

Impella 在心血管疾病中的临床应用、植入时机与未来展望

Clinical application, implantation opportunity and future prospect of Impella in cardiovascular diseases

董芊华^{1,2a}, 向艏博³, 于涛^{2b}, 尹立雪^{2a}, 王文艳^{2c}, 袁小媚^{2c}, 左明良^{2a△}

DONG Qian-hua, XIANG Shou-bo, YU Tao, YIN Li-xue, WANG Wen-yan, YUAN Xiao-mei, ZUO Ming-liang

1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610056; 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院) a. 心血管超声及心功能科, b. 心脏外科, c. 心力衰竭中心, 四川 成都 610072; 3. 四川大学华西医院心内科, 四川 成都 610072

【摘要】 Impella 在心源性休克、高危冠脉介入治疗、高风险心脏手术、心脏移植桥接及右心室衰竭等多个领域均展现出显著的临床价值。相较于传统的主动脉内球囊反搏装置(intra-aortic balloon pump, IABP)和体外膜肺氧合系统(extracorporeal membrane oxygenation, VA-ECMO), Impella 在改善血流动力学、降低并发症发生率以及缩短患者住院时间等方面, 展现出了明显的优势。尤其在急性心肌梗死相关心源性休克患者中, 早期植入 Impella 可显著降低死亡率, “门-卸载”策略则强调再灌注前左心室卸载的重要性。然而, Impella 的临床应用中仍面临出血、血管事件和溶血等风险, 因此, 未来的研究应着重于加强并发症管理、优化植入流程、改进技术、开展大型临床试验并推动多学科协作, 以进一步提升 Impella 的临床疗效和安全性。

【关键词】 Impella; 经皮心室辅助装置; 主动脉内球囊反搏装置; 体外膜肺氧合系统; 植入时机

【中图分类号】 R541

【文献标志码】 B

【文章编号】 1672-6170(2026)02-0214-05

心血管疾病, 尤其是心源性休克(cardiogenic shock, CS)、急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)以及高风险心脏手术操作, 是导致患者高死亡率和发病率的主要原因。传统治疗手段诸如药物治疗、主动脉内球囊辅助装置(intra-aortic balloon pump, IABP)应用及体外膜肺氧合技术(extracorporeal membrane oxygenation, VA-ECMO)在特定情境下显示出局限性, 难以充分优化患者的临床

转归。为了解决这些临床挑战, 经皮微轴泵 Impella 作为一种新型的机械循环支持装置应运而生。Impella 通过减轻心脏负荷, 改善血流动力学, 在多种临床场景中显示出潜力。然而, 目前关于 Impella 的临床应用、最佳植入时机和潜在并发症仍存在许多需要深入研究的问题。本文旨在总结 Impella 的原理、临床应用, 探讨最佳植入时机, 并展望未来的研究方向。

- [25] Garcia De Carvalho G, Rodrigues Vieira B, De Souza Carvalho J, et al. Multiple PDT sessions with chlorin-e6 and LL-37 loaded-nanoemulsion provide limited benefits to periodontitis in rats[J]. Photodiagn Photodyn Ther, 2024, 49: 104329.
- [26] Cheng Q, Lu R, Wang X, et al. Antibacterial activity and cytocompatibility evaluation of the antimicrobial peptide Nal-P-113-loaded graphene oxide coating on titanium[J]. Dent Mater J, 2022, 41(6): 905-915.
- [27] Taj Z. In silico prediction and molecular simulation of antimicrobial peptide variants from Lactobacillus sp. against Porphyromonas gingivalis and Fusobacterium nucleatum in oral squamous cell carcinoma[J]. Peptide Sci, 2024, e24348.
- [28] Wu Z, Long W, Yin Y, et al. Outer membrane vesicles of Porphyromonas gingivalis: recent advances in pathogenicity and associated mechanisms[J]. Front Microbiol, 2025, 16: 1555868.
- [29] Desai H, Mahmoud MY, Tan J, et al. Assessment of CafA targeted BAR-encapsulated nanoparticles against oral biofilms[J]. Pharmaceutics, 2020, 12(9): 865.
- [30] Mahmoud MY, Steinbach-Rankins JM, Demuth DR. Functional assessment of peptide-modified PLGA nanoparticles against oral biofilms in a murine model of periodontitis[J]. J Control Release, 2019, 297: 3-13.

