

经皮心室辅助装置在复杂高危冠状动脉介入治疗中的应用进展

管翔¹ 王宇² 张成糕² 周健¹ 张艺² 李庆国¹

(1. 南京医科大学第二附属医院心血管中心, 江苏 南京 210011; 2. 南京航空航天大学自动化学院, 江苏 南京 210000)

【摘要】 经皮冠状动脉介入治疗(PCI)技术的进展使得过去无法接受干预的复杂高危冠心病患者能够进行血运重建,但 PCI 过程可能对患者血流动力学造成不良影响,加重心功能不全。经皮心室辅助装置能在 PCI 过程中提供稳定的血流动力学保障,提高血运重建的安全性,因此经皮心室辅助装置作为复杂高危 PCI 的辅助手段可能是改善临床结果的关键。心室内轴流泵(Impella)系统、体外离心泵(TandemHeart)系统和体外膜氧合是当前较为新颖的经皮心室辅助装置,现就上述设备在复杂高危 PCI 中的应用现状和进展进行综述。

【关键词】 经皮心室辅助装置;经皮冠状动脉介入治疗;Impella;TandemHeart;体外膜氧合

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2022.05.003

Application Progress of Percutaneous Ventricular Assist Device in Complex High-Risk Coronary Intervention

GUAN Xiang¹, WANG Yu², ZHANG Chenggao², ZHOU Jian¹, ZHANG Yi², LI Qingguo¹

(1. Cardiovascular Center, The Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210011, Jiangsu, China; 2. College of Automation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210000, Jiangsu, China)

【Abstract】 Advances in percutaneous coronary intervention(PCI) technology have enabled revascularization in patients with complex high-risk coronary artery atherosclerotic heart disease who were previously unable to undergo intervention. However, the PCI procedure may adversely affect the patient's hemodynamics and exacerbate cardiac insufficiency. The percutaneous ventricular assist device(pVAD) can provide stable hemodynamic guarantee during PCI and improve the safety of revascularization. Therefore, as an auxiliary means of complex high-risk PCI, pVAD may be the key to improve clinical results. Intraventricular axial flow pump(Impella) system, extracorporeal centrifugal pump(TandemHeart) system and extracorporeal membrane oxygenation are relatively novel percutaneous ventricular assist devices. This article reviews the application and development of these devices in complex high-risk PCI.

【Key words】 Percutaneous ventricular assist device; Percutaneous coronary intervention; Impella; TandemHeart; Extracorporeal membrane oxygenation

近年来经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)技术取得了巨大的进展,冠状动脉腔内斑块旋磨术和分叉病变介入治疗技术等新方法的出现,使得过去无法接受 PCI 的复杂高危有介入手术指征的患者(complex higher-risk and indicated patient, CHIP)能够获得血运重建^[1],然而 PCI 过程中每一个步骤都可能造成血管损伤和心肌灌注不良。由于 CHIP 多数存在左心室功能障碍,复杂的 PCI 会影响患者血流动力学,手术成功率较低并且术后的 1 年死亡率较普通患者更高^[2]。经皮心室辅助装置(percutaneous ventricular assist device, pVAD)是

一种生命支持方式,能在复杂 PCI 手术时为 CHIP 提供稳定的血流动力学,减少心室做功和心肌耗氧量,同时保持全身和冠状动脉灌注^[3]。选择合适的 pVAD 可提高 CHIP 对心肌缺血的耐受,维持有效的循环,使其有足够的时间安全地进行复杂 PCI,并获得最佳的结果^[4]。现就目前常见的 pVAD 即主动脉内球囊反搏(intra-aortic balloon pump, IABP)、Impella、TandemHeart 和体外膜氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)在复杂高危 PCI 中的应用现状及进展进行综述。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(82170503);江苏省重点研发技术(社会发展)(BE2021749)

