为心衰患者带来了新的希望,也给临床医师带来了新的挑战。LVAD 的技术推广及临床应用需要政府、企业及医疗机构间协同合作,只有制定符合国情的发展策略、规范市场化管理、积极开展技术研发及临床研究,最终才能让 LVAD 造福广大心衰患者。

## 参考文献

- [1] MCDONAGH T A, METRA M, ADAMO M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure; developed by the task force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). With the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC[J]. *Eur J Heart Fail*, 2022, 24(1): 4-131.
- [2] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2021 概要[J]. *心脑血管病防治*, 2022, 22(4): 20-36.
- [3] 董念国. 浅谈心室辅助装置在终末期心力衰竭中的应用[J]. *临床心血管病杂志*, 2023, 39(6): 409-412.
- [4] YUZEPOLSKAYA M, SCHROEDER S E, HONUSTON B A, et al. The society of thoracic surgeons intermacs 2022 annual report: focus on the 2018 heart transplant allocation system[J]. *Ann Thorac Surg*, 2023, 115(2): 311-327.
- [5] 张帅, 侯剑峰. 左心室辅助装置的临床应用现状和展望[J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(9): 916-919.
- [6] DEBAKEY M E. Left ventricular bypass pump for cardiac assistance. Clinical experience[J]. *Am J Cardiol*, 1971, 27(1): 3-11.
- [7] GOLDSTEIN D J, OZ M C, ROSE E A. Im-

- plantable left ventricular assist devices[J]. *N Engl J Med*, 1998, 339(21):1522-1533.
- [8] ROSE E A, GELIJNS A C, MOSKOWITZ A J, 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] MILLER L W, PAGANI F D, RUSSELL S D, et al. Use of a continuous-flow device in patients awaiting heart transplantation[J]. *N Engl J Med*, 2007, 357(9):885-896.
- [10] SLAUGHTER M S, ROGERS J G, MILANO C A, et al. Advanced heart failure treated with continuous-flow left ventricular assist device[J]. *N Engl J Med*, 2009, 361(23):2241-2251.
- [11] ROGERS J G, PAGANI F D, TATOOLE S A J, et al. Intrapericardial left ventricular assist device for advanced heart failure[J]. *N Engl J Med*, 2017, 376(5):451-460.
- [12] MEHRA M R, GOLDSTEIN D J, URIEL N, et al. Two-year outcomes with a magnetically levitated cardiac pump in heart failure[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(15):1386-1395.
- [13] 颜文龙, 杨苏民. 人工心脏的临床应用和研究进展[J]. *精准医学杂志*, 2022, 37(6):559-564.
- [14] MELENDO-VIU M, DOBARRO D, RAPOSE-IRAS ROUBIN S, et al. Left ventricular assist device as a destination therapy: current situation and the importance of patient selection[J]. *Life (Basel)*, 2023, 13(4):1065.
- [15] 唐先意, 刘轶群, 张义雄. 机械辅助装置治疗心脏泵衰竭的研究进展[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2022, 14(11):1400-1402.
- [16] 陈铭, 王怡轩, 徐力, 等. 心室辅助装置应用现状及进展[J]. *器官移植*, 2023, 14(1):62-67.
- [17] AL-NAAMANI A, FAHR F, KHAN A, et al. Minimally invasive ventricular assist device implantation[J]. *J Thorac Dis*, 2021, 13(3):2010-2017.
- [18] WHITSON B A. Surgical implant techniques of left ventricular assist devices: an overview of acute and durable devices[J]. *J Thorac Dis*, 2015, 7(12):2097-2101.
- [19] MEHRA M R, CLEVELAND J C J R, URIEL N, et al. Primary results of long-term outcomes in the MOMENTUM 3 pivotal trial and continued access protocol study phase: a study of 2 200 HeartMate 3 left ventricular assist device implants[J]. *Eur J Heart Fail*, 2021, 23(8):1392-1400.
- [20] MCNAMARA N, NARROWAY H, WILLIAMS M, et al. Contemporary outcomes of continuous-flow left ventricular assist devices—a systematic review[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2021, 10(2):186-208.
- [21] BAKHTIYAR S S, GODFREY E L, AHMED S, et al. Survival on the heart transplant waiting list[J]. *JAMA Cardiol*, 2020, 5(11):1227-1235.
- [22] SCOTT S, BLOOD P. A guide to mechanical circulatory support: a primer for ventricular assist device (VAD) clinicians [M]. Cham: Springer, 2022.
- [23] JOHN R, PANCH S, HRABE J, et al. Activation of endothelial and coagulation systems in left ventricular assist device recipients[J]. *Ann Thorac Surg*, 2009, 88(4):1171-1179.
- [24] DEMIROZU Z T, RADOVANCEVIC R, HOCHMAN L F, et al. Arteriovenous malformation and gastrointestinal bleeding in patients with the HeartMate II left ventricular assist device[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2011, 30(8):849-853.
- [25] SUAREZ J, PATEL C B, FELKER G M, et al. Mechanisms of bleeding and approach to patients with axial-flow left ventricular assist devices[J]. *Circ Heart Fail*, 2011, 4(6):779-784.
- [26] KIRKLIN J K, PAGANI F D, GOLDSTEIN D J, et al. American association for thoracic surgery/international society for heart and lung transplantation guidelines on selected topics in mechanical circulatory support[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 159(3):865-896.
- [27] HANNAN M M, HUSAIN S, MATTNER F, et al. Working formulation for the standardization of definitions of infections in patients using ventricular assist devices[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2011, 30(4):375-384.
- [28] KUSNE S, MOONEY M, DANZIGER-ISAKOV L, et al. An ISHLT consensus document for prevention and management strategies for mechanical circulatory support infection[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2017, 36(10):1137-1153.
- [29] 白龙, 田海, 陈巍, 等. 左心室辅助装置治疗终末期心力衰竭进展[J]. *哈尔滨医科大学学报*, 2016, 50(2):185-188.
- [30] KATO T S, OTA T, SCHULZE P C, et al. Asymmetric pattern of cerebrovascular lesions

