

· 专家论坛 ·

中国体外膜肺氧合应用现状及问题

周翔^{1,2}¹ 中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院重症医学科 疑难重症及罕见病国家重点实验室 国家重症医学质控中心 中国 ECMO 质量提升行动研究组, 北京 100710;² 中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院信息处 疑难重症及罕见病国家重点实验室, 北京 100710

Email: zx_pumc@163.com

【摘要】 体外膜肺氧合(ECMO)技术经历了从无到有,从死亡率高的高精尖技术发展到大家熟知的最后的生命支持利器,目前ECMO技术蓬勃发展,广泛用于重度呼吸衰竭和心源性休克患者的救治。近年来,国内ECMO的应用也有着长足的发展,但在ECMO中心建设和ECMO相关技术方面均存在一些问题,本文就中国ECMO开展现状和面临的问题进行论述,如开展例数不足、地域差异、中心建设和相关技术问题等。

【关键词】 体外膜氧合作用; 中国; 现状; 问题

基金项目: 北京自然科学基金面上项目(M21019); 美国中华医学基金会胜任力培养项目(20-381); 中国卫生信息与健康医疗大数据学会应急项目专项基金; 中国医学科学院捐赠项目(2021-CAMS-JZ004); 中华国际医学交流基金会研究基金(Z-2016-23-2001-08)

Current situation and problems of extracorporeal membrane oxygenation use in China

Zhou Xiang^{1,2}

¹ Department of Critical Care Medicine, State Key Laboratory of Complex Severe and Rare Diseases, China National Critical Care Quality Control Center, ECMO Quality Improvement Action (EQIA) Study Group, Peking Union Medical College Hospital, Peking Union Medical College & Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100710, China; ² Information Center Department/Department of Information Management, State Key Laboratory of Complex Severe and Rare Diseases, Peking Union Medical College Hospital, Peking Union Medical College & Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100710, China
Email: zx_pumc@163.com

【Abstract】 Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) technology has experienced from nothing, evolving from high-Tech technology with high mortality to the well-known last life-saving weapon. At present, ECMO technology is booming and widely used in the treatment of patients with severe respiratory failure and cardiogenic shock. In recent years, the use of ECMO in China has also made great progress, but there are some problems in the construction of ECMO centers and ECMO-related technologies. The article aims to discuss the current situation and problems faced in ECMO use in China, such as insufficient cases, regional differences, centre construction and related technical issues.

【Key words】 Extracorporeal membrane oxygenation; China; Situation; Problem

Fund program: Beijing Municipal Natural Science Foundation General Project (M21019); The China Medical Board CMB Open Competition Program (20-381); Special Fund for Emergency Projects of Chinese Medical Information and Big Data Association; the CAMS Endowment Fund (2021-CAMS-JZ004); Project of China International Medical Foundation (Z-2016-23-2001-08)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220318-00578

收稿日期 2022-03-18 本文编辑 霍永丰

引用本文: 周翔. 中国体外膜肺氧合应用现状及问题[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(25): 1859-1863. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220318-00578.

中华医学杂志社
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) 技术是目前针对严重心肺功能衰竭的核心救治武器,也被称为重症患者最后的“救命稻草”,是代表一个医院、一个地区乃至一个国家重症患者救治水平的技术。ECMO 技术源于心外科的体外循环,从应用之初到现在不足 50 年,对抢救危重患者生命具有重要的价值。

一、ECMO 发展历程

ECMO 始于 20 世纪 60 年代,衍生于 1953 年 Gibbon 首先应用于心脏直视手术的体外循环技术,1971 年、1975 年分别成功用于治疗成人和新生儿急性呼吸窘迫综合征。ECMO 技术成熟于 20 世纪 80 年代,1983 年在弗吉尼亚医学院、密歇根大学和匹兹堡大学分别成立了 ECMO 中心,但早期进行 ECMO 支持的成功率并不高。为了推动全球范围内的 ECMO 技术交流与应用,在 Bartlett 教授推动下国际体外生命支持组织 (Extracorporeal Life Support Organization, ELSO) 于 1989 年在密歇根大学成立。但直至 2004 年,全世界仅有 100 多家医院开展此项工作,并且主要集中在西方发达国家。从 2008 年 ECMO 用于成功救治甲型流感患者之后,全球 ECMO 数量开始呈现快速增长趋势^[1-3]。

