

## • 论著 •

# ECMO 串联 CRRT 通路在重症患者中的应用 效果与通路安全性及感染相关因素分析

朱翔宇<sup>1</sup> 石岩<sup>1</sup> 谢鹏<sup>2</sup> 付婧<sup>1</sup> 葛文汉<sup>1</sup> 杨海晨<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 淮安市第二人民医院急诊与重症医学部, 淮安 223002; <sup>2</sup> 淮安市第二人民医院神经外科, 淮安 223002

通信作者: 杨海晨, Email: yanghaichenccc@163.com

**【摘要】** 目的 运用倾向性评分匹配分析方法探讨体外膜肺氧合(ECMO)串联连续性肾脏替代治疗(CRRT)通路用于重症患者的效果及通路安全性, 并探讨导致感染的潜在影响因素。方法 采用回顾性研究方法, 选择 2020 年 12 月至 2024 年 12 月淮安市第二人民医院重症监护病房(ICU)收治的 200 例同时接受 ECMO 与 CRRT 治疗的重症患者作为研究对象, 根据 ECMO 与 CRRT 通路连接方式分为独立运行组(72 例)和串联系统组(128 例), 运用倾向性评分匹配分析方法对两组患者进行 1:1 匹配。收集所有患者的一般资料[年龄、性别、体质量指数(BMI)、临床诊断、基础疾病、插管方式、插管位置、病情严重程度、ECMO 支持时间、导管留置时间、ECMO 上机 48 h 氧合指数( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ )、血肌酐(SCr)、降钙素原(PCT)、血红蛋白(Hb)、白细胞计数(WBC)、血小板计数(PLT)]、治疗情况[ECMO 启动时间、ECMO 运行时间、ECMO 流量、左室射血分数(LVEF)、CRRT 启动时间、CRRT 导管留置时间、液体出入量]、临床结局指标(28 d 生存率、ICU 住院时间、肾功能恢复情况、液体平衡达标率)、通路安全性指标(ECMO 通路血栓形成发生率、感染发生率及出血事件发生率)。根据感染发生情况进行亚组分析, 采用多因素 Logistic 回归分析筛选同时接受 ECMO 与 CRRT 治疗的重症患者发生感染的潜在风险因素。结果 最终共成功匹配 120 例患者, 独立运行组和串联系统组各 60 例, 两组患者一般资料差异均无统计学意义, 具有可比性。与独立运行组比较, 串联系统组患者 ECMO 上机 48 h ECMO 流量及 SCr、丙氨酸转氨酶(ALT)显著降低, ECMO 上机 48 h LVEF 显著升高, CRRT 启动时间、CRRT 导管留置时间和 ICU 住院时间显著缩短, 置换液出入量显著增加; 串联系统组患者感染发生率和出血事件发生率均显著低于独立运行组[感染发生率: 11.67%(7/60)比 36.67%(22/60), 出血事件发生率: 8.33%(5/60)比 48.33%(29/60), 均  $P < 0.05$ ]。两组其他一般资料、治疗情况、临床结局指标、通路安全性指标差异均无统计学意义。120 例患者中, 29 例发生感染(占 24.17%), 91 例未发生感染(占 75.83%); 与非感染组比较, 感染组患者导管留置时间显著延长, PCT 显著升高, PLT 及采用串联系统连接 ECMO 与 CRRT 通路比例显著降低; 多因素 Logistic 回归分析显示, 导管留置时间[优势比( $OR$ )=1.277, 95% 置信区间(95%CI)为 1.001~1.629,  $P=0.049$ ]、PCT( $OR=1.529$ , 95%CI 为 1.222~1.914,  $P<0.001$ )、PLT( $OR=0.953$ , 95%CI 为 0.926~0.981,  $P=0.001$ )、通路连接方式( $OR=0.289$ , 95%CI 为 0.090~0.930,  $P=0.037$ )是重症患者发生感染的潜在风险因素。结论 ECMO 串联 CRRT 通路可加速 CRRT 启动, 避免局部出血, 同时可稳定患者心肝肾功能, 降低潜在感染风险, 改善患者预后。

**【关键词】** 体外膜肺氧合; 连续性肾脏替代治疗; 重症监护病房; 重症患者; 倾向性评分匹配

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250324-00292

**Analysis of the application effect, access safety and infection-related factors of extracorporeal membrane oxygenation in series with continuous renal replacement therapy access in critically ill patients**

Zhu Xiangyu<sup>1</sup>, Shi Yan<sup>1</sup>, Xie Peng<sup>2</sup>, Fu Jing<sup>1</sup>, Ge Wenhan<sup>1</sup>, Yang Haichen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Emergency and Critical Care Medicine, Huai'an Second People's Hospital, Huai'an 223002, China;

<sup>2</sup> Department of Neurology, Huai'an Second People's Hospital, Huai'an 223002, China