- in patients after left ventricular assist device implantation[J]. *Stroke*, 2012, 43(3):872-874.
- [31] KIRKLIN J K, NAFTEL D C, KORMOS R L, et al. Fifth INTERMACS annual report; risk factor analysis from more than 6 000 mechanical circulatory support patients [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2013, 32(2):141-156.
- [32] CHO S M, MEHAFFEY J H, MEYERS S L, et al. Cerebrovascular events in patients with centrifugal-flow left ventricular assist devices; propensity score-matched analysis from the intermacs registry [J]. *Circulation*, 2021, 144(10):763-772.
- [33] LAMPERT B C, TEUTEBERG J J. Right ventricular failure after left ventricular assist devices [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2015, 34(9):1123-1130.
- [34] ATLURI P, GOLDSTONE A B, FAIRMAN A S, et al. Predicting right ventricular failure in the modern, continuous flow left ventricular assist device era [J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 96(3):857-863.
- [35] SISTI N, MANDOLI G E, SCIACCALUGA C, et al. Insight into atrial fibrillation in LVAD patients; from clinical implications to prognosis [J]. *Pulse*, 2020, 8(1):2-14.
- [36] SHIRAZI J T, LOPSHIRE J C, GRADUS-PIZZO I, et al. Ventricular arrhythmias in patients with implanted ventricular assist devices; a contemporary review [J]. *Europace*, 2013, 15(1):11-17.
- [37] BEDI M, KORMOS R, WINOWICH S, et al. Ventricular arrhythmias during left ventricular assist device support [J]. *Am J Cardiol*, 2007, 99(8):1151-1153.
- [38] BRENYO A, RAO M, KONERU S, et al. Risk of mortality for ventricular arrhythmia in ambulatory LVAD patients [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2012, 23(5):515-520.
- [39] NAKAHARA S, CHIEN C, GELOW J, et al. Ventricular arrhythmias after left ventricular assist device [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2013, 6(3):648-654.
- [40] LONG B, ROBERTSON J, KOYFMAN A, et al. Left ventricular assist devices and their complications; a review for emergency clinicians [J]. *Am J Emerg Med*, 2019, 37(8):1562-1570.
- [41] KHUSH K K, HSICH E, POTENA L, et al. The international thoracic organ transplant registry of the international society for heart and lung transplantation; thirty-eighth adult heart transplantation report-2021, focus on recipient characteristics [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2021, 40(10):1035-1049.
- [42] BAYES-GENIS A, MUÑOZ-GUIJOSA C, SANTIAGO-VACAS E, et al. Destination therapy with left ventricular assist devices in non-transplant centres: the time is right [J]. *Eur Cardiol*, 2020, 15:e19.
- [43] MAITRA N S, DUGGER S J, BALACHANDRAN I C, et al. Impact of the 2018 UNOS heart transplant policy changes on patient outcomes [J]. *JACC Heart Fail*, 2023, 11(5):491-503.
- [44] MULLAN C W, CHOUAIRI F, SEN S, et al. Changes in use of left ventricular assist devices as bridge to transplantation with new heart allocation policy [J]. *JACC Heart Fail*, 2021, 9(6):420-429.
- [45] TORO S, PATEL K, GUHA A. Destination LVAD therapy in the current era of the heart transplant allocation system [J]. *Curr Opin Cardiol*, 2023, 38(3):275-279.
- [46] 刘金平, 张力. 异种心脏移植与无线心室辅助装置 [J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(4):261-264.
- [47] 许剑, 王妍, 周娜, 等. 人工辅助心脏国际发展趋势概述 [J/CD]. *中西医结合心血管病电子杂志*, 2018, 6(7):16-17.
- [48] MAKDISI G, WANG I W. Minimally invasive is the future of left ventricular assist device implantation [J]. *J Thorac Dis*, 2015, 7(9):E283-288.
- [49] PYA Y, ABDIORAZOVA A. Elimination of drive exit line: transcatheter energy transmission. *Ann Cardiothorac Surg*, 2021, 10(3):393-395.
- [50] AL-ANI M A, BAI C, HASHKY A, et al. Artificial intelligence guidance of advanced heart failure therapies; a systematic scoping review [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10:1127716.