

ICU 行连续性肾脏替代治疗患者发生非计划下机的危险因素分析

王梦倩 刘秀梅 丛珊珊 贾云艳 唐妍 康艳楠

大连医科大学附属第一医院重症医学科, 大连 116011

通信作者: 刘秀梅, Email: liuxiumei0411@163.com

【摘要】 目的 分析重症监护病房(ICU)行连续性肾脏替代治疗(CRRT)患者发生非计划下机的危险因素,为临床医护人员早期识别高危患者并制订干预措施提供参考。**方法** 采用横断面研究设计,选择 2025 年 3 月 17 日至 7 月 25 日在大连医科大学附属第一医院中心 ICU 接受 CRRT 治疗的患者作为研究对象。根据《ICU 患者 CRRT 非计划下机危险因素采集表》收集患者基本资料、CRRT 治疗参数、治疗过程相关影响因素和医护人员相关因素。按照患者在 CRRT 治疗期间是否发生非计划下机分为非计划下机组和正常下机组。采用单因素及多因素 Logistic 回归分析筛选 ICU 行 CRRT 患者发生非计划下机的危险因素。**结果** 最终纳入 386 例 ICU 行 CRRT 患者,其中发生非计划下机 146 例(发生率为 37.8%),正常下机 240 例。单因素分析显示,非计划下机组与正常下机组患者在性别、急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II)、序贯器官衰竭评分(SOFA)、血气分析 pH 值、滤器前压、血液流速、滤过分数、跨膜压(TMP)、压力下降值、抗凝剂速率、治疗模式、治疗过程是否出现躁动、治疗过程是否出现低血压、使用呼吸机、使用抗凝剂方面差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。多因素 Logistic 回归分析显示,治疗过程出现躁动[优势比(OR)=2.538, 95% 置信区间(95%CI)为 1.291~4.989]、治疗过程出现低血压(OR =3.958, 95%CI 为 1.990~7.871)、压力下降值升高(OR =1.062, 95%CI 为 1.026~1.099)、TMP 升高(OR =1.032, 95%CI 为 1.009~1.056)、滤过分数升高(OR =1.142, 95%CI 为 1.043~1.251)、滤器前压升高(OR =1.057, 95%CI 为 1.033~1.081)是 ICU 行 CRRT 患者发生非计划下机的危险因素,而血液流速增快(OR =0.947, 95%CI 为 0.927~0.968)是 ICU 行 CRRT 患者发生非计划下机的保护因素(均 $P < 0.05$)。**结论** ICU 行 CRRT 治疗患者非计划下机发生率较高,治疗过程中出现躁动、低血压,以及压力下降值升高、跨膜压升高、滤过分数升高、滤器前压升高是发生非计划下机的独立危险因素,而血液流速增快是其保护因素,应针对高危因素制定相应干预措施。

【关键词】 连续性肾脏替代治疗;重症;非计划下机;危险因素

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260109-00022

Risk factors for unplanned discontinuation of continuous renal replacement therapy in patients admitted to the intensive care unit

Wang Mengqian, Liu Xiumei, Cong Shanshan, Jia Yanyan, Tang Yan, Kang Yannan

Department of Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, China

Corresponding author: Liu Xiumei, Email: liuxiumei0411@163.com

【Abstract】 Objective To analyze the risk factors for unplanned discontinuation of continuous renal replacement therapy (CRRT) in intensive care unit (ICU) patients, and to provide a reference for clinical medical staff to identify high-risk patients early and formulate intervention measures. **Methods** A cross-sectional study design was adopted. Patients who received CRRT in the Central ICU of the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University from March 17 to July 25, 2025 were enrolled. Baseline characteristics, CRRT treatment parameters, treatment-related factors, and medical staff-related factors were collected using the ICU Patient CRRT Unplanned Discontinuation Risk Factor Collection Form. According to whether unplanned discontinuation occurred during CRRT, patients were divided into an unplanned discontinuation group and a normal discontinuation group. Univariate and multivariate logistic regression analyses were performed to identify the risk factors for unplanned CRRT discontinuation. **Results** A total of 386 ICU patients who underwent CRRT were included in this study, among whom 146 (37.8%) experienced unplanned discontinuation and 240 had normal discontinuation. Univariate analysis showed that there were statistically significant differences between the unplanned discontinuation group vs. the normal discontinuation group in gender, Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II (APACHE II), Sequential Organ Failure Assessment (SOFA), arterial blood gas pH value, pre-filter pressure, blood flow rate, filtration fraction, transmembrane pressure (TMP), pressure drop, anticoagulant rate, treatment modality, presence of agitation during treatment, presence of hypotension during treatment, use of mechanical ventilation, and use of anticoagulants (all $P < 0.05$). Multivariate logistic regression analysis revealed that agitation during treatment [odds ratio (OR)=2.538, 95% confidence interval (95%CI) was 1.291–4.989], hypotension during treatment (OR =3.958, 95%CI was 1.990–7.871), increased pressure drop (OR =1.062, 95%CI was 1.026–1.099), increased TMP (OR =1.032, 95%CI was 1.009–1.056), increased filtration fraction (OR =1.142, 95%CI was 1.043–1.251),