Corresponding author: Yang Haichen, Email: yanghaichenccc@163.com

**【Abstract】** **Objective** To analyze the efficacy and access safety of extracorporeal membrane oxygenation(ECMO) in series with continuous renal replacement therapy(CRRT) access for critically ill patients using propensity score matching analysis, and to explore the potential influencing factors of infection. **Methods** A total of 200 critically ill patients who received both ECMO and CRRT treatment in the intensive care unit(ICU) of Huai'an Second People's Hospital from December 2020 to December 2024 were retrospectively selected as the research subjects. They were divided into the independent operation group(72 cases) and the series system group(128 cases) according to the access connection mode of ECMO and CRRT. Propensity score matching analysis was used to perform 1:1 matching for patients of the two groups. The general data[age, gender, body mass index(BMI), clinical diagnosis, underlying disease, intubation method, intubation position, disease severity, ECMO support duration, serum creatinine(SCr), procyclotin(PCT), hemoglobin(Hb), white blood cell count(WBC), platelet count(PLT)], treatment status[ECMO initiation duration, ECMO operation duration, ECMO flow, left ventricular ejection fraction(LVEF), CRRT initiation duration, CRRT catheter indwelling duration, inflow and

outflow volume of replacement fluid], clinical outcome indicators (28-day survival rate, length of ICU stay, renal function recovery, fluid balance compliance rate), and access safety indicators (incidence of ECMO access thrombosis, incidence of infection, and incidence of bleeding events) of all the patients were collected. Subgroup analysis was conducted based on the occurrence of infection, and multivariate Logistic regression analysis was used to screen the potential risk factors for infection in critically ill patients receiving both ECMO and CRRT treatment. **Results** Finally, a total of 120 patients were successfully matched, with 60 patients in both the independent operation group and the series system group. No statistically significant differences were observed in the general data between the two groups, indicating comparability. Compared with the independent operation group, the ECMO flow at 48 hours after ECMO initiation, SCr, and alanine transaminase (ALT) of the patients in the series system group were significantly decreased, while the LVEF at 48 hours after ECMO initiation was significantly increased, additionally, the CRRT initiation duration, CRRT catheter indwelling duration, and the length of ICU stay were significantly shortened, and the inflow and outflow volume of replacement fluid were significantly increased. The incidence of infection and bleeding events in the series system group was significantly lower than that in the independent operation group [infection incidence: 11.67% (7/60) vs. 36.67% (22/60), bleeding event incidence: 8.33% (5/60) vs. 48.33% (29/60), both  $P < 0.05$ ]. No significant difference was found in the other general data, treatment status, clinical outcome indicators, or access safety indicators between the two groups. Among the 120 patients, 29 cases developed infection (accounting for 24.17%), and 91 cases had no infection (accounting for 75.83%). Compared with the non-infection group, the catheter indwelling duration was significantly prolonged and PCT was significantly increased in the infection group, while the PLT and the proportion of patients with ECMO and CRRT access connected via the series system were significantly decreased. Multivariate Logistic regression analysis showed that catheter indwelling duration [odds ratio (OR) = 1.277, 95% confidence interval (95%CI) was 1.001–1.629,  $P = 0.049$ ], PCT (OR = 1.529, 95%CI was 1.222–1.914,  $P < 0.001$ ], PLT (OR = 0.953, 95%CI was 0.926–0.981,  $P = 0.001$ ), and access connection mode (OR = 0.289, 95%CI was 0.090–0.930,  $P = 0.037$ ) were potential risk factors for infection in critically ill patients. **Conclusion** The ECMO-in-series CRRT access can accelerate the initiation of CRRT, avoid local bleeding, stabilize patients' cardiac, hepatic and renal functions, reduce potential infection risks, and improve the prognosis of patients.

**【Key words】** Extracorporeal membrane oxygenation; Continuous renal replacement therapy; Intensive care unit; Critically ill patient; Tendency score matching

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250324-00292

作为一种为严重心功能和(或)肺功能衰竭患者提供体外机械支持,以维持机体氧合状态与器官灌注的生命支持设备,体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)的应用最早可追溯至新生儿护理领域<sup>[1-2]</sup>。随着现代医疗技术不断进步,在当前 ECMO 治疗案例中,成人患者占据主体地位,且应用范围在重症疾病救治中持续拓展<sup>[3-6]</sup>。目前,ECMO 已广泛应用于严重创伤患者的紧急救治,在心搏骤停、急性心肌梗死等急危重症的治疗中,其可行性与临床优势已得到学界和临床实践的广泛验证<sup>[7]</sup>。然而,值得关注的是,接受 ECMO 的患者在治疗初期极易出现液体负荷过重,这不仅显著增加了治疗的复杂性,而且对患者预后生存质量产生了负面影响<sup>[8]</sup>。大量临床数据表明,ECMO 治疗期间,32%~85% 的患者会并发急性肾损伤(acute kidney injury, AKI),连续性肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT)已成为临幊上应对液体过载与 AKI 的重要干预手段<sup>[9-12]</sup>。在实际临幊应用中,当同时启用 CRRT 与 ECMO 时,二者的连接方式主要包括串联系统和独立并联系统两种,尽管这两种连接方式在临幊中均有应用,但目前从安全性与有效性双维度对 CRRT 装置与 ECMO 不同连接系统