- [31] Del Rio G, Trejo Perez MA, Brizuela CA. Antimicrobial peptides with cell-penetrating activity as prophylactic and treatment drugs[J]. Biosci Rep, 2022, 42(9): BSR20221165.
- [32] Juretić D. Designed multifunctional peptides for intracellular targets[J]. Antibiotics, 2022, 11(9): 1224.
- [33] Braga RE, Najjar FZ, Murphy CL, et al. Carbonic anhydrases in bacterial pathogens[J]. The Enzymes, 2024, 55:31-342.
- [34] Ferraroni M, Angeli A, De Luca V, et al. Kinetic and structural studies of gamma-carbonic anhydrase from the oral pathogen Porphyromonas gingivalis[J]. J Struct Biol, 2025, 217(1): 108154.
- [35] Gerits E, Spincemaille P, De Cremer K, et al. Repurposing AM404 for the treatment of oral infections by Porphyromonas gingivalis[J]. Clin Exp Dent Res, 2017, 3(2): 69-76.
- [36] Yang KM, Kim JS, Kim HS, et al. Lactobacillus reuteri AN417 cell-free culture supernatant as a novel antibacterial agent targeting oral pathogenic bacteria[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 1631.
- [37] Maduratna E, Sari DS, Rahayu RP, et al. The anti-inflammatory effect of Nigella sativa toothpaste on Porphyromonas gingivalis bacteria through decreased TNF- α , MMP-9, PGE-2 expression in Wistar rats[J]. Eur J Dent, 2024, 18(3): 808-814.

(收稿日期:2025-03-17;修回日期:2025-11-25)

(本文编辑:侯晓林)

1 Impella 的原理及分型

Impella 是一种经皮介入的微轴流泵,其设计基于阿基米德螺旋原理。核心组件为轴流泵与导管,导管经皮穿刺血管后,轴流泵被精准地跨瓣置入左心室。通过轴流泵的旋转,将左心室血液经流入套管抽吸并加速排入升主动脉中,从而减轻心室的负荷,增加心输出量和冠状动脉灌注。冠状动脉灌注增加,心肌需氧量降低,从而促进心肌恢复;心输出量增加及平均动脉压升高,可改善周围器官灌注,促进多器官衰竭的恢复。目前,有 5 种类型可供选择:Impella 2.5,可提供 2.5 L/min 的血流量,用于短期血流支持,适用于高危经皮冠状动脉介入治疗(PCI)患者;Impella CP,具有更强的泵血能力,血流量可达 3.5~4.0 L/min,适用于心源性休克(CS)和高危 PCI;Impella 5.0 和 Impella 5.5,血流量分别高达 5.0 L/min、5.5 L/min,主要用于长时间的心脏支持,通常用于更严重的心力衰竭患者;以及于 2017 年被 FDA 批准用于右心室支持的 Impella RP,用于治疗右心室衰竭。

2 Impella 在心血管疾病中应用的特点

Impella 作为新型经皮微轴流泵,在心血管疾病治疗中展现出多维度优势,其临床应用需结合多学科协作,根据患者血流动力学状态、疾病阶段及并发症风险制定个体化治疗方案。其核心特点包括:①提供主动、连续的循环支持,不依赖心脏自身节律,尤其适用于心律失常患者,相较于 IABP 可显著增加心输出量(2.5~5.5 L/min),改善终末器官灌注,如在不升高血压的情况下降低肾阻抗指数,减少血管加压药相关急性肾损伤风险^[1];②通过早期左心室卸载实现“门-卸载”效应,减轻室壁应力及心肌耗氧,降低缺血再灌注损伤,在高危经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)和 AMI-CS 中展现心肌保护优势^[2,3]。③可联合 VA-ECMO 形成 ECPPELLA 模式,有效解决 ECMO 所致左心室后负荷增加问题,改善肺水肿和冠脉灌注;④适应证广泛,可处理传统机械辅助装置(如 IABP、VA-ECMO)受限于解剖或功能限制的复杂病例,实现个体化血流动力学支持,如双心室衰竭^[4]、严重主动脉狭窄患者完成高风险 PCI^[5];⑤特异性右心室支持装置 Impella RP 突破右心衰竭治疗瓶颈,通过下腔静脉-肺动脉分流改善肺循环及左心充盈。

