

2024 年体外生命支持临床研究回顾

张红玲¹ 余愿¹ 杜中涛² 邹晓静¹ 侯晓彤² 尚游¹

¹ 华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科, 湖北武汉 430022; ² 首都医科大学附属北京安贞医院心外危重症中心, 北京 100013

通信作者: 侯晓彤, Email: xt.hou@ccmu.edu.cn; 尚游, Email: you_shanghust@163.com

【摘要】 2024 年体外生命支持 (ECLS) 领域的重要研究探讨了心脏支持技术在急性心肌梗死 (AMI) 合并心源性休克 (CS) 中的应用: 静脉-动脉体外膜肺氧合 (V-A ECMO) 无论在短期还是长期预后方面均未显示出优势, 且可能增加出血和血管并发症的发生风险; 而微轴流泵在降低病死率方面展现出潜在优势。静脉-静脉体外膜肺氧合 (V-V ECMO) 联合俯卧位对严重急性呼吸窘迫综合征 (ARDS) 的影响尚无一致结论。体外心肺复苏 (ECPR) 在院外心脏骤停 (OHCA) 患者中的生存益处得到进一步验证。体外二氧化碳清除 (ECCO₂R) 的潜在益处仍需未来研究进一步探索。此外, 2024 年发布了《ECMO 期间神经系统监测与管理》和《静脉-静脉 ECMO 期间右心损伤的定义及管理》新指南。ECMO 管理需更加精细化, 包括氧目标、抗凝策略、输血阈值、撤机策略等, 以改善患者预后。

【关键词】 体外生命支持; 静脉-动脉体外膜肺氧合; 静脉-静脉体外膜肺氧合; 体外心肺复苏; 临床研究

基金项目: 国家科技重大专项 (2023ZD0506504); 湖北省重点研发计划项目 (2023BCB091)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250107-00020

Annual review of clinical research on extracorporeal life support in 2024

Zhang Hongling¹, Yu Yuan¹, Du Zhongtao², Zou Xiaojing¹, Hou Xiaotong², Shang You¹

¹Department of Critical Care Medicine, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, Hubei, China; ²Department of Cardiothoracic Intensive Care Unit, Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100013, China

Corresponding author: Hou Xiaotong, Email: xt.hou@ccmu.edu.cn; Shang You, Email: you_shanghust@163.com

【Abstract】 The important studies in the field of extracorporeal life support (ECLS) in 2024 focused on the application of cardiac support technologies in acute myocardial infarction (AMI) with cardiogenic shock (CS): veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (V-A ECMO) has not shown advantages in either short- or long-term outcomes and may increase the risk of bleeding and vascular complications; in contrast, micro-axial flow pumps demonstrate potential in improving mortality. The effects of veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (V-V ECMO) combined with prone positioning on severe acute respiratory distress syndrome (ARDS) remain uncertain. The survival benefit of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) in out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) patients has been further validated. The potential benefits of extracorporeal carbon dioxide removal (ECCO₂R) require further investigation. Additionally, new guidelines released in 2024 focus on *Neurological monitoring and management during ECMO*, as well as the *Definition and management of right ventricular injury during veno-venous ECMO*. ECMO management requires more refined strategies, including optimized oxygenation targets, anticoagulation, blood transfusion, and weaning strategies to improve patient outcomes.

【Key words】 Extracorporeal life support; Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation; Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation; Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation; Clinical research

Fund program: National Science and Technology Major Project of China (2023ZD0506504); Key Research & Development Planning Project in Hubei Province (2023BCB091)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250107-0002

本文回顾并总结了 2024 年全球体外生命支持 (extracorporeal life support, ECLS) 技术在临床中的应用及研究进展。ECLS 技术主要包括: 用于心脏支持的静脉-动脉体外膜肺氧合 (veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation, V-A ECMO)、左室辅助装置 [主动脉内球囊反搏 (intra-aortic balloon pump, IABP)、微轴流泵 (主要为 Impella)] 和体外心肺复苏 (extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, ECPR); 用于呼吸支持的静脉-静脉体外膜肺氧合 (veno-venous extracorporeal

membrane oxygenation, V-V ECMO) 和体外二氧化碳清除 (extracorporeal carbon dioxide removal, ECCO₂R)。

1 ECLS 技术与急性心肌梗死 (acute myocardial infarction, AMI) 合并心源性休克 (cardiogenic shock, CS)

AMI 合并 CS 时, 由于心脏功能衰竭, 导致组织灌注和氧输送不足, 引发多器官功能衰竭。V-A ECMO 可逆转内脏低灌注, 稳定血流动力学, 减少对正性肌力药物和血管加压药的依赖, 为进一步干预争取时

间,因此其临床应用逐渐增加。但目前高质量证据均提示 V-A ECMO 在 AMI 合并 CS 患者中应谨慎使用。2023 年, *Lancet* 杂志发表了一项荟萃分析,纳入 4 项随机对照试验(randomized controlled trial, RCT),包括 ECLS-SHOCK I、EURO-SHOCK、ECMO-CS、ECLS-SHOCK,结果显示,V-A ECMO 未显著降低 30 d 病死率,反而增加了大出血和外周血管缺血性并发症的发生风险^[1]。2024 年,相关问题仍在进一步探讨中。