展开深入比较的研究相对匮乏<sup>[13-14]</sup>。鉴于此,本研究拟运用倾向性评分匹配分析方法,全面、深入地剖析 ECMO 串联 CRRT 通路在重症患者治疗中的应用效果及其通路安全性,并探究导致感染的潜在影响因素,以期为临床治疗策略的优化提供科学、可靠的理论依据与实践参考。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象:**采用回顾性研究方法,选择 2020 年 12 月至 2024 年 12 月淮安市第二人民医院重症监护病房(intensive care unit, ICU)收治的 200 例同时接受 ECMO 与 CRRT 治疗的重症患者作为研究对象,根据 ECMO 与 CRRT 通路连接方式分为独立运行组(72 例)和串联系统组(128 例)。为使组间基线信息均衡,采用倾向性评分匹配法对两组患者的年龄、性别、临床诊断、插管方式、插管位置等进行 1:1 匹配,共成功匹配 120 例患者,独立运行组和串联系统组各 60 例。本研究已通过医院伦理委员会的严格审批(审批号:HEYLL202526),研究过程中严格遵循《赫尔辛基宣言》及我国相关医学研究伦理规范。

**1.1.1 纳入标准:**①因心搏骤停、心肌梗死等严重心脏疾病入住 ICU;②同时接受 ECMO 与 CRRT 治疗;③年龄≥18 岁;④临床资料完整。

**1.1.2 排除标准:** ① 存在严重且无法纠正的凝血功能障碍; ② 预计生存时间<24 h; ③ 合并严重精神疾病; ④ 中途转院或放弃治疗。

## 1.2 装置连接方法

**1.2.1 独立运行组:** 独立运行组患者 ECMO 和 CRRT 两个系统各自按照自身的方式独立运行。ECMO 操作方式: 根据患者病情和治疗需求选择合适的插管方式(包括静脉-静脉和静脉-动脉两种转流方式)与位置(股静脉、颈内静脉), 建立体外呼吸支持和心肺联合支持, 将导管与 ECMO 管路连接, 确保连接紧密, 防止漏血。连接完成后, 用含肝素的生理盐水对整个 ECMO 系统进行预充, 排出管路和氧合器内的空气。预充过程中注意避免产生气泡, 预充完成后给予一定剂量的肝素进行抗凝, 防止血栓形成。从  $5 \sim 10 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  的低流量开始逐渐增加流量, 同时密切监测患者的生命体征, 根据监测数据调整 ECMO 参数, 以达到合适的氧合与循环支持效果。接受 ECMO 治疗后, 采用改良 Seldinger 技术在没有 ECMO 插管的部位进行独立的 CRRT 置管, 并根据患者的病情、体质量、液体平衡等因素确定 CRRT 治疗剂量, 血流量设置为  $100 \sim 120 \text{ mL/min}$ , 置换液速度设置为  $20 \sim 25 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

**1.2.2 串联系统组:** 串联系统组患者将 CRRT 管路连接到 ECMO 回路中, 使其作为一个串联系统运行。ECMO 的操作方式同独立运行组。患者接受 ECMO 治疗后, 将 CRRT 出口连接到 ECMO 后泵-前膜位置共同运行, 如 CRRT 返回线压力为  $50 \sim <350 \text{ mmHg}$  ( $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$ ), 则保持这种连接模式; 如返回线压力  $\geq 350 \text{ mmHg}$ , 则将 CRRT 出口连接到 ECMO 前泵位置; 如返回线压力  $<50 \text{ mmHg}$ , 则通过适当调整夹子来减小 CRRT 出口管的横截面积, 使返回线负压保持在  $50 \sim 100 \text{ mmHg}$ 。

## 1.3 观察指标

**1.3.1 一般资料:** 收集患者的年龄、性别、体质量指数(body mass index, BMI)、临床诊断、基础疾病、插管方式、插管位置、急性生理学与慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)、ECMO 支持时间、导管留置时间、ECMO 上机 48 h 氧合指数( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ )、血肌酐(serum creatinine, SCr)、降钙素原(procalcitonin, PCT)、血红蛋白(hemoglobin, Hb)、白细胞计数(white blood cell count, WBC)、血小板计数(platelet count, PLT)。

**1.3.2 治疗情况:** 收集患者 ECMO 启动时间、ECMO

运行时间、ECMO 流量(ECMO 上机时和上机 48 h)、左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF; ECMO 上机时和上机 48 h)、CRRT 启动时间、CRRT 导管留置时间、液体出入量。

