

# 我国院前体外心肺复苏的实践现状及其预后危险因素和管理对策

周亮亮<sup>1</sup> 陈建军<sup>1</sup> 吴婧<sup>1</sup> 邓义军<sup>1</sup> 丁仁彧<sup>2</sup>

<sup>1</sup>盐城市第一人民医院急诊医学科危重症监护病区,江苏盐城 224000;<sup>2</sup>中国医科大学附属第一医院重症医学科,辽宁沈阳 110000

通信作者:丁仁彧,Email:renyuding@126.com

**【摘要】** 随着体外膜肺氧合(ECMO)的逐步开展和普及,我国部分地级市医疗机构开展并形成了自身的院前体外心肺复苏(ECPR)模式。尽管各地级市发展水平不一,开展时间有先后,但大致都会经历ECMO—院内ECPR—院前ECPR—专业医学复苏中心的发展历程,其中院内ECPR由于复苏及时、复苏质量有保证,ECPR团队启动速度快等优点,目前成功率高,患者遗留神经系统并发症的比例低;而院前ECPR难度更大,由于需要院前—院内急救力量联动、多学科协作,ECPR启动前复苏质量无法得到充分保证、低灌注持续时间长等因素使患者无神经功能损伤生存率较院内ECPR明显降低。我国人口基数大,综合国内外资料,每年60岁以下院外心搏骤停患者不低于数百万,因此提高院前ECPR的生存率大有可为。院前ECPR是资源和技术集中的项目,对医疗机构多学科诊疗能力有较高要求,院前—院内ECPR团队实施流程的优化、ECPR介入时机提前、患者的选择、ECPR后多学科诊疗能力的支持和建设、相关并发症和危险因素的管理与ECPR患者预后密切相关,脑和心脏的可恢复性是目前制约ECPR后患者生存率进一步提高的关键因素。鉴于神经功能的恢复主要取决于前期的低灌注持续时间,ECPR实施后的院内治疗主要是低温脑保护策略,但其效果尚有争议,因此,心脏功能的恢复是神经预后之外严重制约ECPR后患者生存的关键。ECPR后心脏的可恢复性可以从多角度实施,如ECPR实施后心脏自身的匹配、心脏与ECMO的匹配等病理生理问题的研究,相应对策的提出有助于提高ECPR后患者生存率。大量人口和潜在可挽救人群使ECPR技术在我国三级医院开展具有紧迫性和必要性,挑战与机遇并存。

**【关键词】** 体外心肺复苏; 院外心搏骤停; 危险因素; 左心室减压; 预后

**基金项目:** 江苏省盐城市卫生健康委员会医科科研项目(PC20230805004)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240714-00586

## Current practice, prognostic risk factors and management strategies of pre-hospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in China

Zhou Liangliang<sup>1</sup>, Chen Jianjun<sup>1</sup>, Wu Jing<sup>1</sup>, Deng Yijun<sup>1</sup>, Ding Renyu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Emergency Intensive Care Unit, Yancheng First People's Hospital, Yancheng 224000, Jiangsu, China; <sup>2</sup>Department of Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital of China Medical University, Shenyang 110000, Liaoning, China

Corresponding author: Ding Renyu, Email: renyuding@126.com

**【Abstract】** With the gradual development and popularization of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in China, some prefecture-level medical institutions in China have carried out and formed their own pre-hospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) model. Although the development levels of various prefecture-level cities are uneven and the start times vary, at present, the prefecture-level hospitals in China generally go through the development process of ECMO—in-hospital ECPR—pre-hospital ECPR—professional medical recovery center. Among them, in-hospital ECPR has the advantages of timely resuscitation, guaranteed quality of resuscitation, and fast activation speed of the ECPR team, and currently has a high success rate, with a low proportion of patients with neurological complications. However, pre-hospital ECPR is more challenging, requiring the coordination between pre-hospital and in-hospital emergency forces, multidisciplinary cooperation, and the quality of resuscitation before ECPR cannot be fully guaranteed, the long duration of patient's low perfusion, and other factors make the survival rate of patients without neurological damage obviously lower than that of in-hospital ECPR. China has a large population base, and comprehensive domestic and foreign data show that there should be no less than several million cases of out-of-hospital cardiac arrest under the age of 60 every year, so there is much to be done to improve the survival rate of pre-hospital ECPR. Pre-hospital ECPR is a project of concentrated resources and technology, which has high requirements for the multidisciplinary diagnosis and treatment capabilities of medical institutions. The optimization of the implementation process of in-hospital and pre-hospital ECPR teams, the advancement of the timing of ECPR intervention, the selection of patients, the support and construction of multidisciplinary diagnosis and treatment capabilities after ECPR, and the management of related complications and risk factors are closely related to the prognosis of ECPR patients. The recoverability of the brain and heart is currently the key factor restricting the further improvement of the survival rate of patients after ECPR. Considering that the recovery of neurological function mainly depends on the duration of the early

low perfusion, the in-hospital treatment after the implementation of ECPR is mainly the low-temperature brain protection strategy, the effect of which is still controversial, so the recovery of cardiac function is the key that seriously restricts the survival of patients after ECPR in addition to neurological prognosis. The recoverability of the heart after ECPR can be implemented from multiple angles: the research on pathophysiological issues such as the matching of the heart itself after the implementation of ECPR, and the matching between the heart and ECMO, and the proposal of corresponding countermeasures will help to improve the survival rate of patients after ECPR. The large population and the potential salvageable population make the development of ECPR technology in China's tertiary hospitals urgent and necessary, with challenges and opportunities coexisting.

