

· 临床研究 ·

标准化乳酸负荷对静脉-动脉体外膜氧合治疗急性心肌梗死患者预后的预测价值

王小娜 孟娜 胡军利 汪佩

河北医科大学第二医院急诊科, 石家庄 050000

通信作者: 汪佩, Email: qwezxc199297@163.com

【摘要】目的 探讨标准化乳酸负荷对静脉-动脉体外膜氧合(VA-ECMO)治疗急性心肌梗死(AMI)患者预后的预测价值。**方法** 选取2020年9月至2025年7月期间本院收治的接受VA-ECMO治疗的AMI患者,根据患者启动VA-ECMO后30d预后情况分为预后不良组和预后良好组。收集患者临床资料,计算标准化乳酸负荷及相关参数,采用多因素Logistic回归分析患者预后不良的影响因素,绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析和比较标准化乳酸负荷及传统乳酸指标预测AMI患者预后不良的价值。**结果** 本研究共纳入132例患者,按照其接受治疗后30d预后情况分为预后不良组($n=45$)和预后良好组($n=87$)。相较于预后良好组,预后不良组的肌酐、置管前Lac明显更高,肾上腺素使用例数明显更多,标准化乳酸负荷、Lac-peak明显更高,Lac清除率明显更低($P < 0.05$)。调整肌酐、置管前Lac等混杂因素后,标准化乳酸负荷、Lac-peak仍然是VA-ECMO支持的AMI患者VA-ECMO治疗后30d预后不良的独立危险因素($P < 0.05$)。标准化乳酸负荷预测AMI患者VA-ECMO治疗后30d预后不良的曲线下面积(AUC)为0.932(95% CI: 0.894~0.969),其预测效能优于单一的Lac-peak(AUC=0.643)($Z=4.127$, $P < 0.05$)。高负荷组的ECMO成功撤机率显著低于低负荷组,机械通气时间、ICU住院时间显著长于低负荷组,连续性肾脏替代治疗、严重感染例数显著多于低负荷组($P < 0.05$)。**结论** 相较于传统乳酸指标,标准化乳酸负荷对VA-ECMO支持的AMI患者预后具有较高的预测效能,且与患者的治疗结局密切相关。

【关键词】 乳酸; 标准化乳酸负荷; 急性心肌梗死; 心源性休克; 静脉-动脉体外膜氧合; 预后
基金项目: 2026年度河北省医学科学研究课题(20260299)

DOI: 10.3760/cma.j.cn114656-20251216-00910

Prognostic value of standardized lactic acid load in patients with acute myocardial infarction treated with veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation

Wang Xiaona, Meng Na, Hu Junli, Wang Pei

The Second Hospital of Hebei Medical University, Emergency Department, Shijiazhuang, 050000, China

Corresponding author: Wang Pei, Email: qwezxc199297@163.com

【Abstract】Objective To evaluate the predictive value of standardized lactate load for prognosis in patients with acute myocardial infarction (AMI) treated with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO). **Methods** We enrolled AMI patients who received VA-ECMO support at our hospital between September 2020 and July 2025. Based on 30day outcomes after VA-ECMO initiation, patients were categorized into poorprognosis and goodprognosis groups. Clinical data were collected, and standardized lactate load and related parameters were calculated. Multivariate logistic regression was used to identify independent risk factors for poor prognosis. Receiver operating characteristic (ROC) curves were constructed to compare the predictive performance of standardized lactate load versus conventional lactate indices. **Results** A total of 132 patients were included, with 45 in the poorprognosis group and 87 in the goodprognosis group. Compared with the goodprognosis group, the poorprognosis group had significantly higher precatheterization creatinine and lactate (Lac) levels, a higher proportion of patients

receiving adrenaline, significantly higher standardized lactate load and Lacpeak, and significantly lower lactate clearance rates (all $P < 0.05$). After adjusting for confounders including precatheterization creatinine and Lac, both standardized lactate load and Lacpeak remained independent risk factors for 30day poor prognosis ($P < 0.05$). The area under the ROC curve (AUC) of standardized lactate load for predicting poor prognosis was 0.932 (95% CI: 0.894–0.969), which was superior to that of Lacpeak alone (AUC = 0.643) ($Z = 4.127$, $P < 0.05$). Furthermore, patients in the highload group had significantly lower ECMO weaning success rates, longer durations of mechanical ventilation and ICU stay, and higher incidences of continuous renal replacement therapy requirement and severe infection compared with the lowload group (all $P < 0.05$). **Conclusions** Standardized lactate load offers superior predictive efficiency for prognosis in AMI patients receiving VA-ECMO support compared with traditional lactate markers, and is closely associated with clinical treatment outcomes.

