

体外膜肺氧合支持患者脑损伤 预防和管理的最佳证据总结

方可¹ 汪君¹ 徐前程¹ 孙瑞祥¹ 江海娇² 叶小铭¹ 李阳¹ 周全¹ 沈光贵¹

¹皖南医学院第一附属医院(弋矶山医院)重症医学科/安徽省危重症呼吸疾病临床医学研究中心, 芜湖 241000; ²皖南医学院第一附属医院(弋矶山医院)护理部, 芜湖 241000

通信作者: 汪君, Email: wyyjswj@163.com

【摘要】目的 检索、评价和总结体外膜肺氧合(ECMO)支持患者脑损伤预防和管理的相关证据,为ECMO支持期间脑损伤的预防和管理提供循证依据。**方法** 系统检索 UpToDate、BMJ 最佳临床实践、澳大利亚 JBI 循证卫生保健中心数据库、Cochrane 图书馆、英国国家卫生与临床优化研究所(NICE)指南库、苏格兰校际指南网(SIGN)、美国国立指南网(NGC)、中国医脉通指南网、体外生命支持组织(ELSO)官网、美国心脏病学会(ACC)、美国国立医学图书馆 PubMed 数据库、荷兰医学文摘 Embase 数据库、护理和辅助医学文献累积索引(CINAHL)、中国生物医学文献服务系统(SinoMed)、中国知网、万方数据库、维普数据库等中英文数据库、专业团队网站及指南网站中有关 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理临床决策、指南、专家共识、系统评价及高质量的原始研究,检索时限为数据库建库至 2025 年 5 月。由 2 名接受过循证护理学方法系统培训的研究者独立进行文献质量评价,对符合质量标准的文献进行证据提取及总结。**结果** 共纳入 18 篇文献,其中指南 4 篇、专家共识 3 篇、系统评价 4 篇、原始研究 7 篇[包括随机对照试验(RCT)1 篇、队列研究 4 篇、病例研究 2 篇],整体证据等级均较高,均纳入分析。通过对 18 篇文献进行总结,最终形成包括脑损伤的危险因素、脑损伤的保护性因素、治疗期间的评估与监测、脑损伤的预防、脑损伤的治疗措施 5 个维度共 31 条 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理最佳证据。**结论** 该证据总结为 ECMO 治疗期间脑损伤的预防和管理提供了最佳循证依据,建议结合医疗机构实际临床环境与患者个体差异选择性应用最佳证据,个体化、合理性预防并管理 ECMO 支持患者脑损伤。

【关键词】 体外膜肺氧合; 脑损伤; 证据总结; 循证

基金项目: 安徽省医疗卫生重点专科建设项目(2021-273)

证据总结注册: 复旦大学循证护理中心(ES20258111)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250727-00403

Best evidence summary for the prevention and management of brain injury in patients with extracorporeal membrane oxygenation

Fang Ke¹, Wang Jun¹, Xu Qiancheng¹, Sun Ruixiang¹, Jiang Haijiao², Ye Xiaoming¹, Li Yang¹, Zhou Quan¹, Shen Guanggui¹

¹Department of Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital of Wannan Medical College (Yijishan Hospital); Anhui Provincial Clinical Research Center for Critical Respiratory Disease, Wuhu 241000, China; ²Department of Nursing, the First Affiliated Hospital of Wannan Medical College (Yijishan Hospital), Wuhu 241000, China

Corresponding author: Wang Jun, Email: wyyjswj@163.com

【Abstract】Objective To search, evaluate and summarize evidence for the prevention and management of brain injury in patients supported by extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), and to provide evidence-based basis for the prevention and management of brain injury during ECMO support. **Methods** A systematic search was conducted in the following databases and resources for clinical decision support tools, guidelines, expert consensus, systematic reviews and high-quality original studies related to the prevention and management of brain injury in ECMO-supported patients: UpToDate, BMJ Best Practice, JBI evidence-based Health Care Center Database, the Cochrane Library, the National Institute for Health and Care Excellence (NICE), the Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN), the National Guideline Clearinghouse (NGC), Yimaitong, Extracorporeal Life Support Organization (ELSO), the American College of Cardiology (ACC), PubMed, Embase, the Cumulative Index to Nursing and Allied Health Literature (CINAHL), China Biomedical Literature Service System (SinoMed), CNKI, Wanfang Database, VIP Database and other Chinese and English databases, professional team websites, and guideline websites. The search time range is from the establishment of the database to May 2025. Two researchers with systematic training backgrounds in evidence-based nursing methods independently evaluated the quality of the literature, and extracted and summarized the evidence from the literature that met the quality standards. **Results** A total of 18 publications were ultimately included, comprising 4 guidelines, 3 expert consensuses, 4 systematic reviews, and 7 original studies [including 1 randomized controlled trial (RCT), 4 cohort studies, and 2 case studies]. Through synthesis, 31 pieces of best evidence for the prevention and management of brain injury in ECMO-supported patients were formulated, covering five major themes: risk factors of

brain injury, protective factors of brain injury, assessment and monitoring during treatment, prevention of brain injury, and treatment measures for brain injury. **Conclusions** This evidence provides the best evidence-based basis for the prevention and management of brain injury during ECMO treatment. It is recommended to selectively apply the best evidence in combination with the actual clinical environment of medical institutions and individual differences of patients, and to prevent and manage brain injury in ECMO-supported patients in a personalized and reasonable manner.

【Key words】 Extracorporeal membrane oxygenation; Brain injury; Evidence summary; Evidence-based

Fund program: Key Medical and Health Specialty Construction project of Anhui Province (2021–2023)

Evidence summary registration: Fudan University Centre for Evidence-based Nursing (ES20258111)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250727-00403