**【Key words】** Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation; Out-of-hospital cardiac arrest; Risk factor; Left ventricular decompression; Prognosis

**Fund program:** Jiangsu Province Yancheng City Health Commission Medical Research Project (PC20230805004)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240711-00586

随着体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)技术在中国的逐步开展和普及,部分地级市医疗机构已经开展并形成了自身的院前体外心肺复苏(extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, ECPR)模式。ECMO技术的应用为心搏骤停患者的救治提供了新的可能性,尤其是在常规心肺复苏(conventional cardiopulmonary resuscitation, CCPR)无效的情况下。然而,尽管ECPR在理论上具有显著优势,但其在实际应用中的效果和预后仍然存在诸多挑战。

我国人口基数大,每年60岁以下院外心搏骤停(out-of-hospital cardiac arrest, OHCA)患者数量庞大,提高院前ECPR的生存率具有重要的社会意义。然而,目前我国院前ECPR的开展仍面临诸多难题,如院前-院内急救力量的联动不足、多学科协作不完善、ECPR启动前的复苏质量无法得到充分保证等。因此,对ECPR的实践现状、预后危险因素及管理对策进行深入研究,对于提高我国院前ECPR的生存率具有重要的现实意义。

现通过对国内外相关文献的系统回顾,总结我国院前ECPR的实践现状,探讨ECPR实施后影响患者预后的危险因素,并提出相应的管理对策,旨在为我国ECPR的实践提供见解,为未来ECPR技术的改进和优化提供参考。

## 1 ECPR 实践现状

**1.1 ECPR 的技术优势和国际现状:** 我国体外生命支持组织(Extracorporeal Life Support Organization, ELSO)报告显示,近十年来成人ECPR数量快速增长,2018年达到1 197例,总体生存率为29.5%<sup>[1-2]</sup>;此外,截至2022年10月,国际ELSO注册的成人ECPR病例共12 125例,其中42%能成功撤除静脉-动脉体外膜肺氧合(vein-arterial extracorporeal membrane oxygenation, VA-ECMO),30%能够出院或者等候至器官移植<sup>[1,3]</sup>。欧洲、北美洲以及日本和

韩国等地区ECPR发展处于领先地位,根据欧洲的注册研究,从2011年5月到2018年1月发生的可疑心源性OHCA中,约4%使用了ECPR<sup>[4]</sup>。相较于传统的CCPR,ECPR具有显著的优势<sup>[5]</sup>。美国每年发生OHCA的患者超过35万例,通过高质量的CCPR,心搏骤停患者自主循环恢复(return of spontaneous circulation, ROSC)率为47%,而通过ECPR治疗的心搏骤停患者ROSC率可高达95%<sup>[1-2]</sup>。在出院生存率方面,成人ECPR患者的出院生存率在27.6%~50.0%<sup>[6]</sup>。院内心搏骤停(in-hospital cardiac arrest, IHCA)患者的出院生存率为41.4%,而OHCA患者的出院生存率为20%<sup>[7]</sup>。60 min内的ECPR在神经功能良好预后率方面最高可以达到50.0%,但超过60 min的ECPR患者良好神经功能预后率仅为23.1%<sup>[1]</sup>。无明显神经损伤ECPR患者的神经功能预后良好生存率显著高于CCPR患者<sup>[8]</sup>。德国自2016年启动了近百家心搏骤停中心认证,着重强调了ECPR在OHCA救治中的地位,并构建了完备的心搏骤停中心建设和认证体系,且已经开始逐步进行国际认证<sup>[9-10]</sup>。ECPR在紧急情况下挽救生命方面具有明显的技术优势,并且在全球范围内得到了越来越多地应用和推广<sup>[11-12]</sup>。

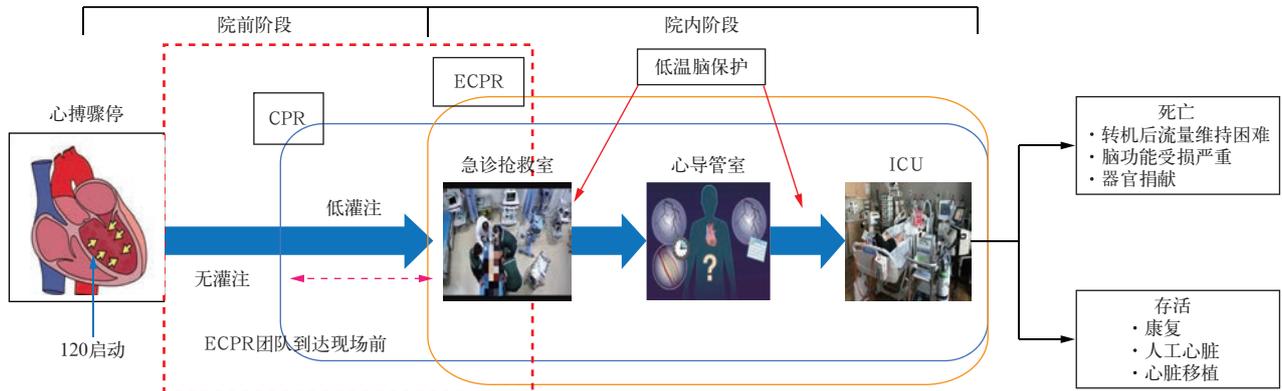
**1.2 我国ECPR的发展现状:** 目前我国CCPR的普及率显著低于欧美发达国家,且公众知晓率低,第一目击者实施心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)的比例低,公共场所除颤设备配置不足,导致我国OHCA患者生存率低<sup>[13]</sup>。与此同时,我国院前ECPR仍只在省级临床医疗中心和少数地级市三级甲等医院开展<sup>[14]</sup>,ECPR实施中的几大难点制约了该技术的开展,尽管已经有大量高级别证据的文献告诉我们ECPR可以提高OHCA患者的出院生存率和无神经功能损伤生存率<sup>[15]</sup>,但全球发达国家ECPR整体生存率仍在26%~42%,平均生存率约为30%<sup>[16]</sup>,我国城市人口密度较发达经济体大,中心

城区地面交通拥堵更加严重,人均急诊医疗资源更加紧张,客观上制约了我国 ECPR 患者的整体生存率。北京大学第三医院、南京医科大学附属第一医院、浙江大学附属医院急诊科是我国较早开展 ECPR 的中心,目前 ECPR 患者的平均生存率约为 22.5%,幸存者无神经功能损伤率约为 77.8%<sup>[17]</sup>。相比省级医疗中心,个别地级市区域医疗中心报告的 ECPR 生存率高于省级、国家级医疗中心<sup>[10]</sup>。地级市人口密度低于省特大和超大城市,人口密度与发达国家较为接近,近年来随着快速路的建设,地级市的交通状况对实施 ECPR 具有天然优势,以江苏省盐城市第一人民医院为例,2022 年开展院前 ECPR 47 例,在患者被目击发生心搏骤停后到 ECMO 转机成功的平均时间在 30~60 min,其中 40 min 内约 21 例,40~60 min 约 19 例;经过流程梳理和优化,2023 年 47 例 ECPR 患者的平均时间约 35 min,ECPR 团队接到现场 120 医生通知到赶赴最近的医疗机构约 5~15 min,ECMO 管路置管到转机时间约 18~30 min,脑功能评分(cerebral performance category, CPC)1~2 分出院的患者占 27.9%。据不完全调查,我国地级市急诊常备 ECPR 团队并非常规开展院前 ECPR 的比例不足 5%<sup>[17]</sup>。尽管目前能够常态化开展 VA-ECMO 技术的地级市医院约占 62%,但 ECPR 率仍较低,院前 ECPR 率更加低<sup>[18-19]</sup>。