中国内地最早 1 例真正意义上的 ECMO 支持病例始于 2002 年,但限于当时的经济水平、医疗条件和医疗报销制度的限制,这一设备没有得到大范围推广,到 2015 年全国 ECMO 中心的数量才突破 100 家。随着医疗水平的逐渐发展和医保政策的调整,中国的 ECMO 开始有了飞速发展。2019 年底新型冠状病毒肺炎 (新冠肺炎) 爆发,ECMO 被用于重症新冠肺炎患者的救治,开始进入大众视野;并且由于其在新冠疫情救治中起到的重要作用,国家卫生健康委员会在《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案》中将 ECMO 列为危重症新冠肺炎患者的重要救治技术,极大地促进了国内各医疗机构进一步开展 ECMO 相关培训学习,成立 ECMO 中心^[4-5]。

二、ECMO 开展现状

近年 ECMO 临床应用突飞猛进。世界范围内,据 ELSO 的统计数据显示,2019 年全球共有 488 个 ECMO 中心,实施 ECMO 的病例达到 17 078 例,截至 2021 年 10 月的统计数据显示 2020 年注册的 ECMO 中心数增至 521 个,全年开展 18 260 例,累计总共开展 ECMO 154 106 例,54% 的患者可存活至出院或转院^[6]。从 ECMO 中心分布上看,ECMO 中心,尤其是高水平的 ECMO 中心,主要集中于北美和欧洲^[6-7]。

近年来,ECMO 在中国大陆地区同样发展迅猛,ECMO 中心及开展 ECMO 的例数均有明显增加,中国医师协会体外生命支持专业委员会 (CSECLS) 第四届中国体外生命支持年会上公布的数据显示,2020 年共有 500 家 ECMO 中心上报数据,共开展 ECMO 患者 6 937 例,较 2019 年增加 6.3%。在患者人群与适应证方面,成人患者占绝大多数,成人接受呼吸、心脏辅助患者的生存率分别达到 54.5% 和 51.6%,与 ELSO 数据相当,但体外心肺复苏 (ECPR) 患者生存率仅为 27.6%。

随着 ECMO 开展例数的逐渐增加,接受 ECMO 支持患者的流行病学和临床特征、影响患者死亡的危险因素及社会经济影响等逐渐被揭示,为后续 ECMO 患者适应证的选择,判断患者预后等起到重要作用^[8-11]。然而,虽然从 2017 年开始国内 ECMO 开展例数明显增加,但国内尚无准确、客观的统计资料详细描述 ECMO 患者的流行病学及预后情况。CSECLS 虽然收集每年国内 ECMO 中心和开展例数、死亡率等相关信息,但缺乏更加客观、详尽的统计,不能为后续 ECMO 的发展提供进一步的指导。

笔者团队在国家卫生健康委员会领导下对 2018 年全国 1 700 家三级医院接受 ECMO 治疗患者的临床及预后信息进行分析。2018 年,在中国大陆 1 700 家三级医院住院治疗的 79 668 156 例患者中共有 2 073 例接受了 ECMO 治疗,其中静脉-动脉 ECMO (VA-ECMO) 1 359 例,静脉-静脉 ECMO (VV-ECMO) 714 例。ECMO 支持患者中位年龄 50 岁 (31~63 岁),住院时间 17 d (7~30 d),住院总花费中位数 236 400 元^[12]。笔者发现,在中国大陆地区,ECMO 的开展存在很大的地域差异。在中国除港澳台外的 31 个省份中,除了海南、青海和西藏外,28 个省份均开展了 ECMO 治疗,其中广东、北京、浙江三个省市年开展例数超过 300 例,而甘肃、内蒙古、宁夏和山西开展例数则不足 5 例。在经济发达的东南沿海地区,ECMO 开展例数明显较多。笔者还发现,不同地区 ECMO 患者的住院死亡率差异也很大,为 20%~70%,住院死亡率与 ECMO 开展例数存在一定相关趋势,开展例数多的省份死亡率较低。进一步的多因素分析发现,影响 ECMO 患者住院死亡率的危险因素包括年龄 > 70 岁、男性、不发达地区患者、夏季发病以及存在先天畸形。既往或治疗过程中出现中枢或血液系统异常也明显影响患者预后^[12]。这是中国大陆地区首次基于临床数据对 ECMO 及其相关死亡率进行流行病学调查