**1.3.3 临床结局指标:** 收集患者 28 d 生存率、ICU 住院时间、肾功能恢复情况[SCr、白蛋白(albumin, Alb)、丙氨酸转氨酶(alanine transaminase, ALT)]、液体平衡达标率。

**1.3.4 通路安全性指标:** 观察患者的 ECMO 通路血栓形成发生率、感染发生率及出血事件发生率。

**1.4 亚组分析:** 根据感染发生情况将患者分为感染和非感染两个亚组, 分析接受 ECMO 与 CRRT 治疗的重症患者发生感染的潜在风险因素。

**1.5 统计学方法:** 应用 SPSS 25.0 软件处理数据。采用 Logistic 回归模型计算倾向性评分, 通过 1:1 最近邻匹配法确保两组混杂因素分布均衡。计数资料用百分比(%)表示, 无序二分类资料或多分类资料采用  $\chi^2$  检验; 计量资料符合正态分布, 以均数  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 采用 t 检验。感染影响因素采用多因素 Logistic 回归分析。检验水准为  $\alpha = 0.05$  单侧。

## 2 结 果

**2.1 一般资料(表 1):** 经倾向性评分匹配后, 两组患者一般资料差异均无统计学意义, 具有可比性。

表 1 倾向性评分匹配后不同 ECMO 与 CRRT 通路连接方式两组重症患者一般资料比较

指标	独立运行组 (n=60)	串联系统组 (n=60)	t/χ <sup>2</sup> 值	P 值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	$51.15 \pm 6.15$	$52.48 \pm 8.87$	0.954	0.342
性别[例(%)]			0.134	0.715
男性	30(50.00)	32(53.33)		
女性	30(50.00)	28(46.67)		
BMI( $\text{kg}/\text{m}^2$ , $\bar{x} \pm s$ )	$26.45 \pm 2.49$	$27.15 \pm 2.02$	1.691	0.094
临床诊断[例(%)]			2.507	0.285
心搏骤停	18(30.00)	20(33.33)		
心肌梗死	16(26.67)	22(36.67)		
其他	26(43.33)	18(30.00)		
基础疾病[例(%)]				
糖尿病	10(16.67)	12(20.00)	0.223	0.637
肾脏疾病	8(13.33)	10(16.67)	0.261	0.609
心脏病	20(33.33)	25(41.67)	0.889	0.346
插管方式[例(%)]			0.539	0.463
动脉-静脉	35(58.33)	31(51.67)		
静脉-静脉	25(41.67)	29(48.33)		
插管位置[例(%)]			0.600	0.439
股静脉	38(63.33)	42(70.00)		
颈内静脉	22(36.67)	18(30.00)		
APACHE II 评分 (分, $\bar{x} \pm s$ )	$17.26 \pm 3.15$	$18.03 \pm 2.98$	1.375	0.172

注:ECMO 为体外膜肺氧合, CRRT 为连续性肾脏替代治疗, BMI 为体质量指数, APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II

**2.2 治疗情况(表2):**与独立运行组比较,串联系统组患者 ECMO 上机 48 h ECMO 流量显著降低、LVEF 显著升高,CRRT 启动时间和 CRRT 导管留置时间显著缩短,置换液出入量显著增加(均  $P < 0.05$ )。

表 2 倾向性评分匹配后不同 ECMO 与 CRRT 通路连接方式两组重症患者治疗情况比较( $\bar{x} \pm s$ )

指标	独立运行组 (n=60)	串联系统组 (n=60)	t 值	P 值
ECMO 启动时间(h)	2.03±0.58	1.89±0.46	1.465	0.146
ECMO 运行时间(h)	70.18±16.45	75.26±18.20	1.604	0.111
ECMO 流量 ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )				
ECMO 上机时	6.16±1.03	5.85±1.16	1.548	0.124
ECMO 上机 48 h	3.89±0.79	3.26±0.65	4.770	<0.001
LVEF				
ECMO 上机时	0.288±0.053	0.305±0.061	1.600	0.112
ECMO 上机 48 h	0.313±0.061	0.342±0.078	2.251	0.026
CRRT 启动时间 (min)	34.02±3.23	12.48±1.58	46.402	<0.001
CRRT 导管留置 时间(min)	21.15±5.26	1.15±0.32	29.398	<0.001
置换液出入量(mL)	2 816.00±384.51	3 054.15±356.42	3.518	0.001
透析液出入量(mL)	2 456.17±269.48	2 506.15±216.39	1.120	0.265
超滤量(mL)	1 426.37±215.26	1 498.26±186.26	1.956	0.053
补液量(mL)	2 046.05±312.02	2 123.15±267.85	1.452	0.149

注:ECMO 为体外膜肺氧合,CRRT 为连续性肾脏替代治疗,LVEF 为左室射血分数

**2.3 临床结局指标(表3):**与独立运行组比较,串联系统组患者 ICU 住院时间显著缩短,SCr、ALT 显著降低(均  $P < 0.05$ )。

表 3 倾向性评分匹配后不同 ECMO 与 CRRT 通路连接方式两组重症患者临床结局指标比较

指标	独立运行组 (n=60)	串联系统组 (n=60)	$\chi^2/t$ 值	P 值
28 d 生存率[% (例)]	61.67 (37)	73.33 (44)	1.861	0.172
ICU 住院时间(d, $\bar{x} \pm s$ )	9.15±1.36	8.06±1.29	4.504	<0.001
SCr(μmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	110.26±13.57	102.61±10.64	3.436	0.001
Alb(g/L, $\bar{x} \pm s$ )	34.05±4.53	35.26±2.61	1.793	0.076
ALT(U/L, $\bar{x} \pm s$ )	35.26±5.26	32.46±4.89	3.020	0.003
液体平衡达标率 [% (例)]	91.67 (55)	100.00 (60)	3.339	0.068