根据我们前期调查和国内外数据推测,以江苏省盐城市为例,盐城市拥有约 700 万常住人口,其中不包括各个县城,仅大市区人口 170 余万,大市区 120 每年接诊心搏骤停患者约 1 500 例,其中年龄 60 周岁以下且符合心源性心搏骤停者约 180 例,其中 150 例完全有机会行 ECPR<sup>[20]</sup>;根据媒体报道,某地级市市区内最大的复苏中心粗略预计每年能挽救 150 例中年患者,而挽救青壮年心搏骤停是一件极有社会意义的事情。对于部分 ECPR 神经功能不可逆损伤的患者可以对接器官捐献工作,但从 2018 年以来,我国器官移植捐献来源正逐年萎缩<sup>[21-22]</sup>。我国很多三级医院具有独立的肝脏移植能力,ECPR 后神经不可逆损伤患者是器官获取的重要来源<sup>[23]</sup>。通过继续持续优化流程、培训 ECPR 团队,实践证实地级市医院开展院前 ECPR 具有诸多有利条件和天然优势,对我国开展 ECPR 工作的推进,增强院前急救能力有重要意义。

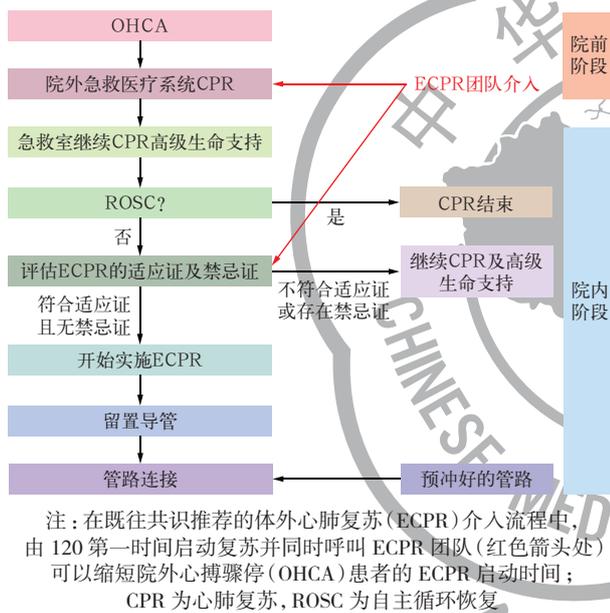
**1.3 开展 ECPR 的流程应该如何优化(图 1~2):**目前国外和我国大多数城市医疗机构开展 ECPR 是

以急诊医学科为核心,进行院前-院内联动,多学科合作<sup>[18,24]</sup>,也有医疗机构以心血管内科等专科为中心开展 ECPR 工作,但无论哪个科室主导实施,完善的 ECPR 中心应该具备:熟练的 VA-ECMO 置管团队,VA-ECMO 管理团队,ECPR 24 h 值守团队响应<sup>[17,24-25]</sup>。由于地级市交通相对便捷,拥堵较少,团队一般可以最快速度抵达 120 送达的医疗机构,医疗机构内 ECPR 为无菌条件、抢救设备齐全,各种有创检测齐备,置管过程中意外情况更少,而国外有 ECPR 在非医疗机构内实施 ECPR 置管<sup>[5,26-27]</sup>,但鉴于我国国情,避免潜在伦理和医疗纠纷(无法隔离家属、维持现场秩序、置管感染等)发生的风险,根据经验我们不推荐尝试现场置管。院前 120 到达现场的第一时间评估心跳、呼吸骤停的原因,如果大概率是心源性,且年龄在 60 岁以下,第一时间通知 ECPR 团队,团队携带设备最快速度赶赴最近的医院,120 边复苏(CPR、气管插管球囊通气)边就近送至医院,到达现场的第 1 个成员第一时间准备置管(备皮、消毒、置入股动脉和股静脉导丝);到达现场的第 2 个成员与家属沟通简单了解病史评估适应证、禁忌证,家属理解签字,铺巾并进入置管转机流程(一般从 ECPR 团队成员接到通知到 ECMO 转机成功最长不超过 40 min,最快可以做到 25 min 内),转机前不间断高质量 CPR。如何想办法优化 ECPR 团队到达前的 CPR 效率,缩短 ECPR 团队到达现场的时间是减少患者低灌注的两个重要发力点,需要 ECPR 团队在实施前不断与院前急救力量反复沟通,早期实施中 120 团队现场第一时间识别患者休克状态、是否全身湿冷、是否考虑心源性休克,早期宁愿判断失误也不可延误 ECPR 团队赶赴现场,经过反复多例磨合可以有效增加 120 院前急救团队与 ECPR 团队沟通协作效率,缩短 ECPR 时间。经过反复实践我们发现,在与院前急救力量反复磨合以后完全可以做到,120 急救力量于目击现场第一时间初步判断患者心搏骤停是否为可逆病因,并第一时间启动复苏并同时呼叫 ECPR 团队,120 转运患者至最近医院的急救中心,ECPR 团队携带便携式装备同时赶赴转运医院,在相关医疗机构急诊抢救室现场启动 ECPR 可以最快速度启动 ECPR。尽管亚低温在 CPR 后神经功能保护中是否有确切效果仍有争议,但是仍被大多数中心视为常规手段<sup>[28]</sup>,在患者 ECMO 转机后体征平稳第一时间启动快速降温措施。



注：红色箭头为低温脑保护启动时机；红色虚线方框内时间是决定体外心肺复苏（ECPR）患者神经功能预后第一重要时间点（低灌注与无灌注时间），也是院前和院内接心肺复苏（CPR）的重要时间节点；蓝色方框为120急救团队到达现场并开始CPR及后续管理时间；黄色方框为ECPR团队到达现场并开始实施ECPR全流程管理的时间；ICU为重症监护病房