and increased pre-filter pressure ($OR=1.057$, 95%CI was 1.033–1.081) were independent risk factors for unplanned discontinuation of CRRT in ICU patients, while increased blood flow rate ($OR=0.947$, 95%CI was 0.927–0.968) was an independent protective factor (all $P<0.05$). **Conclusions** The incidence of unplanned discontinuation of CRRT among ICU patients was high. Agitation during treatment, hypotension, increased pressure drop, increased transmembrane pressure, increased filtration fraction, and increased pre-filter pressure were independent risk factors for unplanned discontinuation, whereas increased blood flow rate was an independent protective factor. Targeted intervention measures should be developed according to these risk factors.

【Key words】 Continuous renal replacement therapy; Critical care; Unplanned discontinuation; Risk factor

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260109-00022

连续性肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT)是指基于扩散、超滤、对流和吸附的生理学机制来模拟肾脏功能,通过缓慢清除体内多余水分和内毒素等物质实现血液净化的治疗手段^[1-2],其临床应用范围已从多器官功能障碍综合征扩展至重症胰腺炎、全身炎症反应综合征、横纹肌溶解综合征、药物中毒等领域^[3],成为重症监护病房(intensive care unit, ICU)核心的器官支持治疗手段之一^[4]。ICU 患者常合并凝血功能异常、免疫抑制及多器官功能障碍等严重并发症,导致对 CRRT 的耐受程度降低,也是引发 CRRT 非计划性下机的关键原因^[5-6]。CRRT 非计划下机是指患者接受 CRRT 治疗期间^[7],治疗时间 $<24\text{ h}$ 或未完成 CRRT 治疗目标而提前终止治疗的现象^[8],其发生率较高,约为 17.9%~74.5%^[9-10],不仅会直接影响 CRRT 治疗效果,还可能导致患者液体超负荷、电解质紊乱及代谢失衡^[8],显著增加院内感染风险、延长住院时间,最终导致患者死亡风险升高^[11]。尽管已有学者针对 CRRT 非计划下机的危险因素展开初步探索^[12-13],但其相关危险因素的研究较不全面,在临床中缺乏科学的指导性依据。本研究对接受 CRRT 治疗的 386 例 ICU 患者的临床资料进行分析,旨在了解 CRRT 非计划下机的发生现状并分析其危险因素,为临床医护人员早期识别高风险患者、制订针对性干预措施提供循证参考依据。

1 资料与方法

1.1 调查对象:采用横断面研究设计,研究对象为 2025 年 3 月 17 日至 7 月 25 日在大连医科大学附属第一医院中心 ICU 接受 CRRT 治疗的患者。

1.1.1 纳入标准:① 入住 ICU 且接受 CRRT 治疗;② 年龄 ≥ 18 周岁;③ 患者及家属知情同意且自愿参与本研究。

1.1.2 排除标准:① 病历资料缺失比例 $\geq 20\%$;② 因管路连接错误或护理人员操作有误导致非计划下机;③ 患者中途放弃治疗或死亡。④ 因外出

检查而中断治疗。

1.1.3 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,已获得医院伦理委员会批准(审批号:PJ-KS-KY-2025-228)。

1.2 研究分组:根据患者在 CRRT 治疗期间是否发生非计划下机分为非计划下机组和正常下机组。

1.3 非计划下机的诊断:我国血液净化标准操作流程(2021 版)^[14]对非计划下机的判定标准作出界定,即 CRRT 治疗过程中跨膜压(transmembrane pressure, TMP)超过 250 mmHg($1\text{ mmHg}=0.133\text{ kPa}$)^[15]、治疗中所用滤器出现 II 级及以上凝血情况^[3]、滤器整体呈现深黑色外观且中空纤维丝可见大片阴影或条纹改变,或出现其他无法通过调整干预解除的报警事件,需终止 CRRT 持续治疗。其中滤器凝血等级的划分以已发布且达成专家共识的《血液净化标准操作规程》^[3]为依据,无凝血表现或仅见数根纤维发生凝血为 0 级,凝血纤维占比 $<10\%$ 为 I 级,凝血纤维占比 $\geq 10\%\sim <50\%$ 为 II 级,凝血纤维占比 $\geq 50\%$ 为 III 级。本研究将非计划下机定义为患者在实施 CRRT 治疗过程中因各种原因导致治疗时间 $<24\text{ h}$ 或未完成 CRRT 治疗目标而提前终止治疗。