1.1 短期结局:有研究者通过贝叶斯方法重新分析了 ECLS-SHOCK 试验中个体患者数据,以量化获益和不良事件的概率,结果表明,常规使用 V-A ECMO 对 AMI 合并 CS 患者病死率几乎无显著益处,且在所有预先设定的亚组中未观察到明显获益;此外,V-A ECMO 的使用与出血和外周血管并发症的发生风险显著增加相关^[2]。进一步研究显示,接受 V-A ECMO 治疗的免疫抑制 CS 患者 90 d 病死率显著高于非免疫抑制 CS 患者[优势比(odds ratio, OR)=2.53, 95% 可信区间(95% confidence interval, 95%CI)为 1.72 ~ 3.79]^[3]。ECLS-SHOCK 试验的一项子分析显示,ECLS 在工作时间(周一至周五日间)与非工作时间(夜间、周末及节假日)启动的疗效相似,提示其对 AMI 合并 CS 患者预后的影响与入院时段无关^[4]。

1.2 长期结局:有两项研究分别对 ECMO-CS 试验和 ECLS-SHOCK 试验的 1 年临床结局进行了评估,结果显示,与保守策略相比,常规使用 ECLS 并未显著改善 AMI 合并 CS 患者 1 年生存率,且伴随更高的不良事件发生率(如出血和血管并发症)^[5-6]。另一项研究通过对多项 RCT 个体患者数据进行荟萃分析,评估了临时机械循环支持在 AMI 合并 CS 患者中的疗效,并对患者进行了 6 个月随访评估。该研究共纳入 9 项 RCT($n=1\,114$),其中 4 项 RCT($n=611$)比较了 V-A ECMO 与对照治疗,5 项 RCT($n=503$)比较了左室减压装置与对照治疗。结果显示,无论哪种装置均未能显著降低 6 个月病死率,且增加了出血和血管并发症的发生风险;然而,在 ST 段抬高型 AMI 且无高风险低氧性脑损伤患者中,机械循环支持的使用可能改善病死率^[7]。

1.3 左室减压:V-A ECMO 增加左室后负荷,左室减压方式多样,当前关于如何选择目标人群、减压方法及时机的证据仍不足^[8-9]。一项网络荟萃分析显示,V-A ECMO 联合 IABP 可能会降低 CS 患者病死率($OR=0.54$, 95%CI 为 0.33 ~ 0.86, 中等确定性),而其他机械辅助方式对病死率无显著影响(证据确定性均为非常低)^[10]。这些结果需在研究异质性和证

据不确定性的背景下谨慎解读。然而,一项来自我国大规模注册库的研究表明,在接受 V-A ECMO 治疗的 CS 患者中,联合使用 IABP 未降低住院病死率,反而增加了肾脏替代治疗和肢体缺血的发生率^[11]。该研究的主要局限性在于其观察性设计,且大多数 IABP 在 V-A ECMO 前已置入,因此联合 IABP 组多为从 IABP 升级至 V-A ECMO,而非专门用于左室减压。

目前已有多项关于体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)左室减压的 RCT 研究正在进行中,包括 ANCHOR 研究(ECMO-IABP, NCT 04184635)、UNLOAD-ECMO 研究(ECMO-微型心室辅助装置, NCT 05577195)、REMAP-ECMO 研究(NCT 05913622)。这些研究结果将为未来 V-A ECMO 联合其他左室减压方法的临床管理提供重要依据。

1.4 微轴流泵与 AMI 合并 CS:一项国际多中心 RCT 研究(DanGer Shock)比较了微轴流泵与标准治疗联合应用于 ST 段抬高型 AMI 合并 CS 患者的疗效,结果显示,联合治疗组患者 180 d 全因病死率显著低于单纯标准治疗组(45.8% 比 58.5%, $P=0.04$)^[12]。该研究的子研究表明,微轴流泵减少了血管收缩药和正性肌力药物的使用,并维持了血流动力学稳定性,加速了乳酸水平正常化;然而,微轴流泵组复合安全事件(如严重出血、肢体缺血等)发生率较高,且需要肾脏替代治疗的患者更多^[13]。随后,一项研究对 DanGer Shock 试验数据进行了二次分析,结果表明,基线肾功能、休克严重程度、出血事件、体液正平衡及设备相关并发症(如高泵速和较长的支持时间)是急性肾损伤的预测因素^[14]。这些研究提示,微轴流泵在降低病死率方面具有潜在优势,但其伴随的不良事件需引起重视。由于该试验纳排标准严格,其结果无法推广至心搏骤停后昏迷、非 ST 段抬高型 AMI、无乳酸升高及显著双侧心室衰竭的 CS 患者。

1.5 临床研究未来方向:① 目前的研究缺乏对微循环状态的评估,而在 CS 和复苏状态下,大循环与微循环可能失调。尽管 ECMO 能改善全身血流动力学,但微循环和组织灌注的恢复情况不明,微循环难以迅速恢复与较高的发病率和病死率相关。因此,微循环功能,尤其是 ECMO 治疗后的恢复情况,可能是决定患者预后的关键因素。未来研究应加强微循环的评估,以更精确地筛选出能从 ECMO 治疗中获益的患者^[15]。② CS 患者接受 V-A ECMO 治疗 72 h 内血清肿瘤坏死因子- α 、可溶性 P-选择素、可溶性血栓调节蛋白、多配体蛋白聚糖-1、血管生成素-2 等标志物显著升高,提示 ECMO 治疗与内皮损伤、血小

板激活和糖萼脱落密切相关,预防或减少内皮损伤和血小板激活可能是改善 V-A ECMO 效果、减轻器官功能衰竭的潜在干预靶点^[16]。

2 V-V ECMO 联合俯卧位

尽管从生理学角度来看,在 V-V ECMO 期间联合俯卧位具有潜在益处,但目前 RCT 与观察性研究结果存在显著差异。2023 年 PRONECMO 研究显示,V-V ECMO 早期实施俯卧位未改善急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory syndrome, ARDS)患者预后^[17]。然而,2024 年一项前瞻性观察性研究显示,V-V ECMO 启动后早期联合俯卧位与更高的脱机成功率和更低的 60 d 病死率显著相关;与 PRONECMO 研究不同,该研究中仅有 8% 为新型冠状病毒感染相关 ARDS 患者,而在 PRONECMO 研究中这一比例为 94%^[18]。