通信作者:李庆国, E-mail:liqg@nju.edu.cn

1 pVAD 辅助下 CHIP 的 PCI

CHIP 具有如下特征:(1)无法耐受外科手术并且存在多种并发症,例如高龄(>75 岁)、糖尿病、肾功能不全[肌酐清除率<30 mL/(min·1.73 m²)]和高出血风险以及既往有冠状动脉旁路移植术病史等;(2)冠状动脉解剖复杂,如存在慢性完全闭塞病变、分叉病变、无保护左主干病变和静脉移植术再狭窄等;(3)合并明显的血流动力学异常,如左室射血分数低(≤35%)。除了以上临床特征外,是否有介入治疗的指征也很关键^[5]。CHIP 的完全血运重建过程可能导致短暂的冠状动脉和全身性低灌注,从而引发循环衰竭,因此对于这类患者需采取有效的措施以应对可能发生的血流动力学损害^[6]。pVAD 的基本原理是通过降低心脏后负荷和心室充盈压力,增加患者的心输出量和平均动脉压,确保冠状动脉及重要器官的灌注,保障稳定的血流动力学条件,避免长时间复杂 PCI 过程中发生循环衰竭。

2 复杂高危 PCI 中常用的 pVAD

2.1 IABP

IABP 是中国应用最为广泛的 pVAD,因其能增加约 10% 的心输出量,过去一直在复杂和高危 PCI 中用于稳定患者的血流动力学。但 IABP 必须依赖于心脏自身节律,不能主动辅助心脏做功,因此也有学者将 IABP 单独作为一种机械辅助循环装置而不属于 pVAD。近年来研究表明无证据显示 IABP 能独立改善 CHIP 的预后。IABP-Shock II 试验^[7]对 600 例急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)合并心源

性休克且接受了早期血运重建的患者进行了研究,结果显示 IABP 组与对照组相比,在 AMI 后 30 d、1 年^[8]和 6 年^[9]的存活率并无改善。IABP 在 AMI 合并心源性休克患者中的使用正在减少,其常规使用最近已被欧洲心脏病学会指南降至 III 级^[10],被美国心脏协会/美国心脏病学会指南降至 II a 级^[11]。Khalid 等^[12]开展的一项单中心研究同样显示 IABP 用于高风险的 PCI 并不能降低患者短期和长期的死亡率。

由于全球很多地区(包括中国)缺乏有效的替代治疗方案,IABP 广泛用于 AMI 合并心源性休克、高风险 PCI 以及冠状动脉旁路移植术。一项回顾性研究^[13]分析了华中科技大学同济医学院附属同济医院 2009—2019 年收治的 24 例 AMI 合并室间隔穿孔患者,结果显示与单纯药物治疗相比,IABP 的使用可显著降低患者的死亡率($OR = 0.039, 95\% CI 0.002 \sim 0.713, P = 0.029$)。一项探讨预防性置入 IABP 应用于高危冠心病行冠状动脉旁路移植术患者的疗效分析回顾性研究^[14]中显示术前预防性置入 IABP 可降低患者围手术期病死率,降低术后急性肾损伤、低心排量综合征和多器官功能衰竭的发生率等。

2.2 Impella

Impella 2.5 是 Impella 系列产品中最具代表性的一款,见表 1。该设备在 2008 年获得美国食品和药物管理局批准应用于临床^[15]。其能降低左心室前负荷从而减少左心室做功和心肌耗氧,提高心输出量和平均动脉压,改善冠状动脉及全身灌注,继而带来肺毛细血管楔压的降低和右心室后负荷的减少^[16]。

表 1 Impella 系列设备血管入路及参数

参数	Impella 2.5	Impella CP	Impella 5.0/LD	Impella RP
血管入路	股动脉穿刺	股动脉穿刺	股骨切开或腋动脉	股静脉穿刺
最大流量/(L·min ⁻¹)	2.5	4.3	5	>4
导管规格/F	9	9	9	11
电机规格/F	12	14	21	22
最高转速/(r·min ⁻¹)	51 000	46 000	33 000	33 000