1.4 研究工具:通过系统检索中英文数据库,筛选与 CRRT 非计划下机发生相关的危险因素研究,检索时限为建库至 2025 年 2 月,经重症监护领域医疗与护理专家团队共同讨论修订后,最终制定《ICU 患者 CRRT 非计划下机危险因素采集表》。

该表主要包括:① 基本资料:性别、年龄、急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II, APACHE II)、序贯器官衰竭评分(Sequential Organ Failure Assessment, SOFA)、是否有高血压、基础实验室指标(红细胞计数、血小板计数、血红蛋白、红细胞压积、纤维蛋白原、动脉血气 pH 值、游离钙离子浓度、活化部分凝血活酶时间、凝血酶原时间、凝血酶时间、国际标准化比值);② CRRT 治疗参数:治疗模式、抗凝剂速

率、血液流速、脱水速度、TMP、滤器前压、滤过分数、压力下降值、置管部位、置管时间；③ 治疗过程相关影响因素：是否使用呼吸机、是否出现低血压、是否躁动、治疗过程是否输血、是否使用抗凝剂；④ 医护人员相关因素：ICU 护士工作年限。

1.5 资料收集及质量控制方法：由 2 名研究人员根据《ICU 患者 CRRT 非计划下机危险因素采集表》收集数据，通过医院信息系统和重症护理记录系统对患者的病历相关资料进行系统收集。采集行 CRRT 患者上机前 24 h 内最差值或最接近上机时的指标。在资料收集过程中，定期对已收集的资料进行核查，检查是否存在信息遗漏、数据错误等情况。如有异议，则重新请医疗及护理组长讨论决定。

1.6 统计学方法：通过 SPSS 25.0 统计软件分析数据。正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组间比较采用独立样本 t 检验；非正态分布的计量资料以中位数 (四分位数) [$M(Q_1, Q_3)$] 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以频数及构成比表示，组间比较采用 χ^2 检验。将单因素分析中差异具有统计学意义的变量纳入多因素 Logistic 回归模型，探讨 CRRT 非计划下机的独立危险因素。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

2.1 行 CRRT 患者一般资料及非计划下机发生现状：通过文献回顾与专家咨询，最终确定 32 个自变量；依据 Logistic 回归分析样本量需为自变量数量 5~10 倍的原则^[16]，同时考虑 20% 的无效病例，计

算所需样本量为 192~384 例，最终纳入 386 例接受 CRRT 的 ICU 患者。其中，男性 288 例 (占 74.6%)，女性 98 例 (占 25.4%)；年龄 (69.24 ± 15.19) 岁 (范围 31~95 岁)；APACHE II 评分 ≥ 22 分 175 例 (占 45.3%)；SOFA 评分 ≥ 12 分 227 例 (占 58.8%)；146 例 (占 37.8%) 发生非计划下机，240 例 (占 62.2%) 正常下机。患者非计划下机的主要原因包括滤器凝血 (112 例，76.7%)、血流动力学不稳定 (24 例，16.4%)、其他 (10 例，6.8%) 等。符合非计划下机指征的患者中，滤器凝血等级为 II 级及以上的患者共 96 例 (65.8%)。

2.2 ICU 患者发生 CRRT 非计划下机影响因素的单因素分析 (表 1)：单因素分析显示，非计划下机组与正常下机组在性别、APACHE II 评分、SOFA 评分、血气分析 pH 值、滤器前压、血液流速、滤过分数、TMP、压力下降值、抗凝剂速率、治疗模式、治疗过程是否出现躁动、治疗过程是否出现低血压、使用呼吸机和使用抗凝剂方面差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。

2.3 ICU 患者发生 CRRT 非计划下机的多因素 Logistic 回归分析：以是否发生非计划下机为因变量，将单因素分析中差异具有统计学意义的因素作为自变量进行多因素 Logistic 回归分析。对变量进行赋值，变量赋值方式见表 2。多因素 Logistic 回归分析显示，治疗过程出现躁动、治疗过程出现低血压、压力下降值升高、TMP 升高、滤过分数升高和滤器前压升高是 ICU 行 CRRT 患者发生非计划下机