注:ECMO 为体外膜肺氧合,CRRT 为连续性肾脏替代治疗,ICU 为重症监护病房,SCr 为血肌酐,Alb 为白蛋白,ALT 为丙氨酸转氨酶

**2.4 通路安全性指标(表4):**与独立运行组比较,串联系统组患者感染发生率和出血事件发生率均显著降低(均  $P < 0.05$ )。

**2.5 亚组分析(表5):**120 例患者中,29 例发生感染(占 24.17%),91 例未发生感染(占 75.83%);与非感染组比较,感染组患者导管留置时间显著延长,PCT 显著升高,PLT 及采用串联系统连接 ECMO 与 CRRT 通路的比例显著降低(均  $P < 0.05$ )。

表 4 倾向性评分匹配后不同 ECMO 与 CRRT 通路连接方式两组重症患者通路安全性指标比较[% (例)]

指标	独立运行组 (n=60)	串联系统组 (n=60)	$\chi^2$ 值	P 值
ECMO 通路栓塞 形成发生率	3.33 (2)	0 (0)	0.509	0.476
感染发生率	36.67 (22)	11.67 (7)	10.231	0.001
局部感染	25.00 (15)	8.33 (5)		
血流感染	11.67 (7)	3.33 (2)		
出血事件发生率	48.33 (29)	8.33 (5)	26.639	<0.001
置管处皮下出血	38.33 (23)	5.00 (3)		
消化道出血	6.67 (4)	1.67 (1)		
气道出血	3.33 (2)	1.67 (1)		

注:ECMO 为体外膜肺氧合,CRRT 为连续性肾脏替代治疗

表 5 是否发生感染两组同时接受 ECMO 与 CRRT 治疗的重症患者临床资料比较

指标	非感染组 (n=91)	感染组 (n=29)	$t/\chi^2$ 值	P 值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	51.23±7.94	52.34±6.81	0.733	0.467
性别[例(%)]				0.188 0.664
男性	46 (50.55)	16 (55.17)		
女性	45 (49.45)	13 (44.83)		
BMI( $\text{kg}/\text{m}^2$ , $\bar{x} \pm s$ )	26.67±2.81	27.06±2.43	0.724	0.472
临床诊断[例(%)]				2.246 0.325
心搏骤停	28 (30.77)	10 (34.48)		
心肌梗死	32 (35.16)	6 (20.69)		
其他	31 (34.07)	13 (44.83)		
基础疾病[例(%)]				
糖尿病	16 (17.58)	6 (20.69)	0.142	0.706
肾脏疾病	13 (14.29)	5 (17.24)	0.151	0.698
心脏病	31 (34.07)	14 (48.28)	1.895	0.169
插管方式[例(%)]				1.709 0.191
动脉-静脉	47 (51.65)	19 (65.52)		
静脉-静脉	44 (48.35)	10 (34.48)		
插管位置[例(%)]				1.455 0.228
股静脉	58 (63.74)	22 (75.86)		
颈内静脉	33 (36.26)	7 (24.14)		
APACHE II 评分 (分, $\bar{x} \pm s$ )	17.25±3.41	18.34±2.76	1.744	0.086
ECMO 支持时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	2.94±0.67	3.26±1.02	1.584	0.122
导管留置时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	9.87±1.76	11.05±2.34	2.500	0.017
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (mmHg, $\bar{x} \pm s$ )	206.58±27.94	199.84±35.72	0.930	0.358
SCr(μmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	78.42±17.48	83.31±24.56	0.995	0.326
PCT(μg/L, $\bar{x} \pm s$ )	9.48±2.40	13.02±3.15	5.559	0.001
Hb(g/L, $\bar{x} \pm s$ )	93.56±10.42	92.15±9.42	0.684	0.497
WBC(×10 <sup>9</sup> /L, $\bar{x} \pm s$ )	10.34±2.08	11.22±2.75	1.585	0.121
PLT(×10 <sup>9</sup> /L, $\bar{x} \pm s$ )	105.26±28.42	86.49±20.13	3.927	<0.001
通路连接方式 [例(%)]				10.231 0.001
独立运行	38 (41.76)	22 (75.86)		
串联系统	53 (58.24)	7 (24.14)		

注:ECMO 为体外膜肺氧合,CRRT 为连续性肾脏替代治疗,BMI 为体质质量指数,APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II,PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 为氧合指数,SCr 为血肌酐,PCT 为降钙素原,Hb 为血红蛋白,WBC 为白细胞计数,PLT 为血小板计数;1 mmHg=0.133 kPa