【基金项目】四川省科技计划重点研发项目(编号:2020YFQ0060)

△通讯作者

3 Impella 的临床应用

3.1 CS CS 由多种心血管疾病引起,定义为一种组织灌注不足和终末器官功能障碍的状态,其原因是原发性心脏疾病导致低心输出量,可表现为不同阶段,尽管有不同的治疗方法,但仍是一种致死率极高(30%~60%)的病态综合征^[6]。AMI 是 CS 的主要病因,与非 ST 段抬高型心梗相比,ST 段抬高型心肌梗死更易发生 CS^[7],而非 AMI 患者中,心肌炎则是导致 CS 的主要原因^[8]。CS 患者常出现呼吸衰竭、血流动力学崩溃及多器官功能不全,机械循环支持因此在治疗中扮演关键角色。在 CS 早期(尤其是 AMI-CS)植入 Impella,可快速改善血流动力学稳定性,通过减少左心室做功和室壁应力,限制 AMI 后心肌损伤,可能缩小梗死面积^[2]。

Impella 与传统方法比较。IABP 通过舒张期球囊充气增加冠状动脉灌注、收缩期放气降低左心室后负荷,提供被动血流动力学支持,需与患者心脏节律同步,对心律失常患者效果受限,而 Impella 不依赖心脏自身节律,提供主动、持续的循环支持。并且,IABP 虽可改善心肌氧供需平衡,但对心输出量改善有限(仅 0.5~1.0 L/min),在严重心源性休克中,IABP 的获益可能低于连续流泵(如 Impella CP 或 TandemHeart)^[9]。“SHOCK II”研究^[10]发现,IABP 并未显著改善 CS 患者的 30 天生存率,因而不推荐。与之相比,早期植入 Impella 可显著降低 30 天死亡率,并改善器官灌注和长期预后。VA-ECMO 虽然能提供强大的血流动力学支持,但其逆向主动脉血流会增加左心室后负荷,导致主动脉瓣关闭障碍及心肌恢复受限^[11,12]。Impella 在促进心脏功能恢复、降低溶血风险、缩短住院时间及控制成本方面显示出一定优势。将 Impella 与 VA-ECMO 联合使用(ECPPELLA)有助于弥补单一装置的不足,解决 VA-ECMO 可能导致的后负荷增加左室卸载受到阻碍的问题(Impella 提供主动左心室卸载),改善肺水肿和冠脉灌注^[13,14],为治疗难治性 CS 提供了新选择。虽然其在改善生存率和神经功能恢复方面显示出潜力,但并发症发生率仍然较高,具体适应证尚需进一步研究^[12,15]。在血流动力学稳定的 CS 患者中,使用 Impella 左心室微轴流泵进行机械支持可显著降低肾阻抗指数,在不升高血压的情况下改善肾脏微循环,而大剂量血管加压药(如去甲肾上腺素)虽可维持血压,但会增加肾血管阻力,导致急性肾损伤^[1]。

3.2 AMI 及 PCI 在严重冠脉病变且心功能减退的高风险 PCI 人群中,围手术期可能出现血流动力学失代偿。Impella 可在 PCI 前提供机械循环支持,

降低心脏负担并改善冠脉灌注,PCI 术中维持血流动力学稳定,术后恢复支持。病例表明 Impella 对冠状动脉微循环有良好的影响。左心室卸载会降低左心室舒张末期压力,从而降低心内膜压力,减少心肌耗氧,改善冠脉微循环阻力^[16]。Impella 既通过左心室卸载减少了左室心肌氧需求,又通过改善微循环增加氧供,优于 IABP。

研究表明 PCI 前植入 Impella 可显著降低 30 天和 1 年死亡率^[17, 18]。一项荟萃分析发现,与 PCI 后植入相比,“先植入后 PCI”的策略可将 30 天死亡率从 61%降低至 41%,并减少心力衰竭再住院和左心室辅助装置的植入需求^[17]。“门-卸载”概念:Impella 通过降低室壁应力和心肌耗氧量,减少缺血再灌注损伤,同时提高冠脉血流量。研究强调了再灌注前左心室卸载对心肌保护的关键作用。美国心脏病学会(ACC)和欧洲专家共识均支持在高风险 PCI 患者中预防性使用 Impella^[19, 20]。《PROTECT II》研究结果表明,与 IABP 相比,Impella 2.5 能提供更优的血流动力学支持,并在 90 天内显著降低重大不良事件发生率,多项研究也证实了 Impella 在改善生存率,减少住院期间心肌梗死和 CS 发生方面的优势^[21]。