V-V ECMO 期间俯卧位的益处可能受限。首先,俯卧位与超保护性通气的联合应用可能已经将呼吸机相关性肺损伤的发生风险降到最低,因此,俯卧位的肺保护效益可能无法得到充分体现。其次,由于使用极低的潮气量,俯卧位通气可能无法充分打开塌陷的肺区域,限制了其改善肺部通气和顺应性的效果^[19]。此外,V-V ECMO 被证明能改善肺血管阻力,可能减弱了俯卧位的血流动力学效益^[20]。尽管现有证据尚不足以支持在 V-V ECMO 期间常规应用俯卧位,但研究表明在 V-V ECMO 期间实施俯卧位相对安全,因此建议在经验丰富的 ECMO 中心可根据患者情况选择性实施俯卧位^[21]。未来的研究应聚焦于 V-V ECMO 期间俯卧位的目标人群、实施时机和持续时间,以及俯卧位期间如何优化呼吸机参数。

3 ECPR

既往研究表明,ECPR 在院内心搏骤停患者中可显著改善生存预后^[22],但其在院外心搏骤停(out-of-hospital cardiac arrest, OHCA)患者中的效果仍存在争议^[23]。一项纳入了两项倾向性评分研究及前期 RCT 的荟萃分析显示,ECPR 可降低 OHCA 患者病死率($OR=0.62$, 95%CI 为 $0.45 \sim 0.84$)^[24]。上述结果与早期 RCT 结论不同,这一差异可能归因于 ECPR 启动(即 ECPR 置管)时机不同,较早干预有助于减轻多器官功能衰竭和脑损伤。

由于 ECPR 需消耗大量成本和资源,因此应优先用于最有可能获益的患者,优化患者选择至关重要。有研究者利用机器学习方法,基于 11 项临床参数构建了 ECPR 预后的预测模型,包括体外循环置管时心律、自主循环恢复时间、心搏骤停至 ECMO 灌注时间、乳酸水平、pH 值、动脉血氧分压(arterial

partial pressure of oxygen, PaO_2)、动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, $PaCO_2$)、年龄、旁观者心肺复苏、除颤次数和人工气道建立时间,结果显示,置管时的心律、间歇性或持续的自主循环恢复、心搏骤停至 ECMO 灌注时间及乳酸水平是最具预测价值的变量;将这些变量整合至模型后,样本内的受试者工作特征曲线下面积为 0.89,样本外部验证为 0.80,显示出良好的预测能力^[25]。此外,一项来自日本的回顾性研究显示,在因 OHCA 接受 ECPR 的患者中,女性与出院时良好的神经系统结局显著相关^[26]。另一项单中心观察性研究纳入了 192 例 ECPR 患者,结果显示,OHCA 患者入院时心律与预后密切相关:初始心律及入院时心律均为心室纤颤的患者 30 d 生存率较高,而出现或转为心搏骤停的患者预后较差^[27]。因此,入院时心律可能是判断是否启动 ECPR 的重要参考指标。

一项荟萃分析显示,在难治性心搏骤停 ECPR 中,与单独使用 V-A ECMO 相比,V-A ECMO 联合 Impella 可通过左室减压显著降低患者病死率($OR=0.53$, 95%CI 为 $0.30 \sim 0.91$),改善神经学结局($OR=2.22$, 95%CI 为 $1.17 \sim 4.22$)^[28]。然而,Impella 的使用常伴随较高的并发症发生率,临床应用中需谨慎评估其风险与获益。此外,ECPR 联合 IABP 被证明可改善生存率($OR=1.94$, 95%CI 为 $1.36 \sim 2.77$),但对神经系统结局的影响仍不明确^[29]。

4 ECCO₂R

ECCO₂R 可用于 ARDS 患者肺保护性通气策略,并可通过调节气流量实现超保护性通气(潮气量 ≤ 3 mL/kg)^[30]。然而,现有 RCT 未证实 ECCO₂R 可改善生存率,且研究仍存在局限,需进一步验证其临床价值。针对未来研究,欧洲的圆桌会议提出了建议^[31]:

① 目标人群选择:氧合指数(PaO_2/FiO_2) >100 mmHg (1 mmHg ≈ 0.133 kPa)、通气比为 $2.5 \sim 3.0$ 、驱动压为 $14 \sim 15$ mmHg;② 实施方法:使用连续肾脏支持设备提供 80 mL/min 的二氧化碳清除率,并优先选择右侧颈内静脉的双腔导管作为血管通道。此外,ECCO₂R 期间不恰当的呼吸机设置可能影响预后,如呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)设置不合理导致肺泡塌陷或过度膨胀可能抵消小潮气量带来的益处。一项病例报告显示,对 1 例接受 ECCO₂R 支持的患者每次调整潮气量后使用电阻抗断层成像(electrical impedance tomography, EIT)滴定 PEEP,可提高肺顺应性,降低机械功,改善肺通气均一性^[32],为 ECCO₂R 在 ARDS 患者中的应用提供了新思路。

ECCO₂R 在慢性阻塞性肺疾病急性加重患者中有潜在应用价值。然而一项多中心 RCT(VENT-AVOID 研究)显示,与标准治疗相比,无论是否联合无创或有创机械通气,ECCO₂R 均未显著改善第 5 天无机械通气天数;在无创通气支持患者中,ECCO₂R 组住院全因病死率显著高于标准治疗组(22% 比 0%, $P=0.02$)^[33]。因此,启动 ECCO₂R 治疗前需权衡出血风险与潜在收益,未来应聚焦于识别更可能从 ECCO₂R 中获益的患者亚群。

