

作者信息：熊维，汉，女，出生于：1982年07月，本科毕业，主管护师，
联系地址：江西省南昌市青云谱区联勤保障部队第908医院重症医学科，联系
电话：13803540023

*** 通讯作者：**廖浩，邮箱：1176089122@qq.com

感染性休克并AKI患者CRRT撤机失败的决策树分析

熊维，廖浩*，许文娟，涂艳

联勤保障部队第九〇八医院重症医学科，江西南昌，330001

【摘要】目的 基于决策树算法建立感染性休克并发急性肾损伤(AKI)患者行连续肾脏替代疗法(CRRT)后撤机失败的风险预测模型，探讨感染性休克并发AKI患者CRRT撤机失败的影响因素。**方法** 回顾性分析我院于2020年5月—2023年5月收治的感染性休克并发AKI患者220例，根据撤机成功与否分为成功组和失败组，采用单因素和多因素Logistic回归分析筛选感染性休克并发AKI患者CRRT撤机失败的危险因素，构建决策树模型并验证模型效能。**结果** 本研究中，有41.82%的患者撤机失败；结合单因素、多因素结果，纳入撤机时感染相关器官功能衰竭评分系统(SOFA)评分、撤机后尿量、急性生理与慢性健康评分(APACHEII)评分、撤机后血肌酐(Scr)水平、CRRT开始时脑利钠肽的N末端激素原(NT-proBNP)水平、平均动脉压(MAP)分级、入院时C反应蛋白/白蛋白(CRP/ALB)构建感染性休克并AKI患者CRRT撤机失败的决策树决策树，结果显示，CRP/ALB比值越高是感染性休克并发AKI患者CRRT撤机失败最重要的影响因素，其ROC曲线下面积为0.965。**结论** 入院时CRP/ALB、撤机时SOFA评分、撤机后尿量、撤机后Scr水平、APACHEI评分/分、MAP分级构建的决策树模型对感染性休克并发AKI患者CRRT撤机失败的预测效能较好，对于患者预后评估具有指导作用。

【关键词】 感染性休克；急性肾损伤；CRRT；撤机；决策树；预测

分类号： R472.2

Construction of a predictive model for CRRT withdrawal failure in patients with infectious shock complicating acute kidney injury based on decision tree algorithm

Xiong Wei, Liao Hao *, Xu Wenjuan, Tu Yan

(Joint Logistics Support Force Hospital 908, Nanchang, Jiangxi, 330001)

[Abstract] Objective To establish a risk prediction model of continuous renal replacement therapy(CRRT) withdrawal failure in patients with infectious shock complicating acute kidney injury (AKI) based on the decision tree algorithm, and to explore

the influencing factors of CRRT withdrawal failure in patients with infectious shock complicating AKI. **Methods** Retrospectively analyzed 220 patients with infectious shock complicating AKI admitted to our hospital from May 2020 to May 2023, and classified them into success and failure groups according to the success or failure of the withdrawal, and screened the risk factors of CRRT withdrawal failure in patients with infectious shock complicating AKI by using univariate and multivariate logistic regression analyses, and construct a decision tree model and validate the model efficacy. **Results** In this study, 41.82% of patients failed to withdraw the machine. The unifactorial and multifactorial results were combined to incorporate the SOFA score at the time of evacuation, urine output after evacuation, APACHEII scores, Scr level after evacuation, NT-proBNP at the time of the initiation of CRRT, and the MAP grading, CRP/ALB at the time of admission were used to construct a decision tree for the failure of CRRT evacuation in patients with infectious shock and AKI, and the results showed that the higher CRP/ALB ratio was the most important influencing factor on the failure of CRRT evacuation in patients with infectious shock and concomitant AKI, and the area under the ROC curve was 0.965. **Conclusion** The decision tree model constructed by CRP/ALB at admission, SOFA score at withdrawal, urine output after withdrawal, Scr level after withdrawal, APACHEI score/scores, and MAP grading has a better predictive efficacy of CRRT withdrawal failure in patients with infectious shock complicating acute kidney injury, which is a guideline for patients' prognostic assessment.