【Keywords】 lactic acid ; standardized lactic acid load ; acute myocardial infarction ; cardiogenic shock ; venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation ; prognosis

Fund program: 2026 Hebei Provincial Medical Science Research Project (20260299)

DOI:10.3760/cma.j.cn114656-20251216-00910

急性心肌梗死 (acute myocardial infarction, AMI) 是心源性休克 (cardiogenic shock, CS) 的主要病因, 约占 5%~10%^[1], 静脉-动脉体外膜氧合 (venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation, VA-ECMO) 作为治疗 AMI 患者合并 CS 的重要机械循环支持手段, 虽能部分或完全替代患者的心脏功能, 但高达 40.1% 的撤机失败率和 36.5% 的院内病死率^[2], 以及其高昂的医疗费用, 造成其临床应用面临严峻挑战。因此, 寻找能够及早、准确预测 VA-ECMO 支持下的 AMI 患者预后的可靠指标, 对指导临床决策、优化资源分配至关重要。乳酸作为一种反映组织灌注和无氧代谢程度的重要指标, 其水平高低与心源性休克患者病死率之间的关联已被大量研究证实^[3-4]。但以往的研究多关注乳酸的绝对值或乳酸清除率对患者预后的影响^[5], 随着时间的推移, 动态乳酸相较于单一乳酸对危重症患者预后的预测准确性更高^[6-7], 这使得传统乳酸阈值的适用性面临一定挑战。标准化乳酸负荷综合考虑了乳酸的产生和清除过程, 能够更全面地反映机体的代谢紊乱程度, 已有文献报道其在预测脓毒症患者死亡风险中具有良好的准确性^[8], 但现阶段关于标准化乳酸负荷在 VA-ECMO 治疗 AMI 患者中的应用研究相对较少。本研究旨在分析标准化乳酸负荷对 VA-ECMO 治疗 AMI 患者预后的预测价值, 为临床治疗决策提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取 2020 年 9 月至 2025 年 7 月期间本院收

治的接受 VA-ECMO 治疗的 AMI 患者为研究对象, 纳入标准: (1) 符合 AMI 诊断标准^[9]; (2) 年龄 ≥ 18 岁; (3) 因心源性休克接受 VA-ECMO 支持治疗^[10], ECMO 辅助时间 > 24 h; (4) 患者家属或其法定代理人签署知情同意书。排除标准: (1) 合并严重肝肾功能不全、恶性肿瘤、凝血功能障碍等影响乳酸代谢的疾病; (2) 合并先天性心脏病、重度主动脉瓣关闭不全; (3) 不可逆的多脏器功能衰竭或脑损伤者; (4) 心脏骤停后复苏时间 > 60 min; (5) 存在 ECMO 支持的禁忌证; (6) 辅助治疗后家属放弃治疗, 协商自动出院; (7) 病例资料不全者。所有患者 VA-ECMO 辅助期间管理及撤机标准均遵照人体外膜氧合循环辅助专家共识^[11]及本中心统一诊疗流程执行。采用 PASS 软件进行样本量估算。假设标准化乳酸负荷预测 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后预后不良 ROC 曲线的 AUC 为 0.80, 设 $\alpha=0.05$ (双尾), $\beta=0.10$ (检验效能 90%), 根据既往文献预估 VA-ECMO 治疗后 30 d 全因性病死率为 54%^[12], 研究所需样本量约为 120~150 例, 考虑到约 10% 的脱落或数据不完整, 需纳入 130~160 例患者。本次研究已获取本院医学伦理委员会批准通过。

1.2 标准化乳酸负荷定义及测量方法

标准化乳酸负荷定义为: VA-ECMO 上机后 24 h 内乳酸 (Lac) - 时间曲线下面积 (areas under curve, AUC) 与 24 h 的比值。乳酸清除率计算节点分别为: 上机前 (置管前即刻)、上机后 6 h、12 h、24 h。测量方法: (1) 采用梯形法计算 Lac-AUC, 计算公式: 乳酸负荷 = $[(\text{Lac}_0 + \text{Lac}_1) / 2 \times (T_1 -$

T_0)]+[(Lac_1+Lac_2)/2×(T_2-T_1)]+...+[($Lac_{n-1}+Lac_n$)/2×(T_n-T_{n-1})], 其中起始点(T_0)定义为 ICU 入院时第 1 次测量的 Lac 值, 结束点(T_{24})定义为入院后 24 h 最后一次测量的 Lac 值;(2) 将第(1)步中计算得到的总乳酸负荷除以 24 h 的总观察时间, 即标准化乳酸负荷^[13], 并记录患者 VA-ECMO 上机后 24 h 内乳酸峰值(Lac-peak)、Lac 清除率。

