

体外膜肺氧合对患者存活率影响的 Meta 分析

周涛¹ 田静¹ 李轶江² 刘洋² 李鸣涛² 陈静瑜³ 许红阳¹

¹南京医科大学附属无锡人民医院重症医学科,江苏无锡 214023; ²广东省器官支持工程技术研究中心,广东深圳 518100; ³南京医科大学附属无锡人民医院肺移植中心,江苏无锡 214023

通信作者:许红阳,Email: xhy1912@aliyun.com

【摘要】目的 系统评价体外膜肺氧合(ECMO)支持对急性呼吸衰竭、心力衰竭或心搏骤停患者短期及长期存活率的影响。**方法** 通过美国国立医学图书馆 PubMed 数据库、科学网(Web of Science)、Cochrane 图书馆数据库、中国知网(CNKI)和万方数据检索有关 ECMO 治疗后患者生存率的研究,时限为 2020 年 1 月至 2022 年 10 月。中文检索词包括存活率、生存率、病死率、结局、预后,英文检索词包括 extracorporeal membrane oxygenation、ECMO、survival rate、mortality、outcome 等。在文献筛选过程中,由 2 名研究人员分别对相关文献进行独立评估,采用 Meta 分析评估 ECMO 治疗对患者总体存活率和出院存活率以及肺源性和心源性病因使用 ECMO 患者存活率、短期存活率的影响,并对所纳入的研究进行偏倚风险评估。**结果** 采用 ECMO 治疗的患者总体生存率为 52.3% [95% 可信区间(95%CI)为 0.473~0.566, $P < 0.001$]。亚组分析结果显示:采用 ECMO 治疗的患者短期存活率为 57.6%(95%CI 为 0.502~0.650, $P < 0.001$)、ECMO 出院存活率为 51.3%(95%CI 为 0.473~0.553, $P < 0.001$)、采用 ECMO 治疗的肺源性疾病患者存活率为 51.3%(95%CI 为 0.468~0.551, $P = 0.008$)、采用 ECMO 治疗的心源性疾病患者存活率为 48.1%(95%CI 为 0.442~0.489, $P < 0.001$)。**结论** ECMO 治疗的整体生存率并不高,不同时间点和不同疾病患者使用 ECMO 治疗后的存活率差异有统计学意义。

【关键词】 体外膜肺氧合; 存活率; Meta 分析

基金项目:江苏省无锡市“太湖人才计划”高端医学专家团队项目(2021THRC-TD-ZZYXK-2021)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.06.016

A Meta-analysis of the impact of extracorporeal membrane oxygenation on patient survival rate

Zhou Tao¹, Tian Jing¹, Li Yijiang², Liu Yang², Li Mingtao², Chen Jingyu³, Xu Hongyang¹

¹Department of Critical Care Medicine, Wuxi People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Wuxi 214023, Jiangsu, China; ²Guangdong Provincial Engineering Research Center for Organ Support Technology, Shenzhen 518100, Guangdong, China; ³Lung Transplant Center, Wuxi People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Wuxi 214023, Jiangsu, China

Corresponding author: Xu Hongyang, Email: xhy1912@aliyun.com

【Abstract】 Objective To systematically evaluate the impact of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) support on the short-term and long-term survival rate of patients with acute respiratory failure, heart failure or cardiac arrest. **Methods** Databases including PubMed of the National Library of Medicine, Web of Science, the Cochrane Library, China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Wanfang were searched for studies on the survival rate of patients treated with ECMO, with the time range from January 2020 to October 2022. The Chinese search terms included survival rate, mortality, outcome, prognosis; the English search terms included extracorporeal membrane oxygenation, ECMO, survival rate, mortality, outcome, etc. During the literature screening process, two researchers independently assessed the relevant literature, and a Meta-analysis was conducted to evaluate the impact of ECMO treatment on the overall survival rate and discharge survival rate of patients, as well as the survival rates and short-term survival rates of patients with pulmonary and cardiac causes using ECMO, and conducted an assessment of the risk of bias for the included studies. **Results** The overall survival rate of patients treated with ECMO was 52.3% [95% confidence interval (95%CI) was 0.473-0.566, $P < 0.001$]. Subgroup analysis showed that the short-term survival rate after ECMO initiation was 57.6% (95%CI was 0.502-0.650, $P < 0.001$), the discharge survival rate for ECMO was 51.3% (95%CI was 0.473-0.553, $P < 0.001$). Meanwhile, the survival rate of patients with pulmonary disease treated with ECMO was 51.3% (95%CI was 0.468-0.551, $P = 0.008$); and that of patients with cardiogenic disease treated with ECMO was 48.1% (95%CI was 0.442-0.489, $P < 0.001$). **Conclusions** The overall survival rate of ECMO treatment is not high. There are statistically significant differences in the survival rates of patients with different diseases at different time points after ECMO treatment.

【Key words】 Extracorporeal membrane oxygenation; Survival rate; Meta-analysis

Fund program: The High-Level Medical Expert Team Project Under the "Taihu Lake Talent Plan" of Wuxi City, Jiangsu Province (2021THRC-TD-ZZYXK-2021)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.06.016

作为体外生命支持(extracorporeal life support, ECLS)技术的重要组成部分体外膜肺氧合

(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)能对患者的心肺功能实施部分或完全的替代和支持,

帮助患者的心肺得到充分休养,进而为治疗引发心肺功能障碍的原发疾病争取宝贵时间^[1]。近年来,ECMO 在国内外得到发展迅速。国际 ECLS 组织(ECLS organization, ELSO)的最新数据显示,截至 2020 年 7 月,全球范围内共有 133 371 例患者接受了 ECMO 的辅助治疗,其中用于成人循环功能支持的病例为 27 004 例^[2]。随着医疗技术的进步,我国在 ECMO 领域的应用也得以快速发展。我国生物医学工程学会体外循环分会的最新统计显示,2019 年国内心脏外科相关科室实施 ECMO 的病例数量已攀升至 4 085 例^[3-5]。