3.3 高风险心脏手术的血流动力学支持 对于需行高风险心脏手术,如经导管主动脉瓣置换术、高危瓣膜手术或瘢痕相关性室性心动过速治疗的患者,Impella 可在围手术期持续提供血流动力学支持,维持血压和心输出量。由此可降低手术并发症(包括心肌缺血、心律失常和急性肾损伤)风险,提升手术成功率并降低患者死亡率。具体应用实例包括:在严重主动脉瓣狭窄的经导管主动脉瓣置换手术中,Impella 支持可稳定血压和心输出量^[22]。室性心动过速治疗:对于因瘢痕导致的顽固性室速,Impella 支持可降低术中恶性心律失常发生率,提高安全性。在室性心动过速诱发或消融导致低血压时,Impella 可保证重要器官(脑、肾)灌注。即使室性心动过速被诱发,Impella 可维持血压,允许更长时间标测和消融^[23]。高风险瓣膜手术:已有研究证实,Impella 能减少手术并发症发生率,辅助患者顺利度过围手术期。术中 Impella 辅助脱离体外循环,仅需低剂量多巴酚丁胺。相比 VA-ECMO,Impella 简化撤机,减少左心血栓风险(尤其人工瓣膜术后)及出血并发症^[24]。急性室间隔破裂:为此类急症提供血流动力学支持,进一步降低外科修补的手术风险^[25]。

3.4 心脏移植桥接或等待心功能恢复的应用 作为短期桥接装置,Impella 可在等待心脏移植或心功

能恢复期间维持循环稳定,Impella 通过左心室卸载减少肺充血,促进血管逆重构,从而降低肺动脉压,有助于改善患者移植前状态并提高长期生存率^[26, 27]。一些终末期心力衰竭患者在使用 Impella 5.5 超过 50 天后,肺动脉高压等症状得到改善,从而获得心脏移植机会^[26]。研究显示,与 ECMO 相比,Impella 在减少出血、缩短术后恢复期及降低早期和一年死亡率方面更具优势,核心原理可能是 Impella 在血流动力学支持效率、并发症控制、移植前康复和终末器官保护方面具有生理学优势。比如,Impella 能够提供更高的流量,直接左心室减压,减少肺水肿,这可能改善器官灌注并促进恢复,而 ECMO 虽然能提供氧合和循环支持,但可能存在左心室负荷过重的问题,导致肺淤血和心肌恢复延迟;ECMO 因为需要全身抗凝和较大的插管,并发症如出血、血栓形成和感染可能更高,而 Impella 可能因为更稳定的血流和更少的抗凝需求,减少了这些并发症的发生;Impella 允许患者更早脱机,进行康复和移植前评估,这可能提高移植后的适应性^[28~30]。

3.5 Impella RP 在右心室衰竭的应用 右心室衰竭是一种由右心室功能障碍引起的临床综合征。Impella RP 是一种经皮植入的右心室辅助装置,通过将血液从下腔静脉泵入肺动脉,绕过功能不全的右心室,从而达到以下效果:减轻右心室后负荷;增加右心室前负荷;改善肺循环;间接提升左心室充盈和心输出量。Impella RP 特别适用于药物难治性的急性右心衰竭,尤其是在右心室为主的 CS 和心脏手术后出现的严重右心功能障碍中。研究表明,Impella RP 在右心室为主的 CS 中带来了良好的生存结局,并能有效改善右室心肌梗死后的右心衰竭患者的预后^[31]。对于在心脏手术或左心室辅助装置植入后出现严重右心功能障碍的患者,Impella RP 提供了有效的短期血流动力学支持^[32]。

4 Impella 植入时机的选择

4.1 再灌注前卸载的重要性 缺血再灌注损伤是 AMI 治疗中的主要挑战。再灌注前进行左心室卸载不仅能显著减小梗死面积,而且可改善心肌血流、线粒体功能与代谢需求。动物实验证实,再灌注前 30 分钟卸载可将梗死面积降低至 22.2%,而延迟卸载和单纯再灌注的梗死面积分别为 43.3%和 54.7%^[3]。“门-卸载”策略:强调在再灌注前及早启动机械卸载,以实现心肌更有效的保护。研究显示,再灌注前卸载的疗效优于再灌注后干预,且卸载时间越早,保护效果越明显^[33]。