表 1 ICU 行 CRRT 患者发生非计划下机影响因素的单因素分析

指标	正常下机组 (240 例)	非计划下机组 (146 例)	统计量值	P 值	指标	正常下机组 (240 例)	非计划下机组 (146 例)	统计量值	P 值
性别 [例 (%)]			$\chi^2=3.889$	0.049	滤过分数 [%， $M(Q_1, Q_3)$]	25 (24, 28)	27 (26, 31)	$Z=6.621$	<0.001
女性	53 (22.1)	45 (30.8)			TMP [mmHg， $M(Q_1, Q_3)$]	90 (83, 98)	99 (90, 113)	$Z=6.675$	<0.001
男性	187 (77.9)	101 (69.2)			压力下降值 [mmHg， $M(Q_1, Q_3)$]	29 (22, 36)	33 (27, 45)	$Z=4.871$	<0.001
APACHE II 评分 [例 (%)]			$\chi^2=16.409$	<0.001	抗凝剂速率 [mL/h， $M(Q_1, Q_3)$]	2.5 (2.0, 3.5)	2.0 (2.0, 3.0)	$Z=4.123$	0.003
<22 分	150 (62.5)	61 (41.8)			治疗模式 [例 (%)]			$\chi^2=6.858$	0.009
≥ 22 分	90 (37.5)	85 (58.2)			血液滤过+血液灌流	11 (4.6)	17 (11.6)		
SOFA 评分 [例 (%)]			$\chi^2=10.636$	0.001	血液滤过	229 (95.4)	129 (88.4)		
<12 分	114 (47.5)	45 (30.8)			治疗过程出现躁动 [例 (%)]	33 (13.8)	54 (37.0)	$\chi^2=30.179$	<0.001
≥ 12 分	126 (52.5)	101 (69.2)			治疗过程出现低血压 [例 (%)]	41 (17.1)	59 (40.4)	$\chi^2=27.579$	<0.001
血气分析 pH 值 ($\bar{x} \pm s$)	7.40 $\pm$ 0.08	7.38 $\pm$ 0.08	$t=2.432$	0.016	使用呼吸机 [例 (%)]	201 (83.8)	134 (91.8)	$\chi^2=5.365$	0.021
滤器前压 [mmHg， $M(Q_1, Q_3)$]	95 (82, 106)	106 (97, 121)	$Z=6.252$	<0.001	使用抗凝剂 [例 (%)]	191 (79.6)	98 (67.1)	$\chi^2=7.497$	0.006
血液流速 [mL/min， $M(Q_1, Q_3)$]	180 (180, 187)	180 (150, 180)	$Z=5.841$	<0.001					

注：ICU 为重症监护病房，CRRT 为连续性肾脏替代治疗，APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II，SOFA 为序贯器官衰竭评分，TMP 为跨膜压；1 mmHg=0.133 kPa

的危险因素,而血液流速增快是 ICU 行 CRRT 患者发生非计划下机的保护因素(均 $P<0.05$;表 3)。

表 2 ICU 行 CRRT 患者发生非计划下机影响因素的变量赋值情况

变量	赋值方式
性别	女性=0;男性=1
APACHE II 评分	<22 分=0;≥22 分=1
SOFA 评分	<12 分=0;≥12 分=1
治疗模式	血液滤过及血液灌流=0;血液滤过=1
治疗过程是否出现低血压	否=0;是=1
治疗过程是否躁动	否=0;是=1
是否使用呼吸机	否=0;是=1
是否使用抗凝剂	否=0;是=1
滤器前压	原值带入
血液流速	原值带入
滤过分数	原值带入
TMP	原值带入
压力下降值	原值带入
抗凝剂速率	原值带入
血气分析 pH 值	原值带入
凝血酶时间	原值带入

注:ICU 为重症监护病房,CRRT 为连续性肾脏替代治疗,APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II,SOFA 为序贯器官衰竭评分,TMP 为跨膜压

表 3 ICU 行 CRRT 患者发生非计划下机影响因素的多因素 Logistic 回归分析

变量	回归系数	s_e	χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
常量	-29.710	17.119	3.012	0.083		
躁动	0.931	0.345	7.294	0.007	2.538	1.291~4.989
低血压	1.376	0.351	15.384	<0.001	3.958	1.990~7.871
压力下降值	0.060	0.017	11.786	0.001	1.062	1.026~1.099
TMP	0.031	0.012	7.384	0.007	1.032	1.009~1.056
滤过分数	0.133	0.046	8.263	0.004	1.142	1.043~1.251
血液流速	-0.054	0.011	23.881	<0.001	0.947	0.927~0.968
滤器前压	0.055	0.011	23.343	<0.001	1.057	1.033~1.081