1.3 资料收集

收集患者的基本信息[性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、基础病史]、临床资料[心梗类型、三支病变情况、心脏骤停例数、ECMO 置入前 CPR、心脏骤停至 VA-ECMO 启动时间、入院时急性生理和慢性健康状况(acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)评分、序贯器官衰竭(sequential organ failure assessment, SOFA)评分、VA-ECMO 生存预测评分(survival after veno-arterial ECMO, SAVE)、氨基末端脑利钠肽前体(N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP)、肌酸激酶同工酶 MB(Creatine kinase isoenzyme MB, CK-MB)、酸碱度、肌酐、尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、碳酸氢根、生命体征指标等]、ECMO 相关资料[置管前 Lac、ECMO 辅助时间、撤机率以及机械通气、血管活性药物使用情况]等。

1.4 结局指标

根据患者启动 VA-ECMO 后 30 d 预后情况分为预后不良组和预后良好组, 预后不良定义为: 启动 ECMO 后 30 d 内全因性死亡。次要结局: 记录 ECMO 成功撤机率(持续脱离 ECMO 支持 ≥ 48 h^[14])、严重并发症发生情况(连续性肾脏替代治疗、肝功能不全、远端缺血、神经系统事件等)、机械通气时间以及 ICU 住院时间。

1.5 统计学方法

数据处理采用 SPSS 27.0 软件进行统计分析。计量资料经正态性检验后, 符合正态分布的数据以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示, 组间比较采用独立样本 t 检验; 非正态分布数据以中位数(四分位距)[$M(Q_1, Q_3)$]表示, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数表示, 组间比较采用 χ^2 检验。采用多因素 Logistic 回归分析 AMI 患者预后不良的影响因素, 绘制受试者工作特征(ROV)曲线, 计算标准化乳酸负荷及传统乳酸指标预测 AMI 患者预后不良的 AUC, 并通过 Delong 检验不

同指标的预测性能, 通过约登指数确定最佳截断值。根据标准化乳酸负荷的最佳截断值, 将患者分为高风险组和低风险组, 比较两组次要结局指标差异性。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组临床资料比较

本研究共纳入 132 例患者, 按照其接受治疗后 30 d 预后情况分为预后不良组($n=45$)和预后良好组($n=87$), 病例入选流程图见图 1。相较于预后良好组, 预后不良组 SAVE 评分更低, 肌酐、置管前 Lac 明显更高, 肾上腺素使用例数明显更多($P < 0.05$), 见表 1。

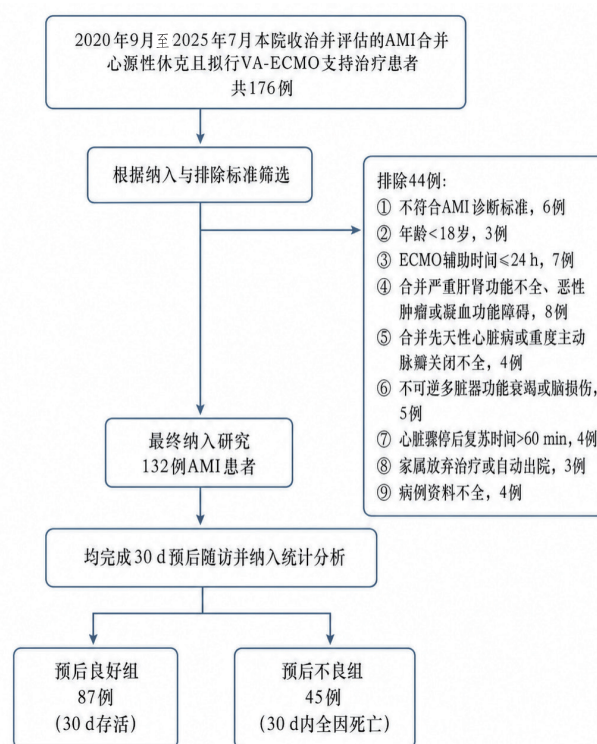


图 1 病例入选流程图

Fig 1 Flowchart of case enrollment

2.2 两组标准化乳酸负荷及相关参数比较

相较于预后良好组, 预后不良组的标准化乳酸负荷、Lac-peak 明显更高, Lac 清除率明显更低($P < 0.05$), 见表 2。

2.3 影响 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后不良的多因素 Logistic 回归分析

以 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后为因变量(预后不良=1, 预后良好=0), 将单因素分析中 $P < 0.05$ 的变量及临床上可能影响预后的因素