体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)是一种临时性的高级生命支持技术,主要用于难治性心肺功能衰竭患者的呼吸和心脏支持,目的是为原发疾病的治疗争取时机,相当于“桥梁”的作用^[1-2]。随着技术的发展与产品的迭代,ECMO的应用范围日益广泛,尤其是体外心肺复苏(extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, ECPR)在心搏骤停患者中的应用显著增多,管理过程中难免出现各种重大并发症,而脑损伤是ECMO支持患者常见的严重并发症之一。有研究表明,ECMO支持患者脑损伤发生率可达13%^[3],静脉-动脉ECMO(veno-arterial ECMO, VA-ECMO)支持患者的脑损伤事件较静脉-静脉ECMO(veno-venous ECMO, VV-ECMO)支持患者更多见,尤其是ECPR患者,其脑损伤发生率高达27%~32%^[4]。脑损伤是影响ECMO支持患者近期和远期预后的重要危险因素,有研究报道脑损伤可使ECMO支持患者住院病死率增加2~3倍^[5-6]。ECMO相关脑损伤主要包括缺血缺氧性脑病、缺血性脑卒中、出血性脑卒中、癫痫及脑死亡^[7-8]。国外开展ECMO相关脑损伤研究较早,近年来国内越来越多的中心开始关注ECMO相关脑损伤的评估与监测,但脑监测技术的掌握程度与临床应用水平、脑损伤的预防及管理策略仍然参差不齐。随着ECMO的广泛应用和临床经验的积累,ECMO相关脑损伤的监测与管理势在必行。本研究基于循证方法对ECMO支持患者脑损伤预防和管理的证据进行评价与整合,形成最佳证据,旨在为医护人员制订科学规范的ECMO支持患者脑损伤预防和管理方案提供参考。

1 资料与方法

1.1 明确循证问题:以“PIPOST”形式提出护理问题。证据应用目标人群(population, P)为成人ECMO患者;干预措施(intervention, I)分为两个部分, I₁为ECMO支持患者脑损伤的评估、监测和预防, I₂为ECMO支持患者脑损伤的管理;证据实施

者(professional, P)为参与ECMO管理的医护人员;结局指标(outcome, O)为ECMO支持患者脑损伤的发生率及其所致临床结局;证据应用场所(setting, S)为重症监护病房(intensive care unit, ICU);循证证据类型(type of evidence, T)为临床决策、指南、专家共识、系统评价和原始研究。本次证据总结已在复旦大学循证护理中心完成注册(注册号:ES20258111)。

1.2 文献检索策略

1.2.1 检索词:采用主题词与自由词相结合的方式检索各数据库。以“体外膜肺氧合/体外膜氧合/体外膜式氧合/叶克膜/体外膜肺氧合作用/人工膜肺/体外生命支持/体外心肺复苏”和“脑损伤/脑并发症/神经系统损伤/神经系统功能障碍/神经系统并发症/缺血缺氧性脑病”为中文检索词,以“extracorporeal membrane oxygenation/ECMO/membrane oxygenation/extracorporeal life support/extracorporeal cardiopulmonary resuscitation”和“brain injuries/neurological outcomes/neurologic complications/stroke/neurologic injury/nervous system diseases/neurophysiological monitoring/neuromonitoring”为英文检索词。

1.2.2 检索平台及检索时间:依照证据“6S”金字塔模型从上至下依次检索UpToDate临床顾问、BMJ最佳临床实践、JBI循证卫生保健中心数据库、Cochrane图书馆、英国国家卫生与临床优化研究所(National Institute for Health and Care Excellence, NICE)指南库、苏格兰校际指南网(Scottish Intercollegiate Guidelines Network, SIGN)、美国国立指南网(National Guideline Clearinghouse, NGC)、医脉通、体外生命支持组织(Extracorporeal Life Support Organization, ELSO)官网、美国心脏病学会(American College of Cardiology, ACC)、美国国立医学图书馆PubMed数据库、荷兰医学文摘Embase数据库、护理和辅助医学文献累积索引(Cumulative Index to Nursing and

Allied Health Literature, CINAHL)、中国生物医学文献服务系统(SinoMed)、中国知网、万方数据库、维普数据库。检索时限为数据库建库至 2025 年 5 月。

1.3 文献纳入和排除标准

1.3.1 文献纳入标准: ① 研究对象为 ECMO 支持成人(年龄 ≥ 18 岁)患者;② 研究内容涉及 ECMO 支持患者发生脑损伤的评估、监测、预防及管理等相关临床问题;③ 文献类型为临床决策、指南、专家共识、系统评价及高质量原始研究;④ 文献语种为中文或英文。

1.3.2 文献排除标准: ① 重复发表的文献;② 文献信息不全或无法获取全文;③ 会议论文、摘要、研究计划、信件、草案、节选、指南解读等类型文献;④ 质量级别较低的文献;⑤ 文献研究对象为 ECMO 上机前合并脑损伤患者。

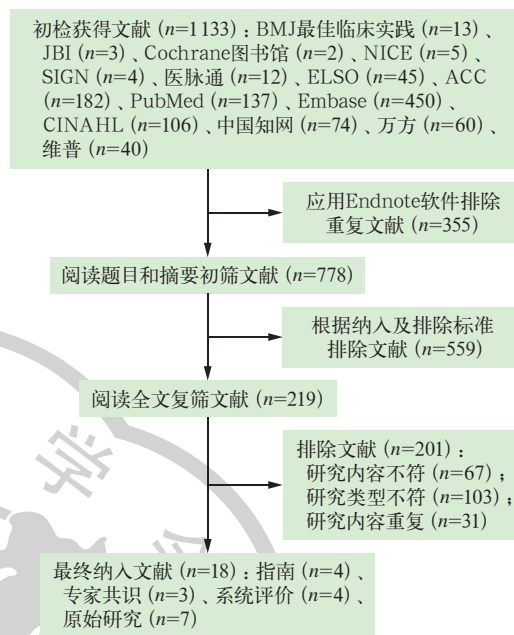
1.4 文献质量评价: 采用临床指南研究与评估系统 II (Appraisal of Guidelines for Research and Evaluation II, AGREE II) 量表^[9]进行指南文献质量评价,评价内容中若 6 个领域得分标准化百分比均 $>60\%$ 评为 A 级;若有 3 个及以上领域得分标准化百分比为 $30\% \sim 60\%$ 评为 B 级;若有 3 个及以上领域得分标准化百分比 $<30\%$ 评为 C 级,排除质量等级为 C 级的指南。依托 JBI 循证卫生保健中心文献质量评价工具^[10]对专家共识、系统评价、原始研究开展评价。所有文献质量评价均由 2 名接受过循证护理学方法系统培训的研究者完成,意见不一致时,由第 3 名研究者参与讨论并达成共识。