关于 Impella 2.5 在高危 PCI 中应用的可行性和安全性在几项研究^[16-21]中已得到证明。AMC (Academic Medical Center) 的一项研究^[17]中,19 例中至重度左心功能不全(射血分数<40%)的 CHIP 接受了 Impella 2.5 支持下无保护左主干或多支血管病变的 PCI,所有患者均顺利完成设备置入并且未发生重要的设备相关不良事件;PROTECT I 研究^[18]表明了 Impella 应用的安全性,并且能提供良好的血流动力学支持。

欧洲多中心注册登记研究^[19]回顾分析了 144 例接受 Impella 2.5 支持下进行高风险 PCI 的患者,结果

显示 99% 患者的血管血运重建获得成功,在多支血管重建患者中成功率为 90%。术后 6 个月和 12 个月的生存率分别为 91% 和 81%^[20]。

PROTECT II 试验是大规模的前瞻性随机临床研究,以研究 Impella 2.5 在接受高危 PCI 患者中的血流动力学支持效果及 Impella 2.5 支持在高风险 PCI 中的潜在益处。在这项多中心研究^[21]中,共入选 452 例三支冠状动脉血管病变或无保护左主干病变合并严重心力衰竭的患者,结果显示 Impella 组血流动力学指标较 IABP 组改善更显著,但二者 30 d 的主要不良事件发生率并无明显差异。

一项研究回顾性分析了 250 例接受 Impella 支持的 PCI 的患者与 250 例对照者的匹配数据。在 Impella 支持的患者中进行左主干 PCI 的频率更高 (26% vs 11%, $P < 0.001$), 旋切术使用率更高 (44% vs 37%, $P = 0.1$), 血运重建的血管数量也更多。Impella 组和对照组之间 1 年主要不良事件发生率相似^[22]。上述几项研究证实 Impella 能为进行 PCI 的 CHIP 提供安全和有效的血流动力学支持, 促进了复杂的 PCI 的执行和更完全的血运重建。由于 Impella 等 pVAD 具有更好的血流动力学支持和较低的设备相关并发症发生率, 同时通过合理选择设备使用时机, 越来越多的数据显示 pVAD 辅助下 CHIP 的临床结果能得到明显的改善^[23-24]。

此外 Impella ECP 是一种可折叠的介入导管式心室辅助泵, 其跨越主动脉瓣的泵送部分能在血管内从 9 F 扩展至 18 F, 在结束心室辅助治疗后, 整个泵送部分能回缩至 9 F 的鞘管内并从人体撤出。2020 年美国食品和药物管理局批准 Impella ECP 进行临床研究, 目前还未作为成熟器械进行广泛应用。

2.3 TandemHeart

TandemHeart 是一种由连续血流离心泵驱动的 pVAD, 可用于左、右心室辅助及双心室辅助。引流导管外径 21 F, 经股静脉或颈内静脉入路穿刺房间隔置入左心房, 血泵转速为 3 000 ~ 7 500 r/min, 可提供 3.6 ~ 5.0 L/min 的流量^[25]。TandemHeart 能显著增加心输出量并降低左心负荷, 减少心肌耗氧量, 降低肺毛细血管楔压、中心静脉压、肺动脉压和双心室充盈压^[26]。TandemHeart 应用中需一定程度的右心室功能来维持必要的左心房容量, 当右心衰竭发生时可将跨房间隔的引流导管重新定位到右心房并连接体外膜氧合器以进行双心室辅助^[27]。

目前 TandemHeart 在高危 PCI 中的应用仅限于一些回顾性研究。Vranckx 等^[26]进行的一项单中心研究显示, 2000—2006 年该中心成功为 23 例患者置入 TandemHeart 以进行急诊或择期 PCI, 其中 21 例患者 PCI 手术成功, 研究认为 TandemHeart 能在高风险 PCI 情况下提供有效的心功能支持。