5 ECMO 管理

5.1 氧:严重高氧血症可引发氧化应激和自由基生成,导致 DNA 损伤、肺毒性及冠状动脉和脑血管收缩。关于高氧血症对 V-A ECMO 支持患者预后的影响,相关文献日益增多,但结果存在争议。一项纳入 10 项观察性研究的荟萃分析显示,V-A ECMO 期间高氧血症($\text{PaO}_2 \geq 200 \text{ mmHg}$ 或 $\geq 300 \text{ mmHg}$)与死亡风险增加($OR=1.80$, 95%CI 为 1.16~2.78)和不良神经学预后($OR=1.97$, 95%CI 为 1.30~2.96)显著相关^[34]。然而,一项比较保守氧策略[目标动脉血氧饱和度(arterial oxygen saturation, SaO_2)为 0.92~0.96]与宽松氧策略(目标 SaO_2 为 0.97~1.00)对 V-A ECMO 患者影响的多中心 RCT 显示,保守氧策略并未改善 28 d 内非重症监护病房(intensive care unit, ICU)住院天数^[35]。尽管该研究并未发现保守氧策略对 V-A ECMO 患者主要临床结局有显著影响,但提出了多个潜在研究方向。首先,非 ICU 住院天数可能不足以敏感地反映氧策略带来的临床差异,特别是在 CS 和 ECPR 患者中。其次,统一的氧策略可能不适合所有患者,个体化氧目标可能更具临床意义。此外,尽管保守氧策略可能减少氧化应激,但低氧暴露可能导致不可逆的器官损伤。未来应关注保守氧策略在不同患者群体中的应用,尤其是合并复杂基础疾病患者^[36-37]。有学者提出,V-A ECMO 患者可通过精确设定氧合目标、持续监测并根据个体情况调整给氧策略来平衡高氧和低氧风险,建议将膜后 PaO_2 目标设定在 150~300 mmHg,避免高氧和低氧,并通过空氧混合器精细调节,优化氧合状况,减少相关并发症,而最佳氧气管理方案有待进一步研究明确^[38]。

由于氧气在血浆中的溶解度较低,通常认为溶解氧对体外氧转运的贡献较小。然而,有研究显示,在 V-V ECMO 中,溶解氧的转运作用不容忽视,可贡献超过 20% 的体外氧转运和 10% 以上的总体氧气摄取量;在肺功能严重受损的患者中,溶解氧对总体氧气摄取的贡献可高达 28%^[39]。因此,在 V-V ECMO

管理中应该考虑溶解氧对氧合的影响,特别是优化 ECMO 参数设置和制定脱机策略时。

5.2 血流速、气流速:ECMO 血流速不同时,患者混合静脉血氧饱和度(mixed venous oxygen saturation, SvO_2)存在差异。一项探讨不同 V-V ECMO 血流速对 ARDS 患者肺循环、右心负荷、肺内通气/灌注匹配影响的随机交叉研究显示,提高 V-V ECMO 血流速以增加 SvO_2 ,可减轻右心负荷,改善肺循环,且未对通气/灌注匹配产生显著影响^[40]。表明个体化调节 ECMO 血流速以优化 SvO_2 ,可为 ARDS 患者提供额外的心肺保护效应。

V-V ECMO 治疗期间增加气流速可降低 ARDS 患者的呼吸驱动和呼吸努力^[41]。近期一项研究进一步表明,对于接受 V-A ECMO 支持的非插管、自主呼吸 CS 患者,增加气流速可显著降低呼吸驱动,缓解呼吸困难症状^[42]。然而,该研究未对患者的长期预后指标(如气管插管率、ECMO 成功率等)进行评估,有待未来研究探讨。

5.3 抗凝:一项前瞻性单中心队列研究评估了抗凝血酶水平与肝素反应性的关联,结果显示,ECMO 支持与轻度的获得性抗凝血酶缺乏相关(主要发生在 72 h 内);但与肝素反应性并无显著相关性^[43]。该研究对“肝素反应性降低”这一概念的临床相关性提出质疑。肝素反应性降低可能是多种因素共同作用的结果,包括患者的病理生理状态、抗凝血酶水平及 ECMO 装置的影响等。抗凝血酶水平、活化部分凝血活酶时间(activated partial thromboplastin time, APTT)等单一指标不足以全面评估肝素的抗凝效果,因此需要更精准的监测和评估手段。基于此,不建议常规测定抗凝血酶水平或通过补充抗凝血酶来增强肝素反应性,除非患者存在严重的抗凝血酶缺乏,且无法通过大剂量肝素达到目标抗凝水平。在这种情况下,改用不依赖抗凝血酶发挥作用的直接凝血酶抑制剂(如比伐卢定、阿加曲班)可能是合理的选择,这些药物能够提供更稳定的抗凝效果,但其缺点是成本较高且缺乏快速的逆转药物。

近期纤溶亢进被认为是 ECMO 患者出血的潜在机制之一。一项前瞻性观察性研究探讨了 ECMO 期间纤溶标志物的动态变化及其与出血事件的关系,结果显示,在 30 例 ECMO 患者中,出血患者的组织型纤溶酶原激活物、D-二聚体等标志物在出血前呈上升趋势,而在非出血患者中则呈下降趋势;此外,组织型纤溶酶原激活物水平高于 0.304 nmol/L 与出血事件的发生显著相关^[44]。

目前 ECMO 患者的最佳抗凝目标尚未明确。高强度抗凝与出血并发症发生率增加相关,提示抗凝强度是一个可调节的风险因素。由于新型冠状病毒感染患者栓塞事件高发,在 ECMO 支持下通常采用较高强度抗凝,但这可能导致颅内出血发生率升高,进而增加死亡风险。一项研究显示,调整新型冠状病毒感染患者抗凝强度至低强度(抗 Xa 活性为 0.15~0.30 kU/L)后,颅内出血率显著下降,存活率提高,且未观察到血栓事件增加^[45]。因此,应针对不同疾病患者制定个体化抗凝目标,以平衡出血和血栓风险。