作为一项关键的生命支持手段,ECMO 技术在临床领域发挥着重要作用,这些治疗手段适用于常规生命支持措施效果不佳的各类急性循环功能和(或)呼吸功能衰竭患者^[6],具体涵盖急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)、心肺功能严重衰竭及正接受器官移植手术的患者^[7]。目前有关 ECMO 系统治疗后患者预后的报告有限,且结论不一,尤其缺乏治疗后的短期生存数据^[8]。有研究者将 ECMO 撤机成功定义为患者撤机时间超过 48 h 仍存活^[9]。另有研究者将 ECMO 撤机失败的标准定义为在 12 h 内需再次启动 ECMO 或死亡者^[10],因此,可以将 ECMO 撤机成功率作为 ECMO 系统治疗后短期生存率的替代指标。

近年来,多项研究显示,经过 ECMO 系统治疗后的患者病死率仍较高,各个研究报告的生存率数据存在较大差异,且生存率计算的时间节点并不统一;单个研究存在样本量小、单中心、治疗疾病及方式单一、未对不同时间点生存率、不同疾病生存率单独进行分析等问题^[11-13]。因此,为全面评估 ECMO 系统治疗的预后情况,本研究通过系统检索 2010 年 1 月至 2022 年 10 月发表的有关呼吸衰竭和心肺功能障碍患者应用 ECMO 系统治疗且有生存率数据的文献数据并进行整理,系统评价 ECMO 系统治疗患者在不同时间点和不同疾病种类间生存率的差异,从而为今后 ECMO 的临床应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究类型:队列研究、随机对照研究和横断面研究。

1.2 研究对象:① 年龄 ≥ 18 岁;② 存在呼吸衰竭、肺移植术后、心源性休克、使用经皮冠脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)者;③ 采用单一静脉-静脉 ECMO(veno-venous ECMO,

VV-ECMO)/静脉-动脉 ECMO(venous-arterial ECMO, VA-ECMO)模式治疗。

1.3 结局指标:总体存活率、肺源性和心源性病因患者使用 ECMO 存活率、短期存活率、出院存活率。

1.4 排除标准:① 研究对象为新生儿、儿童和新型冠状病毒肺炎等特殊人群的文献;② 综述、科普类和二次研究文献;③ 数据缺失或信息不全的文献;④ 再版文献;⑤ 无法访问完整版的文献。

1.5 文献检索策略:通过美国国立医学图书馆 PubMed 数据库、科学网(Web of Science)、Cochrane 图书馆数据库、中国知网(CNKI)和万方数据检索有关 ECMO 治疗后患者生存率的研究,时限为 2020 年 1 月至 2022 年 10 月。中文检索词包括存活率、生存率、病死率、结局、预后,英文检索词包括 extracorporeal membrane oxygenation、ECMO、survival rate、mortality、outcome 等。

1.6 文献筛选与数据提取:首先由 2 位研究者分别独立开展筛选工作,随后对各自的筛选结果进行交叉核验。若核验过程中出现意见分歧,则引入第三方参与协商以达成共识。文献筛选工作需遵循以下流程:首先对文献标题进行初步审阅,排除与研究主题明显不符的文献;再进一步研读摘要及全文,以此判定文献是否符合纳入标准。若在筛选过程中需要补充信息,会尽可能与原始研究的作者取得联系,以获取更详尽的资料。通常研究数据的整理会涵盖多个关键信息,如最先署名的研究者、论文发表的具体年份、研究对象的总数量、存活患者数、存活比例、患者病情转变及自身的基础健康问题等。

1.7 研究中包含的偏见风险评估:为了评估潜在的发表偏倚,由 2 名研究人员分别运用 Egger 回归模型对研究质量进行评估,并通过交叉检查来确认结果的一致性。

1.8 统计学分析:在评估研究间存在的差异性时,运用 χ^2 检验 Q 统计量进行评估(设定显著性水平为 $\alpha = 0.10$),并且借助 I^2 指标对异质性程度进行量化评估。具体为:若 Q 统计量 $P < 0.05$,提示纳入研究间存在显著异质性,采用随机效应模型合并效应量; $P \geq 0.05$,提示纳入研究间异质性不显著,选择固定效应模型合并效应量。若 $I^2 > 50\%$,提示纳入研究间存在较明显的异质性,采用随机效应模型合并效应量;若 $I^2 \leq 50\%$,提示纳入研究间异质性较小,使用固定效应模型合并效应量。实际模型选择过程中,将综合 Q 统计量的 P 值与 I^2 统计量结果进

行判定：当两者判定结果一致时，直接依据一致结论选择对应模型；若两者判定结果出现分歧，将结合纳入研究的临床异质性进一步分析，先深入分析其产生的原因，在剔除显著的临床异质性干扰后，方可运用随机效应模型进行 Meta 分析。检验水准设定为 $\alpha = 0.05$ 。对于已识别的显著临床异质性，可运用亚组划分、敏感度评估等手段加以分析，亦可仅开展非量化的归纳总结。亚组分析的因素包括生存率的不同时间节点和疾病种类。