来自 Mayo Clinic 的一项研究^[28]总结了 54 例患者应用 TandemHeart 进行高危 PCI 的数据, 所有患者术前评估均属于高风险手术并且多数患者接受了左主干和多支血管 PCI 血运重建。研究结果显示 97% 的患者 PCI 前成功置入 TandemHeart, PCI 过程中患者的左心室充盈压和肺毛细血管楔压显著降低, 同时平均动脉压显著增加, 血流动力学明显改善。近期 Grobkehtler 等^[29]报道了成功为 3 例左主干严重钙化

并发 AMI 的患者在 TandemHeart 辅助下进行介入治疗的病例。Tandemheart 用于复杂高危 PCI 能提供有效的循环支持, 但现有研究关于 TandemHeart 用于高风险 PCI 的可行性和安全性并不够全面, 仍需多中心和随机对照试验评价其对死亡率的影响。

对于高危 PCI 如何选择心室辅助装置尚无公认的标准, 一项 meta 分析^[30]包括其中 8 项队列研究纳入的 205 例 PCI 期间接受 TandemHeart 支持的患者和其中 12 项研究纳入的 1 346 例 PCI 期间使用 Impella 2.5 支持的患者, 研究发现使用 TandemHeart 的患者 30 d 死亡率为 8.0%, 出血发生率为 3.6%, 而使用 Impella 2.5 的患者死亡率和出血发生率分别为 3.5% 和 7.1%, 总体围手术期结果在两组之间具有可比性。现尚缺乏更大规模针对不同 pVAD 的研究, 以明确不同患病人群的最佳 pVAD 策略。

2.4 ECMO

根据中国医师协会体外生命支持专业委员会数据, 2020 年全国共计 500 家医院上报 ECMO 的总例数为 6 937 例, 较 2019 年的 6 526 例增加了 6.3%, 同时 ECMO 也在新冠疫情中显现了重要作用。根据插管方式和支持模式不同, ECMO 分为静脉-静脉 (VV) 和静脉-动脉 (VA) 等模式。其中 VA-ECMO 能显著地增加心输出量和平均动脉压, 但可能会导致左心室后负荷的增大, 导致心源性休克患者出现左心室舒张末压和肺毛细血管楔压的增加以及每搏输出量的减少, 进一步加剧左心室充血状态^[31]。通常选择联用 IABP 或下调 ECMO 流量以允许左心室自身射血, 也可行房间隔造口术, 或联合应用 TandemHeart 和 Impella, 直接降低左心室负荷^[32-33]。ECMO 与 Impella 联用称为 ECPELLA, 一项研究^[34]表明 ECPELLA 支持下的 PCI 能减少 ST 段抬高型心肌梗死伴严重心源性休克患者的心肌损伤。VA-ECMO 相关的不良事件包括出血、管道或全身血栓栓塞事件、插管引起的血管损伤、感染、缺血性或出血性卒中、溶血和肢体缺血^[35]。

在有 12 例 CHIP 患者 [平均年龄 (63.5 ± 8.7) 岁] 需 ECMO 支持下行 PCI 治疗的单中心前瞻性研究显示: 所有患者 PCI 手术均获成功, 术后 6 个月的随访期间未发生死亡或 AMI。此外, 住院期间未发生重大的心脏或脑血管不良事件^[36]。由于该研究样本量小, 虽然认为 ECMO 支持的择期高危 PCI 对于 CHIP 是一种可行的选择, 但目前只是一种概念上的可行, 仍需更多临床试验的验证。一项单中心研究^[37]统计了在 VA-ECMO 支持下接受复杂和高风险 PCI 患者的院内随访的临床结果, 显示无院内及 1 年主要不良事件发生, 证明 ECMO 用于 CHIP 的可行性和有效性。EURO

SHOCK^[38]是一项正在开展的随机和多中心临床试验,目前正在招募患者,旨在研究对于 PCI 后出现心源性休克患者早期开始 VA-ECMO 治疗是否能改善患者的死亡率。