1.5 证据整合及分级: 由 2 名接受过循证护理学方法系统培训的研究者独立提取所有纳入文献的证据,讨论后进行整合汇总。证据整合应遵循以下原则:① 优先选择表达专业、通俗易懂的证据;② 合并呈逻辑关系互补的证据;③ 高质量权威证据优先、循证方法严格者优先,同时遵循时效性优先选择最新证据。依托 JBI 证据分级及推荐系统^[11]将纳入证据划分为 1~5 级,并从证据的可行性、适宜性、临床意义及有效性 4 个方面确立证据推荐强度,包括 A 级(强推荐)和 B 级(弱推荐)。

2 结果

2.1 纳入文献一般特征及纳入流程: 初检获得 1 133 篇文献,排除重复文献及初筛后有 219 篇文献符合纳排标准,阅读全文复筛后排除研究内容不符、类型不符、内容重复者 201 篇,最终纳入 18 篇文献,其中指南 4 篇^[4, 12-14]、专家共识 3 篇^[8, 15-16]、系统评

价 4 篇^[3, 17-19]、原始研究 7 篇^[20-26]。文献纳入流程图 1,纳入文献基本特征见表 1。



注: ECMO 为体外膜肺氧合, NICE 为英国国家卫生与临床优化研究所, SIGN 为苏格兰校际指南网, ELSO 为体外生命支持组织, ACC 为美国心脏病学会, CINAHL 为护理和辅助医学文献累积索引

图 1 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理最佳证据总结文献纳入流程

2.2 文献质量评价结果

2.2.1 指南的质量评价结果(表 2): 共纳入 4 篇指南^[4, 12-14]。其中, Richardson 等^[14]指南的严谨性领域标准化百分比较低,推荐级别为 B 级,准予纳入;其余 3 篇指南^[4, 12-13]的范围和目的领域标准化百分比均较高,所有领域标准化百分比均 $\geq 60\%$,整体质量较高,推荐级别均为 A 级,准予纳入。

2.2.2 专家共识的质量评价结果: 共纳入 3 篇专家共识^[8, 15-16]。其中, 2 篇^[8, 16]除条目 6 “所提观点与既往文献是否有不一致的地方?”评价为“不清楚”外,其余条目均评价为“是”; 1 篇^[15] 6 个条目均评价为“是”。3 篇专家共识^[8, 15-16]的研究设计均较完整,整体质量较高,准予纳入。

2.2.3 系统评价的质量评价结果: 共纳入 4 篇系统评价^[3, 17-19]。其中, Sutter 等^[3]系统评价除条目 7 “提取资料时是否采取一定措施减少误差?”评价为“不清楚”外,其余条目均评价为“是”; Thiara 等^[17]系统评价除条目 7 “提取资料时是否采取一定措施减少误差?”评价为“不清楚”、条目 9 “是否评估了发表偏倚?”评价为“否”外,其余条目均评价为“是”; Bertini 等^[18]系统评价除条目 5 “采用的文献

表 1 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理最佳证据总结纳入文献的一般特征

纳入文献	文献来源	发表时间(年)	文献类型	文献内容
Cho 等 ^[4]	PubMed	2024	指南	成人 ECMO 支持患者神经监测和管理的共识指南
Lorusso 等 ^[12]	ELSO 官网	2021	指南	成人心脏病患者 ECMO 管理的临时指南
Tonna 等 ^[13]	ELSO 官网	2021	指南	VV-ECMO 支持下成人患者的管理指南
Richardson 等 ^[14]	ELSO 官网	2021	指南	成人 ECPR 临时指南共识声明
中国医师协会体外生命支持专业委员会 ^[8]	医脉通	2024	专家共识	ECMO 支持患者脑监测中国专家共识
中华医学会急诊医学分会复苏学组等 ^[15]	医脉通	2023	专家共识	成人 ECPR 专家共识
国家脑损伤评价医疗质量控制中心脑死亡判定工作组等 ^[16]	医脉通	2025	专家共识	ECMO 支持时脑损伤评估与脑死亡判定专家共识
Sutter 等 ^[3]	PubMed	2018	系统评价	ECMO 支持过程中的急性神经系统并发症
Thiara 等 ^[17]	PubMed	2025	系统评价	VV-ECMO 支持期间颅内出血和缺血性脑卒中的预后因素
Bertini 等 ^[18]	PubMed	2023	系统评价	探讨 rSO ₂ 对 ECPR 患者生存和神经结局预后的影响
Woszczyk 等 ^[19]	PubMed	2025	系统评价	整合 ECPR 患者神经结局预后影响因素的相关证据
HYPO-ECMO Trial Group 等 ^[20]	PubMed	2022	RCT	早期应用中度低体温与正常体温对接受 VA-ECMO 支持的心源性休克患者早期预后的影响
SAFE MRI ECMO Investigators ^[21]	PubMed	2024	队列研究	ULF-pMRI 在 ECMO 支持患者中的临床应用
Cho 等 ^[22]	PubMed	2020	队列研究	VA-ECMO 支持患者发生缺血性和出血性脑卒中的可改变危险因素
Cavayas 等 ^[23]	PubMed	2020	队列研究	ECMO 启动后早期 PaCO ₂ 的变化与神经系统并发症的相关性
HERALD Investigators ^[24]	PubMed	2023	队列研究	VA-ECMO 启动后早期低血压与急性脑损伤的相关性
Le 等 ^[25]	PubMed	2020	病例报道	机械性血栓清除在 VA-ECMO 期间急性缺血性脑卒中患者中的应用
Lilly 等 ^[26]	PubMed	2024	病例报道、文献回顾	ECMO 支持患者发生出血性脑卒中行外科开放手术后的神经学预后

注: ECMO 为体外膜肺氧合, ELSO 为体外生命支持组织, VV-ECMO 为静脉-静脉体外膜肺氧合, ECPR 为体外心肺复苏, rSO₂ 为区域脑氧饱和度, RCT 为随机对照试验, ULF-pMRI 为床旁便携式超低场脑磁共振成像, VA-ECMO 为静脉-动脉体外膜肺氧合, PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压

表 2 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理最佳证据总结纳入指南类文献的质量评价结果

纳入文献	各领域标准化百分比(%)						≥60% 的领域数(个)	≥30% 的领域数(个)	推荐级别(级)
	范围及目的	参与人员	严谨性	清晰性	应用性	独立性			
Cho 等 ^[4]	91.7	83.3	79.2	94.4	64.6	66.7	6	6	A
Lorusso 等 ^[12]	91.7	88.9	62.5	83.3	72.9	87.5	6	6	A
Tonna 等 ^[13]	94.4	69.4	76.0	69.4	62.5	83.3	6	6	A
Richardson 等 ^[14]	83.3	80.6	44.8	77.8	68.8	91.7	5	6	B