2 结果

2.1 文献筛选过程和结果：研究团队对相关文献进行了初步检索，共得到 604 篇符合要求的文献。然后通过多轮筛选流程，最终确定了 35 项^[14-48]符合纳入标准的研究。具体过程为：研究人员首先从数据库中筛选出相关文献 604 篇，剔除重复文献 18 篇。在此基础上，通过阅读标题和摘要剔除 457 篇不符合研究目的的文献。最后对 129 篇文献的全文内容进行了深入审查，剔除特殊疾病相关研究 20 篇，数据信息不完整的研究 28 篇，与研究主题不符的 16 篇以及无法获取全文的 30 篇。最终纳入 35 篇

符合研究标准的文献。纳入研究的基本特征见表 1。

2.2 Meta 分析结果

2.2.1 总体存活率(图 1)：共纳入 35 项研究，总样本量为 67 033 例。基于随机效应模型进行的荟萃分析表明，在整合各项研究数据后，采用 ECMO 治疗后患者的总体存活率达到 52.3%，其 95% 可信区间(95% confidence interval, 95%CI)为 0.473 ~ 0.566， $P < 0.001$ 。

2.2.2 亚组分析

2.2.2.1 根据病因分类的亚组分析(图 2~3)：对病因的亚组分析显示，共纳入 35 项研究，其中肺源性疾病相关研究 10 项^[14, 16, 24-25, 29, 36, 39, 42, 44-45]、心源性疾病相关研究 17 项^[14-15, 17, 20-21, 23, 26, 28, 30-31, 34-35, 37, 40, 43, 47-48]。基于随机效应模型的 Meta 分析结果显示，采用 ECMO 治疗的肺源性疾病患者存活率为 51.3% (95%CI 为 0.468 ~ 0.551, $P = 0.008$)；采用 ECMO 治疗的心源性疾病患者存活率为 48.1% (95%CI 为 0.442 ~ 0.489, $P < 0.001$)。

2.2.2.2 存活率不同时间点的分类分析(图 4~5)：共纳入 35 项研究，其中报告 ECMO 出院存活率的相关研

表 1 ECMO 对患者存活率影响的荟萃分析纳入研究的基本特征

纳入研究	发表年份 (年)	例数 (例)	存活率 [% (例)]	存活 时间	ECMO 应用 适应证
Harley 等 ^[14]	2020	241	62.66(151)	出院	混合
		75	46.67(35)	出院	心源性休克
		52	57.69(30)	出院	呼吸衰竭
		69	84.06(58)	出院	器官移植
Biancari 等 ^[15]	2021	665	36.09(240)	出院	心源性休克
		665	27.67(184)	5 年	心源性休克
Rilinger 等 ^[16]	2021	289	44.98(130)	出院	ARDS
Chen 等 ^[17]	2022	121	46.28(56)	出院	心源性休克
		121	33.88(41)	3 年	心源性休克
		121	63.64(77)	撤机	心源性休克
Pabst 等 ^[18]	2020	196	55.10(108)	30 d	心源性休克
		196	48.47(95)	90 d	心源性休克
Ergün 等 ^[19]	2020	140	57.14(80)	撤机	心源性休克
		140	36.43(51)	出院	心源性休克
Kim 等 ^[20]	2020	69	43.48(30)	100 d	心源性休克
Huang 等 ^[21]	2020	127	65.35(83)	出院	心源性休克
Levin 等 ^[22]	2022	347	35.16(122)	1 年	心源性休克
Omar 等 ^[23]	2022	238	54.20(129)	撤机	心源性休克
		238	41.18(98)	出院	心源性休克
		84	42.86(36)	6 个月	心源性休克
Posluszny 等 ^[24]	2020	4 361	51.30(2 237)	出院	呼吸衰竭
Umei 等 ^[25]	2021	57	66.67(38)	出院	ARDS
Kim 等 ^[26]	2020	421	62.95(265)	撤机	心源性休克
Nguyen 等 ^[27]	2022	35	40.00(14)	90 d	呼吸衰竭
Mariscalco 等 ^[28]	2021	725	53.93(391)	撤机	心源性休克
		725	35.45(257)	出院	心源性休克
Chiu 等 ^[29]	2021	152	46.71(71)	出院	ARDS
Lee 等 ^[30]	2021	20	70.00(14)	出院	心肌炎
Rajsic 等 ^[31]	2022	12 756	38.00(4 847)	出院	心源性休克
Ramanathan 等 ^[32]	2022	1 550	66.00(1 023)	出院	呼吸衰竭
Fong 等 ^[33]	2020	79	68.35(54)	出院	混合
Celińska-Spodar 等 ^[34]	2021	198	34.85(69)	6 个月	心源性休克
		198	32.83(65)	1 年	心源性休克
Okadome 等 ^[35]	2021	63	22.22(14)	6.3 d	急性心肌梗死
Tabatabai 等 ^[36]	2021	40	45.00(18)	出院	ARDS
Hayanga 等 ^[37]	2020	15 829	45.00(7 123)	出院	心力衰竭
Oh 等 ^[38]	2022	18 697	66.90(12 508)	7 d	混合
		18 697	43.90(8 208)	30 d	混合
		18 697	37.60(7 030)	60 d	混合
		18 697	32.10(6 002)	1 年	混合
Bergman 等 ^[39]	2021	46	65.22(30)	60 d	ARDS
Menon 等 ^[40]	2021	135	42.22(57)	30 d	心源性休克
Becher 等 ^[41]	2020	8 351	39.00(3 257)	30 d	综合
Mariappan 等 ^[42]	2021	39	43.59(17)	撤机	ARDS
		39	38.46(15)	出院	ARDS
Bemtgen 等 ^[43]	2021	392	33.42(131)	出院	心源性休克
Muguruma 等 ^[44]	2020	227	51.10(116)	出院	呼吸衰竭
Hunsicker 等 ^[45]	2021	395	55.44(219)	60 d	ARDS
Chen 等 ^[46]	2020	21	47.62(10)	出院	肺移植
Hao 等 ^[47]	2022	221	84.16(186)	撤机	心肌炎
		221	71.95(159)	出院	心肌炎
Szczanowicz 等 ^[48]	2021	79	29.11(23)	6 个月	心源性休克