表 1 两组临床资料比较 [$n, M(Q_1, Q_3), (\bar{x} \pm s)$]
Table 1 Comparison of clinical characteristics between the two groups [$n, M(Q_1, Q_3), (\bar{x} \pm s)$]

项目	预后不良组 ($n=45$)	预后良好组 ($n=87$)	$\chi^2/t/Z$	P 值
性别				
男	31	60	0.080	0.777
女	14	27		
年龄 (岁)	66.89 ± 10.12	65.28 ± 11.97	0.771	0.442
BMI (kg/m^2)	25.29 ± 1.64	24.88 ± 1.93	1.216	0.226
高血压史	29	52	0.273	0.601
糖尿病史	19	33	0.229	0.632
心梗类型				
STEMI	36	74	0.546	0.460
NSTEMI	9	13		
三支病变	28	52	0.075	0.785
心脏骤停	22	32	2.266	0.132
ECMO 置入前 CPR	30	62	0.297	0.586
心脏骤停至 VA-ECMO 启动时间 (min)	41(37,56)	38(32,54)	1.178	0.055
APACHE II 评分 (分)	26.88 ± 3.15	26.59 ± 3.24	0.492	0.624
SOFA 评分 (分)	12.89 ± 1.81	12.71 ± 1.92	0.520	0.604
SAVE 评分 (分)	-8.26 ± 3.15	-2.96 ± 2.28	5.026	<0.001
NT-proBNP (pg/mL)	9128(3546,21889)	8979(2897,15416)	1.025	0.397
CK-MB (U/L)	144(56,471)	97(52,229)	1.427	0.268
酸碱度	$7.38(7.33,7.49)$	$7.40(7.32,7.50)$	0.659	0.544
肌酐 ($\mu\text{mol}/\text{L}$)	128.15 ± 13.88	93.16 ± 15.63	12.653	<0.001
BUN (mmol/L)	$8.46(7.02,13.15)$	$7.97(6.89,12.84)$	1.677	0.108
碳酸氢根 (mmol/L)	15.29 ± 2.39	14.89 ± 2.45	0.897	0.372
收缩压 (mmHg)	81.27 ± 10.56	82.46 ± 11.89	0.566	0.573
舒张压 (mmHg)	50.26 ± 5.12	51.33 ± 5.63	1.067	0.288
心率 (次/min)	89.54 ± 12.38	88.47 ± 13.67	0.440	0.661
置管前 Lac (mmol/L)	11.28 ± 2.39	7.19 ± 1.65	11.526	<0.001
ECMO 辅助时间 (h)	40.15(15.50,79.20)	49.10(36.25,82.50)	-1.336	0.195
应用 IABP	30	59	0.018	0.894
血管药物使用情况				
多巴胺	40	70	1.517	0.218
肾上腺素	22	17	12.271	0.001
去甲肾上腺素	38	70	0.317	0.574
多巴胺丁酚	21	41	0.003	0.960

注: BMI: 体重指数, ECMO: 体外膜氧合, APACHE II: 急性生理和慢性健康状况, SOFA: 序贯器官衰竭, SAVE: VA-ECMO 生存预测, NT-proBNP: 氨基末端脑利钠肽前体, CK-MB: 肌酸激酶同工酶 MB, BUN: 尿素氮, Lac: 乳酸。心脏骤停至 VA-ECMO 启动时间仅在发生心脏骤停患者中统计

表 2 两组标准化乳酸负荷及相关参数比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 2 Comparison of standardized lactate load and related clinical parameters between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

项目	预后不良组 ($n=45$)	预后良好组 ($n=87$)	t 值	P 值
标准化乳酸负荷 ($\text{mmol}/\text{L} \cdot \text{h}$)	9.16 ± 2.27	4.24 ± 0.65	18.836	<0.001
Lac-peak (mmol/L)	12.11 ± 3.84	7.26 ± 1.87	9.773	<0.001
Lac 清除率 (%)	15.13 ± 4.97	31.23 ± 8.72	11.448	<0.001

纳入多因素 Logistic 回归分析。考虑到置管前 Lac、Lac-peak、Lac 清除率及标准化乳酸负荷之间可能存在相关性,本研究先进行共线性诊断。结果显示,置管前 Lac 与标准化乳酸负荷、Lac-peak 存在一定相关性,因此未将多个乳酸指标同时纳入同一回归模型,而是采用分模型方式分别评价其预测价值。