注:ICU 为重症监护病房,CRRT 为连续性肾脏替代治疗,TMP 为跨膜压,OR 为优势比,95%CI 为 95% 置信区间;空白代表无此项

3 讨论

3.1 ICU 行 CRRT 患者的非计划下机发生率较高: 本研究结果显示,ICU 行 CRRT 患者的非计划下机发生率为 37.8%,与 Yang 等^[17]的研究结果相近,且处于国内外报道发生率区间(17.9%~74.6%)的中高水平^[9-10],表明 CRRT 非计划下机在临床实践中仍是需要重点关注的突出问题。研究人群特征方面,本研究纳入的 386 例患者中,74.4% 为男性,平均年龄 70 岁,且 45.3% 的患者 APACHE II 评分≥22 分、58.8% 的患者 SOFA 评分≥12 分,提示本组患者普遍高龄、病情危重、多合并严重器官功能损伤。不同研

究报道的非计划下机发生率差异较大(如 67.5%^[18]与 22.6%^[19]),可能与研究设计、人群及抗凝方案不同有关。从原因分析,滤器凝血占比高达 76.7%,其中滤器 II 级及以上凝血者占 65.8%,是导致治疗未达 24 h 的核心原因。ICU 患者病情危重、凝血异常与血流动力学不稳定,加之 CRRT 操作难度大,共同增加了非计划下机风险^[20-21]。

3.2 CRRT 非计划下机的发生与多种因素有关

3.2.1 低血压的 ICU 患者发生 CRRT 非计划下机的风险较高: ICU 患者常因感染性休克、容量不足、心功能不全等原因出现低血压,导致全身组织灌注不足。当血流灌注不足时,血液黏稠度升高,滤器内血液流速减慢,血液与滤器纤维膜的接触时间延长,极易引发血小板黏附、聚集,最终导致滤器凝血^[22]。Neyra 等^[23]的研究表明,ICU 患者尤其是血容量不足者在行 CRRT 引血启动上机时,易发生一过性低血压。这提示临床需通过精准容量管理、合理使用血管活性药物等措施维持患者血流动力学稳定,为 CRRT 顺利开展提供基础保障。本研究以收缩压<90 mmHg 或平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)<65 mmHg 作为低血压判定标准^[24],与部分研究采用 MAP<60 mmHg 或收缩压降幅>20% 的标准存在差异^[25]。尽管不同研究标准存在差异,但均指向血流动力学不稳定这一核心病理生理状态对 CRRT 持续性的负面影响。

3.2.2 躁动是 ICU 患者发生 CRRT 非计划下机的独立危险因素: 本研究显示,躁动同样是核心危险因素。Liu 等^[26]的研究也证实,躁动是 CRRT 管路凝血与非计划下机的重要诱因。ICU 患者由于病情危重、疼痛、镇静不足或认知功能障碍等原因,易出现躁动。一项纳入 23 项研究的 Meta 分析进一步证实,躁动与 CRRT 非计划下机存在较强的相关性,其合并的优势比(odds ratio, OR)为 4.97,且研究间异质性低,支持躁动作为独立危险因素的可信性^[11]。因此,临床需加强躁动风险评估,通过个体化镇静镇痛、规范肢体约束及管路固定等措施降低非计划下机风险。

3.2.3 血液流速减慢、滤过分数升高会增加非计划下机的风险: 本研究表明,血液流速增快是 ICU 患者 CRRT 非计划下机的保护因素(血液流速每增加 1 mL/min,非计划下机的风险降低 5.3%)。同时,滤过分数升高的患者发生非计划下机的风险是滤过分数正常患者的 1.142 倍,这与 Boer 等^[27]的研究结

果一致。血液流速与滤过分数呈显著负相关^[28],二者协同作用进一步加剧了非计划下机的发生风险,血液流速减慢时,血液在体外循环管路及滤器内瘀滞,单位体积血液内的溶质与水分更易被过度滤出,直接导致滤过分数异常升高;而滤过分数的升高又会加剧血液浓缩与血流瘀滞状态,形成恶性循环,最终加速滤器凝血与管路堵塞进程,这与 Baldwin 和 Fealy^[29]提出的血流动力学理论相符。但 Fealy 等^[30]的研究显示,血液流速与 CRRT 非计划下机无相关性。研究结果的差异可能与纳入人群的异质性相关,Fealy 等^[30]的研究对象为危重症儿科患者,生理发育尚未成熟,其血管通路解剖特征、血液流速耐受阈值及抗凝药物敏感性等指标均与成人存在显著差异。