注：ECMO 应用适应证中标注为“混合”，说明原始研究中未对 ECMO 应用的具体适应证作详细区分

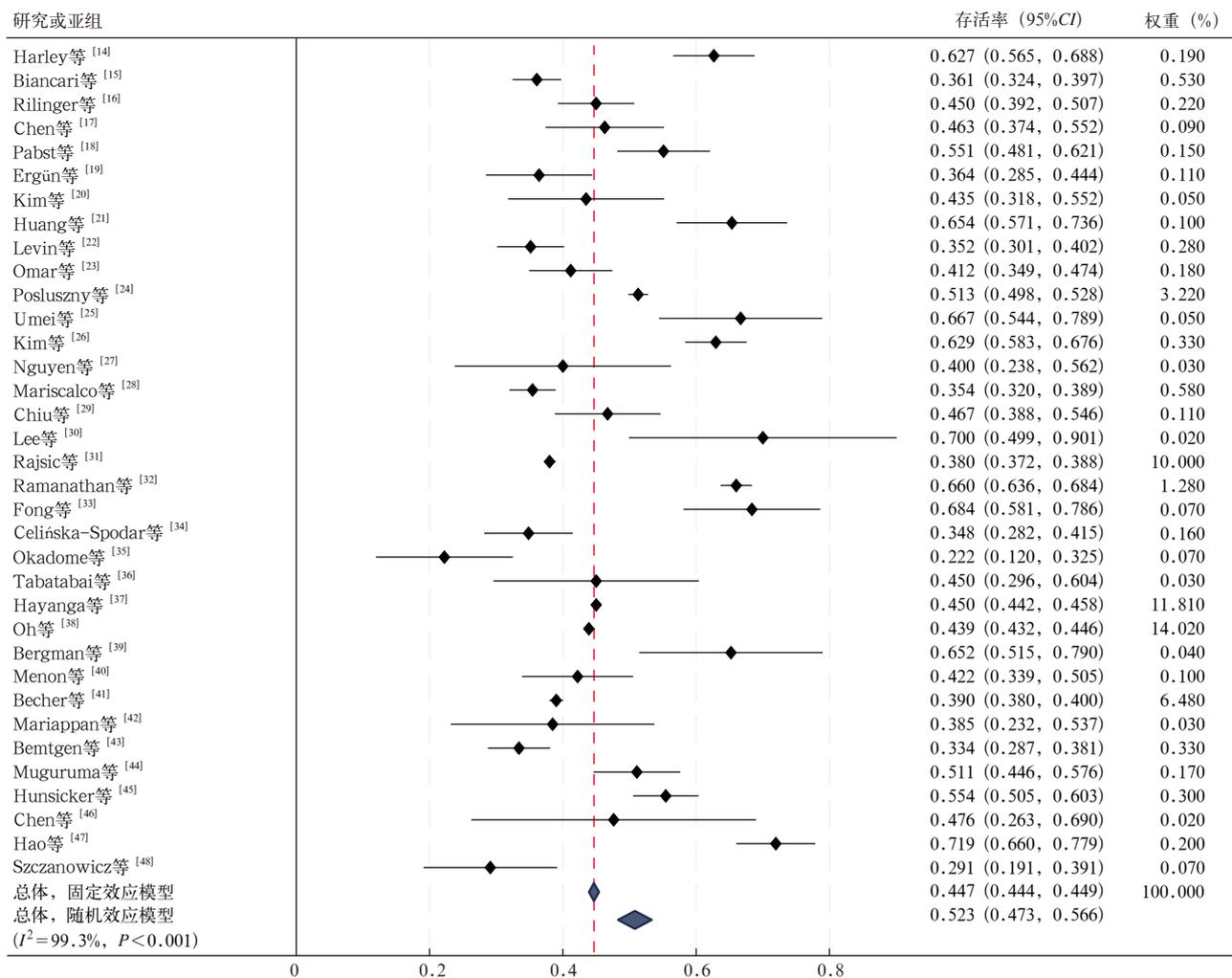


图1 ECMO对患者总体存活率影响的荟萃分析森林图

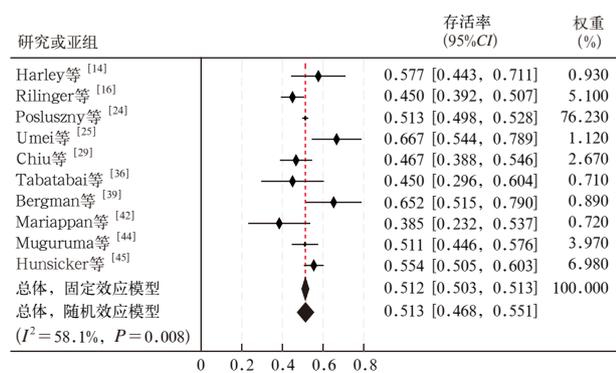


图2 ECMO对肺源性疾病患者存活率影响的荟萃分析森林图

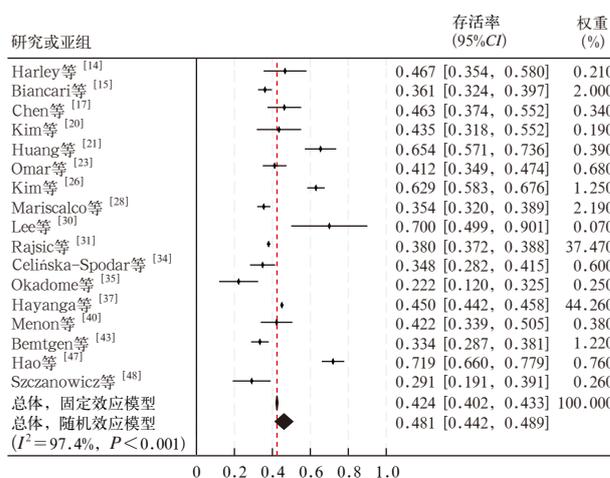


图3 ECMO对心源性疾病患者存活率影响的荟萃分析森林图

究 22 项^[14-17, 19, 21, 23-25, 28-33, 36-37, 42-44, 46-47]; 报告短期死亡风险存活率的相关研究 9 项^[17, 19, 23, 26, 28, 35, 38, 42, 47]。随机效应模型的 Meta 分析结果显示, 使用 ECMO 治疗后患者的短期存活率为 57.6% (95%CI 为 0.502 ~ 0.650, $P < 0.001$); 使用 ECMO 治疗后患者的出院存活率为 51.3% (95%CI 为 0.473 ~ 0.553, $P <$

0.001)。2.3 偏倚分析(图 6): 对纳入的 35 篇文献绘制漏斗图可见散点分布相对比较对称, 且 Egger 回归分析显示, $t = 0.740, P = 0.462$, 未发现统计分布偏差。

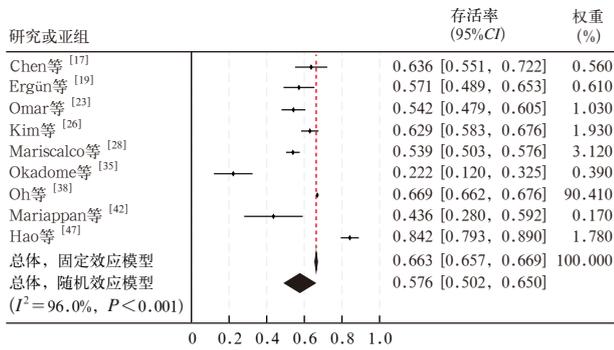


图4 ECMO对患者短期存活率影响的荟萃分析森林图

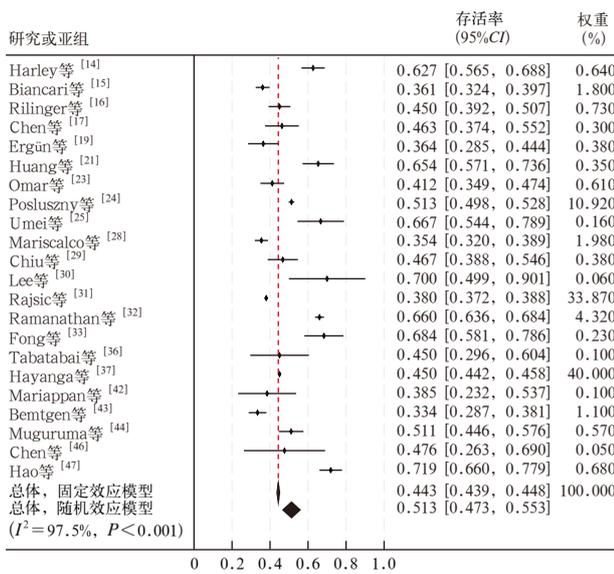