3 pVAD 的选择

对于考虑使用 pVAD 辅助的 CHIP,应仔细评估 pVAD 辅助下 PCI 的风险和获益,更提倡在临床实践中个性化地使用 pVAD,而不是仅参照标准化的流程。在选择 pVAD 时,尤其是预防性使用时,应关注患者的冠状动脉和心脏解剖特点、血流动力学特征、设备的血流动力学影响以及设备是否能快速植入等^[39]。

对于择期非复杂 PCI 的患者可考虑将 IABP 作为一线的 pVAD 选择,但对于接受保护性 PCI 的患者,随机数据和注册信息未显示出 IABP 辅助的获益^[40]。Impella 2.5 或 Impella CP 较 IABP 能提供更强大的血流动力学支持,鉴于 PROTECT II 试验的结果,Impella 2.5 可用于 CHIP 的 PCI。对于需长时间球囊扩张,可能导致显著心肌缺血的复杂 PCI,可考虑应用 Impella CP;在 Impella 2.5 或 Impella CP 支持下但病情仍然恶化的患者,可考虑使用流量更大的 TandemHeart、VA-ECMO 或 Impella 5;对于出现双心室或呼吸循环衰竭的患者,建议 VA-ECMO 作为首选;对于伴有心源性休克的孤立性右心室心力衰竭患者,Impella RP 可作为考虑^[41]。

4 结语

CHIP 存在复杂的冠状动脉病变和严重的心功能不全,一般不符合外科手术指征,而复杂高危的 PCI 又容易导致患者术中或术后的循环崩溃。《经皮机械循环辅助临床应用及管理中国专家共识》指出高危 PCI 应用 pVAD 能降低围手术期风险,建议行高危 PCI 时可采用经皮机械辅助循环装置进行循环辅助。作为循环辅助的手段,pVAD 可带来血流动力学的获益。除了上述介绍,还有一些其他原理各异的 pVAD,如 Aortix,一种固定在主动脉内的心室辅助泵,以及 REITAN 导管泵等,其原理均是为了通过介入放置心室辅助装置的方式增加全身或局部的血供,降低心脏负荷^[42]。pVAD 的应用需要临床医生能快速地评估患者的临床表现、血流动力学特征和病理解剖,以选择最合适的装置,同时应注意该过程中需多学科心脏团队进行决策,重视装置运转后的管理,才能最大程度地提高患者的生存率。

参考文献

[1] Assali M, Buda KG, Megaly M, et al. Update on chronic total occlusion percutaneous coronary intervention[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2021, 69: 27-34.
[2] Brener SJ, Cunn GJ, Desai PH, et al. A novel risk score to predict one-year

mortality in patients undergoing complex high-risk indicated percutaneous coronary intervention (CHIP-PCI) [J]. *J Invasive Cardiol*, 2021, 33 (4): 253-258.