这些研究强调了优化抗凝策略(包括药物选择、监测方法和目标范围)在 ECMO 管理中的重要性。然而,目前大多数研究为小样本观察性研究,证据水平较低。未来应通过大规模 RCT 探索 ECMO 期间的抗凝策略,发展个体化管理,并建立动态预测工具评估出血和血栓风险,以调整治疗策略^[46]。此外,未来研究还应关注改进插管设计、提高氧合器生物相容性,以降低出血风险和抗凝需求。

5.4 输血:指南建议,对于无急性冠状动脉综合征的成人危重病患者,红细胞输注的推荐阈值为血红蛋白(hemoglobin, Hb) < 70 g/L。然而,对于接受 V-V ECMO 支持的患者,最佳 Hb 输血阈值仍然存在争议。一项回顾性研究根据输血时 Hb 水平将 229 例 V-V ECMO 患者分为无阈值、Hb < 80 g/L、Hb < 70 g/L 3 个队列,结果显示,无阈值队列($OR=2.08$, 95%CI 为 1.12~3.88)及 Hb < 70 g/L 队列($OR=1.93$, 95%CI 为 1.02~3.62)的死亡风险均显著高于 Hb < 80 g/L 队列,而无阈值与 Hb < 70 g/L 队列差异无统计学意义^[47]。由于该研究设计的局限性,仍需进一步研究以确定 ECMO 患者的最佳红细胞输血实践。

5.5 撤机:一项回顾性研究表明, V-V ECMO 撤机失败患者在撤机试验前通常表现出较高的驱动压、较差的肺顺应性、较高的 PaCO₂ 及较快的呼吸频率,在撤机试验中表现为 SaO₂、PaO₂/FiO₂ 显著下降^[48]。

两项回顾性研究探讨了 ECLS 支持 CS 患者撤机的预测因子^[49-50]。其中一项研究分析了 114 例接受 V-A ECMO 或 Impella 治疗的患者,发现原发疾病为 AMI、平均动脉压 > 80 mmHg、左室射血分数 > 0.35、血乳酸 < 1.1 mmol/L 和 QRS 波时长 < 95 ms 是撤机成功的关键预测因子,并据此构建了一个简化评分模型,评分为 0~1 分的患者撤机成功率达 100%^[49]。但需注意,左室射血分数易受心室不同步、区域性运动异常及前负荷变化的影响,可能无法准确反映心脏功能和灌注能力。另一项研究显示,总等容收

缩时间、左室流出道速度时间积分、二尖瓣环及三尖瓣环收缩期位移等指标在预测撤机成功方面优于左室射血分数,尤其是总等容收缩时间在评估心室同步性和心功能方面表现出更高的准确性^[50]。

尽管这些研究为回顾性分析,且患者异质性较大,但为撤机预测提供了重要参考。未来需通过多中心前瞻性研究验证这些预测因子的有效性,并结合新兴心脏影像技术(如三维超声),进一步提高撤机评估的精确性。

6 预 后

与传统机械通气相比, V-V ECMO 可改善重度 ARDS 患者短期病死率。然而,一项关于 V-V ECMO 对长期预后影响的荟萃分析显示, V-V ECMO 与传统机械通气在改善认知功能、心理健康、功能状态和呼吸症状方面无显著差异,但可比较的数据有限,基本来自观察性研究^[51]。一项基于国际体外生命支持组织(extracorporeal life support organization, ELSO)注册的研究纳入了来自 144 个中心的急性呼吸衰竭患者,结果显示,年龄增长与 V-V ECMO 患者较差的预后显著相关,这种相关性从 30 岁起即已显现^[52]。另一项研究显示,接受呼吸 ECLS 支持的年轻成人患者(20~30 岁)的生存率优于青少年患者(16~19 岁; 69% 比 63%, $P<0.001$)^[53]。V-V ECMO 常伴随显著并发症、成本和资源消耗,目前尚无明确年龄界限来界定其疗效可能下降的阈值。需要注意的是, V-V ECMO 的疗效与心排血量密切相关,右心功能障碍可能会导致心排血量下降,影响疗效。近期 *Intensive Care Medicine* 杂志发布了关于 V-V ECMO 支持期间右心损伤的定义和管理指南^[54]。未来临床试验应根据右心功能障碍发生风险对 ARDS 患者进行分层,以便更精准地评估,推动个体化治疗^[55]。

部分患者需要较长时间的 ECMO 支持。近期两项研究分别评估了 V-V ECMO 支持超过 28 d 和 V-A ECMO 支持超过 7 d 患者的预后^[56-57]。其中一项研究纳入了 V-V ECMO 支持超过 28 d 的新型冠状病毒感染患者,其中 53.3% 成功撤机, 51.7% 出院存活, 50.8% 在 6 个月随访时存活;多变量分析显示,年龄和清醒 ECMO 策略与生存相关,较长的 ECMO 支持时间与 6 个月时仍需氧疗显著相关^[57]。另一项研究纳入了需 V-A ECMO 支持的心脏术后患者,其中约 30% 支持时间超过 7 d;随着 V-A ECMO 支持时间延长,住院病死率显著增加, 7~10 d 组为 58.6%, 超过 10 d 组为 72.7%;延长 ECMO 治疗时间与出血、急性肾损伤、心律失常、脓毒症等并发症相关^[56]。