图5 ECMO对患者出院存活率影响的荟萃分析森林图

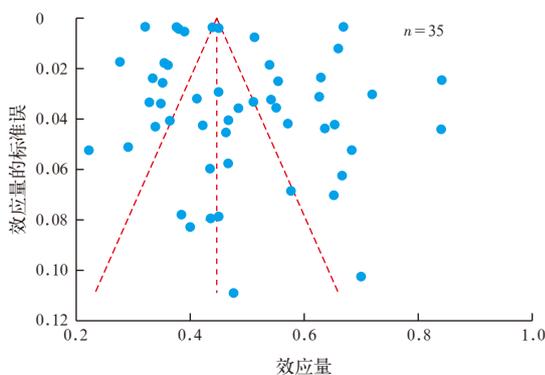


图6 ECMO对患者总体存活率影响的漏斗图

3 讨论

新型冠状病毒感染后一些患者出现中重度ARDS,这对医疗体系是一个严峻考验^[49]。面对如此严峻的挑战,ECMO技术能有效提升患者体内的气体交换效率,从而迅速解决患者存在的血氧含量不足与二氧化碳潴留问题,在危重症患者的转运与

救治环节中展现较高的应用价值^[50]。然而,ECMO在国内临床领域的起步相对较晚。最初,ECMO主要是为心脏疾病患者提供ECLS,直到2009年才开始将其应用于呼吸衰竭的救治工作中,尽管ECMO技术对临床有重要的意义,但在实际操作过程中仍面临着诸多需要攻克的难题^[29, 51-52]。首先,ECMO设备制造是一项多学科协作的复杂技术,且主要技术仍在欧美国家。由于ECMO的高昂费用,使得不少患者在应用这项治疗时面临着经济上的问题^[53]。目前我国在推广ECMO技术方面仍处于探索阶段,该技术的应用仍面临着进口设备占据主导、医疗资源分配不均衡、临床案例积累不足及治疗成功率有待提升等多方面的现实问题^[53]。在这一背景下,ECMO团队的组建同样面临挑战:该治疗方式对医疗人员、专业技术及相关设备有着极高的要求,必须依托具备完善条件的治疗中心才能最大限度地保障救治工作的顺利开展与最终效果^[50]。因此,为全面评估ECMO系统治疗患者的预后状况,进而为新技术开发和临床治疗措施的完善提供数据参考,本研究采用无对照试验的Meta分析方法对使用ECMO的患者进行了存活率的合并分析,最大限度保证了分析过程的严谨性、科学性、系统性。