的研究,反映了 ECMO 目前的使用和住院死亡率情况。同样,也突显了国内 ECMO 开展面临的一系列问题。

三、ECMO 开展面临的挑战

(一) ECMO 开展例数不足

笔者 2018 年的统计数据显示,中国人 ECMO 的使用率为 0.148/10 万居民年,而其他国家的数据显示,在资源充足情况下,ECMO 使用率应为 (0.3~0.5)/10 万居民年。与此相比,中国仍有很大的发展空间。一方面,这与 ECMO 设备保有量不足相关,随着 2019 年底新冠疫情暴发,重症病例逐渐增多,可用的 ECMO 设备体现出了明显的不足。据不完全统计,当时全国 ECMO 存量仅约 400 台,远远不能满足临床需要。但令人欣喜的是,以此为契机,在国家政策的鼓励下,国产重大医疗器械自主化研制如火如荼展开,很快有望打破该设备长期以来依赖进口、价格高昂的局面。另一方面,ECMO 专业技术人员的短缺也是 ECMO 开展例数过少的重要原因。根据 CSECLS 的统计,武汉新冠肺炎暴发期间共有 79 个 ECMO 团队对重症新冠肺炎患者进行 ECMO 支持治疗,但其中 51 个 ECMO 团队是为了应对新冠危机临时组建的,并且 21 个团队在此之前从未开展过 ECMO 支持。由于 ECMO 是一种复杂且高风险的治疗方法,充分的培训和大量的经验是必不可少的。武汉新冠疫情暴发初期血的教训充分说明了缺乏经验的 ECMO 项目必定会导致不利后果。笔者团队对武汉初期在 11 家定点医院的 79 个 ECMO 团队进行 ECMO 支持的新冠肺炎患者的回顾性分析发现,患者的死亡率高达 71.6%,而 2018 年全国的数据显示 VV-ECMO 的死亡率仅为 29.1%,这充分显示了 ECMO 中心和 ECMO 团队在患者预后中的重要作用,当然这也与当时特定的环境和医疗物资短缺密不可分,笔者发现在大批医疗队驰援武汉之后,ECMO 的开展人数、死亡率均有了不同程度的改善^[12-15]。

(二) ECMO 开展存在巨大地域差异

笔者团队 2018 年的数据显示,除港澳台外的中国大陆地区的 31 个省份中,除了海南、青海和西藏外,28 个省份均有开展 ECMO 治疗,但各省份开展例数存在较大差异,最多的省份开展例数超过 300 例,而少的省份年开展则不足 5 例,地域差异非常明显。在经济发达的东南沿海 2018 年全年开展超过 1 400 例,内陆地区则仅 400 例左右;按照经济水平划分,国民生产总值(GDP)高的地区年开展

1 441 例,GDP 低的地区则仅开展 194 例^[12]。

CSECLS 的统计数据显示,截至 2020 年底,国内开展体外生命支持技术的中心总数为 500 家,数量与目前国际 ELSO 登记单位总数大致相当,但完成 ECMO 的数量仅为 1/3 左右。其中有将近一半的 ECMO 中心开展例数在 5 例以下(48.6%),开展 50 例以上的中心仅占 6.2%。笔者团队对 2017 至 2019 年全国开展 ECMO 情况进行调查发现(未发表),全国共有 318 家医院开展 VV-ECMO,3 年开展例数超过 50 例的中心仅 11 家,共有 342 家医院开展 VA-ECMO,3 年开展例数超过 60 例的中心仅 14 家。笔者发现,较大的 ECMO 中心患者预后明显优于较小的 ECMO 中心(VV-ECMO 24.5% 比 30.8%, $P=0.001$; VA-ECMO 28.0% 比 34.5%, $P<0.001$)。此现象可能是我国今后区域 ECMO 中心形成前很长一段时间需要面临的现状,也是患者预后与国外存在差距的重要原因之一^[3]。