在调整年龄、APACHE II 评分、SOFA 评分、

ECMO 置入前 CPR、心脏骤停至 VA-ECMO 启动时间、肌酐、pH 值、碳酸氢根、肾上腺素使用、IABP 应用及 ECMO 辅助时间等混杂因素后,标准化乳酸负荷仍是 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后不良的独立预测因素 ($P<0.05$)。在分别纳入不同乳酸指标的模型中,Lac-peak 和 Lac 清除率与患者预后不良相关,但其预测稳定性和模型区分度低于标准化乳酸负荷,见表 3。

2.4 标准化乳酸负荷及相关参数预测 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后不良的 ROC 曲线

ROC 曲线见图 2。结果表明,标准化乳酸负荷预测 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后不良的曲线下面积 (AUC) 为 0.932 (95% CI:0.894~0.969),其预测效能优于单一的 Lac-peak

表 3 影响 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后不良的多因素 Logistic 回归分析

Table 3 Multivariate logistic regression analysis for 30-day poor prognosis after VA-ECMO in AMI patients

模型	因素	β	SE	Wald χ^2	OR	95%CI	P 值
模型 1	标准化乳酸负荷	1.093	0.265	16.999	2.982	1.774~5.013	<0.001
	SAVE 评分	-0.470	0.165	8.114	0.625	0.452~0.864	0.009
	肌酐	0.038	0.125	0.094	1.039	0.813~1.327	0.882
	肾上腺素使用	0.689	0.411	2.811	1.992	0.890~4.458	0.109
模型 2	Lac-peak	0.128	0.052	6.096	1.137	1.027~1.259	0.026
模型 3	Lac 清除率	-0.086	0.025	11.834	0.918	0.874~0.964	<0.001
模型 4	置管前 Lac	0.231	0.074	9.742	1.260	1.090~1.456	0.001

注：模型 1 以标准化乳酸负荷为主要自变量，模型 2 以 Lac-peak 为主要自变量，模型 3 以 Lac 清除率为主要自变量，模型 4 以置管前 Lac 为主要自变量。各模型均校正年龄、APACHE II 评分、SOFA 评分、ECMO 置入前 CPR、心脏骤停至 VA-ECMO 启动时间、肌酐、pH 值、碳酸氢根、肾上腺素使用、IABP 应用及 ECMO 辅助时间等混杂因素。因乳酸相关指标之间存在相关性，未将置管前 Lac、Lac-peak、Lac 清除率及标准化乳酸负荷同时纳入同一模型

(AUC=0.643)、Lac 清除率 (AUC=0.716) ($Z=4.127$ 、 3.286 , $P<0.05$)。根据约登指数确定，标准化乳酸负荷的最佳截断值为 $7.2 \text{ mmol}/(\text{L} \cdot \text{h})$ ，此时预测的敏感度为 85.2%，特异度为 83.8%，见表 4。

2.5 亚组分析

根据标准化乳酸负荷的最佳截断值 [$7.2 \text{ mmol}/(\text{L} \cdot \text{h})$]，将患者分为高负荷组 ($n=53$) 和低负荷组 ($n=79$)。高负荷组的 ECMO 成功撤机率显著低于低负荷组，机械通气时间、ICU 住院时间显著长于低负荷组，连续性肾脏替代治疗、严重感染例数显著多于低负荷组 ($P < 0.05$)，见表 5。

表 4 标准化乳酸负荷及相关参数预测 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后不良的 ROC 曲线

Table 4 ROC curves for standardized lactate load and related parameters predicting 30-day poor prognosis post-VA-ECMO in AMI

因素	AUC	95%CI	截断值	灵敏度 (%)	特异度 (%)	P 值
标准化乳酸负荷	0.932	0.894~0.969	$7.2 \text{ mmol}/\text{L} \cdot \text{h}$	85.20	83.80	0.001
Lac-peak	0.643	0.588~0.698	$3.745 \text{ mmol}/\text{L}$	58.40	50.20	0.013
Lac 清除率	0.716	0.577~0.855	22.5%	73.08	57.69	0.007

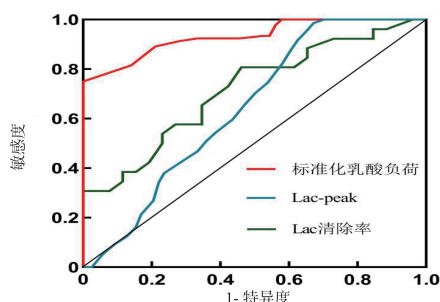


图 2 标准化乳酸负荷及相关参数预测的 ROC 曲线

Fig 2 ROC curves of standardized lactate load and related parameters for predicting poor prognosis at 30 days after VA-ECMO in AMI patients.