- [3] Chieffo A, Dudek D, Hassager C, et al. Joint EAPCI/ACVC expert consensus document on percutaneous ventricular assist devices [J]. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*, 2021, 10(5): 570-583.
- [4] 中国医师协会心力衰竭专业委员会, 国家心血管病专家委员会心力衰竭专业委员会, 中华心力衰竭和心肌病杂志编辑委员会. 经皮机械循环辅助临床应用及管理中国专家共识[J]. *中华心力衰竭和心肌病杂志*, 2020, 4 (3): 145-158.
- [5] Kirtane AJ, Doshi D, Leon MB, et al. Treatment of higher-risk patients with an indication for revascularization: evolution within the field of contemporary percutaneous coronary intervention [J]. *Circulation*, 2016, 134(5): 422-431.
- [6] Wilkinson SE, Berkompas DC, Fanning JS, et al. Supporting high-risk percutaneous coronary interventions with mechanical devices [J]. *JACC Case Rep*, 2020, 2(5): 702-704.
- [7] Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al. Intraaortic balloon support for myocardial infarction with cardiogenic shock [J]. *N Engl J Med*, 2012, 367 (14): 1287-1296.
- [8] Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock (IABP-SHOCK II): final 12 month results of a randomised, open-label trial [J]. *Lancet*, 2013, 382(9905): 1638-1645.
- [9] 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.
- [10] Ibanez B, James S, Agewall S, et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: the task force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC) [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(2): 119-177.
- [11] O' Gara PT, Kushner FG, Ascheim DD, et al. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of ST-elevation myocardial infarction: executive summary: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines [J]. *Circulation*, 2013, 127(4): 529-555.
- [12] Khalid N, Zhang C, Shea C, et al. Unprotected left main percutaneous coronary intervention with or without hemodynamic support [J]. *Am J Cardiol*, 2021, 154 (2): 29-32.
- [13] 周迟, 蒋建刚. 急性心肌梗死合并室间隔穿孔患者行主动脉内球囊反搏的疗效 [J]. *中国心血管杂志*, 2021, 26(2): 4.
- [14] 郑道阔, 葛振伟, 朱喜亮, 等. 预防性置入主动脉内球囊反搏应用于高危冠心病行冠状动脉旁路移植术患者的临床疗效分析 [J]. *中国心血管病研究*, 2021, 19(3): 5.
- [15] Burzotta F, Trani C, Doshi SN, et al. Impella ventricular support in clinical practice: collaborative viewpoint from a European expert user group [J]. *Int J Cardiol*, 2015, 201: 684-691.
- [16] Iannaccone M, Albani S, Giannini F, et al. Short term outcomes of Impella in cardiogenic shock: a review and meta-analysis of observational studies [J]. *Int J Cardiol*, 2021, 324: 44-51.
- [17] Henriques JP, Remmelink M, Baan J Jr, et al. Safety and feasibility of elective high-risk percutaneous coronary intervention procedures with left ventricular support of the Impella Recover LP 2.5 [J]. *Am J Cardiol*, 2006, 97 (7): 990-992.
- [18] Dixon SR, Henriques JP, Mauri L, et al. A prospective feasibility trial investigating the use of the Impella 2.5 system in patients undergoing high-risk percutaneous coronary intervention (The PROTECT I Trial): initial U. S. experience [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2009, 2(2): 91-96.
- [19] Sjaun KD, Konorza T, Erbel R, et al. Supported high-risk percutaneous coronary