4.2 早期干预的机制 Impella 通过左心室卸载发挥心肌保护作用的主要机制包括:减轻室壁应力^[34]降低心肌耗氧量;抑制炎症反应和细胞凋亡^[35];激活 SDF-1 α /CXCR4 信号通路,促进心肌修复^[36];改善钙处理机制与线粒体功能,减少心肌重构并保护长期心脏功能^[37]。

4.3 早期植入的临床证据 临床研究表明,在心源性休克或高危 PCI 情形下,早期植入 Impella (尤其在发病 12 小时内或血流动力学崩溃前)能显著提高短期和长期生存率,并改善器官灌注,减少再住院和并发症风险,PCI 术前应用 Impella CP 能够增强 AMI-CS 患者短期和长期的生存获益^[38]。

5 Impella 的挑战及未来展望

尽管 Impella 在短期使用中展现出显著的治疗效果,但高质量的随机对照试验仍然不足,且使用过程中并发症发生仍然是重要的挑战。常见并发症包括出血^[39]、血管相关事件、缺血性并发症、急性肾损伤^[40]、溶血^[41]、血小板减少、主动脉瓣反流。这些并发症不仅会延长患者的住院时长并加剧其痛苦,而且还可能致使死亡率有所上升。研究表明,与 IABP 相比,使用 Impella 的患者医疗资源利用率更高,且住院死亡率也更高^[40]。未来展望:加强并发症监测与管理:建立完善的流程,优化抗凝方案,管理溶血。优化植入流程:规范植入技术,使用影像学引导。持续改进技术:开发更先进的控制系统,改进装置设计。开展高质量临床研究:进行更大规模的随机对照试验,探索个性化治疗方案,评估经济成本效益。推动多学科协作:结合各领域专家意见,加强患者教育和家属支持。

6 小结

Impella 作为一种经皮植入的微轴泵短期心室辅助装置,在心源性休克、急性心肌梗死、高危 PCI、高风险心脏手术、心脏移植桥接以及右心功能衰竭等诸多临床情境中,均展现出有益的血流动力学支持作用,有效改善患者预后。同时,“门-卸载”策略和早期植入理念也为心肌保护和患者生存率提升提供了新的思路。然而,当前对 Impella 的应用仍面临多重挑战,包括出血、血管损伤及溶血等并发症风险高、缺乏足够的大规模随机对照试验等。未来通过不断优化技术、规范植入流程、加强并发症管理和开展高质量临床研究,Impella 有望在未来成为心血管疾病治疗的重要工具,为更多患者带来希望和更好的生活质量。