图1 改良的ECPR流程



注：在既往共识推荐的体外心肺复苏（ECPR）介入流程中，由120第一时间启动复苏并同时呼叫ECPR团队（红色箭头处）可以缩短院外心搏骤停（OHCA）患者的ECPR启动时间；CPR为心肺复苏，ROSC为自主循环恢复

图2 改良的ECPR介入流程

结合欧美国家的成熟经验和未来研究及实践直升机救援等空中救援力量的融入，将为院前ECPR的开展和患者救治成功率提高提供可能，尤其是在地面交通压力较大的特大和超大城市。空中救援的介入可以使ECPR潜在人群提高4倍以上<sup>[29]</sup>。在转入复苏中心或者急诊重症监护病房（emergency intensive care unit, EICU）时第一时间进行目标温度管理（target temperature management, TTM）将有利于患者获得较好的神经功能预后<sup>[30]</sup>。因此，因地制宜优化ECPR实施的流程细节对保障ECPR的高效实施意义重大。

**1.4 ECPR对学科发展提出挑战：**我国使用ECMO的科室涵盖了心脏外科、心血管内科、血管外科、重症医学科、麻醉科、体外循环科、急诊科和呼吸科

等多个科室<sup>[31-33]</sup>。对心搏骤停的治疗非常复杂，往往涉及多个学科的技术交叉<sup>[34]</sup>，包括VA-ECMO、TTM、经皮冠状动脉介入治疗（percutaneous coronary intervention, PCI）、肺动脉介入取栓、连续性肾脏替代治疗（continuous renal replacement therapy, CRRT）、主动脉内球囊反搏（intra-aortic balloon pump, IABP）等。由于ECPR能够提供稳定的全身灌注，即使发生持续性心室纤颤，ECPR患者也能进行PCI<sup>[35-36]</sup>。有研究者纳入了26例30min内未能恢复自主循环的IHCA和OHCA患者，使用机械CPR、TTM、VA-ECMO以及对可疑冠状动脉闭塞者进行PCI等技术后，有14例患者出院时神经功能完全恢复<sup>[36]</sup>。提示心搏骤停后成功的ECPR还需要进行解除病因治疗，以促使患者获得较好预后。从本院开展的ECPR病例看，81%的心搏骤停患者病因是心肌梗死，其他包括心肌炎、肺栓塞、脓毒症心肌病、甲亢危象等。心肌梗死患者中相当大比例为左主干病变、多支病变，甚至左主干合并多支病变，心脏造影后无法开通血管的慢性完全闭塞病变，此种情况均需要行开胸旁路移植术<sup>[37-39]</sup>，甚至外科植入左室辅助装置（Impella）进行左心室减压，需要心脏外科、心脏内科等具备支持条件；合并脓毒症的患者在抗感染治疗的基础上，还需要外科对感染部位处置，介入科局部取栓或者溶栓治疗；甲亢危象等各种危象导致的心搏骤停需要内科团队协助诊疗。因此，ECPR的开展对医院学科发展提出新的要求，只有在熟练开展上述诊疗的团队支持下，ECPR患者的生存率、治疗成功率才有保障，这是提高ECPR患者出院生存率的第二个难点。客观上，目前仍有较大比例的ECPR患者CPC评分在3分以上<sup>[40]</sup>，对于此类患者，

ECPR 工作可以与器官捐献组织 (Organ Procurement Organization, OPO) 衔接, 2018 年以来我国器官获取数量逐步下降, 等待移植患者逐步增加, 其中器官捐献数量稀少是根本原因, ECPR 一旦与 OPO 衔接将提高我国器官获取率。以上挑战对地级市区域 ECMO 中心的发展提出了新的要求和挑战, 随着 ECPR 的开展必将助力相关医疗机构的诊疗水平提升。同时 ECPR 技术对设备的小型化、轻型化提出了新的要求, 便携的 ECMO 主机、便携式超声、便携式膜肺可以有效提高 ECPR 的效率。

**1.5 我国三级医院开展 ECPR 的前景:** 综上, 我国地级市三级医院大致经历了 ECMO—院内 ECPR—院前 ECPR—专业医学复苏中心的发展历程, 其中院内 ECPR 由于复苏及时、复苏质量有保证<sup>[9]</sup>、ECPR 团队启动速度快等优点, 成功率高, 患者遗留神经系统并发症比例低; 而院前 ECPR 则难度更大, 由于需要院前—院内急救力量联动、多学科协作, ECPR 启动前复苏质量无法得到充分保证, 低灌注持续时间长等因素, 患者无神经功能损伤生存率明显较院内 ECPR 低, 因此提高院前 ECPR 的生存率大有可为。因院前 ECPR 是资源和技术集中的项目, 对 VA-ECMO 的管理、IABP、亚低温、CRRT、呼吸机的使用、休克后多器官的管理和维护、感染的预防和治疗等均有较高要求<sup>[17]</sup>, 开展院前 ECPR 将使相应急诊学科建设水平显著提升, 对院内多学科水平发展提供支持、提出新的需求。ECPR 虽然较 CPR 有诸多优点, 但 ECPR 在全球仍面临诸如伦理、高级别随机对照试验 (randomized controlled trial, RCT) 证据获取、CPR 与 ECPR 何时进行切换等挑战。ECPR 的开展将有力助推我国地级市区域医疗中心急诊医学技术和临床科研的发展, ECPR 技术在我国三级医院急危重症建设中将有广阔和光明的发展前景。

## 2 制约 ECPR 患者预后危险因素及其对策

**2.1 与 ECPR 预后相关的危险因素:** 除了院前低灌注、无灌注时间与 ECPR 预后息息相关外, ECPR 在 EICU、ECMO 中心或复苏医学中心的管理是决定预后密切相关的因素<sup>[41]</sup>。ECPR 管理难点主要是指 ECMO 成功运转后进行全心肺功能替代, 使全身缺血缺氧状态迅速缓解, 组织在充分灌注下氧债得到偿还, 乳酸水平等逐步下降, 在器官功能恢复允许 ECMO 脱机前产生的危险因素和并发症导致患者额外损害甚至死亡。临床实践表明, 包括 TTM 在内的现有的院内治疗手段对成功实施 ECPR 后的