随着医疗水平的提高,ELSO 登记的 ECMO 中心数量越来越多,但高质量的中心仍然以欧美发达国家为主。ECMO 的开展目前也以区域中心化为主,EOLIA 研究中所有的 ECMO 患者均集中在 2 个 ECMO 中心内治疗,法国大巴黎区的新冠救治也均转移到专门的 ECMO 中心。这需要配备随时待命的移动 ECMO 团队,进行穿刺置管和转运,充分评估转运风险。在我国,将 ECMO 患者集中到几个大的中心非常不现实,中国领土范围广、长途长时间转运对医务人员和患者均存在较大挑战,虽然已有长途长时间固定翼飞机和地面转运的报道,但仅仅局限在个例,大范围推广困难较大。根据发达国家及我国台湾地区开展 ECMO 的经验,ECMO 患者集中管理是提高 ECMO 技术及患者安全性的重要保证。目前,适合中国国情的 ECMO 发展应该为建立以省份为多中心的区域中心,辐射周边区域,切实提高 ECMO 患者的救治成功率。成立区域性的 ECMO 中心还可保证 ECMO 技术的合理利用、避免医疗资源的浪费及完整区域性的危重患者抢救体系^[16-18]。

(三) ECMO 中心建设问题

ECMO 的开展如火如荼,尤其是 2019 年底新冠疫情进一步推动了 ECMO 在国内的开展,但在开展过程中存在一些不合理的现象,部分基层医疗中心跟风上马 ECMO 项目,适应证把控不严格,ECMO 的管理不规范,导致医疗花费巨大,患者预后不佳。按照 ELSO 指南相关的诊疗流程,ECMO 的启动应



由专业技术人员进行,即使这些中心可完成 ECMO,最终也需要将患者转至上级医疗机构进行统一管理。ECMO 技术复杂且风险高,对医疗资源配置要求高,需要占用大量卫生资源。ECMO 的具体实施应由一个多学科团队而非单一科室完成。但多学科背景造成其在实际开展中学科归属不明确,部分中心心外科、重症医学科、呼吸科都在开展 ECMO,不同医院开展 ECMO 的科室也存在差异,造成学科管理分散,在一定程度上限制了院内及院间的统一组织、多学科合作以及相关指南与研究的推进。对于 ECMO 中心的建设除去人员及设备配置要求外,还应考虑到每年中心可能开展的病例数,虽然对于每年的最少可接受例数存在争议,但有证据表明患者预后与中心开展例数具有一定相关性。ELSO 建议 ECMO 中心的年开展例数应 ≥ 6 例。笔者目前对 2017 至 2019 年的数据分析发现,重症监护病房的质量控制水平也是影响患者预后的重要因素,因此 ECMO 区域中心的设立还应充分考虑质量控制水平。

(四)ECMO 开展相关技术问题

ECMO 技术虽然近年来发展迅速,但仍存在一些尚未突破的技术难题,例如(1)患者是否能从 ECMO 支持中获益?对于 VV-ECMO 目前仅有两项设计严格的随机对照研究,或存在明显的设计缺陷,或未能得出 ECMO 支持显著的生存获益优势;鉴于伦理问题,目前尚未有 VA-ECMO 相关的临床对照研究发表^[2, 18-19]。(2)抗凝策略和抗凝目标如何选择? ECMO 患者的高凝状态使患者及 ECMO 回路易于形成血栓,ECMO 患者进行持续、全身性抗凝治疗,以防止 ECMO 回路血栓形成是重症医学的共识,但最近一篇包括 21 项研究(7 190 例接受 VV-ECMO 或 VA-ECMO 患者)的荟萃分析显示,ECMO 运行期间出血事件的发生率为 17%~51%。尤其对于创伤、存在活动性或者高出血风险的患者,通常存在抗凝禁忌证,因此抗凝策略的选择无疑面临着巨大风险和挑战^[20]。(3)VV-ECMO 支持期间呼吸机参数如何设置? VV-ECMO 支持期间,希望患者自身肺脏得到充分休息,避免进一步肺损伤,但恢复到什么程度让自身肺脏工作?各个时期的呼吸机参数如何设置目前仍无定论^[21-22]。(4)目前 VA-ECMO 绝大多数情况下都是经股动脉插管进行灌注,体外血流与心脏射血方向相反,这样会增加左心室后负荷,导致左心扩大胀满,不利于心功能恢复。研究证实经 VA-ECMO 治疗的心源性休克