急性脑损伤是 ECMO 患者常见且严重的并发症,可显著增加住院病死率,如何早期识别仍是临床难题。一项多中心前瞻性研究评估了超低场便携式磁共振成像在 ECMO 患者中的安全性与应用价值,结果显示,该设备可安全用于不同 ECMO 插管策略的患者;该研究中急性脑损伤发生率较高(44%),其中缺血性卒中最常见(36%),其次为颅内出血(6%)和缺氧-缺血性脑损伤(4%);与头颅 CT 相比,超低场便携式磁共振成像在识别急性脑损伤方面敏感度更高^[58]。2024 年,《Critical Care》杂志发布了 ECMO 患者神经监测、治疗、预后评估及随访共识推荐,以提升其管理质量,改善其早期及长期预后^[59]。

精准的预后预测模型对于优化治疗决策和提高 ECMO 患者生存率至关重要。然而,现有成人 ECMO 预后模型受限于样本量不足、缺乏多中心验证、基于静态数据分析及适用性受限等问题^[60]。未来研究应推动多中心前瞻性研究,融合机器学习与深度学习技术,关注长期预后,以提升模型的准确性和临床价值,并为优化模型构建和探索新方向提供思路。

7 结 语

2024 年 ECLS 领域的重要研究探讨了心脏支持技术在 AMI 合并 CS 中的应用。V-A ECMO 无论在短期还是长期预后方面均未显示出优势,且可能增加出血和血管并发症的发生风险;微轴流泵在降低病死率方面展现出潜在优势。V-V ECMO 联合俯卧位对 ARDS 的影响尚无一致结论。ECPR 在 OHCA 患者中的生存获益得到进一步验证。ECCO₂R 在 ARDS 和慢性阻塞性肺疾病急性加重患者中的潜在益处仍需探索。此外,2024 年发布了《ECMO 期间神经系统监测与管理》和《静脉-静脉 ECMO 期间右心损伤的定义及管理》两项新指南。ECMO 管理需更加精细化,包括氧目标、抗凝策略、输血阈值、撤机策略等方面的优化,以提高患者的管理质量,并改善预后。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Zeymer U, Freund A, Hochadel M, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in patients with infarct-related cardiogenic shock: an individual patient data meta-analysis of randomised trials [J]. *Lancet*, 2023, 402 (10410): 1338-1346. DOI: 10.1016/S0140-6736(23)01607-0.
- [2] ECLS shock study group. Quantifying benefit and harm of extracorporeal life support in cardiogenic shock complicating acute myocardial infarction [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (11): 1931-1933. DOI: 10.1007/s00134-024-07607-0.
- [3] Moyon Q, Triboulet F, Reuter J, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in immunocompromised patients with cardiogenic shock: a cohort study and propensity-weighted analysis [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (3): 406-417. DOI: 10.1007/s00134-024-07354-2.
- [4] Schupp T, Thiele H, Rassaf T, et al. Prognostic impact of admission time in infarct-related cardiogenic shock: an ECLS-SHOCK

- substudy [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2024, 17 (19): 2228-2239. DOI: 10.1016/j.jcin.2024.08.013.
- [5] Desch S, Zeymer U, Akin I, et al. Routine extracorporeal life support in infarct-related cardiogenic shock: 1-year results of the ECLS-SHOCK trial [J]. *Eur Heart J*, 2024, 45 (39): 4200-4203. DOI: 10.1093/eurheartj/ehae610.
- [6] ECMO-CS Investigators. Extracorporeal membrane oxygenation in the therapy of cardiogenic shock: 1-year outcomes of the multicentre, randomized ECMO-CS trial [J]. *Eur J Heart Fail*, 2025, 27 (1): 30-36. DOI: 10.1002/ehf.3398.
- [7] MCS Collaborator Scientific Group. Temporary mechanical circulatory support in infarct-related cardiogenic shock: an individual patient data meta-analysis of randomised trials with 6-month follow-up [J]. *Lancet*, 2024, 404 (10457): 1019-1028. DOI: 10.1016/S0140-6736(24)01448-X.
- [8] Combes A, Price S, Levy B. What's new in VA-ECMO for acute myocardial infarction-related cardiogenic shock [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (4): 590-592. DOI: 10.1007/s00134-024-07356-0.
- [9] Thiele H, Belohlavek J, Hassager C. Routine venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for acute myocardial infarction-related cardiogenic shock: what we know and don't know [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (8): 1354-1357. DOI: 10.1007/s00134-024-07517-1.
- [10] Low CJW, Ling RR, Lau MPXL, et al. Mechanical circulatory support for cardiogenic shock: a network meta-analysis of randomized controlled trials and propensity score-matched studies [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (2): 209-221. DOI: 10.1007/s00134-023-07278-3.
- [11] Wang LS, Hao X, Li CL, et al. Intra-aortic balloon pump in patients undergoing VA-ECMO: an analysis of the Chinese Extracorporeal Life Support Registry [J]. *Crit Care*, 2024, 28 (1): 93. DOI: 10.1186/s13054-024-04878-3.
- [12] DanGer Shock Investigators. Microaxial flow pump or standard care in infarct-related cardiogenic shock [J]. *N Engl J Med*, 2024, 390 (15): 1382-1393. DOI: 10.1056/NEJMoa2312572.
- [13] DanGer Shock Investigators. Microaxial flow pump hemodynamic and metabolic effects in infarct-related cardiogenic shock: a substudy of the DanGer Shock randomized clinical trial [J]. *JAMA Cardiol*, 2025, 10 (1): 9-16. DOI: 10.1001/jamacardio.2024.4197.
- [14] DanGer Shock Investigators. Microaxial flow pump use and renal outcomes in infarct-related cardiogenic shock: a secondary analysis of the DanGer Shock trial [J]. *Circulation*, 2024, 150 (25): 1990-2003. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.124.072370.
- [15] Gao Y, Li ZF, Liu M, et al. VA-ECMO for infarct-related cardiogenic shock [J]. *Lancet*, 2024, 403 (10443): 2487. DOI: 10.1016/S0140-6736(24)00951-6.
- [16] Nessler N, Gouni-Thibaut I, Parasido A, et al. Early endothelial injury in cardiogenic shock patients on venoarterial ECMO [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (11): 1929-1930. DOI: 10.1007/s00134-024-07642-x.
- [17] PRONECMO Investigators, REVA Network, International ECMO Network (ECMONet). Prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe ARDS: the PRONECMO randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2023, 330 (24): 2343-2353. DOI: 10.1001/jama.2023.24491.
- [18] Wang R, Tang X, Li XY, et al. Early reapplication of prone position during venovenous ECMO for acute respiratory distress syndrome: a prospective observational study and propensity-matched analysis [J]. *Ann Intensive Care*, 2024, 14 (1): 127. DOI: 10.1186/s13613-024-01365-4.
- [19] Schmidt M, Hajage D, Combes A. ECMO and prone position in patients with severe ARDS-reply [J]. *JAMA*, 2024, 331 (14): 1233. DOI: 10.1001/jama.2024.1876.
- [20] Abrams D, Guervilly C, Brodie D. Prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome. Not sure [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (6): 950-952. DOI: 10.1007/s00134-024-07368-w.
- [21] Giani M, Papazian L, Grasselli G. Prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome. Pro [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (6): 944-946. DOI: 10.1007/s00134-024-07449-w.
- [22] Low CJW, Ramanathan K, Ling RR, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with cardiac arrest: a comparative meta-analysis and trial sequential analysis [J]. *Lancet Respir Med*, 2023, 11 (10): 883-893. DOI: 10.1016/S2213-2600(23)00137-6.
- [23] 周亮亮, 陈建军, 吴婧, 等. 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 [J]. *中华危重病急救医学*, 2025, 37 (2): 103-110. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240711-00586.
- [24] 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.
- [25] Crespo-Diaz R, Wolfson J, Yannopoulos D, et al. Machine learning identifies higher survival profile in extracorporeal cardiopulmonary