滤过分数升高会增加下机风险,与 Boer 等^[27]的研究结论一致。血流速减慢致血液瘀滞、滤过分数升高,进而血液浓缩形成恶性循环^[29]。滤过分数过高意味着单位时间内从血液中滤出的液体量过多,血液浓缩、红细胞压积升高,进而促进血小板聚集和血栓形成,增加滤器凝血风险;此外,高滤过分数会显著提升 TMP,加速滤膜中空纤维的蛋白沉积和堵塞进程,即 TMP 的异常升高多为滤器凝血晚期表现,而滤过分数的持续偏高可能是其早期预警信号^[31]。结合血液流速与滤过分数的负相关关系分析,临床中若仅关注滤过分数的数值控制而忽视血液流速,极易因低血液流速诱发滤过分数升高,从而增加非计划下机的潜在风险。医护人员应依据《中国重症血液净化护理专家共识(2021 年)》^[32],将 CRRT 血液流速维持在 150~250 mL/min,滤过分数控制在 20%~25%,并根据体质量、血流动力学状态、液体负荷等个体情况动态调整,避免盲目追求高流速以致心脏负荷加重,尤其对于心功能不全的 ICU 患者,应结合个体耐受情况进行动态调整。

3.2.4 TMP、滤器前压及压力下降值升高与非计划下机风险增高密切相关:本研究结果显示,TMP、滤器前压及压力下降值升高均与 CRRT 非计划下机密切相关。已有研究证实,滤器前压和 TMP 是预测非计划下机的敏感性指标^[33]。作为反映滤器凝血程度的核心指标,本研究中非计划下机组的 TMP 水平显著高于正常下机组,当 TMP 显著升高时,滤器纤维膜孔易出现严重堵塞,与非计划下机的判定标准高度吻合。这一结论与 Kakajiwala 等^[31]的研究结果具有一致性,其指出 TMP 是 CRRT 治疗过程中

体外循环提前凝血最显著的预测因子,TMP 每升高 1 mmHg,管路凝血风险可增加 1.5 倍。TMP 反映横向凝血,压力下降值体现纵向阻力,其动态趋势更具预警价值^[33]。Sansom 等^[33]的研究强调压力下降值的趋势性变化比单点绝对值更具预警意义。这与本研究结果相互补充,提示临床监测不应仅限于 TMP 或滤器前压的阈值报警,而应关注压力下降值的动态上升趋势。

一项针对 CRRT 压力指标的前瞻性研究显示,滤器前压的动态变化趋势是评估非计划下机的重要依据^[34]。尤其在连续性静脉-静脉血液透析(continuous veno-venous hemodialysis, CVVHD)治疗模式下,滤器前压逐渐升高时,TMP 未同步上升,这种监测指标的变化偏差易导致临床干预时机延迟,引发管路及滤器凝血,进而导致 CRRT 非计划下机事件的发生,提示 TMP 不能作为非计划下机的独立预测指标。此外,Baldwin 和 Fealy^[29]的研究指出,当 TMP>250 mmHg、滤器前压>200 mmHg 且压力下降值>26 mmHg 时需警惕。综上,临床实践中应对上述压力参数进行动态监测,出现异常升高时及时调整血液流速、强化滤器冲洗或优化抗凝方案,从而延缓滤器堵塞进程,降低非计划下机的发生率。

3.3 局限性:由于本研究为单中心研究,不同地区、不同级别的 ICU 在 CRRT 启动时机、抗凝方案选择、医护操作规范及设备型号方面可能存在差异。因此,本研究所识别的危险因素及其效应值存在一定的选择偏倚。同时,尽管本研究尽可能收集了临床常见变量,但部分潜在的混杂因素(如枸橼酸或肝素等不同的抗凝方案)未纳入多因素模型,而不同抗凝方式对滤器寿命和非计划下机风险有显著影响,可能干扰其他因素的效应估计。为克服以上局限,未来可考虑开展多中心、大样本的队列研究,纳入更广泛的潜在混杂变量,并进行更长时间的随访。

4 小 结

本研究结果显示,ICU 患者 CRRT 非计划下机发生率高,治疗过程出现躁动、低血压以及压力下降值、TMP、滤过分数、滤器前压升高是 ICU 患者发生 CRRT 非计划下机的危险因素,而血液流速增快是其保护因素。针对高风险患者,医护人员应加强对 TMP 和压力下降值的动态监测,早期识别并进行有效干预,以减少其非计划下机和其他并发症的发生,降低死亡风险,改善预后。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 王梦倩: 酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析; 刘秀梅: 酝酿和设计实验、对文章的知识性内容作批评性审阅, 获取研究经费、行政、技术或材料支持、指导; 丛珊珊: 酝酿和设计实验, 采集数据, 对文章的知识性内容作批评性审阅, 行政、技术或材料支持, 支持性贡献; 贾云艳: 采集数据、分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅, 获取研究经费、指导、支持性贡献; 唐妍: 采集数据、分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅, 统计分析, 行政、技术或材料支持; 康艳楠: 酝酿和设计实验, 对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、指导、支持性贡献