【参考文献】

[1] Markus B, Patsalis N, Chatzis G, et al. Impact of microaxillar me-

- chanical left ventricular support on renal resistive index in patients with cardiogenic shock after myocardial infarction; a pilot trial to predict renal organ dysfunction in cardiogenic shock [J]. *European Heart Journal: Acute Cardiovascular Care*, 2020, 9(2): 158-163.
- [2] Kapur NK, Qiao X, Paruchuri V, et al. Mechanical pre-conditioning with acute circulatory support before reperfusion limits infarct size in acute myocardial infarction [J]. *JACC: Heart Failure*, 2015, 3(11): 873-882.
- [3] Ko B, Drakos SG, Ibrahim H, et al. Percutaneous mechanical unloading simultaneously with reperfusion induces increased myocardial salvage in experimental acute myocardial infarction [J]. *Circulation: Heart Failure*, 2020, 13(1): e005893.
- [4] Kuchibhotla S, Esposito ML, Breton C, et al. Acute biventricular mechanical circulatory support for cardiogenic shock [J]. *Journal of the American Heart Association*, 2017, 6(10): e006670.
- [5] Karatolios K, Chatzis G, Luesebrink U, et al. Impella support following emergency percutaneous balloon aortic valvuloplasty in patients with severe aortic valve stenosis and cardiogenic shock [J]. *Hellenic Journal of Cardiology*, 2019, 60(3): 178-181.
- [6] Bernhardt AM, Copeland H, Deswal A, et al. The international society for heart and lung transplantation/heart failure society of America guideline on acute mechanical circulatory support [J]. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, 2023, 42(4): e1-e64.
- [7] Helgestad OK, Josiassen J, Hassager C, et al. Temporal trends in incidence and patient characteristics in cardiogenic shock following acute myocardial infarction from 2010 to 2017: a Danish cohort study [J]. *European journal of heart failure*, 2019, 21(11): 1370-1378.
- [8] Saito Y, Tateishi K, Toda K, et al. Complications and outcomes of Impella treatment in cardiogenic shock patients with and without acute myocardial infarction [J]. *Journal of the American Heart Association*, 2023, 12(17): e030819.
- [9] Rihal CS, Naidu SS, Givertz MM, et al. 2015 SCAL/ACC/HFSA/STS clinical expert consensus statement on the use of percutaneous mechanical circulatory support devices in cardiovascular care; endorsed by the American Heart Association, the Cardiological Society of India, and Sociedad Latino Americana de Cardiologia Intervencion; Affirmation of Value by the Canadian Association of Interventional Cardiology-Association Canadienne de Cardiologie d'intervention [J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2015, 65(19): e7-e26.
- [10] Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al. Intraaortic balloon support for myocardial infarction with cardiogenic shock [J]. *New England journal of medicine*, 2012, 367(14): 1287-1296.
- [11] Lüsebrink E, Binzenhöfer L, Kellnar A, et al. Venting during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Clinical Research in Cardiology*, 2023, 112(4): 464-505.
- [12] Gandhi KD, Moras EC, Niroula S, et al. Left ventricular unloading with impella versus IABP in patients with VA-ECMO: a systematic review and meta-analysis [J]. *The American journal of cardiology*, 2023, 208: 53-59.
- [13] Pappalardo F, Schulte C, Pieri M, et al. Concomitant implantation of Impella? on top of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation may improve survival of patients with cardiogenic shock [J]. *European journal of heart failure*, 2017, 19(3): 404-412.
- [14] Schrage B, Becher PM, Bernhardt A, et al. Left ventricular unloa-