【 **Keywords** 】 Infectious shock; Acute kidney injury; CRRT; Withdrawal; Decision tree; Prediction

感染性休克又称脓毒性休克，是一种复杂的临床综合征，会导致机体细胞缺氧、器官功能障碍、组织灌注不良等严重感染性疾病发生，是最常见的休克类型^[1-2]。急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)常见于感染性休克早期的合并疾病^[3]，死亡率高达 41%^[4]。针对急性肾损伤、全身炎症反应综合征

及多器官功能障碍综合征等危重疾病，主要选择的治疗方案是持续性肾脏替代（continuous renal replacement therapy, CRRT）^[5]。CRRT能够有效改善肾脏功能，改善患者预后。CRRT停止过早会导致患者治疗不充分，甚至需要重新启动CRRT进行救治，增加不良预后的风险；而停止过晚除延长住院时间和浪费医疗资源外，还会增加CRRT相关并发症的发生风险^[6]。因此对于撤机成功与否的预测非常重要，但目前临床上对此尚未有一个统一标准。基于决策树算法建立预测模型，其分类速度，并且结果能显示各项风险因素的重要性排序，更利于医务人员识别分析风险因素的权重。基于此，本文收集感染性休克并发急性肾损伤患者的临床资料，基于决策树算法构建预测模型，现报道如下。

1 资料和方法

1.1 研究对象

参照 KENDALL^[7]对多因素分析的样本量估算方法，本研究纳入 12 个变量，取变量数目的 10~20 倍，考虑到 10%~15% 的失访率，故最终确定选择样本 220 例。于医院 HIS 系统择取 2022 年 9 月至 2023 年 9 月本院收治的 220 例感染性休克合并 AKI 患者，收集相关临床资料并进行分析。纳入标准：①年龄 > 18 岁；②符合感染性休克诊断标准相关描述^[8]；③符合 AKI 诊断标准相关描述^[9]的患者；④符合 CRRT 适应证^[10]的患者；⑤临床资料完整无缺失的患者。排除标准：①合并有恶性肿瘤；②凝血功能障碍；③合并终末期肾脏疾病。本研究已通过本院伦理会审批，编号：2020YYLL179

1.2 资料收集

在本院 HIS 系统随机选取 220 例感染性休克合并急性肾损伤并进行 CRRT 治疗的患者，收集患者的基本临床资料，包括年龄、性别、是否机械通气、撤机时感染相关器官功能衰竭评分系统（Sepsis-related Organ Failure Assessment, SOFA）评分、急性生理与慢性健康评分（Acute Physiology and Chronic Health Evaluation, APACHE II）评分、是否使用血管活性药物、撤机后尿量、撤机后血肌酐（Serum creatinine, Scr）水平、撤机后血中性粒细胞明胶酶相关载脂蛋白（neutrophil gelatinase-associated lipocalin）NGAL 水平、CRRT 开始时的脑利钠肽的 N 末端激素原（N-terminal B-type natriuretic peptide, NT-proBNP）水平、平均动脉压（mean arterial pressure, MAP）分级、C 反应蛋白/白蛋白（C reactive protein/albumin, CRP/ALB）。其中，MAP 分级^[11]：分为“0、1、2”3 个等级，70~110 mm Hg 为 0 级，50~70 mm Hg 或 110~130 mm Hg 为 1 级，<50 mm Hg 或

>130 mm Hg 为 2 级。CRRT 开始时 NT-proBNP 水平以 15,767 为界分两组 [12] 。

1.4 统计学方法

SPSS 21.0 对数据进行统计分析，定量资料以均数±标准差（ $\bar{x}\pm s$ ）表示，组间比较进行两独立样本 *t* 检验差异，定性资料以 *n*（%）表示，组间进行 χ^2 检验比较；撤机失败影响因素利用采用单因素分析和 Logistic 多因素回归进行分析；运用 SPSS 软件和 Modeler 软件构建基于决策树算法的预测模型，以 *P*<0.05 表示差异有统计学意义。

2. 结果

2.1 感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败现状

本研究共计纳入的 220 例感染性休克并发急性肾损伤患者中有 92 例患者撤机失败，有 128 例患者撤机成功，撤机失败率为 41.82%（92/220）。

2.2 感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败单因素分析

撤机时 SOFA 评分、APACHEII 评分、撤机后尿量、撤机后 Scr 水平、NT-proBNP 水平、MAP 分级、CRP/ALB 是感染性休克并发 AKI 患者 CRRT 撤机失败的影响因素（均 *P*<0.05），具体见表 1。