本研究纳入了35篇ECMO系统治疗后患者预后的研究,共67 033例患者。随机效应模型Meta分析全面评估了ECMO治疗患者的整体预后及不同基础疾病亚组生存率的差异,为ECMO的临床精准应用及预后管理提供了大样本循证依据。采用ECMO治疗的患者总体存活率为52.3%(95%CI为0.473~0.566, $P < 0.001$),总体存活率综合了不同随访节点的生存数据,更全面反映了ECMO治疗人群的整体预后水平,结果显示,接受ECMO治疗患者的总体存活情况并不理想,所以,尽管ECMO技术为众多急性循环和(或)呼吸功能衰竭患者提供了新的治疗方向,但在实际应用过程中所面临的各类挑战,仍有待未来的临床工作持续研究并寻求解决方案^[54]。

因ECMO的转流方式,不同适应证的差异较大,因此本次Meta分析根据基础疾病种类进行了亚组分析,结果显示,采用ECMO治疗的肺源性疾病患者存活率为51.3%(95%CI为0.468~0.551),采用ECMO治疗的心源性疾病患者存活率为48.1%(95%CI为0.442~0.489)。提示两类疾病患

者 ECMO 治疗预后相似,这一结果提示,临床医师在判断 ECMO 适应证选择时,不应过度纠结于基础疾病类型,而应更关注患者的病情严重程度、治疗时机及基础器官功能储备。亚组分析显示,不同时间点和不同疾病患者使用 ECMO 治疗后的存活率差异均有统计学意义。一方面提示不同疾病患者 ECMO 使用指针和临床管理需要更加细化;另一方面,也提示仍需采取有效的措施进行长期的管理和监测。既往研究表明,ECMO 辅助能否撤离是关乎患者后续存活出院的主要因素之一^[55]。本次 Meta 分析在后续根据时间进行分组,把撤机成功率作为 ECMO 治疗后患者短期预后的重要指标之一。结果显示:ECMO 短期存活率为 57.6% (95%CI 为 0.502 ~ 0.650)、ECMO 出院存活率为 51.3% (95%CI 为 0.473 ~ 0.553)。这一梯度变化符合危重症患者的救治规律——ECMO 初期可快速替代受损的呼吸循环功能,使患者短期内脱离生命危险,故短期存活率较高;但随着支持时间延长,患者可能面临感染、出血、多器官功能障碍等并发症风险,部分患者无法顺利过渡至出院,导致出院存活率有所下降。

本次 Meta 分析的局限性:① 纳入研究的观察时间较短,并有部分横断面研究,缺乏长期生存数据,多种偏倚无法避免;② 本研究为单个率的荟萃分析,通过亚组分析去规避不同研究间异质性的影响,但亚组间仍存在较高异质性,影响研究间异质性的因素尚无法确定,患者基础状态、治疗模式、临床病情严重程度及治疗并发症等差异可能影响结论的准确性;③ 不同研究有不一样的撤机成功的定义,这种定义的不统一会影响分析数据的准确性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Mayr B, Kido T, Holder S, et al. Single-centre outcome of extracorporeal membrane oxygenation after the neonatal Norwood procedure [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62 (3): ezac129. DOI: 10.1093/ejcts/ezac129.
- [2] 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.
- [3] Peek GJ, Clemens F, Elbourne D, et al. CESAR: conventional ventilatory support vs extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure [J]. *BMC Health Serv Res*, 2006, 6: 163. DOI: 10.1186/1472-6963-6-163.
- [4] Australia and New Zealand Extracorporeal Membrane Oxygenation (ANZ ECMO) Influenza Investigators. 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.
- [5] Alshahrani MS, Sindi A, Alshamsi F, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for severe Middle East respiratory