患者的左心室减压与较低的死亡率相关。然而,VA-ECMO 期间左心室减压的时机、最佳减压方式如何选择^[23]?(5)最近的研究表明,对于脓毒症合并脓毒症心肌病,存在严重心功能障碍、心源性休克患者,使用 VA-ECMO 可降低病死率,然而该研究为回顾性、观察性研究,且多聚焦于脓毒症引起的左心收缩功能障碍。对于脓毒症相关的右心、全心功能障碍,是否可应用 ECMO 支持?对于心输出量正常或相对偏高,但存在严重血管张力不足的患者可否应用 VA-ECMO 支持目前尚无定论^[24-25]。(6)神经系统并发症严重影响 ECMO 患者的短期和长期预后,尤其是 ECPR 患者,ECMO 运行过程中如何进行脑功能监测?如何及早识别神经系统预后不佳的患者以免不必要的长期 ECMO 支持,避免增加不必要的医疗花费和患者痛苦^[26-27]?关于 ECMO 技术还有更多未知值得进一步探索研究。

综上,ECMO 技术目前在中国蓬勃发展,但与发达国家相比仍存在巨大差距,且面临着区域发展不均、区域化 ECMO 中心不完善以及 ECMO 学科建设等方面的诸多问题,但随着对该技术认识的不断进步和国家行政部门对未来发展方向的把控,相信 ECMO 在中国一定能够得到长足发展,切实改善患者预后。

利益冲突 作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 侯晓彤. 无规矩不方圆——规范中国体外生命支持技术进入倒计时[J]. 中华医学杂志, 2020, 100(7): 481-483. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2020.07.001.
- [2] Australia and New Zealand Extracorporeal Membrane Oxygenation (ANZ ECMO) Influenza Investigators, Davies A, Jones D, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for 2009 influenza A(H1N1) acute respiratory distress syndrome[J]. JAMA, 2009, 302(17): 1888-1895. DOI: 10.1001/jama.2009.1535.
- [3] 章晓华, 庄建. 中国体外膜肺氧合技术开展的现状及思考[J]. 中国体外循环杂志, 2017, 15(2): 68-71, 91. DOI: 10.13498/j.cnki.chin.jecc.2017.02.02.
- [4] 龙村. 体外膜肺支持疗法在本世纪中国体外循环的机遇和挑战[J]. 中国体外循环杂志, 2005, 3(2): 65. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1403.2005.02.001.
- [5] 中国生物医学工程学会体外循环分会, 赵举, 黑飞龙. 2015 中国心脏外科和体外循环数据白皮书[J]. 中国体外循环杂志, 2016, 14(3): 130-132. DOI: 10.13498/j.cnki.chin.jecc.2016.03.02.
- [6] Extracorporeal Life Support Organization. ECLS International Summary of Statistics[EB/OL]. (2021-10-02) [2022-01-29]. <https://www.elso.org/Registry/InternationalSummaryandReports/InternationalSummary.aspx>.
- [7] Extracorporeal Life Support Organization. World Map of