搏骤停患者神经功能预后改善有限, 即便是乳酸能够稳定下降至正常、CPC 评分在 1 分以上, 仍有相当多的 ECPR 患者难以存活, 其预后恶化的可能原因包括: 远端组织缺血 (截肢)、出血、感染 [包括休克后肠源性多器官功能障碍综合征 (multiple organ dysfunction syndrome, MODS)、导管相关性感染、肺部感染等]、左心室扩张使左心室开瓣困难、心室内血栓形成使缺血心肌恢复潜力恶化。左心前负荷加重和左右心功能不匹配引起的左心室膨胀和肺静脉淤血是促使 VA-ECMO 支持下患者发生肺水肿的根本原因<sup>[41]</sup>。在心肌梗死后尤其是左冠状动脉主干或分支梗死引起的心源性休克 ECMO 患者中肺水肿更为常见, 我们的初步研究发现左右心室不匹配的危害性在 VA-ECMO 的管理中未被发现和提出, 其危害程度和对患者预后的重要影响未被 ECPR 从业者充分认知, 这从我国各大 ECMO 中心有效左心室减压使用率低的现状可见一斑。研究数据表明, 常规在心肌梗死后 ECMO 支持的患者中进行经皮 Impella 植入是有效左心室减压并改善患者临床结局的有效方法<sup>[42]</sup>。左心室扩张、肺水肿是 PCI 后休克逆转的 ECPR 患者后续短期病死率增加的主要原因, 并形成短期死亡拐点<sup>[43-44]</sup>。

### 2.2 针对预后危险因素的管理

**2.2.1 远端组织缺血:** 远端组织缺血并不局限于下肢灌注管远端、IABP 置管动脉远端, 还包括升压药物的使用, 为了维持目标平均动脉压, 去甲肾上腺素、血管加压素的使用, 以及抗凝不足、血栓形成、大动脉远端硬化狭窄在休克打击下加重远端缺血<sup>[43]</sup>。预防和管理远端组织缺血的主要对策为: 早期抗凝达标以及置管前对全身血管条件的评估; 患者心搏骤停后低灌注或者无灌注持续时间的估计等; 动脉导管取栓, 密切监测末梢循环, 在 ECMO 管路侧支循环血栓形成后第一时间发现并小剂量溶栓药物应用可以避免大部分手术取栓, 同时避免发生左心室扩张相关的心室内血栓形成, 控制肺水肿, 避免形成升压药物剂量 V 型走势等<sup>[45]</sup>。

**2.2.2 出血:** 出血一方面与抗凝平衡及置管技巧有关系, 另一方面与休克打击后组织黏膜缺血、胃肠道应激性溃疡、ECMO 管路引起的凝血因子消耗、肺水肿引起的肺泡毛细血管破裂等因素有关<sup>[46]</sup>。相应的对策主要是: 穿刺部位和有创操作部位的出血应该第一时间进行确切的缝合止血, 而不应该采用加压止血等措施从而延误止血; ECPR 患者应激性溃

疡风险高,应该第一时间做好消化道出血的预防及肠动力和肠黏膜屏障维护,管理过程中应该早期小剂量使用溶栓剂;同时 ECMO 的管理犹如多米诺骨牌,一个环节的问题可能导致其他并发症的失控,例如左右心室功能失去匹配,容易导致左心室扩张、肺水肿,肺水肿可导致肺部弥漫出血并且实变进一步恶化氧合和血流动力学,升压药物的使用增加及酸中毒的反复可导致凝血功能进一步恶化,使抗凝与止血之间矛盾重重,因此,应从源头管理并发症而不是消极等待观察,若对并发症的阻断失去最佳时机,并发症的失控将直接导致患者预后变差<sup>[47]</sup>。

**2.2.3 感染:** 休克打击后肠缺血、屏障破坏是休克引起肠源性内毒素血症感染和 MODS 的重要原因。休克打击后肠损伤往往最先发生,随着休克持续时间越长,肠损伤越重,肠道往往是休克后最后恢复的器官,肠道感染不仅会导致血流动力学难以维持、血管渗漏、医疗费用升高、血制品和胶体输注增加、液体正平衡增加,还会导致毛细血管渗漏、组织水肿(肠道本身的水肿和肺水肿等)<sup>[48]</sup>。

**2.2.4 VA-ECMO 对心肌梗死后心脏病理生理的影响和解决途径:** 床边超声是动态评价 ECPR 后心功能状态和病理生理状态的最重要手段<sup>[49-50]</sup>。左心梗死后泵衰竭而右心功能完善的患者更容易因为增加的左心后负荷发生 ECMO 植入后心源性肺水肿(左右心功能匹配失调),ECMO 植入后左心射血分数恢复到 0.30 左右的患者更容易发生肺水肿<sup>[51]</sup>,ECMO 植入后明显的左右心室收缩不协调易导致肺水肿,左心室扩张是肺水肿发生的直接相关因素<sup>[52]</sup>。相反,右心梗死的患者 VA-ECMO 支持下往往不发生肺水肿,而 ECMO 可以降低右心房压力,所以 VA-ECMO 救治的心肌梗死中右心梗死的救治成功率较左心梗死更高。

肺水肿会导致全身交感神经兴奋,器官需要的氧迅速增加,而且会形成差异性缺氧,肺动脉、支气管动脉和冠状动脉缺氧、右头臂干由心脏供应低氧饱和度血,即便是 ECMO 流量稳定,仍会出现乳酸不下降甚至上升(乳酸回升)<sup>[53]</sup>。此外,肺水肿导致严重的肺毛细血管破坏,形成肺循环渗漏,有效循环血量丢失后 ECMO 容易发生抖管、流量不稳定,补液又会加重肺水肿,形成治疗矛盾,频繁流量下降使全身器官氧输送难以保证,可以导致休克再进展(血流动力学恶化、乳酸回升)甚至死亡,立即或者预防性左心室减压是唯一的治疗手段。

如何发挥 ECMO 的优势,尽量避免 VA-ECMO

的反生理特点和对患者病理生理的不利影响将是未来研究的重要课题。尽可能多的保存存活心肌,使缺血、冬眠的心肌再灌注后生存是心肌梗死后心源性休克救治的重要方面,也是患者后期脱离机械辅助的关键。后负荷加重减少心室射血,心室淤血增加心室张力使心肌耗氧增加,存活的、冬眠的心肌得不到恢复,甚至增加缺血心肌坏死范围,可导致梗死面积扩大,这也是临床研究发现进行左心室减压者的生存率较不进行左心室减压者会提高的原因<sup>[54]</sup>。