参考文献

- [1] Karkar A, Ronco C. Prescription of CRRT: a pathway to optimize therapy[J]. *Ann Intensive Care*, 2020, 10(1): 32. DOI: 10.1186/s13613-020-0648-y.
- [2] Gasparović V, Filipović-Grcić I, Merkler M, et al. Continuous renal replacement therapy (CRRT) or intermittent hemodialysis (IHD): what is the procedure of choice in critically ill patients?[J]. *Ren Fail*, 2003, 25(5): 855-862. DOI: 10.1081/jdi-120024300.
- [3] 陈香美. 血液净化标准操作规程[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2021: 222-265.
- [4] Pan P, Cheng T, Han TY, et al. A nomogram model for post-intubation hypotension in patients with severe pneumonia in the emergency department[J]. *J Inflamm Res*, 2023, 16: 5221-5233. DOI: 10.2147/JIR.S430488.
- [5] Jiang Y, Chen JL, Yu YM, et al. Risk factors for the in-hospital mortality of CRRT-therapy patients with cardiac surgery-associated AKI: a single-center clinical study in China[J]. *Clin Exp Nephrol*, 2022, 26(12): 1233-1239. DOI: 10.1007/s10157-022-02274-1.
- [6] Zhang W, Nguyen-Hoang N, Rivrud SCS, et al. Genetic association studies in critically ill patients: a systematic review[J]. *EBioMedicine*, 2025, 114: 105678. DOI: 10.1016/j.ebiom.2025.105678.
- [7] 费素定, 金静芬, 王海燕, 等. 连续性肾脏替代治疗非计划性下机时间相关因素的研究[J]. *中华护理杂志*, 2015, 50(1): 57-61. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2015.01.014.
- [8] RICH Investigators and the Sepnet Trial Group. Effect of regional citrate anticoagulation vs systemic heparin anticoagulation during continuous kidney replacement therapy on dialysis filter life span and mortality among critically ill patients with acute kidney injury: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2020, 324(16): 1629-1639. DOI: 10.1001/jama.2020.18618.
- [9] Brain M, Winson E, Roodenburg O, et al. Non anti-coagulant factors associated with filter life in continuous renal replacement therapy (CRRT): a systematic review and meta-analysis[J]. *BMC Nephrol*, 2017, 18(1): 69. DOI: 10.1186/s12882-017-0445-5.
- [10] 查丽玲, 周松, 王婧, 等. ICU 患者持续性肾脏替代治疗非计划性下机相关因素的研究[J]. *护理学杂志*, 2017, 32(13): 31-34. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2017.13.031.
- [11] Zeng Z, Shen YQ, Wan L, et al. Risk factors for unplanned weaning of continuous renal replacement therapy in ICU patients: a meta-analysis[J]. *Ren Fail*, 2024, 46(2): 2387431. DOI: 10.1080/0886022X.2024.2387431.
- [12] 吴玲玲. 脓毒症患者血液净化非计划性下机影响因素分析及风险预测模型构建[D]. 遵义: 遵义医科大学, 2023.
- [13] 韦秋菊, 湛靖霞, 简乐茵, 等. 危重患儿枸橼酸局部抗凝连续肾脏替代治疗非计划下机影响因素分析[J]. *护理学报*, 2023, 30(18): 60-64. DOI: 10.16460/j.issn1008-9969.2023.18.060.
- [14] 国家卫生健康委员会. 血液净化标准操作规程(2021版)[EB/OL]. 2021 (2021-11-08) [2025-12-16]. <https://www.nhc.gov.cn/zyzygj/c100068/202111/fabfb09388b446c895633c00dcd35485.shtml>.
- [15] Gattas DJ, Rajbhandari D, Bradford C, et al. A randomized controlled trial of regional citrate versus regional heparin anticoagulation for continuous renal replacement therapy in critically ill adults[J]. *Crit Care Med*, 2015, 43(8): 1622-1629. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001004.
- [16] 高永祥, 张晋昕. Logistic 回归分析的样本量确定[J]. *循证医学*, 2018, 18(2): 122-124. DOI: 10.12019/j.issn.1671-5144.2018.02.015.
- [17] Yang EM, Wang QH, Guo J, et al. Development and external validation of a prediction model for the premature circuit clotting of continuous renal replacement therapy in critically ill patients[J]. *Intensive Crit Care Nurs*, 2024, 84: 103703. DOI: 10.1016/j.iccn.2024.103703.
- [18] 查丽玲, 周松, 江榕. ICU 行枸橼酸抗凝 CRRT 病人非计划性下机影响因素研究[J]. *护理研究*, 2018, 32(18): 2926-2930. DOI: 10.12102/j.issn.1009-6493.2018.18.030.