**2.6 重症患者发生感染的潜在风险因素分析**：对感染组与非感染组患者差异有统计学意义的指标进行赋值：①是否发生感染（Y）：是=1，否=0；②导管留置时间（ $X_1$ ）、PCT（ $X_2$ ）、PLT（ $X_3$ ）均为连续变量；③通路连接方式（ $X_4$ ）：串联系统=1，独立运行=0。多因素 Logistic 回归分析显示，导管留置时间、PCT、PLT、通路连接方式是导致重症患者发生感染的潜在风险因素（均  $P < 0.05$ ；表 6）。

**表 6 同时接受 ECMO 与 CRRT 治疗的重症患者发生感染潜在危险因素的多因素 Logistic 回归分析**

变量	$\beta$ 值	$s_{\beta}$	$\chi^2$ 值	P 值	OR 值	95%CI
导管留置时间	0.245	0.124	3.874	0.049	1.277	1.001~1.629
PCT	0.425	0.115	13.755	<0.001	1.529	1.222~1.914
PLT	-0.048	0.015	10.593	0.001	0.953	0.926~0.981
通路连接方式	-1.242	0.597	4.337	0.037	0.289	0.090~0.930

注：ECMO 为体外膜肺氧合，CRRT 为连续性肾脏替代治疗，PCT 为降钙素原，PLT 为血小板计数，OR 为优势比，95%CI 为 95% 置信区间

### 3 讨 论

重症患者受性别、BMI、心脏病史、ECMO 插管方式、插管位置、APACHE II 评分等多种混杂因素的影响，可能对 ECMO 串联 CRRT 通路的治疗效果和安全性产生影响<sup>[15-16]</sup>。本研究综合考虑重症患者的基础疾病、病情严重程度、身体机能等因素，采用倾向性评分匹配将可能严重干扰 ECMO 串联 CRRT 通路治疗效果的相关因素尽可能地达到均衡，从而有效减少这些混杂因素对研究结果的干扰，使研究结果更能真实地反映两种连接方式在效果和安全性上的差异。本研究最终成功匹配 120 例患者，独立运行组和串联系统组各 60 例，对比两组患者的治疗情况发现，与独立运行组比较，串联系统组患者 ECMO 上机 48 h ECMO 流量显著降低、LVEF 显著升高，CRRT 启动时间和 CRRT 导管留置时间显著缩短，置换液出入量显著增加，差异均有统计学意义。在 ECMO 和 CRRT 各自独立运行时，为满足患者氧合与灌注需求，独立的 ECMO 要独自承担起全身血液循环的支持任务，心脏功能受损严重的重症患者自身泵血能力不足，需要高流量的 ECMO 才能保障足够的氧输送到全身组织器官，因此使得 ECMO 需维持较高流量<sup>[17]</sup>。然而，高流量运行可能对血管壁剪切力增大，破坏血管内皮完整性，为细菌入侵创造条件。同时，当 CRRT 独立运行时，需单独进行置管操作，不仅会增加操作流程与时间，还会因额外的血管穿刺对血管造成损伤，增加出血风险<sup>[18]</sup>。串联系统

则将 CRRT 管路串联到 ECMO 回路中，优化了整体血流动力学，使得在较低的 ECMO 流量下也能满足患者的生理需求。相关研究显示，CRRT 与 ECMO 协同工作可共同调节患者体内液体平衡与代谢废物清除，减轻 ECMO 单独承担的负荷，且 ECMO 流量降低避免了血管内皮损伤，减少了细菌黏附、定植的机会，同时串联系统避免了因置管导致的血管损伤的发生，从而降低了出血事件发生率<sup>[19]</sup>。Huang 等<sup>[20]</sup>通过研究还发现，ECMO 联合 CRRT 的治疗方式可以有效提高对心脏功能的支持和保护，优化液体平衡管理，侧面验证了 ECMO 串联 CRRT 通路对心功能的保护作用。

既往研究表明，更高效的治疗启动和整合模式能使同时接受 CRRT 与 ECMO 患者的整体治疗进程加快<sup>[21]</sup>。在本研究中也发现，与独立运行组比较，串联系统组患者 ICU 住院时间显著缩短，SCr、ALT 显著降低，差异均有统计学意义，提示 ECMO 串联 CRRT 通路能更有效地清除体内的代谢废物，对肝脏的灌注和功能保护具有更有利的作用<sup>[22]</sup>；同时，串联系统组患者感染发生率和出血事件发生率均显著低于独立运行组，这可能与 ECMO 串联 CRRT 通路无需进行 CRRT 置管操作，从而减少了血管损伤等导致出血的因素有关<sup>[23]</sup>。为进一步分析导致感染发生的潜在风险因素，本研究通过多因素 Logistic 回归分析发现，PCT、PLT 和通路连接方式是导致重症患者发生感染的潜在风险因素。串联系统通路作为感染的独立保护因素，可通过减少置管次数、优化血流动力学及简化护理操作显著降低感染风险。ECMO 与 CRRT 通路独立运行时需两次置管，可导致患者皮肤屏障破坏和局部组织损伤，叠加高流量 ECMO 引发的血管内皮剪切力增加及凝血激活，促进了细菌黏附和生物膜形成；而 ECMO 与 CRRT 串联通路仅需单次置管，减少了创伤，降低了 ECMO 流量，缓解了内皮损伤，同时简化了护理操作，减少了外源性污染的机会<sup>[24]</sup>。此外，PCT 升高及 PLT 降低也反映了患者体内可能存在更严重的炎症反应，机体对细菌入侵的防御能力下降，使得患者更容易发生感染，因此临床实践中应优先选择串联系统通路并强化导管护理，对采用独立运行的患者需密切监测感染标志物及凝血功能<sup>[25]</sup>。而值得注意的是，Wu 等<sup>[26]</sup>的研究表明，ECMO 串联 CRRT 通路可能存在空气泄漏或血液泄漏等风险，从而导致 ECMO 通路血栓形成。但在本研究中并未发现独立运行组