IABP 在左心室减压中作用有限,仅在小样本回顾性研究中发现 IABP 可能潜在获益<sup>[55]</sup>,但在大规模临床研究中并未观察到 IABP 联合 ECMO 的患者肺动脉楔压(pulmonary artery wedge pressure, PCWP)降低和肺水肿症状减轻,病死率亦未观察到改善<sup>[56]</sup>。房间隔穿刺持续置管引流往往流量难以保证,导管位置难以固定,房间隔造瘘可能引起心脏功能受损,而且减轻肺水肿效果不够理想,甚至会带来新的并发症;外科左心室减压损伤大,增加感染风险,需要多学科合作,开胸手术家属往往难以理解,面临新的伦理问题甚至引发医疗纠纷。目前比较理想的方法主要是经皮植入介入式 Impella,有研究显示,早期 Impella 联合 VA-ECMO 的心源性休克患者病死率较单用 ECMO 者显著降低<sup>[57]</sup>,但是目前国内市场已无经皮 Impella,现在主要使用经皮中心静脉肺动脉-右心室引流(该方法经济成本大大低于 Impella)联合右锁骨下动脉灌注(图 3),既能保证静脉-动脉通路流量,又能显著降低 PCWP 和减轻左心室扩张,使患者术后肺水肿发生率显著下降,组织灌注指标乳酸能够持续下降而不会出现 V 型反复,使 ECMO 脱机成功率明显改善并能够最终降低心源性休克心搏骤停患者 30 d 病死率。

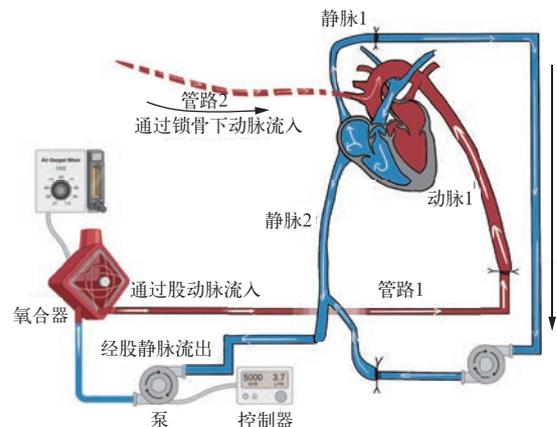


图 3 传统静脉-动脉体外膜肺氧合(VA-ECMO)动脉置管路径(管路 1)与改良 VA-ECMO 动脉置管路径(管路 2)

总体而言,现有的 VA-ECMO 模式对心脏的损害是两方面的:一方面,股动脉入路 ECMO 因为非生理性,使心脏后负荷增加,导致主动脉瓣开瓣困难,心脏前负荷进一步增加,左心室射血受阻导致左心室扩张前负荷增加、心肌 Frank-Starling 曲线发生位移,引起心室扩张会增加心脏发生重构风险;另一方面,心室壁张力增加引起心肌耗氧增加,在非缺血性心源性休克中耗氧量增加不能明显引起显著的心肌坏死,但在缺血性心源性休克中耗氧量增加可能使缺血、顿抑、冬眠的心肌因为进一步缺氧而死亡,使挽救存活心肌的目的难以达到,甚至扩大心肌梗死面积,临床上表现为 PCI 后心肌酶谱仍持续升高,升高幅度大于非 ECMO 支持患者,且心肌酶谱下降速度明显。因此,直接的左心室前负荷泄压是解决这一问题的根本途径,这也是为什么研究发现与即刻进行左心室减压比较,延迟进行左心室减压会导致 ECMO 支持患者病死率增加<sup>[56]</sup>,因此,单纯 VA-ECMO 虽然对全身器官灌注有利,但是对缺血性心源性休克心脏的损伤更大、恢复更加不利,导致心肌梗死后 ECMO 支持的患者脱机成功率更低,国内左心室泄压手段的缺乏导致 ECPR 支持下 PCI 术后心肌梗死患者救治成功率难以提高,应该被重视。

### 3 结论

综上,我们总结了关于我国 OHCA 成人患者院前 ECPR 的实践现状和 ECPR 实施后管理中影响患者预后的危险因素,并提出了相应的管理对策。既往 ECPR 后管理非常关注神经功能的保护和恢复,但是目前包括 TTM 在内的综合治疗措施效果仍不明确,患者神经功能预后仍与无灌注、低灌注持续时间密切相关;在 ECPR 实施成功后,绝大部分患者能否成功脱离 ECMO、呼吸机取决于心脏功能的保存和恢复程度。因此,心脏功能的维护和可恢复潜力应是 ECPR 成功实施后更加值得关注的问题,其中左心室后负荷的增加、左心室扩张、左右心室功能不匹配在 ECPR 实施后的管理中应该被足够的重视,因为其直接关系到 ECPR 患者何时、使用何种手段进行左心室减压,且为后期心功能的恢复并离开重症监护提供可能。关于左心室减压的手段应倾向于尽早实施,因为早期预防性左心室减压(如经皮 Impella 植入)较延迟减压可使患者 30 d 生存率等主要终点明显改善。未来的研究应注重 ECPR 与早期左心室减压、ECMO 流量、心肌恢复潜力的保存和 ECMO 支持下左右心室匹配相结合;对大量