注: ECMO 为体外膜肺氧合

质量评价标准是否恰当?”、条目 7 “提取资料时是否采取一定措施减少误差?” 评价为“不清楚”外, 其余条目均评价为“是”; Woszczyk 等^[19] 系统评价除条目 5 “采用的文献质量评价标准是否恰当?” 评价为“不清楚”外, 其余条目均评价为“是”。4 篇系统评价^[3, 17-19] 的推荐级别均为中等, 方法学设计较为完整, 准予纳入。

2.2.4 原始研究的质量评价结果: 共纳入 7 篇原始研究^[20-26], 包括随机对照试验(randomized control trial, RCT) 1 篇^[20]、队列研究 4 篇^[21-24]、病例研究 2 篇^[25-26]。其中, RCT^[20] 条目 4 “是否对研究对象采取盲法?”、条目 5 “是否对干预者采取盲法?”、条目 6 “是否对结果测评者采取盲法?” 评价为“否”, 条目 7 “除需验证的干预措施外, 各组所接受其他

措施是否相同?” 评价为“不适用”, 其余条目均评价为“是”。4 篇队列研究^[21-24] 中, 3 篇^[21-23] 除条目 8 “是否描述随访时间且随访时间足够?”、条目 9 “随访有无缺失? 是否阐明失访原因?”、条目 10 “针对失访是否采取有效解决措施?” 评价为“不适用”外, 其余条目均评价为“是”; 1 篇^[24] 所有条目均评价为“是”。2 篇病例研究^[25-26] 所有条目均评价为“是”。7 篇原始研究^[20-26] 的整体质量均较高, 准予纳入。

2.3 证据汇总(表 3): 通过对 18 篇文献进行总结, 最终形成包括脑损伤的危险因素、脑损伤的保护性因素、治疗期间的评估与监测、脑损伤的预防、脑损伤的治疗措施 5 个维度共 31 条 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理最佳证据。

表 3 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理的最佳证据总结

维度	证据内容	证据等级 (级)	推荐强度 (级)
脑损伤的危险因素	1. ECMO 启动前心搏骤停、高 PaCO ₂ 、Lac > 10 mmol/L、低 pH 值；ECMO 启动后重度高氧血症、24 h 内 PaCO ₂ 快速降低 (>50%)、VA-ECMO 启动后 12 h 内脉压差持续 < 20 mmHg、ECPR 启动后 rSO ₂ ≤ 0.16；女性、高龄、ECMO 时间延长、MV 时间延长、使用肝素、SCr > 26 mg/L、血液透析、PLT 减少 (< 50 000/mm ³)、Fib 降低、使用正性肌力药物、低血糖、高胆红素血症、血液透析是 ECMO 支持患者发生急性脑损伤的危险因素 ^[3, 13-14, 16-18, 22-24]	2	A
脑损伤的保护性因素	2. 心源性休克患者 VA-ECMO 启动后初始中度低温、ECPR 启动时或到达医院时存在可电击心律、年龄 < 65 岁、ECPR 联合 TTM、ECPR 后轻度高碳酸血症可改善神经功能预后 ^[15, 18-20]	3	B
治疗期间的评估与监测	3. ECMO 支持期间需评估瞳孔、意识水平、脑干反射、运动反应、自主呼吸节律 ^[4, 8] ；需每日停用镇静药物及神经肌肉阻滞剂进行神经系统评估 ^[3, 12]	2	A
	4. ECMO 支持期间首选 MNM/SNM 监测与评估脑功能状态，早期、快速识别脑损伤，MNM/SNM 技术应至少包括 GCS 评分、EEG、SEP、TCD、TCCD、CT、DCS、COx、rSO ₂ 及 ONSD 中的 2 项 ^[4, 8, 12, 16]	2	B
	5. ECMO 支持患者颅脑影像学检查首选 CT。当临床出现癫痫发作、神经系统阳性体征、瞳孔改变、镇静后苏醒延迟以及 MNM/SNM 提示危急值时，立即启动颅脑 CT 检查 ^[8] ；所有 ECPR 患者应尽早行 CT 检查 ^[14]	2	A
	6. ECMO 支持期间若需行其他部位 CT 检查，可常规行颅脑 CT 平扫以明确患者脑功能基线状态并识别“沉默型”脑损伤 ^[8]	2	B
	7. 外出检查受限时，ULF-pMRI 可作为 ECMO 相关脑损伤的床旁神经影像诊断工具 ^[21]	2	B
	8. 存在脑损伤风险或已有脑损伤者，早期动态监测血浆脑损伤生物标志物（如 NSE、S100β、ICAM-5、GFAP 和 CCL-2 等） ^[8] ；常规行连续 EEG 监测（≥24 h）及 SSEP 检查，EEG 首选 qEEG，SSEP 中 N20 波形消失提示预后不良 ^[4, 8]	2	B
	9. 存在脑损伤风险或已有脑损伤的 VA-ECMO 支持患者常规使用 TCD、TCCD 监测脑血流，使用 NIRS 监测脑氧变化 ^[4, 8, 12]	2	B
	10. VV-ECMO 上机后若出现 PaCO ₂ 快速下降需行脑监测 ^[8]	2	B
	11. VA-ECMO 支持患者宜通过右上肢桡动脉或肱动脉测量 MAP ^[12, 14] ，并选择右上肢进行血气采样 ^[12, 14, 16] ，同时在右上肢监测 SpO ₂ ^[12, 15]	1	A
	12. TIPS65 评分系统可作为预测 ECPR 患者神经功能结局的辅助工具 ^[15, 19]	4	B
	13. VA-ECMO 与 IABP 联用时应监测脑血流，并根据心功能状态及脉压变化调整 ECMO 流量，维持合适脑血流量 ^[8]	2	B
脑损伤的预防	14. 避免低氧血症 (PaO ₂ < 70 mmHg) 及严重高氧血症 (PaO ₂ > 300 mmHg)，氧合器后达到正常碳酸血症和轻度高氧状态 (PaO ₂ 为 150 mmHg)，SpO ₂ 维持在 0.92 ~ 0.97 即可，尤其是再灌注损伤风险高的 VA-ECMO ^[4, 12, 14]	2	A
	15. 对于高碳酸血症患者，避免 ECMO 启动后 PaCO ₂ 的快速下降 ^[4, 12]	1	A
	16. ECMO 启动后以低气流速 (2 L/min) 开始吹扫氧合器，并根据血气分析结果动态滴定以缓慢调节 PaCO ₂ 和 pH 值 ^[13]	3	B
	17. 每次改变吹扫氧合器混合气流速及吸入氧体积分数后均应测量膜后动脉血气，以避免低碳酸血症及严重高氧血症 ^[12]	3	B
	18. VA-ECMO 支持期间存在“南北综合征”或难治性呼吸功能不全时，若优化通气策略不可解决时，应考虑 VAV-ECMO ^[12]	2	A
	19. 应维持 MAP > 70 mmHg 以保证足够脑灌注，并根据患者合并症制定个体化血压目标 ^[4, 18] ；ECPR 者维持 MAP 60 ~ 80 mmHg，保障脑灌注的同时最大限度降低 LV 扩张风险 ^[14]	3	B
	20. 持续监测体温，避免体温 > 37.7 °C ^[4]	2	B
	21. VA-ECMO 特别是 ECPR 启动后维持轻中度低温 (33 ~ 36 °C) 24 ~ 48 h，然后逐渐复温至 37 °C ^[4, 14-15, 20]	3	B
	22. 不建议在 VV-ECMO 支持患者中维持轻中度低温 ^[4]	3	A
脑损伤的治疗措施	23. 一旦出现急性神经系统变化，立即邀请神经科会诊 ^[4]	1	A
	24. 对意识改变但无脑血管意外者，应考虑 EEG 检查 ^[3]	3	B
	25. 不推荐在 ECMO 支持期间急性缺血性脑卒中患者中应用 rtPA ^[4]	5	B
	26. 若存在急性大血管闭塞，可考虑机械血栓清除术 ^[4, 25]	3	B
	27. 根据脑血流自动调节功能进行个性化血压管理，缺血性脑卒中患者可维持较高范围血压，出血性脑卒中患者维持较低范围血压 (SBP < 140 mmHg, MAP < 90 mmHg) ^[4, 8]	4	B
	28. 出血性脑卒中患者如存在外科手术指征，应组织多学科团队与家属共同讨论手术风险与获益 ^[4]	1	A
	29. VA-ECMO 及 VV-ECMO 均可在无抗凝情况下转流，一旦发生出血性脑卒中，可考虑无抗凝 ECMO，VV-ECMO 无抗凝时间可适当延长 (> 2 d) ^[4]	3	B
	30. ECMO 期间发生出血性脑卒中中应尽快纠正凝血功能，可选择凝血酶原复合物治疗 ^[26]	5	B
	31. 若有严重脑损伤的证据，应在 1 ~ 2 d 内重复进行神经系统检查，若神经功能未改善，应考虑终止 ECMO ^[12]	3	A