与串联系统组患者 ECMO 通路血栓形成发生率差异有统计学意义,但仍提示护理人员需要密切监控患者的治疗过程,预防 ECMO 通路血栓的形成。

综上所述,ECMO 串联 CRRT 通路可加快 CRRT 启动,避免局部出血,同时可稳定患者心肝肾功能,降低潜在感染风险,改善患者预后。本研究的不足之处在于样本量较小且为单中心研究,研究普遍性受限;尽管采用了倾向性评分匹配来控制混杂因素,但实际临床中可能存在患者的生活习惯、既往治疗史等尚未考虑到的混杂变量,从而干扰研究结果。后期需开展多中心的大样本研究,尽可能全面识别潜在的混杂因素,并将其纳入倾向性评分匹配模型,从而更准确地控制混杂因素对结果的影响,进一步验证本研究结论。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 朱翔宇:研究设计,数据收集与整理,统计学分析,论文初稿撰写;石岩、谢鹏、付婧、葛文汉:研究对象筛选,临床数据采集,随访,论文修改完善;杨海晨:研究方案的整体设计与审核,课题指导,数据结果的最终审定,并对论文的科学性和完整性负责,同时承担论文修改、定稿及通讯联系

## 参考文献

- [1] 张秋阳,余韶芸,潘向灌,等.成年体外膜肺氧合患者出血影响因素的 Meta 分析 [J/CD].中华危重症医学杂志(电子版),2024,17 (5): 392–398. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674–6880.2024.05.006.
- [2] WE-ROCK Investigators. Factors associated with successful liberation from continuous renal replacement therapy in children and young adults: analysis of the worldwide exploration of renal replacement outcomes collaborative in Kidney Disease Registry [J]. Intensive Care Med, 2024, 50 (6): 861–872. DOI: 10.1007/s00134–024–07336–4.
- [3] 张歆瑀,杨成,臧千慧,等.早期血小板与淋巴细胞比值在静脉-动脉体外膜肺氧合患者预后评估中的价值 [J].中国中西医结合急救杂志,2025, 32 (1): 78–83. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2025.01.014.
- [4] Novy E, Abdul-Aziz MH, Cheng V, et al. Population pharmacokinetics of fluconazole in critically ill patients receiving extracorporeal membrane oxygenation and continuous renal replacement therapy: an ASAP ECMO study [J]. Antimicrob Agents Chemother, 2024, 68 (1): e0120123. DOI: 10.1128/aac.01201–23.
- [5] 陈月,钱晓亮,豆立冬,等.自制体外膜肺氧合系统救治危重症患者的装机策略和临床观察 [J].中华危重病急救医学,2024, 36 (4): 410–414. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430–20230914–00781.
- [6] Maybauer MO, Capoccia M, Maybauer DM, et al. The ProtekDuo in ECMO configuration for ARDS secondary to COVID-19: a systematic review [J]. Int J Artif Organs, 2023, 46 (2): 93–98. DOI: 10.1177/03913988221142904.
- [7] Cree ML, Abdul-Aziz MH, Schlapbach LJ, et al. The impact of extracorporeal support on antimicrobial pharmacokinetics in critically ill neonatal and paediatric patients: a systematic review [J]. Int J Antimicrob Agents, 2024, 64 (4): 107311. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2024.107311.
- [8] Ciullo AL, Knecht R, Levin NM, et al. Direct connection to the ECMO circuit versus a hemodialysis catheter is associated with improved urea nitrogen ultrafiltration during continuous renal replacement therapy for patients on extracorporeal membrane oxygenation [J]. J Clin Med, 2023, 12 (4): 1488. DOI: 10.3390/jcm12041488.
- [9] Wang XF, Wang H, Du X, et al. Evaluation of early CRRT and beta-blocker Intervention in patients with ECMO (ELITE) trial: study protocol for a 2×2 partial factorial randomized controlled trial [J]. Trials, 2022, 23 (1): 684. DOI: 10.1186/s13063–022–06617–x.
- [10] Lane SF, Harvey-Jones E, Ward O, et al. Renal replacement and extracorporeal therapies in critical care: current and future directions [J]. Acute Med, 2023, 22 (3): 154–162. DOI: 10.1111/vec.12028.
- [11] 赵洪峰,王淑颖,胡伟,等.体外膜肺氧合相关血流感染危险因素及预测模型建立 [J/CD].中华危重症医学杂志(电子版),2023, 16 (2): 98–104. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674–6880.2023.02.002.
- [12] 田静,董妍,周涛,等.高体质量指数的特发性肺纤维化患者接受体外膜肺氧合支持的相关结局 [J].中华危重病急救医学,2024, 36 (5): 538–542. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430–20231119–00989.
- [13] Franco Palacios CR, Hoxhaj R, Thigpen C, et al. Factors associated with post-hospitalization dialysis dependence in ECMO patients who required continuous renal replacement therapy [J]. Ren Fail, 2024, 46 (1): 2343810. DOI: 10.1080/0886022X.2024.2343810.