- syndrome coronavirus [J]. *Ann Intensive Care*, 2018, 8 (1): 3. DOI: 10.1186/s13613-017-0350-x.
- [6] Zapol WM, Snider MT, Hill JD, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure: a randomized prospective study [J]. *JAMA*, 1979, 242 (20): 2193–2196. DOI: 10.1001/jama.242.20.2193.
- [7] Xia Y, Ragalie W, Yang EH, et al. Venoarterial versus venovenous extracorporeal membrane oxygenation as bridge to lung transplantation [J]. *Ann Thorac Surg*, 2022, 114 (6): 2080–2086. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2021.11.016.
- [8] Ali J, Vuylsteke A. Extracorporeal membrane oxygenation: indications, technique and contemporary outcomes [J]. *Heart*, 2019, 105 (18): 1437–1443. DOI: 10.1136/heartjnl-2017-311928.
- [9] Bojic A, Schellongowski P, Robak O, et al. Long-term respiratory extracorporeal membrane oxygenation and prognosis: a retrospective analysis [J]. *ASAIO J*, 2021, 67 (3): 345–352. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001225.
- [10] Munshi L, Walkey A, Goligher E, et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis [J]. *Lancet Respir Med*, 2019, 7 (2): 163–172. DOI: 10.1016/S2213-2600(18)30452-1.
- [11] Wang JR, Huang JY, Hu W, et al. Risk factors and prognosis of nosocomial pneumonia in patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation: a retrospective study [J]. *J Int Med Res*, 2020, 48 (10): 300060520964701. DOI: 10.1177/0300060520964701.
- [12] Kimmoun A, Levy B. Predicting clinical outcome in patients undergoing VA-ECMO [J]. *Crit Care*, 2019, 23 (1): 47. DOI: 10.1186/s13054-019-2350-8.
- [13] Giraud R, Legouis D, Assouline B, et al. Timing of VV-ECMO therapy implementation influences prognosis of COVID-19 patients [J]. *Physiol Rep*, 2021, 9 (3): e14715. DOI: 10.14814/phy2.14715.
- [14] Harley O, Reynolds C, Nair P, et al. Long-term survival, posttraumatic stress, and quality of life post extracorporeal membrane oxygenation [J]. *ASAIO J*, 2020, 66 (8): 909–914. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001095.
- [15] Biancari F, Perrotti A, Ruggieri VG, et al. Five-year survival after post-cardiotomy veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*, 2021, 10 (6): 595–601. DOI: 10.1093/ehjacc/zaaa039.
- [16] Rilinger J, Kröttsch K, Bemtgen X, et al. Long-term survival and health-related quality of life in patients with severe acute respiratory distress syndrome and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation support [J]. *Crit Care*, 2021, 25 (1): 410. DOI: 10.1186/s13054-021-03821-0.
- [17] Chen F, Wang LS, Shao JJ, et al. Survival following venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in postcardiotomy cardiogenic shock adults [J]. *Perfusion*, 2020, 35 (8): 747–755. DOI: 10.1177/0267659120931306.
- [18] Pabst D, Sanchez-Cueva PA, Soleimani B, et al. Predictors for acute and chronic renal failure and survival in patients supported with veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Perfusion*, 2020, 35 (5): 402–408. DOI: 10.1177/0267659119889521.
- [19] Ergün S, Yildiz O, Güneş M, et al. Use of extracorporeal membrane oxygenation in postcardiotomy pediatric patients: parameters affecting survival [J]. *Perfusion*, 2020, 35 (7): 608–620. DOI: 10.1177/0267659119897746.
- [20] Kim HS, Park KH, Ha SO, et al. Predictors of survival following veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in patients with acute myocardial infarction-related refractory cardiogenic shock: clinical and coronary angiographic factors [J]. *J Thorac Dis*, 2020, 12 (5): 2507–2516. DOI: 10.21037/jtd.2020.03.51.
- [21] Huang MJ, Ong BH, Hoo A, et al. Prognostic factors for survival after extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock [J]. *ASAIO J*, 2020, 66 (2): 141–145. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000984.
- [22] Levin B, Ortoleva J, Tagliavia A, et al. One-year survival for adult venoarterial extracorporeal membrane oxygenation patients requiring renal-replacement therapy [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2022, 36 (7): 1942–1948. DOI: 10.1053/j.jvca.2021.12.027.
- [23] Omar HR, Handshoe JW, Tribble T, et al. Survival on venoarterial