注：ECMO 为体外膜肺氧合，PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压，Lac 为血乳酸，VA-ECMO 为静脉-动脉体外膜肺氧合，ECPR 为体外心肺复苏，rSO₂ 为区域脑氧饱和度，MV 为机械通气，SCr 为肌酐，PLT 为血小板计数，Fib 为纤维蛋白原，TTM 为目标温度管理，MNM 为多模式神经功能监测，SNM 为标准化神经功能监测，GCS 为格拉斯哥昏迷评分，EEG 为脑电图，SEP 为体感诱发电位，TCD 为经颅多普勒，TCCD 为经颅彩色多普勒，CT 为计算机断层扫描，DCS 为漫射相关光谱，COx 为脑氧指数，ONSD 为视神经鞘直径，ULF-pMRI 为床旁便携式超低场脑磁共振成像，NSE 为神经元特异性烯醇化酶，S100β 为星形胶质蛋白，ICAM-5 为细胞间黏附分子-5，GFAP 为胶质纤维酸性蛋白，CCL-2 为趋化因子配体 2，SSEP 为短潜伏期体感诱发电位，qEEG 为量化脑电图，NIRS 为近红外光谱，VV-ECMO 为静脉-静脉体外膜肺氧合，MAP 为平均动脉压，SpO₂ 为脉搏血氧饱和度，IABP 为主动脉内球囊反搏，PaO₂ 为动脉血氧分压，VAV-ECMO 为静脉-动脉-静脉体外膜肺氧合，LV 为左心室，rtPA 为重组组织型纤溶酶原激活剂，SBP 为收缩压；1 mmHg = 0.133 kPa

3 讨论

3.1 证据总结的临床实践意义

3.1.1 危险因素的早期筛查是评估脑损伤风险的关键步骤: ECMO 支持期间脑损伤的危险因素贯穿于 ECMO 启动前及启动后任意时间段。早期识别危险因素可有效筛查出 ECMO 支持患者发生脑损伤的高危人群,为超早期脑保护提供指导。第 1 条证据给出了 ECMO 支持患者发生脑损伤的危险因素内容,证据来源于系统评价、多中心队列研究、指南、共识等,整体证据质量较高。越来越多的研究关注到动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO₂)和动脉血二氧化碳分压(partial pressure of carbon dioxide in artery, PaCO₂) 在 ECMO 启动前后的变化对神经功能的影响。VV-ECMO 启动前,绝大多数呼吸衰竭患者存在高碳酸血症,其中 47% 的患者 PaCO₂ > 55 mmHg^[27]。脑血管对 PaCO₂ 变化高度敏感,高碳酸血症可导致脑血管舒张,从而引起脑组织过度灌注及脑水肿, VV-ECMO 启动后 PaCO₂ 的快速下降将导致脑血管急剧收缩,这可能是 VV-ECMO 支持患者发生脑损伤的重要原因^[23]。VA-ECMO 启动后早期及持续性的高氧血症(PaO₂ > 300 mmHg)与不良神经功能结局相关,这可能与氧自由基损害、神经元代谢紊乱、促炎反应加剧脑组织缺血再灌注损伤有关,尤其是 ECPR 患者^[14, 28]。早期脉压差持续 < 20 mmHg 是 VA-ECMO 支持患者发生急性脑损伤的风险因素,可能与内皮细胞功能障碍及脑自动调节功能紊乱有关, ECMO 血流量的动态滴定及主动脉内球囊反搏(intra-aortic balloon pump, IABP)技术的应用可增加脉压差^[24]。相较于其他 ECMO 相关脑损伤危险因素,上述因素是 ECMO 启动后的可控因素,因此具有重大的临床意义。