ECPR 患者 PCI 后心脏病理生理的变化进行进一步地详细研究,以提高 ECPR 患者的最终预后。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] 胡德亮,张劲松.应加强急诊 ECPR 的实施[J].中华急诊医学杂志,2020,29(2):154-156. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2020.02.003.
- [2] 李呈龙,侯晓彤,黑飞龙,等.2018 中国体外生命支持情况调查分析[J].中华医学杂志,2019,99(24):1911-1915. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2019.24.014.
- [3] Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) Member Centers Group. Extracorporeal Life Support Organization registry international report 2022: 100 000 survivors [J]. ASAIO J, 2024, 70(2): 131-143. DOI: 10.1097/MAT.0000000000002128.
- [4] Ali S, Meuwese CL, Moors XJR, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for refractory cardiac arrest: an overview of current practice and evidence [J]. Neth Heart J, 2024, 32(4): 148-155. DOI: 10.1007/s12471-023-01853-5.
- [5] 中国老年医学学会急诊医学分会,中国老年医学学会急诊医学分会 ECMO 工作委员会.成人体外膜肺氧合辅助心肺复苏(ECPR)实践路径[J].中华急诊医学杂志,2019,28(10):1197-1203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.10.005.
- [6] Diehl A, Read AC, Southwood T, et al. The effect of restrictive versus liberal selection criteria on survival in ECPR: a retrospective analysis of a multi-regional dataset [J]. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2023, 31(1): 89. DOI: 10.1186/s13049-023-01154-1.
- [7] Singer B, Reynolds JC, Lockey DJ, et al. Pre-hospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation [J]. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2018, 26(1): 21. DOI: 10.1186/s13049-018-0489-y.
- [8] Bartos JA, Grunau B, Carlson C, et al. Improved survival with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation despite progressive metabolic derangement associated with prolonged resuscitation [J]. Circulation, 2020, 141(11): 877-886. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042173.
- [9] 中国医师协会急诊医师分会,中华医学会急诊医学分会,中国急诊专科医联体.复苏中心建设与管理急诊专家共识[J].中华急诊医学杂志,2024,33(4):463-469. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.04.003.
- [10] Voß F, Thevathasan T, Scholz KH, et al. Accredited cardiac arrest centers facilitate eCPR and improve neurological outcome [J]. Resuscitation, 2024, 194: 110069. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2023.110069.
- [11] Low CJW, Ling RR, Ramanathan K, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation versus conventional CPR in cardiac arrest: an updated meta-analysis and trial sequential analysis [J]. Crit Care, 2024, 28(1): 57. DOI: 10.1186/s13054-024-04830-5.
- [12] Richardson ASC, Schmidt M, Bailey M, et al. ECMO cardio-pulmonary resuscitation (ECPR): trends in survival from an international multicentre cohort study over 12-years [J]. Resuscitation, 2017, 112: 34-40. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2016.12.009.
- [13] 彭海林,秦历杰,张胜龙.体外心肺复苏在心脏骤停患者中的应用[J].实用休克杂志(中英文),2019,3(6):331-335.
- [14] 史慧荔,王海燕,花艳红.体外心肺复苏在心脏骤停中的应用研究[J].中国急救复苏与灾害医学杂志,2019,14(5):419-422. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2019.05.007.
- [15] Prague OHCA Study Group. Effect of intra-arrest transport, extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, and immediate invasive assessment and treatment on functional neurologic outcome in refractory out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial [J]. JAMA, 2022, 327(8): 737-747. DOI: 10.1001/jama.2022.1025.
- [16] 朱瑞凯,吕立文.成人体外心肺复苏的建立与管理[J].中国急救医学,2021,41(7):596-599. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2021.07.012.
- [17] 中国急诊 ECMO 科研协作组,中华医学会急诊医学分会生命支持学组.成人体外心肺复苏经皮穿刺置管中国急诊专家共识[J].中国急救医学,2023,43(8):597-604. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2023.08.002.
- [18] 张宇君,王玉姮.内蒙古自治区中西部盟市医院体外膜肺氧合技术应用的现状调查及未来展望[J].中国中西医结合急救杂志,2022,29(2):227-231. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2022.02.021.
- [19] 曹丽萍,高瑞,陈娜.基于 CiteSpace 对 2013~2023 年国内外体外膜肺氧合领域研究现状的可视化分析[J].中国急救医