- [19] 何淑雅, 丁玲玲. 老年急性心力衰竭患者连续性肾脏替代治疗非计划性下机的影响因素及预测模型构建[J]. *中国急救医学*, 2025, 45(7): 619-624. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2025.07.010.
- [20] 闫娅婷, 郭贺, 谭睿敏, 等. 脓毒症相关性急性肾损伤患者启动肾脏替代治疗时机的研究进展[J]. *中华危重病急救医学*, 2025, 37(9): 889-892. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20241008-00817.
- [21] Mateos-Dávila A, Bethesé Roig AJ, Santos Rodríguez JA, et al. Comparison of diluted vs concentrated regional citrate anticoagulation in continuous renal replacement therapy: a quasi-experimental study[J]. *Nurs Crit Care*, 2024, 29(5): 1005-1014. DOI: 10.1111/nicc.12991.
- [22] Valle EO, Cabrera CPS, Albuquerque CCC, et al. Continuous renal replacement therapy in COVID-19-associated AKI: adding heparin to citrate to extend filter life—a retrospective cohort study[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1): 299. DOI: 10.1186/s13054-021-03729-9.
- [23] Neyra JA, Lambert J, Ortiz-Soriano V, et al. Assessment of prescribed vs. achieved fluid balance during continuous renal replacement therapy and mortality outcome[J]. *PLoS One*, 2022, 17(8): e0272913. DOI: 10.1371/journal.pone.0272913.
- [24] Shawwa K, Kompotiatis P, Jentzer JC, et al. Hypotension within one-hour from starting CRRT is associated with in-hospital mortality[J]. *J Crit Care*, 2019, 54: 7-13. DOI: 10.1016/j.jcc.2019.07.004.
- [25] Silversides JA, Pinto R, Kuint R, et al. Fluid balance, intradialytic hypotension, and outcomes in critically ill patients undergoing renal replacement therapy: a cohort study[J]. *Crit Care*, 2014, 18(6): 624. DOI: 10.1186/s13054-014-0624-8.
- [26] Liu XM, Li ML, Wu R, et al. Risk prediction model for unplanned weaning during continuous renal replacement therapy: a cross-sectional study[J]. *Med Intensiva (Engl Ed)*, 2026, 50(3): 502361. DOI: 10.1016/j.medine.2025.502361.
- [27] Boer W, Verbrugge W, Hoste E, et al. Unapparent systemic effects of regional anticoagulation with citrate in continuous renal replacement therapy: a narrative review[J]. *Ann Intensive Care*, 2023, 13(1): 16. DOI: 10.1186/s13613-023-01113-0.
- [28] 许红妍, 任奇, 祝利红, 等. 连续性肾脏替代治疗非计划下机风险预测模型的构建与外部验证[J]. *中华危重病急救医学*, 2024, 36(5): 520-526. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20231204-01045.
- [29] Baldwin I, Fealy N. Nursing for renal replacement therapies in the Intensive Care Unit: historical, educational, and protocol review[J]. *Blood Purif*, 2009, 27(2): 174-181. DOI: 10.1159/000190784.
- [30] Fealy N, Aitken L, du Toit E, et al. Faster blood flow rate does not improve circuit life in continuous renal replacement therapy: a randomized controlled trial[J]. *Crit Care Med*, 2017, 45(10): e1018-e1025. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002568.
- [31] Kakajiwal A, Jemilata T, Hughes JZ, et al. Membrane pressures predict clotting of pediatric continuous renal replacement therapy circuits[J]. *Pediatr Nephrol*, 2017, 32(7): 1251-1261. DOI: 10.1007/s00467-017-3601-z.
- [32] 中国重症血液净化协作组. 中国重症血液净化协作组护理学组. 中国重症血液净化护理专家共识(2021年)[J]. *中华现代护理杂志*, 2021, 27(34): 4621-4632. DOI: 10.3760/cma.j.cn115682-20210428-01873.
- [33] Sansom B, Sriram S, Presneill J, et al. Circuit hemodynamics and circuit failure during continuous renal replacement therapy[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(11): e872-e879. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003958.
- [34] Mateos-Dávila A, Bethesé Roig AJ, Santos Rodríguez JA, et al. Change in prefilter pressure as a key determinant in the decision to return blood in continuous renal replacement therapy: an observational study[J]. *Nurs Crit Care*, 2024, 29(6): 1441-1449. DOI: 10.1111/nicc.12933.

(收稿日期: 2026-01-09)
(本文编辑: 张耘菲)