3.1.2 系统评估与监测是识别脑损伤并提供干预指导的重要手段:接受 ECMO 支持患者在治疗期间往往同时接受镇静、镇痛及神经肌肉阻滞药物治疗,一定程度上干扰了神经系统体格检查结果, ECMO 支持期间床旁多模态神经功能监测(multimodal neurological monitoring, MNM)或标准化神经功能监测(standardized neurological monitoring, SNM)则能及早发现脑损伤并提供早期干预指导^[4, 8, 12, 16]。但现阶段 MNM/SNM 在各 ECMO 中心的开展进度参差不齐,仅少数 ECMO 中心可建立完善的 MNM/SNM 方案体系^[4]。第 3~13 条证据给出了 ECMO 支持患者脑损伤评估与监测的内容,证据来源于系统评

价、前瞻性研究、指南、共识等,整体证据质量较高。在系统进行神经系统体格检查的基础上, MNM/SNM 主要包括脑损伤生物标志物检测、颅脑影像学检查、神经电生理评估、脑血流评估、脑氧监测及颅内压监测等,从多维度实现脑功能状态的全面评估,以期及早发现脑损伤并动态调整 ECMO 支持期间治疗策略,同时精准评估神经预后结局^[8, 16]。计算机断层扫描(computed tomography, CT)仍然是诊断脑损伤的首选检查方案,当 MNM/SNM 中出现任意阳性结果或出现阳性体格检查指征时,应立即启动 CT 检查。若需行其他部位 CT 检查,即使患者无体格检查阳性体征或 MNM/SNM 阳性结果,也建议常规联合行颅脑 CT 检查,以明确患者基线脑功能状态并识别“沉默型”脑损伤^[8]。需要注意的是,所有 ECPR 患者均应及早行 CT 检查^[14],若外出检查受限,床旁便携式超低场脑磁共振成像(ultra-low-field portable magnetic resonance imaging, ULF-pMRI)可以作为一种替代的标准神经影像诊断工具^[21]。VV-ECMO 上机后常忽略吹扫氧合器混合气体流速的管理而导致 PaCO₂ 下降幅度过大,尤其是 24 h 内 PaCO₂ 下降幅度 > 50%,此时应立即行规范化脑监测^[8, 13, 26]。右上肢是 VA-ECMO 支持患者基础脑监测的“黄金部位”,包括通过右上肢桡动脉或肱动脉测量平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)^[12, 14]、采样右上肢血气标本^[12, 14, 16]、监测右上肢脉搏血氧饱和度(saturation of pulse oximetry, SpO₂)^[12, 15]。ECMO 支持期间神经功能监测并不能阻止脑损伤的发生,但可根据监测或检测结果及时干预抗凝管理、优化氧输送与二氧化碳清除、滴定合理个体化血流动力学指标等措施改善患者的神经预后结局。

3.1.3 个性化预防措施是避免脑损伤的关键前提:第 15~22 条证据给出了 ECMO 支持期间脑损伤预防措施的内容,证据来源于 RCT、系统评价、指南、共识等,整体证据质量中等。在已知高风险因素的情况下, ECMO 支持期间个体化的预防措施是最终避免脑损伤发生的关键前提。ECMO 支持患者发生脑损伤的危险因素大多不可控,如性别、年龄、ECMO 支持时间、机械通气(mechanical ventilation, MV)时间、血液透析状态等^[3, 16-17, 22-23],故 ECMO 支持患者脑损伤的预防措施应集中于控制 PaO₂ 和 PaCO₂、稳定内环境、调节氧合器吹扫混合气体流速及吸入氧体积分数、动态滴定目标血压范围及目标温度管理(target temperature management, TTM)等

方面^[4, 12-15, 18, 20]。对于脑组织再灌注损伤风险高的 VA-ECMO 支持患者,应避免低氧血症($\text{PaO}_2 < 70 \text{ mmHg}$)及重度高氧血症($\text{PaO}_2 > 300 \text{ mmHg}$),维持氧合器后达到正常碳酸血症和轻度高氧血症状态(PaO_2 为 150 mmHg)即可^[4, 12, 14], ECPR 后早期维持轻度高碳酸血症可能对神经功能有利^[18]。对于上机前合并有高碳酸血症的 VV-ECMO 支持患者,应以低气流速(2 L/min)开始吹扫氧合器,并根据血气分析结果动态滴定以缓慢调节 PaCO_2 , 避免 PaCO_2 的快速下降^[4, 12-13], 临床上应高度重视。但无论是何种模式的 ECMO, 当每次提高氧合器吹扫混合气流速及吹入氧体积分数后均应测量膜后动脉血气以避免低碳酸血症及严重高氧血症^[12]。“南北综合征”是 VA-ECMO 支持期间的特征性并发症, 以上半身缺氧为表现, 常发生于自然心功能恢复而原生肺氧合功能受损时^[29], 为避免缺氧性脑损伤, 当确定合并存在优化通气策略无法解决的难治性呼吸功能不全, 应考虑静脉-动脉-静脉 ECMO (veno-arterial-venous ECMO, VAV-ECMO)^[12]。在血流动力学管理方面, 目标血压设置的核心在于脑灌注是否足够, 脑血流监测是评估脑灌注情况的重要手段, 其中具备无创、连续、动态优点的经颅多普勒 (transcranial doppler, TCD) 或经颅彩色多普勒 (transcranial color doppler, TCCD) 是脑血流评估监测的首选技术^[8], VA-ECMO 支持患者的 MAP 应常规维持在 70 mmHg 以上^[4, 18], 但个体化差异可根据 TCD/TCCD 监测结果动态滴定。在体温管理方面, VA-ECMO 特别是 ECPR 启动后维持轻中度低温 ($33 \sim 36 \text{ }^\circ\text{C}$) $24 \sim 48 \text{ h}$, 然后逐渐复温至 $37 \text{ }^\circ\text{C}$, 有利于保护神经功能^[4, 14-15, 20], 但不建议在 VV-ECMO 支持患者中使用低温策略^[4]。