- resuscitation [J]. *Crit Care Med*, 2024, 52 (7): 1065–1076. DOI: 10.1097/CCM.00000000000006261.
- [26] SAVE-J II Study Group. Sex differences in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest: nationwide multicenter retrospective study in Japan [J]. *Crit Care*, 2024, 28 (1): 302. DOI: 10.1186/s13054-024-05086-9.
- [27] Rob D, Farkasovska K, Kavalkova P, et al. Heart rhythm at hospital admission: a factor for survival and neurological outcome among ECPR recipients? [J]. *Resuscitation*, 2024, 204: 110412. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2024.110412.
- [28] Thevathasan T, Füreder L, Fechtner M, et al. Left-ventricular unloading with impella during refractory cardiac arrest treated with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis [J]. *Crit Care Med*, 2024, 52 (3): 464–474. DOI: 10.1097/CCM.00000000000006157.
- [29] Marabotti A, Gianchi G, Bertini P, et al. The effect of intra-aortic balloon pump on survival and neurological outcome in patients treated with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a meta-analysis and systematic review [J]. *Int J Cardiol*, 2025, 419: 132690. DOI: 10.1016/j.ijcard.2024.132690.
- [30] Monet C, Renault T, Aarab Y, et al. Feasibility and safety of ultra-low volume ventilation (≤ 3 ml/kg) combined with extra corporeal carbon dioxide removal (ECCO₂R) in acute respiratory failure patients [J]. *Crit Care*, 2024, 28 (1): 433. DOI: 10.1186/s13054-024-05168-8.
- [31] Combes A, Auzinger G, Camporota L, et al. Expert perspectives on ECCO₂R for acute hypoxemic respiratory failure: consensus of a 2022 European roundtable meeting [J]. *Ann Intensive Care*, 2024, 14 (1): 132. DOI: 10.1186/s13613-024-01353-8.
- [32] Pequignot B, Combes A, Lescroart M, et al. Contribution of electrical impedance tomography to personalize positive end-expiratory pressure under ECCO₂R [J]. *Crit Care*, 2024, 28 (1): 124. DOI: 10.1186/s13054-024-04908-0.
- [33] VENT-AVOID Investigators. Extracorporeal carbon dioxide removal to avoid invasive ventilation during exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease: VENT-AVOID trial—a randomized clinical trial [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2024, 209 (5): 529–542. DOI: 10.1164/rccm.202311-20600C.
- [34] Tigano S, Caruso A, Liotta C, et al. Exposure to severe hyperoxemia worsens survival and neurological outcome in patients supported by veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: a meta-analysis [J]. *Resuscitation*, 2024, 194: 110071. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2023.110071.
- [35] BLENDER Trial Investigators, EXCEL Registry, ECMONet, et al. Conservative or liberal oxygen targets in patients on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (9): 1470–1483. DOI: 10.1007/s00134-024-07564-8. Erratum in: *Intensive Care Med*, 2024, 50 (12): 2241–2242. DOI: 10.1007/s00134-024-07677-0.
- [36] Wang J, Zhang H, Wang TL, et al. Can conservative oxygen targets be achieved and provide benefits in venoarterial ECMO patients? [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (12): 2239–2240. DOI: 10.1007/s00134-024-07658-3.
- [37] Pruc M, Zembala M, Tomaszewska M, et al. Personalized oxygen targets are needed for extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (12): 2237–2238. DOI: 10.1007/s00134-024-07638-7.
- [38] Premraj L, Brown A, Fraser JF, et al. Oxygenation during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: physiology, current evidence, and a pragmatic approach to oxygen titration [J]. *Crit Care Med*, 2024, 52 (4): 637–648. DOI: 10.1097/CCM.00000000000006134.
- [39] Müller MC, Wilke SK, Dobbermann A, et al. Dissolved oxygen relevantly contributes to systemic oxygenation during venovenous extracorporeal membrane oxygenation support [J]. *ASAIO J*, 2024, 70 (8): 667–674. DOI: 10.1097/MAT.0000000000002171.
- [40] Spinelli E, Giani M, Slobod D, et al. Physiologic effects of extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe acute respiratory distress syndrome [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2024, 210 (5): 629–638. DOI: 10.1164/rccm.202309-16880C.
- [41] Dianti J, Fard S, Wong J, et al. Strategies for lung- and diaphragm-protective ventilation in acute hypoxemic respiratory failure: a physiological trial [J]. *Crit Care*, 2022, 26 (1): 259. DOI: 10.1186/s13054-022-04123-9.
- [42] Bureau C, Schmidt M, Chommeloux J, et al. Increasing sweep gas flow reduces respiratory drive and dyspnea in nonintubated venoarterial extracorporeal membrane oxygenation patients: a pilot study [J]. *Anesthesiology*, 2024, 141 (1): 87–99. DOI: 10.1097/ALN.00000000000004962.