- 学, 2023, 43 (8): 659–664. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2023.08.014.
- [20] 中国心脏骤停与心肺复苏报告编写组. 中国心脏骤停与心肺复苏报告(2022年版)概要[J]. 中国循环杂志, 2023, 38 (10): 1005–1017. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2023.10.002.
- [21] 任嘉霖. 让世界看到器官捐献与移植的中国模式[J]. 中华医学信息导报, 2024, 39 (6): 4. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1000-8039.2024.06.105.
- [22] 侯晓丽, 国航, 任敬, 等. 器官捐献协调员劝捐协调现状及影响因素研究[J]. 器官移植, 2023, 14 (1): 120–127. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2023.01.016.
- [23] 张洪宾, 刘远波, 黄一洪, 等. 脑死亡器官移植供体的维护探讨[J]. 医药前沿, 2020, 10 (27): 62–63.
- [24] Wang GN, Chen XF, Qiao L, et al. Comparison of extracorporeal and conventional cardiopulmonary resuscitation: a meta-analysis of 2 260 patients with cardiac arrest [J]. *World J Emerg Med*, 2017, 8 (1): 5–11. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2017.01.001.
- [25] 陈月, 钱晓亮, 豆立冬, 等. 自制体外膜肺氧合系统救治危重症患者的装机策略和临床观察[J]. 中华危重病急救医学, 2024, 36 (4): 410–414. DOI: 10.3760/ema.j.cn121430-20230914-00781.
- [26] 魏涛, 吕军毅. ECPR急救流程在急诊呼吸心搏骤停患者中的应用价值[J]. 临床医学研究与实践, 2022, 7 (32): 25–28. DOI: 10.19347/j.cnki.2096-1413.202232007.
- [27] 苑志勇, 韩小宁, 周维桂, 等. 体外生命支持中心建设对体外膜氧合技术治疗患者预后研究[J]. 中华急诊医学杂志, 2022, 31 (11): 1526–1529. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1671-0282.2022.11.016.
- [28] CARES Surveillance Group. Prehospital ground and helicopter-based extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) reduce barriers to ECPR: a GIS model [J]. *Prehosp Emerg Care*, 2024: 1–9. DOI: 10.1080/10903127.2024.2355652.
- [29] Duan JW, Ma QB, Zhu CJ, et al. eCPR combined with therapeutic hypothermia could improve survival and neurologic outcomes for patients with cardiac arrest: a meta-analysis [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 703567. DOI: 10.3389/fcvm.2021.703567.
- [30] Hypothermia after Cardiac Arrest Study Group. Mild therapeutic hypothermia to improve the neurologic outcome after cardiac arrest [J]. *N Engl J Med*, 2002, 346 (8): 549–556. DOI: 10.1056/NEJMoa012689. Erratum in: *N Engl J Med*, 2002, 346 (22): 1756.
- [31] 王军红, 马青变, 郑亚安, 等. 心脏骤停患者紧急体外膜肺氧合技术的多学科模式探讨[J]. 中华急诊医学杂志, 2017, 26 (10): 1125–1129. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1671-0282.2017.10.005.
- [32] Ehara N, Hirose T, Shiozaki T, et al. The relationship between cerebral regional oxygen saturation during extracorporeal cardiopulmonary resuscitation and the neurological outcome in a retrospective analysis of 16 cases [J]. *J Intensive Care*, 2017, 5: 20. DOI: 10.1186/s40560-017-0216-1.
- [33] Mendiratta P, Wei JY, Gomez A, et al. Cardiopulmonary resuscitation requiring extracorporeal membrane oxygenation in the elderly: a review of the Extracorporeal Life Support Organization registry [J]. *ASAIO J*, 2013, 59 (3): 211–215. DOI: 10.1097/MAT.0b013e31828fd6e5.
- [34] Goldberger ZD, Chan PS, Berg RA, et al. Duration of resuscitation efforts and survival after in-hospital cardiac arrest: an observational study [J]. *Lancet*, 2012, 380 (9852): 1473–1481. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60862-9.
- [35] Reynolds JC, Grunau BE, Elmer J, et al. Prevalence, natural history, and time-dependent outcomes of a multi-center North American cohort of out-of-hospital cardiac arrest extracorporeal CPR candidates [J]. *Resuscitation*, 2017, 117: 24–31. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2017.05.024.
- [36] Han SJ, Kim HS, Choi HH, et al. Predictors of survival following extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with acute myocardial infarction-complicated refractory cardiac arrest in the emergency department: a retrospective study [J]. *J Cardiothorac Surg*, 2015, 10: 23. DOI: 10.1186/s13019-015-0212-2.
- [37] 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. DOI: 10.1007/s00134-021-06514-y.
- [38] Gaisendrees C, Pooth JS, Luehr M, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation [J]. *Dtsch Arztebl Int*, 2023, 120 (42): 703–710. DOI: 10.3238/arztebl.m2023.0189.
- [39] Kim DH, Kim JB, Jung SH, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: predictors of survival [J]. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 49 (4): 273–279. DOI: 10.5090/kjtes.2016.49.4.273.
- [40] Lee SW, Han KS, Park JS, et al. Prognostic indicators of survival and survival prediction model following extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with sudden refractory cardiac arrest [J]. *Ann Intensive Care*, 2017, 7 (1): 87. DOI: 10.1186/s13613-017-0309-y.
- [41] Francoeur CL, Lee J, Dangayach N, et al. Non-invasive cerebral perfusion monitoring in cardiac arrest patients: a prospective cohort study [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2020, 196: 105970. DOI: 10.1016/j.clineuro.2020.105970.
- [42] Rali AS, Hall EJ, Dieter R, et al. Left ventricular unloading during extracorporeal life support: current practice [J]. *J Card Fail*, 2022, 28 (8): 1326–1336. DOI: 10.1016/j.cardfail.2021.12.002.
- [43] Ezad SM, Ryan M, Donker DW, et al. Unloading the left ventricle in venoarterial ECMO: in whom, when, and how? [J]. *Circulation*, 2023, 147 (16): 1237–1250. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.122.062371.
- [44] Koziol KJ, Isath A, Rao S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) in management of cardiogenic shock [J]. *J Clin Med*, 2023, 12 (17): 5576. DOI: 10.3390/jcm12175576.
- [45] Lüsebrink E, Orhan M, Kupka D, et al. Prevention and treatment of pulmonary congestion in patients undergoing venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41 (38): 3753–3761. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa547.
- [46] Tsangaris A, Alexy T, Kalra R, et al. Overview of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) support for the management of cardiogenic shock [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 686558. DOI: 10.3389/fcvm.2021.686558.
- [47] Le Gall A, Follin A, Cholley B, et al. Veno-arterial-ECMO in the intensive care unit: from technical aspects to clinical practice [J]. *Anaesth Crit Care Pain Med*, 2018, 37 (3): 259–268. DOI: 10.1016/j.jaccpm.2017.08.007.
- [48] Gonzalez LM, Moeser AJ, Blikslager AT. Animal models of ischemia-reperfusion-induced intestinal injury: progress and promise for translational research [J]. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 2015, 308 (2): G63–G75. DOI: 10.1152/ajpgi.00112.2013.
- [49] Wrisinger WC, Thompson SL. Basics of extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Surg Clin North Am*, 2022, 102 (1): 23–35. DOI: 10.1016/j.suc.2021.09.001.
- [50] Hussey PT, von Mering G, Nanda NC, et al. Echocardiography for extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Echocardiography*, 2022, 39 (2): 339–370. DOI: 10.1111/echo.15266.
- [51] Ling RR, Ramanathan K, Poon WH, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation as mechanical circulatory support in adult septic shock: a systematic review and meta-analysis with individual participant data meta-regression analysis [J]. *Crit Care*, 2021, 25 (1): 246. DOI: 10.1186/s13054-021-03668-5.
- [52] Tonna JE, McKellar SH, Selzman CH, et al. Exploratory analysis of myocardial function after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation vs conventional cardiopulmonary resuscitation [J]. *BMC Res Notes*, 2020, 13 (1): 137. DOI: 10.1186/s13104-020-04982-x.
- [53] Saeed O, Nunez JJ, Jorde UP. Pulmonary protection from left ventricular distension during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: review and management algorithm [J]. *Lung*, 2023, 201 (2): 119–134. DOI: 10.1007/s00408-023-00616-8.
- [54] Schrage B, Becher PM, Bernhardt A, et al. Left ventricular unloading 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. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.048792.
- [55] 陈晓华, 陈俊宇, 王润东, 等. 行体外心肺复苏的院内心搏骤停患者使用主动脉内球囊反搏与住院死亡关系的研究: 一项基于文献数据的二次分析 [J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34 (3): 269–273. DOI: 10.3760/ema.j.cn121430-20211014-01492.
- [56] Grandin EW, Nunez JJ, Willar B, et al. Mechanical left ventricular unloading in patients undergoing venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2022, 79 (13): 1239–1250. DOI: 10.1016/j.jacc.2022.01.032.
- [57] Arrigo M, Jessup M, Mullens W, et al. Acute heart failure [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2020, 6 (1): 16. DOI: 10.1038/s41572-020-0151-7.