3.1.4 ECMO 支持期间脑损伤的治疗与管理策略: ECMO 相关脑损伤尤其是缺血性及出血性脑卒中是一类灾难性的严重并发症, 一旦发生, 临床治疗的核心将在循环和(或)呼吸功能的基础上增加脑损伤的针对性治疗和管理, 诊疗难度增大, 病死率大大增加^[5-6]。现阶段 ECMO 相关脑损伤治疗和管理的临床证据较少, 第 23~31 条证据给出了 ECMO 支持期间脑损伤治疗和管理措施的内容, 证据来源于病例报道、系统评价、指南、共识等, 整体证据质量较低。对于急性缺血性脑卒中, Le 等^[25]报道了机械性血栓清除成功应用于 VA-ECMO 支持期间急性大血管闭塞致脑卒中患者的案例, 并在指南^[4]中被推荐。有小型队列研究指出, 重组组织型纤溶酶

原激活剂 (recombinant tissue-type plasminogen activator, rtPA) 在 ECMO 支持期间体外溶栓的应用 (尤其是氧合器急性大量血栓形成时) 是安全可行的^[29-30], 但目前仍不推荐急性血栓性脑卒中患者在 ECMO 支持期间使用 rtPA 进行体内溶栓治疗^[4]。对于出血性脑卒中患者, 首先应立即停止抗凝, 行无抗凝 ECMO, 并考虑通过凝血酶原复合物等药物纠复凝血功能。Lilly 等^[26]报道了通过外科手术治疗 ECMO 支持患者出血性脑卒中的病例系列报告, 4 例患者中仅 1 例 (25.0%) 获得满意康复, 对 ECMO 支持期间出血性脑卒中患者的神经外科手术干预进行文献回顾显示, 15 例患者中仅 4 例 (26.7%) 获得良好长期神经预后。有限证据表明, ECMO 支持患者一旦发生出血性脑卒中, 即使有外科手术指征, 术后预后也较差, 应组织多学科团队与家属共同讨论手术风险和获益^[4, 26]。脑卒中发生后应根据患者脑血流自动调节功能实现个体化血压管理, 缺血性脑卒中患者可维持较高范围血压, 出血性脑卒中患者维持较低范围血压 [收缩压 (systolic blood pressure, SBP) $< 140 \text{ mmHg}$, MAP $< 90 \text{ mmHg}$]^[4, 8]。若在 ECMO 支持期间出现可明确诊断的严重脑损伤, 若短时间内重复进行的神经系统检查提示神经功能无改善, 应考虑终止 ECMO^[12]。

3.2 本证据总结的方法学质量: 本研究严格遵守循证方法学流程, 以“PIPOST”形式提出循证问题, 检索词及检索表达式由研究小组共同商议后决定, 依照证据“6S”金字塔模型从上至下依次检索国内外数据库从建库至 2025 年 5 月发表的文献, 最终筛选出 18 篇文献进行质量评价和证据提取。证据评价过程中纳入高质量、新研究的证据, 并将提取的证据内容归纳成条目, 标注每条证据的来源, 将证据按不同维度分类, 以表格形式呈现, 标明证据等级及推荐强度。虽然证据等级多为 2~3 级, 但考虑到 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理的临床研究较少, 本证据总结已将现有的最高等级证据纳入, 可为临床实践提供参考。本研究小组包含循证方法学专家、有丰富临床经验的重症 ECMO 专家及专科护士, 在充分考虑证据利弊、可操作性、患者获益并结合临床经验的基础上形成证据总结, 具备科学性和实用性。

4 小结

本研究汇总了 ECMO 支持患者脑损伤的危险因素、脑损伤的保护性因素、治疗期间的评估与监测、脑损伤的预防、脑损伤的治疗措施 5 个维度共 31 条证据, 为 ECMO 支持患者脑损伤预防和管理提供了

实践依据与理论指导。建议结合医疗机构实际临床环境与患者个体差异选择性应用最佳证据,个体化、合理性预防并管理 ECMO 支持患者相关脑损伤。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 方可: 酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、文献检索、文献质量评价、证据汇总;汪君: 分析/解释数据,对文章的知识性内容作批评性审阅,行政、技术或材料支持,指导,支持性贡献,论文修改,文献质量评价;徐前程: 分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、获取研究经费、指导、支持性贡献;孙瑞祥: 采集数据、分析/解释数据、文献检索、文献质量评价、证据汇总;江海娇: 分析/解释数据,对文章的知识性内容作批评性审阅,获取研究经费,行政、技术或材料支持,指导,支持性贡献;叶小铭、李阳: 采集数据、分析/解释数据、支持性贡献、文献检索;周全: 分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、指导;沈光贵: 对文章的知识性内容作批评性审阅,获取研究经费,行政、技术或材料支持,指导,支持性贡献

参考文献

- [1] 中国研究型医院学会危重医学专业委员会. 床旁即时超声在成人体外膜肺氧合管理中的应用中国专家共识[J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34(10): 1012-1023. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220930-00874.
- [2] 高汉铭, 卢俊宇. 体外膜肺氧合患者预后预测模型的研究进展[J]. 中华危重病急救医学, 2024, 36(12): 1334-1339. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240715-00598.
- [3] Sutter R, Tisljar K, Marsch S. Acute neurologic complications during extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review[J]. Crit Care Med, 2018, 46(9): 1506-1513. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003223.
- [4] Cho SM, Hwang J, Chiarini G, et al. Neurological monitoring and management for adult extracorporeal membrane oxygenation patients: Extracorporeal Life Support Organization consensus guidelines[J]. Crit Care, 2024, 28(1): 296. DOI: 10.1186/s13054-024-05082-z. Erratum in: Crit Care, 2024, 28(1): 327. DOI: 10.1186/s13054-024-05107-7.
- [5] Cho SM, Farrokhi S, Whitman G, et al. Neurocritical care for extracorporeal membrane oxygenation patients[J]. Crit Care Med, 2019, 47(12): 1773-1781. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004060.
- [6] Lorusso R, Gelsomino S, Parise O, et al. Neurologic injury in adults supported with veno-venous extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure: findings from the Extracorporeal Life Support Organization database[J]. Crit Care Med, 2017, 45(8): 1389-1397. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002502.
- [7] 金佳家, 王金宁, 潘向滢, 等. 脑功能评估与监测在体外膜肺氧合病人中的应用研究进展[J]. 护理研究, 2023, 37(1): 116-121. DOI: 10.12102/j.issn.1009-6493.2023.01.019.
- [8] 中国医师协会体外生命支持专业委员会. 体外膜肺氧合患者脑监测中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2024, 104(9): 662-673. DOI: 10.3760/cma.j.cn12137-20231009-00686.
- [9] AGREE Next Steps Consortium. AGREE II Instrument [EB/OL]. [2025-04-05]. <https://www.agreetrust.org/wp-content/uploads/2017/12/AGREE-II-Users-Manual-and-23-item-Instrument-2009-Update-2017.pdf>.
- [10] 胡雁, 郝玉芳. 循证护理学[M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
- [11] 王春青, 胡雁. JBI证据预分级及证据推荐级别系统(2014版)[J]. 护士进修杂志, 2015, 30(11): 964-967. DOI: 10.16821/j.cnki.hsjx.2015.11.002.
- [12] Lorusso R, Shekar K, MacLaren G, et al. ELSO interim guidelines for venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in adult cardiac patients[J]. ASAIO J, 2021, 67(8): 827-844. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001510. Erratum in: ASAIO J, 2022, 68(7): e133. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001725.
- [13] Tonna JE, Abrams D, Brodie D, et al. Management of adult patients supported with venovenous extracorporeal membrane oxygenation (VV ECMO): guideline from the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO)[J]. ASAIO J, 2021, 67(6): 601-610. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001432.
- [14] Richardson ASC, Tonna JE, Nanjaya V, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults. Interim guideline consensus statement from the Extracorporeal Life Support