- [14] Villarreal-Ondarza I, Rodríguez-Salinas CA, Gómez-Gutiérrez R, et al. Use of hepatic support with MARS in a patient with SARS-CoV-2 pneumonia, in treatment with ECMO and CRRT therapies: case report [J]. J Extra Corpor Technol, 2023, 55 (3): 130–133. DOI: 10.1051/ject/2023025.
- [15] Mast J, Vanermen F, Van de Vyver A, et al. The effect of gender, age, BMI and Kellgren-Lawrence grade on functional outcome after Physical ZUK medial unicompartmental knee replacement [J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2023, 33 (4): 811–818. DOI: 10.1007/s00590–022–03202–5.
- [16] Hu ZX, Zheng YM, Zheng JB, et al. Effect of body mass index and cholesterol-rich apolipoprotein-B-containing lipoproteins on clinical outcome in NSCLC patients treated with immune checkpoint inhibitors-based therapy: a retrospective analysis [J]. Cancer Med, 2024, 13 (11): e7241. DOI: 10.1002/cam4.7241.
- [17] 张慧峰,杨建旭,黄晓佩,等.重症肺炎患者体外膜肺氧合治疗预后不良的影响因素 [J].中华实用诊断与治疗杂志,2024, 38 (1): 6–11. DOI: 10.13507/j.issn.1674–3474.2024.01.002.
- [18] Liu XT, Ye HJ, Zheng XH, et al. Increased risk of catheter-related infection in critically ill patients given catecholamine inotropes during continuous renal replacement therapy [J]. Hemodial Int, 2022, 26 (1): 13–22. DOI: 10.1111/hdi.12968.
- [19] Sansom B, Riley B, Udy A, et al. Continuous renal replacement therapy during extracorporeal membrane oxygenation: circuit haemodynamics and circuit failure [J]. Blood Purif, 2023, 52 (6): 522–531. DOI: 10.1159/000529928.
- [20] Huang XH, Gao YX, Chen XF, et al. Optimizing the connection of CRRT and ECMO lines with additional pressure regulator on the therapeutic effect, filter life, and incidence of complications [J]. Medicine (Baltimore), 2024, 103 (25): e38580. DOI: 10.1097/MD.0000000000038580.
- [21] Tapatally A, Bridges BC, Selewski DT, et al. Managing the kidney: the role of continuous renal replacement therapy in neonatal and pediatric ECMO [J]. Semin Pediatr Surg, 2023, 32 (4): 151332. DOI: 10.1016/j.sempedsurg.2023.151332.
- [22] Laici C, Bianchini A, Miglionico N, et al. Planned extracorporeal life support employment during liver transplantation: the potential of ECMO and CRRT as preventive therapies: case reports and literature review [J]. J Clin Med, 2023, 12 (3): 1239. DOI: 10.3390/jcm12031239.
- [23] Hayashi Y, Izawa Y, Tanaka Y, et al. Continuous renal replacement therapy with cytokine-adsorbing hemofilter to control resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta-related ischemia-reperfusion injury in a swine hemorrhagic shock model [J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2025, 51 (1): 66. DOI: 10.1007/s00068–024–02707–4.
- [24] Raja M, Leal R, Doyle J. Continuous renal replacement therapy in patients receiving extracorporeal membrane oxygenation therapy [J]. J Intensive Care Soc, 2023, 24 (2): 227–229. DOI: 10.1177/17511437211067088.
- [25] Zhao XS, Meng ZL, Zhang T, et al. Combining serum procalcitonin level, thromboelastography, and platelet count to predict short-term development of septic shock in intensive care unit [J]. Curr Med Sci, 2023, 43 (1): 86–92. DOI: 10.1007/s11596–022–2689–y.
- [26] Wu J, Huang XH, Mei Y, et al. Impact of connecting methods of continuous renal replacement therapy device on patients underwent extracorporeal membrane oxygenation: a retrospectively observational study [J]. Aust Crit Care, 2023, 36 (5): 695–701. DOI: 10.1016/j.aucc.2022.11.005.