表 5 高负荷组和低负荷组临床结局比较 ($n, \bar{x} \pm s$)Table 5 Comparison of clinical outcomes between the high-load and low-load groups ($n, \bar{x} \pm s$)

项目	高负荷组 ($n=53$)	低负荷组 ($n=79$)	χ^2/t	P 值
ECMO 成功撤机率	16	70	47.681	<0.001
机械通气时间 (d)	10.25(4.15,15.25)	7.40(4.25,10.50)	6.127	<0.001
ICU 住院时间 (d)	19.25(16.50,28.30)	11.20(8.15,15.05)	10.912	<0.001
连续性肾脏替代治疗	18	13	5.410	0.020
严重感染	25	14	13.211	<0.001

3 讨论

VA-ECMO 作为一种有效的生命支持手段，为 AMI 合并 CS 患者带来生存希望，但其预后仍存在个体差异，因此及早预测患者预后对优化治疗方案至关重要。本研究结果中，相较于预后良好组，预后不良组的肌酐、置管前 Lac 明显更高，肾上腺素使用例数明显更多。肌酐水平升高可能反映了患者肾功能受损，而肾功能不全在 AMI 患者中是影响预后的重要因素之一^[15]。肾功能障碍会导致体内代谢产物蓄积，影响内环境稳定，进而加重心脏负担，影响心脏功能的恢复^[16]。置管前 Lac 升高提示患者在 VA-ECMO 启动前已存在明显组织低灌注、细胞缺氧及无氧代谢增强。既往研究显示^[17]，在 AMI 合并 CS 患者中，动脉 Lac 水平与早期死亡风险密切相关，且动态 Lac 水平可用于评估休克严重程度和预后。此外，本研究中两组 APACHE II 与 SOFA 评分差异无统计学意义，可能与纳入患者均接受了标准化的 ECMO 管理、剔除了早期死亡及家属放弃病例有关，导致病情严重程度的组间变异缩小。本研究结果中预后不良组 SAVE 评分明显低于良好组，提示其更适用于 ECMO 患者的风险分层。

Lac 被多数研究认为是反映组织灌注不足的重要生物标志物，也与 AMI 患者预后密切相关^[18-19]。本研究结果中，在调整了肌酐、置管前 Lac 等混杂因素后，标准化乳酸负荷、Lac-peak、乳酸清除率仍然与 VA-ECMO 支持的 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后不良存在独立相关关系，这与 Swain 等^[20]报道结果一致。Lac 是无氧代谢的产物，其水平升高反映了组织缺氧和能量代谢障碍。韦茵等^[21]研究发现，AMI 合并心源性休克时，心输出量急剧下降，外周组织缺血缺氧，Lac 生成增加。尽管 VA-ECMO 可改善血流动力学，但研究指出其可能通过增加左心室后负荷或诱发氧化应激加剧心肌损伤^[22]。Everett 等^[23]进一步表明，VA-ECMO 通过

耗尽心磷脂破坏线粒体功能,加重缺血-再灌注损伤,这可能解释高乳酸负荷与撤机失败率升高的关联。但传统的 Lac 单点测量,如峰值乳酸、置管前乳酸或者平均乳酸,仅能反映疾病发展过程中的一个瞬时断面,无法捕捉乳酸在时间维度上的动态演变过程,而标准化乳酸负荷综合考虑了乳酸在一段时间内的累积情况,更能准确地反映机体的代谢状态。本次研究结果证实,标准化乳酸负荷预测 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30 d 预后不良的 AUC 为 0.932,其预测效能优于单一的 Lac-peak (AUC=0.643)、Lac 清除率 (AUC=0.716),这一结果表明标准化乳酸负荷在预测患者预后方面具有更高的准确性和可靠性。单一的 Lac-peak 仅反映了乳酸的最高水平,不能全面地反映乳酸在整个治疗过程中的动态变化,而标准化负荷通过计算 AUC 涵盖乳酸随时间的变化趋势,更全面评估代谢紊乱程度。Wang 等^[24]研究发现,乳酸清除率是预后的独立预测因子,但标准化负荷进一步整合了清除延迟或反弹等复杂模式。也有研究指出^[25],VA-ECMO 患者常因合并症影响乳酸代谢,单一阈值的预测价值有限。标准化负荷通过相对量化减少个体差异干扰,与 Giordano 等^[26]提出的“需结合多参数评分”的理念相符。