- Organization[J]. ASAIO J, 2021, 67(3): 221-228. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001344.
- [15] 中华医学学会急诊医学分会复苏学组, 中国医药教育协会急诊专业委员会. 成人体外心肺复苏专家共识更新(2023版)[J]. 中华急诊医学杂志, 2023, 32(3): 298-304. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1671-0282.2023.03.005.
- [16] 国家脑损伤评价医疗质量控制中心脑死亡判定工作组, 中华医学学会神经病学分会神经重症协作组, 中国医师协会神经内科医师分会神经重症学组. 体外膜肺氧合支持时脑损伤评估与脑死亡判定专家共识(2025版)[J]. 中华医学杂志, 2025, 105(17): 1331-1346. DOI: 10.3760/cma.j.cn12137-20241231-02973.
- [17] Thiara S, Willms AJ, Tran A, et al. Prognostic factors associated with intracranial hemorrhage and ischemic stroke during venovenous extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review[J]. Crit Care Med, 2025, 53(2): e400-e409. DOI: 10.1097/CCM.0000000000006520.
- [18] Bertini P, Marabotti A, Paternoster G, et al. Regional cerebral oxygen saturation to predict favorable outcome in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and Meta-analysis[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2023, 37(7): 1265-1272. DOI: 10.1053/j.jvca.2023.01.007.
- [19] Woszczyk D, Zasada W, Cholerzyńska H, et al. Neurological outcome predictors after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a systematic review[J]. Syst Rev, 2025, 14(1): 67. DOI: 10.1186/s13643-025-02818-y.
- [20] HYPO-ECMO Trial Group, International ECMO Network (ECMONet). Effect of moderate hypothermia vs normothermia on 30-day mortality in patients with cardiogenic shock receiving venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: a randomized clinical trial[J]. JAMA, 2022, 327(5): 442-453. DOI: 10.1001/jama.2021.24776. Erratum in: JAMA, 2023, 329(14): 1226. DOI: 10.1001/jama.2023.3806.
- [21] SAFE MRI ECMO Investigators. Clinical use of bedside portable ultra-low-field brain magnetic resonance imaging in patients on extracorporeal membrane oxygenation: results from the multicenter SAFE MRI ECMO study[J]. Circulation, 2024, 150(24): 1955-1965. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.124.069187.
- [22] Cho SM, Canner J, Chiarini G, et al. Modifiable risk factors and mortality from ischemic and hemorrhagic strokes in patients receiving venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: results from the Extracorporeal Life Support Organization Registry[J]. Crit Care Med, 2020, 48(10): e897-e905. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004498.
- [23] Cavayas YA, Munshi L, Del Sorbo L, et al. The early change in PaCO₂ after extracorporeal membrane oxygenation initiation is associated with neurological complications[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2020, 201(12): 1525-1535. DOI: 10.1164/rccm.202001-0023OC.
- [24] HERALD Investigators. Early low pulse pressure in VA-ECMO is associated with acute brain injury[J]. Neurocrit Care, 2023, 38(3): 612-621. DOI: 10.1007/s12028-022-01607-y.
- [25] Le Guennec L, Schmidt M, Clarençon F, et al. Mechanical thrombectomy in acute ischemic stroke patients under venoarterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. J Neurointerv Surg, 2020, 12(5): 486-488. DOI: 10.1136/neurintsurg-2019-015407.
- [26] Lilly D, Patel AA, Davison MA, et al. Neurological outcomes following craniotomy for extracorporeal membrane oxygenation-associated intracranial hemorrhage: case series and literature review[J]. World Neurosurg, 2024, 190: e478-e487. DOI: 10.1016/j.wneu.2024.07.160.
- [27] EOLIA Trial Group, REVA, ECMONet. Extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome[J]. N Engl J Med, 2018, 378(21): 1965-1975. DOI: 10.1056/NEJMoa1800385.
- [28] Shou BL, Ong CS, Premraj L, et al. Arterial oxygen and carbon dioxide tension and acute brain injury in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation patients: analysis of the extracorporeal life support organization registry[J]. J Heart Lung Transplant, 2023, 42(4): 503-511. DOI: 10.1016/j.healun.2022.10.019.
- [29] Frenckner B, Broman M, Broomé M. Position of draining venous cannula in extracorporeal membrane oxygenation for respiratory and respiratory/circulatory support in adult patients[J]. Crit Care, 2018, 22(1): 163. DOI: 10.1186/s13054-018-2083-0.
- [30] Mang S, Danziger G, Metz C, et al. Injection of recombinant tissue plasminogen activator into extracorporeal membrane oxygenators postpones oxygenator exchange in COVID-19[J]. ASAIO J, 2022, 68(8): 1017-1023. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001733.
- [31] Taccone FS, Nobile L, Annoni F. Thrombolysis for ECMO oxygenator thrombolysis[J]. Crit Care, 2023, 27(1): 142. DOI: 10.1186/s13054-023-04433-6.

(收稿日期: 2025-07-27)
(本文编辑: 张耘菲)