- ding is associated with lower mortality in patients with cardiogenic shock treated with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation; results from an international, multicenter cohort study [J]. *Circulation*, 2020, 142(22): 2095-2106.
- [15] Nakata J, Yamamoto T, Saku K, et al. Mechanical circulatory support in cardiogenic shock [J]. *Journal of Intensive Care*, 2023, 11(1): 64.
- [16] Hamanaka Y, Sotomi Y, Kobayashi T, et al. Dynamic change of coronary microcirculation during cardiocirculatory support by the Impella [J]. *Cardiovascular Interventions*, 2020, 13(1): 135-137.
- [17] Leon SA, Rosen JL, Ahmad D, et al. Microaxial circulatory support for percutaneous coronary intervention: A systematic review and meta-analysis [J]. *Artificial Organs*, 2023, 47(6): 934-942.
- [18] Tarantini G, Masiero G, Burzotta F, et al. Timing of Impella implantation and outcomes in cardiogenic shock or high-risk percutaneous coronary revascularization [J]. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, 2021, 98(2): E222-E34.
- [19] Pietrasik A, G? secka A, Jasińska-Gniadzik K, et al. Roadmap towards an institutional Impella programme for high-risk coronary interventions [J]. *ESC heart failure*, 2023, 10(4): 2200-2213.
- [20] Chieffo A, Dudek D, Hassager C, et al. Joint EAPCI/ACVC expert consensus document on percutaneous ventricular assist devices [J]. *European Heart Journal Acute Cardiovascular Care*, 2021, 10(5): 570-83.
- [21] Lansky AJ, Tirziu D, Moses JW, et al. Impella versus intra-aortic balloon pump for high-risk PCI: a propensity-adjusted large-scale claims dataset analysis [J]. *The American journal of cardiology*, 2022, 185: 29-36.
- [22] Singh V, Mendirichaga R, Inglessis-Azuaje I, et al. The role of Impella for hemodynamic support in patients with aortic stenosis [J]. *Current treatment options in cardiovascular medicine*, 2018, 20: 1-9.
- [23] Muser D, Liang JJ, Castro SA, et al. Outcomes with prophylactic use of percutaneous left ventricular assist devices in high-risk patients undergoing catheter ablation of scar-related ventricular tachycardia: a propensity-score matched analysis [J]. *Heart rhythm*, 2018, 15(10): 1500-1506.
- [24] Amabili P, Debroux G, Lancellotti P, et al. Use of percutaneous ventricular assist device as bridge to high risk combined heart valve surgery [J]. *Acta Cardiologica*, 2024, 79(4): 501-506.
- [25] Chen T, Liu Y, Zhang J, et al. Percutaneous closure of ventricular septal rupture after myocardial infarction: a retrospective study of 81 cases [J]. *Clinical Cardiology*, 2023, 46(7): 737-744.
- [26] Sharma S, Ruiz J, Paghdar S, et al. Revisiting pulmonary hypertension in the era of temporary mechanical circulatory support-literature review and case-based discussion [C]. *Transplantation Proceedings*, 2023, 55(10): 2462-2469.
- [27] Fried J, Farr M, Kanwar M, et al. Clinical outcomes among cardiogenic shock patients supported with high-capacity Impella axial flow pumps: a report from the cardiogenic shock working group [J]. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, 2024, 43(9): 1478-1488.
- [28] Barge CE, Almenar BL, Gonzalez VF, et al. Clinical outcomes of temporary mechanical circulatory support as a direct bridge to heart transplantation: a nationwide Spanish registry [J]. *European Journal of Heart Failure*, 2018, 20(1): 178-186.
- [29] Moonsamy P, Axtell AL, Ibrahim NE, et al. Survival after heart transplantation in patients bridged with mechanical circulatory support [J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2020, 75(23): 2892-2905.
- [30] Pahwa S, Dunbar-Matos C, Slaughter MS, et al. Use of Impella in patients listed for heart transplantation [J]. *ASAIO Journal*, 2022, 68(6): 786-790.
- [31] Kremer J, Farag M, Brcic A, et al. Temporary right ventricular circulatory support following right ventricular infarction: results of a groin-free approach [J]. *ESC Heart Failure*, 2020, 7(5): 2853-2861.
- [32] Monteagudo-Vela M, Tindale A, Monguió-Santfín E, et al. Right ventricular failure: Current strategies and future development [J]. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2023, 10: 998382.
- [33] Acharya D. Unloading and reperfusion in myocardial infarction: a matter of time [J]. *Circ Heart Fail*, 2020, 13(1): e006718.
- [34] Kapur NK, Paruchuri V, Urbano-Morales JA, et al. Mechanically unloading the left ventricle before coronary reperfusion reduces left ventricular wall stress and myocardial infarct size [J]. *Circulation*, 2013, 128(4): 328-336.
- [35] Goodwin ML, Selzman CH. Take a load off: unloading and reperfusion [J]. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2021, 161(6): 2046-2050.
- [36] Esposito ML, Zhang Y, Qiao X, et al. Left ventricular unloading before reperfusion promotes functional recovery after acute myocardial infarction [J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2018, 72(5): 501-514.
- [37] Wei X, Li T, Hagen B, et al. Short-term mechanical unloading with left ventricular assist devices after acute myocardial infarction conserves calcium cycling and improves heart function [J]. *JACC: Cardiovascular Interventions*, 2013, 6(4): 406-415.
- [38] Basir MB, Lemor A, Gorgis S, et al. Early utilization of mechanical circulatory support in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock: the national cardiogenic shock initiative [J]. *Journal of the American Heart Association*, 2023, 12(23): e031401.
- [39] Van Edom CJ, Gramegna M, Baldetti L, et al. Management of bleeding and hemolysis during percutaneous microaxial flow pump support: a practical approach [J]. *Cardiovascular Interventions*, 2023, 16(14): 1707-1720.
- [40] Dodoo SN, Kwapong YA, Agyemang-Sarpong A, et al. Comparative healthcare resource utilization of percutaneous mechanical circulatory support using impella versus intra-aortic balloon pump use for patients with acute coronary syndrome and cardiogenic shock undergoing percutaneous coronary interventions: insights from national inpatient sample [J]. *Current Problems in Cardiology*, 2024, 49(1): 102053.
- [41] Balthazar T, Van Mieghem NM, Raes M, et al. Short-term percutaneous mechanical circulatory support: no promise without positioning! [J]. *European Heart Journal: Acute Cardiovascular Care*, 2023, 12(12): 869-877.

(收稿日期:2025-02-28;修回日期:2025-05-12)

(本文编辑:彭 羽)