此外本研究通过标准化乳酸负荷的最佳截断值进行分组,结果显示,高负荷组撤机失败率更高,机械通气及 ICU 住院时间延长,并发症发生率更高,提示标准化乳酸负荷高的患者心肌损伤更为严重,心脏功能恢复困难,导致 VA-ECMO 难以成功撤离,患者需要更长时间的呼吸支持和重症监护,延长机械通气时间和住院时间,增加并发症发生率。因此,临床除监测患者的基线乳酸外,应每 6 h 监测乳酸变化,计算清除率及标准化负荷。Chen^[27]研究表明,6 h 乳酸清除率与 30 d 病死率显著相关,而本研究进一步支持标准化负荷的优越性。对于高负荷患者,需积极优化血流动力学,如联合 IABP 降低后负荷,或尝试心磷脂保护策略^[28-29],以优化治疗方案,改善患者预后。

本研究虽发现了标准化乳酸负荷相较于传统乳酸指标预测 AMI 患者 VA-ECMO 治疗后 30d 预后不良的预测能力更为良好,但由于研究为单中心研究,样本量相对有限,可能存在一定的选择偏倚;其次,本研究纳入病例时间跨度接近 5 年,期间 VA-ECMO 团队经验和救治流程存在逐步成熟过

程,这可能对患者预后产生一定影响。考虑到缩短入选周期会导致样本量不足,降低统计效能,本研究未进一步缩短病例纳入时间,而是通过统一病例筛选标准、遵循相对一致的 ECMO 管理和撤机标准,并在统计分析中补充治疗阶段因素进行控制未纳入其他机械循环支持的混杂影响。此外,标准化乳酸负荷的计算方法尚未统一,未来需验证不同算法的普适性,进一步扩大样本量,探讨高乳酸负荷是否直接导致不良结局的潜在机制。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献申明 王小娜:病例收集、论文撰写、论文修改;孟娜,胡军利:数据整理;汪佩:统计学方法、研究指导

参 考 文 献

- [1] Kapur NK. Innovating to resolve the pressure-oxygenation-paradox created by VA-ECMO could improve outcomes for acute myocardial infarction and cardiogenic shock[J]. J Heart Lung Transplant, 2024, 43(5): 700-702. DOI:10.1016/j.healun.2024.01.013.
- [2] Dettling A, Kellner C, Sundermeyer J, et al. Incidence and predictors of weaning failure from veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation therapy in patients with cardiogenic shock[J]. Eur Heart J, 2024, 45(Supplement_1): ehae666.1249. DOI:10.1093/eurheartj/ehae666.1249.
- [3] Choi KH, Yang JH, Park TK, et al. Differential prognostic implications of vasoactive inotropic score for patients with acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock according to use of mechanical circulatory support[J]. Crit Care Med, 2021, 49(5): 770-780. DOI:10.1097/ccm.0000000000004815.
- [4] Levy B, Girerd N, Baudry G, et al. Serial daily lactate levels association with 30-day outcome in cardiogenic shock patients treated with VA-ECMO: a post-hoc analysis of the HYPO-ECMO study[J]. Ann Intensive Care, 2024, 14(1): 43. DOI:10.1186/s13613-024-01266-6.
- [5] Thevathasan T, Gregers E, Rasalingam Mørk S, et al. Lactate and lactate clearance as predictors of one-year survival in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation—An international, multicentre cohort study[J]. Resuscitation, 2024, 198: 110149. DOI:10.1016/j.resuscitation.2024.110149.
- [6] Wei Y, Zhuang JQ, Li JQ, et al. Lactate trajectories and outcomes in patients with sepsis in the intensive care unit: group-based trajectory modeling[J]. Front Public Health, 2025, 13: 1610220. DOI:10.3389/fpubh.2025.1610220.
- [7] Montero S, Rivas-Lasarte M, et al. Time course, factors related to,