- [43] Mansour A, Berahou M, Odot J, et al. Antithrombin levels and heparin responsiveness during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: a prospective single-center cohort study [J]. *Anesthesiology*, 2024, 140 (6): 1153–1164. DOI: 10.1097/ALN.00000000000004920.
- [44] Helms J, Curtiaud A, Severac F, et al. Fibrinolysis as a causative mechanism for bleeding complications on extracorporeal membrane oxygenation: a pilot observational prospective study [J]. *Anesthesiology*, 2024, 141 (1): 75–86. DOI: 10.1097/ALN.00000000000004980.
- [45] Wendel-Garcia PD, Seeliger B, Hofmaenner D, et al. Low-dose anticoagulation to prevent intracranial hemorrhage in COVID-19 patients under extracorporeal membrane oxygenation support [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2024, 209 (7): 894–895. DOI: 10.1164/rccm.202311-2090LE.
- [46] Meuwese CL, Levy JH. Optimizing anticoagulation for venovenous extracorporeal membrane oxygenation: finding the right balance [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2024, 209 (4): 353–354. DOI: 10.1164/rccm.202311-2061ED.
- [47] Pratt EH, Pulsipher AM, Moulton NG, et al. Association of RBC transfusion thresholds and outcomes in medical patients with acute respiratory failure supported with extracorporeal membrane oxygenation: a single-center retrospective cohort study [J]. *Chest*, 2024, 166 (6): 1406–1416. DOI: 10.1016/j.chest.2024.05.043.
- [48] Gerhardinger F, Fisser C, Malfertheiner MV, et al. Prevalence and risk factors for weaning failure from venovenous extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe acute respiratory insufficiency [J]. *Crit Care Med*, 2024, 52 (1): 54–67. DOI: 10.1097/CCM.00000000000006041.
- [49] Suzuki S, Teraoka N, Ito K, et al. A novel predictive score model for successful weaning from mechanical circulatory support in patients with cardiogenic shock [J]. *J Card Fail*, 2024: S1071–9164(24)00314-2. DOI: 10.1016/j.cardfail.2024.07.023.
- [50] Tavazzi G, Colombo CNJ, Klersy C, et al. Echocardiographic parameters for weaning from extracorporeal membrane oxygenation—the role of longitudinal function and cardiac time intervals [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2025, 26 (2): 359–367. DOI: 10.1093/ehjci/jeae274.
- [51] Turgeon J, Venkataraman V, Englesakis M, et al. Long-term outcomes of patients supported with extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (3): 350–370. DOI: 10.1007/s00134-023-07301-7.
- [52] Fernando SM, Brodie D, Barbaro RP, et al. Age and associated outcomes among patients receiving venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory failure: analysis of the Extracorporeal Life Support Organization registry [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (3): 395–405. DOI: 10.1007/s00134-024-07343-5.
- [53] MacLaren G, Brodie D, Honoré PM. Outcomes in young patients after respiratory extracorporeal membrane oxygenation—youth is not always protective [J]. *Crit Care Med*, 2024, 52 (1): 138–141. DOI: 10.1097/CCM.00000000000006078.
- [54] RVI-ECMO Delphi Expert group. Protecting the Right Ventricle network (PRORVnet). Definition and management of right ventricular injury in adult patients receiving extracorporeal membrane oxygenation for respiratory support using the Delphi method: a PRORVnet study. Expert position statements [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (9): 1411–1425. DOI: 10.1007/s00134-024-07551-z.
- [55] Riddell JR, Jones BJ, Lewis I, et al. Acute cor pulmonale as a confounder in trials of ECMO or prone ventilation in ARDS [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (12): 2235–2236. DOI: 10.1007/s00134-024-07620-3.
- [56] Post-Cardiotomy Extracorporeal Life Support (PELS-1) Investigators. Characteristics and outcomes of prolonged venoarterial extracorporeal membrane oxygenation after cardiac surgery: the Post-Cardiotomy Extracorporeal Life Support (PELS-1) cohort study [J]. *Crit Care Med*, 2024, 52 (10): e490–e502. DOI: 10.1097/CCM.00000000000006349.
- [57] Martínez-Martínez M, Schmidt M, Broman LM, et al. Survival and long-term functional status of COVID-19 patients requiring prolonged extracorporeal membrane oxygenation support [J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2024, 21 (3): 449–455. DOI: 10.1513/AnnalsATS.202306-5720C.
- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] 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.