- intervention with the Impella 2.5 device the Europella registry [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 54(25):2430-2434.
- [20] Burzotta F, Paloscia L, Trani C, et al. Feasibility and long-term safety of elective Impella-assisted high-risk percutaneous coronary intervention: a pilot two-centre study [J]. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*, 2008, 9(10):1004-1010.
- [21] 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.
- [22] Azzalini L, Johal GS, Baber U, et al. Outcomes of Impella-supported high-risk nonemergent percutaneous coronary intervention in a large single-center registry [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2021, 97(1):E26-E33.
- [23] Basir MB, Kapur NK, Patel K, et al. Improved outcomes associated with the use of shock protocols: updates from the national cardiogenic shock initiative [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2019, 93(7):1173-1183.
- [24] Ameloot K, Bastos M, Daemen J, et al. New-generation mechanical circulatory support during high-risk PCI: a cross-sectional analysis [J]. *EuroIntervention*, 2019, 15(5):427-433.
- [25] Neuzil P, Kmonicek P, Skoda J, et al. Temporary (short-term) percutaneous left ventricular assist device (Tandem Heart) in a patient with STEMI, multivessel coronary artery disease, cardiogenic shock and severe peripheral artery disease [J]. *Acute Card Care*, 2009, 11(3):146-150.
- [26] Vranckx P, Schultz CJ, Valgimigli M, et al. Assisted circulation using the TandemHeart during very high-risk PCI of the unprotected left main coronary artery in patients declined for CABG [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2009, 74(2):302-310.
- [27] Dhruva SS, Ross JS, Mortazavi BJ, et al. Use of mechanical circulatory support devices among patients with acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock [J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(2):e2037748.
- [28] Alli OO, Singh IM, Holmes DR, et al. Percutaneous left ventricular assist device with TandemHeart for high-risk percutaneous coronary intervention: the Mayo Clinic experience [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2012, 80(5):728-734.
- [29] Großekettler L, Schmack B, Katus HA, et al. Case series of high-risk percutaneous coronary intervention with rotational atherectomy under short-term mechanical circulatory support with TandemHeart in the setting of acute myocardial infarction [J]. *Eur Heart J Case Rep*, 2020, 4(4):1-6.
- [30] Briasoulis A, Telila T, Palla M, et al. Meta-analysis of usefulness of percutaneous left ventricular assist devices for high-risk percutaneous coronary interventions [J]. *Am J Cardiol*, 2016, 118(3):369-375.
- [31] Ricarte Bratti JP, Cavayas YA, Noly PE, et al. Modalities of left ventricle decompression during VA-ECMO therapy [J]. *Membranes (Basel)*, 2021, 11(3):209.
- [32] Kowalewski M, Malvindi PG, Zieliński K, et al. Left ventricle unloading with veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock. Systematic review and meta-analysis [J]. *J Clin Med*, 2020, 9(4):1039.
- [33] Amancherla K, Menachem JN, Shah AS, et al. Limited balloon atrial septostomy for left ventricular unloading in peripheral extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Card Fail*, 2021, 27(4):501-504.
- [34] Unoki T, Kametani M, Matsuura J, et al. Percutaneous coronary intervention on combined VA-ECMO and IMPELLA (ECPELLA) support may reduce myocardial damage in cardiogenic shock patients with STEMI who required mechanical circulatory support [J]. *Eur Heart J*, 2021, 10(suppl_1):1534.
- [35] Cheng R, Hachamovitch R, Kittleson M, et al. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: a meta-analysis of 1,866 adult patients [J]. *Ann Thorac Surg*, 2014, 97(2):610-616.
- [36] Tomasello SD, Boukhris M, Ganyukov V, et al. Outcome of extracorporeal membrane oxygenation support for complex high-risk elective percutaneous coronary interventions: a single-center experience [J]. *Heart Lung*, 2015, 44(4):309-313.
- [37] Shaikat A, Hryniewicz-Czeneszew K, Sun B, et al. Outcomes of extracorporeal membrane oxygenation support for complex high-risk elective percutaneous coronary interventions: a single-center experience and review of the literature [J]. *J Invasive Cardiol*, 2018, 30(12):456-460.
- [38] Banning AS, Adriaenssens T, Berry C, et al. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in patients with cardiogenic shock: rationale and design of the randomised, multicentre, open-label EURO SHOCK trial [J]. *EuroIntervention*, 2021, 16(15):e1227-e1236.
- [39] Atkinson TM, Ohman EM, O'Neill WW, et al. A practical approach to mechanical circulatory support in patients undergoing percutaneous coronary intervention: an interventional perspective [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2016, 9(9):871-883.
- [40] Curtis JP, Rathore SS, Wang Y, et al. Use and effectiveness of intra-aortic balloon pumps among patients undergoing high risk percutaneous coronary intervention: insights from the National Cardiovascular Data Registry [J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2012, 5(1):21-30.
- [41] Randhawa VK, Hoffman K, Bock A, et al. Impella RP as a bridge to cardiac transplant for refractory late right ventricular failure in setting of left ventricular assist device [J]. *ESC Heart Fail*, 2020, 7(4):1972-1975.
- [42] Kapur NK, Esposito ML, Whitehead E. Aortix™: a novel intra-aortic entrainment pump [J]. *Future Cardiol*, 2021, 17(2):283-291.

收稿日期:2021-09-12