- and prognostic impact of venoarterial extracorporeal membrane flow in cardiogenic shock[J]. *ESC Heart Fail*, 2023, 10(1): 568-577. DOI:10.1002/ehf2.14132.
- [8] Chen H, Gong SR, Yu RG. Increased normalized lactate load is associated with higher mortality in both sepsis and non-sepsis patients: an analysis of the MIMIC-IV database[J]. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1): 79. DOI:10.1186/s12871-022-01617-5.
- [9] Ibanez B, James S, Agewall S, et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC)[J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(2): 119-177. DOI:10.1093/eurheartj/ehx393.
- [10] 龙村, 赵举. ECMO 手册 [M]. 第 2 版, 北京: 人民卫生出版社, 2019: 46-50.
- [11] 杨峰, 王粮山. 成人体外膜氧合循环辅助专家共识 [J]. *中华重症医学电子杂志 (网络版)*, 2018, 4 (2): 114-122. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-1537.2018.02.003.
- [12] Russo JJ, Aleksova N, Pitcher I, et al. Left ventricular unloading during extracorporeal membrane oxygenation in patients with cardiogenic shock[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(6): 654-662. DOI:10.1016/j.jacc.2018.10.085.
- [13] Wu Y, Huang NN, Sun TN, et al. Association between normalized lactate load and in-hospital mortality in patients with acute myocardial infarction[J]. *Int J Cardiol*, 2024, 399: 131658. DOI:10.1016/j.ijcard.2023.131658.
- [14] Hsu HR, Sekhar P, Grover J, et al. Predictors of successful weaning from veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (V-a ECMO): a systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2025, 20(3): e0310289. DOI:10.1371/journal.pone.0310289.
- [15] Hékimian G, Paulo N, Waintraub X, et al. Arrhythmia-induced cardiomyopathy: a potentially reversible cause of refractory cardiogenic shock requiring venoarterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(7): 1106-1112. DOI:10.1016/j.hrthm.2021.03.014.
- [16] Bréchet N, Hajage D, Kimmoun A, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation to rescue sepsis-induced cardiogenic shock: a retrospective, multicentre, international cohort study[J]. *Lancet*, 2020, 396(10250): 545-552. DOI:10.1016/s0140-6736(20)30733-9.
- [17] Fuernau G, Desch S, de Waha-Thiele S, et al. Arterial lactate in cardiogenic shock[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(19): 2208-2216. DOI:10.1016/j.jcin.2020.06.037.
- [18] Boey JJE, Dhundi U, Ling RR, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(1): 64. DOI:10.3390/jcm13010064.
- [19] 苗广瑞, 庞硕, 周远航, 等. 早期液体平衡和乳酸清除率对体外膜肺氧合辅助治疗急性心肌梗死合并心源性休克患者的短期预后价值研究 [J]. *中国全科医学*, 2023, 26 (27): 3397-3402. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0126.
- [20] Swain L, Bhav S, Qiao XY, et al. Novel role for cardiolipin as a target of therapy to mitigate myocardial injury caused by venoarterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Circulation*, 2024, 149(17): 1341-1353. DOI:10.1161/circulationaha.123.065298.
- [21] 韦茵, 李树炎, 熊敏君, 等. 老年心源性休克患者 ECMO 治疗预后的影响因素 [J]. *中国老年学杂志*, 2022, 42 (10): 2331-2334. DOI:10.3969/j.issn.1005-9202.2022.10.007.
- [22] Ni M, Dong AQ, Zhu X, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation reduces myocardial and mitochondrial damage in acute myocardial infarction[J]. *Shock*, 2024, 62(1): 111-118. DOI:10.1097/shk.0000000000002361.
- [23] Everett KD, Swain L, Reyelt L, et al. Transvalvular unloading mitigates ventricular injury due to venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in acute myocardial infarction[J]. *JACC Basic Transl Sci*, 2023, 8(7): 769-780. DOI:10.1016/j.jacbs.2023.01.004.
- [24] Wang JF, Ji MX. The 6-hour lactate clearance rate in predicting 30-day mortality in cardiogenic shock[J]. *J Intensive Med*, 2024, 4(3): 393-399. DOI:10.1016/j.jointm.2024.01.003.
- [25] Ebner M, Pagel CF, Sentler C, et al. Venous lactate improves the prediction of in-hospital adverse outcomes in normotensive pulmonary embolism[J]. *Eur J Intern Med*, 2021, 86: 25-31. DOI:10.1016/j.ejim.2021.01.021.
- [26] Giordano L, Francavilla A, Bottio T, et al. Predictive models in extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): a systematic review[J]. *Syst Rev*, 2023, 12(1): 44. DOI:10.1186/s13643-023-02211-7.
- [27] Chen J. Intraosseous versus intravenous fluid resuscitation in gastrointestinal tumor-related acute hemorrhage: impact on 30-day mortality and lactate clearance[J]. *Am J Cancer Res*, 2025, 15(6): 2682-2700. DOI:10.62347/eamr9595.
- [28] Wang KX, Wang LS, Ma JW, et al. Intra-aortic balloon pump after VA-ECMO reduces mortality in patients with cardiogenic shock: an analysis of the Chinese extracorporeal life support registry[J]. *Crit Care*, 2024, 28(1): 394. DOI:10.1186/s13054-024-05129-1.
- [29] Lüsebrink E, Binzenhöfer L, Hering D, et al. Scrutinizing the role of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: has clinical practice outpaced the evidence?[J]. *Circulation*, 2024, 149(13): 1033-1052. DOI:10.1161/circulationaha.123.067087.

(收稿日期: 2025-12-16)

(本文编辑: 何小军)