- ELSO Member Centers[EB/OL]. (2021-11-23) [2022-01-29]. <https://www.else.org/Membership/CenterMap.aspx>.
- [8] El Sibai R, Bachir R, El Sayed M. ECMO use and mortality in adult patients with cardiogenic shock: a retrospective observational study in U.S. hospitals[J]. *BMC Emerg Med*, 2018, 18(1):20. DOI: 10.1186/s12873-018-0171-8.
- [9] Park M, Mendes PV, Zampieri FG, et al. The economic effect of extracorporeal membrane oxygenation to support adults with severe respiratory failure in Brazil: a hypothetical analysis[J]. *Rev Bras Ter Intensiva*, 2014, 26(3):253-262. DOI: 10.5935/0103-507x.20140036.
- [10] Ouweneel DM, Schotborgh JV, Limpens J, et al. Extracorporeal life support during cardiac arrest and cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis[J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(12):1922-1934. DOI: 10.1007/s00134-016-4536-8.
- [11] Natt BS, Desai H, Singh N, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for ards: national trends in the United States 2008-2012[J]. *Respir Care*, 2016, 61(10):1293-1298. DOI: 10.4187/respcare.04760.
- [12] Cheng W, Ma XD, Su LX, et al. Cross-sectional study for the clinical application of extracorporeal membrane oxygenation in Mainland China, 2018[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1):554. DOI: 10.1186/s13054-020-03270-1.
- [13] Barbaro RP, Odetola FO, Kidwell KM, et al. Association of hospital-level volume of extracorporeal membrane oxygenation cases and mortality. Analysis of the extracorporeal life support organization registry[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2015, 191(8):894-901. DOI: 10.1164/rccm.201409-1634OC.
- [14] Li C, Hou X, Tong Z, et al. Extracorporeal membrane oxygenation programs for COVID-19 in China[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1):317. DOI: 10.1186/s13054-020-03047-6.
- [15] Cheng W, Ma XD, Su LX, et al. Retrospective study of critically ill COVID-19 patients with and without extracorporeal membrane oxygenation support in Wuhan, China[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8:659793. DOI: 10.3389/fmed.2021.659793.
- [16] Schmidt M, Hajage D, Lebreton G, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome associated with COVID-19: a retrospective cohort study[J]. *Lancet Respir Med*, 2020, 8(11):1121-1131. DOI: 10.1016/S2213-2600(20)30328-3.
- [17] Lebreton G, Schmidt M, Ponnaiah M, et al. Extracorporeal membrane oxygenation network organisation and clinical outcomes during the COVID-19 pandemic in Greater Paris, France: a multicentre cohort study[J]. *Lancet Respir Med*, 2021, 9(8):851-862. DOI: 10.1016/S2213-2600(21)00096-5.
- [18] Combes A, Hajage D, Capellier G, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(21):1965-1975. DOI: 10.1056/NEJMoa1800385.
- [19] Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2009, 374(9698):1351-1363. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)61069-2.
- [20] Nunez JI, Gosling AF, O'Gara B, et al. Bleeding and thrombotic events in adults supported with venovenous extracorporeal membrane oxygenation: an ELSO registry analysis[J]. *Intensive Care Med*, 2022, 48(2):213-224. DOI: 10.1007/s00134-021-06593-x.
- [21] Vasques F, Romitti F, Gattinoni L, et al. How I wean patients from veno-venous extra-corporeal membrane oxygenation[J]. *Crit Care*, 2019, 23(1):316. DOI: 10.1186/s13054-019-2592-5.
- [22] Schmidt M, Pham T, Arcadipane A, et al. Mechanical ventilation management during extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome. An international multicenter prospective cohort[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 200(8):1002-1012. DOI: 10.1164/rccm.201806-1094OC.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Bréchet N, Hajage D, Kimmoun A, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation to rescue sepsis-induced cardiogenic shock: a retrospective, multicentre, international cohort study[J]. *Lancet*, 2020, 396(10250):545-552. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30733-9.
- [26] Ong CS, Etchill E, Dong J, et al. Neuromonitoring detects brain injury in patients receiving extracorporeal membrane oxygenation support[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2021[2022-02-04]. [published online ahead of print October 29, 2021]. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2021.09.063.
- [27] Hunt MF, Clark KT, Whitman G, et al. The use of cerebral NIRS monitoring to identify acute brain injury in patients with VA-ECMO[J]. *J Intensive Care Med*, 2021, 36(12):1403-1409. DOI: 10.1177/0885066620966962.