- extracorporeal membrane oxygenation in cardiogenic shock: which lactate is most useful? [J]. *ASAIO J*, 2022, 68 (1): 41–45. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001413.
- [24] Posluszny J, Engoren M, Napolitano LM, et al. Predicting survival of adult respiratory failure patients receiving prolonged (≥ 14 days) extracorporeal membrane oxygenation [J]. *ASAIO J*, 2020, 66 (7): 825–833. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001067.
- [25] Umei N, Ichiba S, Genda Y, et al. Hospital survival outcomes in acute respiratory distress syndrome patients receiving veno-venous extracorporeal membrane oxygenation for longer than 28 days: a retrospective study [J]. *Artif Organs*, 2021, 45 (12): 1533–1542. DOI: 10.1111/aor.14051.
- [26] Kim D, Na SJ, Cho YH, et al. Predictors of survival to discharge after successful weaning from venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in patients with cardiogenic shock [J]. *Circ J*, 2020, 84 (12): 2205–2211. DOI: 10.1253/circj.CJ-20-0550.
- [27] Nguyen M, Kabbout V, Berthoud V, et al. Implementation of a regional multidisciplinary veno-venous extracorporeal membrane oxygenation unit improved survival: a historical cohort study [J]. *Can J Anaesth*, 2022, 69 (7): 859–867. DOI: 10.1007/s12630-022-02259-4.
- [28] Mariscalco G, El-Dean Z, Yusuff H, et al. Duration of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation and mortality in postcardiotomy cardiogenic shock [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2021, 35 (9): 2662–2668. DOI: 10.1053/j.jvca.2020.11.003.
- [29] Chiu LC, Chuang LP, Lin SW, et al. Cumulative fluid balance during extracorporeal membrane oxygenation and mortality in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *Membranes (Basel)*, 2021, 11 (8): 567. DOI: 10.3390/membranes11080567.
- [30] Lee YI, Chung S, Yang JH, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for fulminant myocarditis: increase of cardiac enzyme and sofa score is associated with high mortality [J]. *J Clin Med*, 2021, 10 (7): 1526. DOI: 10.3390/jcm10071526.
- [31] Rajacic S, Treml B, Jadzic D, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock: a meta-analysis of mortality and complications [J]. *Ann Intensive Care*, 2022, 12 (1): 93. DOI: 10.1186/s13613-022-01067-9.
- [32] Ramanathan K, Tan CS, Rycus P, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for adult community-acquired pneumonia: outcomes and predictors of mortality [J]. *Crit Care Med*, 2017, 45 (5): 814–821. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002320.
- [33] Fong KM, Au SY, Ng G, et al. Positive fluid balance and mortality in adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation: a retrospective study [J]. *J Intensive Care Soc*, 2020, 21 (3): 210–220. DOI: 10.1177/1751143719862240.
- [34] Celińska-Spodar M, Kuśmierczyk M, Zieliński T, et al. Current applications and outcomes of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation based on 6 years of experience: risk factors for in-hospital mortality [J]. *Pol Arch Intern Med*, 2021, 131 (12): 16145. DOI: 10.20452/pamw.16145.
- [35] Okadome Y, Morinaga J, Fukami H, et al. Hyperglycemia and thrombocytopenia-combinatorially increase the risk of mortality in patients with acute myocardial infarction undergoing veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Circ Rep*, 2021, 3 (12): 707–715. DOI: 10.1253/circrep.CR-21-0043.
- [36] Tabatabai A, Ghneim MH, Kaczorowski DJ, et al. Mortality risk assessment in COVID-19 venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 112 (6): 1983–1989. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2020.12.050.
- [37] Hayanga J, Aboagye J, Bush E, et al. Contemporary analysis of charges and mortality in the use of extracorporeal membrane oxygenation: a cautionary tale [J]. *JTCVS Open*, 2020, 1: 61–70. DOI: 10.1016/j.jxjon.2020.02.003.
- [38] Oh TK, Cho HW, Song IA. Mortality trends after extracorporeal membrane oxygenation support: a Korean nationwide cohort [J]. *Artif Organs*, 2022, 46 (5): 850–858. DOI: 10.1111/aor.14190.
- [39] Bergman ZR, Wothe JK, Alwan FS, et al. Risk factors of mortality for patients receiving venovenous extracorporeal membrane oxygenation for COVID-19 acute respiratory distress syndrome [J]. *Surg Infect (Larchmt)*, 2021, 22 (10): 1086–1092. DOI: 10.1089/sur.2021.114.
- [40] Menon PR, Flo Forner A, Marin-Cuartas M, et al. 30-day perioperative mortality following venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy cardiogenic shock in patients with normal preoperative ejection fraction [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2021, 32 (5): 817–824. DOI: 10.1093/icvts/ivaa323.
- [41] Becher PM, Twerenbold R, Schrage B, et al. Risk prediction of in-hospital mortality in patients with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiopulmonary support: the ECMO-ACCEPTS score [J]. *J Crit Care*, 2020, 56: 100–105. DOI: 10.1016/j.jcrc.2019.12.013.
- [42] Mariappan R, Kumar M, Ramakrishnan N, et al. Practice patterns and outcome of extracorporeal membrane oxygenation therapy for severe acute respiratory distress syndrome in Indian ICUs [J]. *Indian J Crit Care Med*, 2021, 25 (11): 1263–1268. DOI: 10.5005/jp-journals-10071-23928.
- [43] Bemtgen X, Rillinger J, Jäckel M, et al. Admission blood glucose level and outcome in patients requiring venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Clin Res Cardiol*, 2021, 110 (9): 1484–1492. DOI: 10.1007/s00392-021-01862-7.
- [44] Muguruma K, Kunisawa S, Fushimi K, et al. Epidemiology and volume-outcome relationship of extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure in Japan: a retrospective observational study using a national administrative database [J]. *Acute Med Surg*, 2020, 7 (1): e486. DOI: 10.1002/ams2.486.
- [45] Hunsicker O, Beck L, Krannich A, et al. Timing, outcome, and risk factors of intracranial hemorrhage in acute respiratory distress syndrome patients during venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Crit Care Med*, 2021, 49 (2): e120–e129. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004762.
- [46] Chen YY, Chen YC, Wu CC, et al. Clinical course and outcome of patients with acute pulmonary embolism rescued by veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: a retrospective review of 21 cases [J]. *J Cardiothorac Surg*, 2020, 15 (1): 295. DOI: 10.1186/s13019-020-01347-0.
- [47] Hao T, Jiang Y, Wu CD, et al. Clinical outcome and risk factors for acute fulminant myocarditis supported by venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: an analysis of nationwide CSECLS database in China [J]. *Int J Cardiol*, 2023, 371: 229–235. DOI: 10.1016/j.ijcard.2022.09.055.
- [48] Szczanowicz L, Majunke N, de Waha-Thiele S, et al. Predictors of clinical outcome after early veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in cardiogenic shock complicating ST-elevation myocardial infarction [J]. *J Invasive Cardiol*, 2021, 33 (5): E329–E335. DOI: 10.25270/jic/20.00542.
- [49] Gorman EA, O’Kane CM, McAuley DF. Acute respiratory distress syndrome in adults: diagnosis, outcomes, long-term sequelae, and management [J]. *Lancet*, 2022, 400 (10358): 1157–1170. DOI: 10.1016/S0140-6736(22)01439-8.
- [50] Hadaya J, Benharash P. Extracorporeal membrane oxygenation [J]. *JAMA*, 2020, 323 (24): 2536. DOI: 10.1001/jama.2020.9148.
- [51] 陈吉润, 钱进, 彭伟, 等. 静脉-动脉体外膜肺氧合患者预后影响因素分析 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2024, 31 (6): 670–675. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.06.006.
- [52] 肖浩, 崔晓磊, 刘亮, 等. ECMO支持下治疗急性心肌梗死合并心源性休克患者的预后分析 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2023, 30 (5): 557–562. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2023.05.009.
- [53] Xie K, Jing H, Guan SN, et al. Extracorporeal membrane oxygenation technology for adults: an evidence mapping based on systematic reviews [J]. *Eur J Med Res*, 2024, 29 (1): 247. DOI: 10.1186/s40001-024-01837-0.
- [54] Permenov BA, Zimba O, Yessirkepov M, et al. Extracorporeal membrane oxygenation: unmet needs and perspectives [J]. *Rheumatol Int*, 2024, 44 (12): 2745–2756. DOI: 10.1007/s00296-024-05732-z.
- [55] Burrell A, Kim J, Alliegro P, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for critically ill adults [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2023, 9: CD010381. DOI: 10.1002/14651858.CD010381.pub3.

(收稿日期: 2025-06-30)

(责任编辑: 邸美仙)