表 1 感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败单因素分析 *n*（%）

项目	成 功 组 (<i>n</i> =128)	失败组 (<i>n</i> =92)	χ^2/t	<i>P</i> 值
年龄/岁	59.12±5.43	59.33±4.93	0.294	0.769
性别/例			0.087	0.768
男	81 (63.28)	60 (65.22)		
女	47 (36.72)	32 (34.78)		
机械通气/例			0.299	0.585
是	62 (48.44)	48 (52.17)		
否	66 (51.56)	44 (47.83)		
撤机时感染相关器官 功能衰竭评分系统评 分/分	7.46±1.24	9.21±1.59	9.166	<0.001
急性生理与慢性健康 评分/分	15.52±3.91	17.65±3.91	3.986	<0.001
血管活性药物使用/例			0.022	0.882
是	19 (14.84)	13 (14.13)		
否	109 (85.16)	79 (85.87)		

bmr.202410.00044V1

撤机后尿量/升·天 ⁻¹	1.48±0.43	1.18±0.31	5.709	<0.001
撤机后血肌酐水平/微摩尔/升	140.33±29.6	165.63±24.65	6.688	<0.001
撤机后 NGAL 水平/纳克·毫升 ⁻¹	388.56±63.5	402.88±64.23	1.642	0.102
连续肾脏替代疗法开始 时脑利钠肽的 N 末端 激素原/皮克/毫升	1		7.395	0.007
>15,767	50 (39.06)	53 (57.61)		
<15,767	78 (60.94)	39 (42.39)		
平均动脉压分级			12.808	0.002
0 级	94 (73.44)	46 (50.00)		
1 级	21 (16.41)	30 (32.61)		
2 级	13 (10.15)	16 (17.39)		
入院时 C 反应蛋白/白蛋白	1.35±0.31	2.09±0.87	8.877	<0.001

2.2 感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败 Logistic 多因素分析

表 2 变量赋值表

预测变量	赋值方式
撤机时感染相关器官功能衰竭评分系统评分/分	原值输入
急性生理与慢性健康评分/分	原值输入
撤机后尿量/升·天 ⁻¹	原值输入
撤机后血肌酐水平/微摩尔/升	原值输入
连续肾脏替代疗法开始时脑利钠肽的 N 末端激素原/皮克/毫升	>15,767=1; <15,767=0
平均动脉压分级	0 级=0; 1 级=1; 2 级=2
入院时 C 反应蛋白/白蛋白	原值输入

表 3 感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败的多因素分析

因素	B	S.E.	Wals	P 值	OR	95%CI
撤机时感染相关器官功能衰竭评分系统评分/分	0.771	0.163	22.280	<0.01	2.162	1.570—2.977
急性生理与慢性健康评分/分	0.145	0.059	5.994	0.014	1.156	1.029—1.297
撤机后尿量/升·天 ⁻¹	-2.804	0.656	18.283	<0.01	0.061	0.017—0.219
撤机后血肌酐水平/微摩尔/升	0.041	0.010	17.373	<0.01	1.042	1.022—1.062

bmr.202410.00044V1

连续肾脏替代疗法开 始时脑利钠肽的 N 末 端激素原/皮克/毫升 平均动脉压分级	1.076	0.467	5.314	0.021	2.933	1.175—7.321
入院时 C 反应蛋白/ 白蛋白 常量	0.701	0.312	5.049	0.025	2.017	1.094—3.719
	1.806	0.418	19.593	<0.01	6.087	2.736— 13.543
	-15.531	2.577	36.315			

2.3 基于决策树算法构建的感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败的预测模型

将感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败单因素分析中有统计学意义（ $P < 0.05$ ）的自变量纳入决策树模型中，生成模型图见图 1。本研究决策树生长 4 层，共计 11 个节点，其中终末节点 6 个，共筛选提取 5 个分类规则，即入院时 CRP/ALB、撤机时 SOFA 评分、撤机后尿量、撤机后 Scr 水平、APACHEI 评分/分、MAP 分级：① $CRP/ALB > 1.895$ 占该节点 22.3%；② $CRP/ALB \leq 1.895$ 、撤机时 SOFA 评分 ≥ 10 、撤机后尿量 ≤ 1.605 占该节点 17.7%；③ $CRP/ALB \leq 1.895$ 、撤机时 SOFA 评分 < 10 、MAP 分级 = 1 级/2 级，撤机后 Scr > 150.720 占该节点 9.5%；④ $CRP/ALB \leq 1.895$ 、撤机时 SOFA 评分 ≥ 10 、撤机后尿量 > 1.605 占该节点 6.4%；⑤ $CRP/ALB \leq 1.895$ 、撤机时 SOFA 评分 < 10 、MAP 分级 = 1 级占该节点 35.5%；⑥ $CRP/ALB \leq 1.895$ 、撤机时 SOFA 评分 < 10 、MAP 分级 = 1 级/2 级，撤机后 Scr ≤ 150.720 占该节点 8.6%。其中 MAP 分级对天疱疮患者并发感染的影响较小，而 CRP/ALB 比值越大，感染性休克并发急性肾损伤患者撤机失败风险越大，见图 2。基于决策树算法构建的预测模型 ROC 曲线见图 3，曲线下的面积为 0.965，预测效能好。

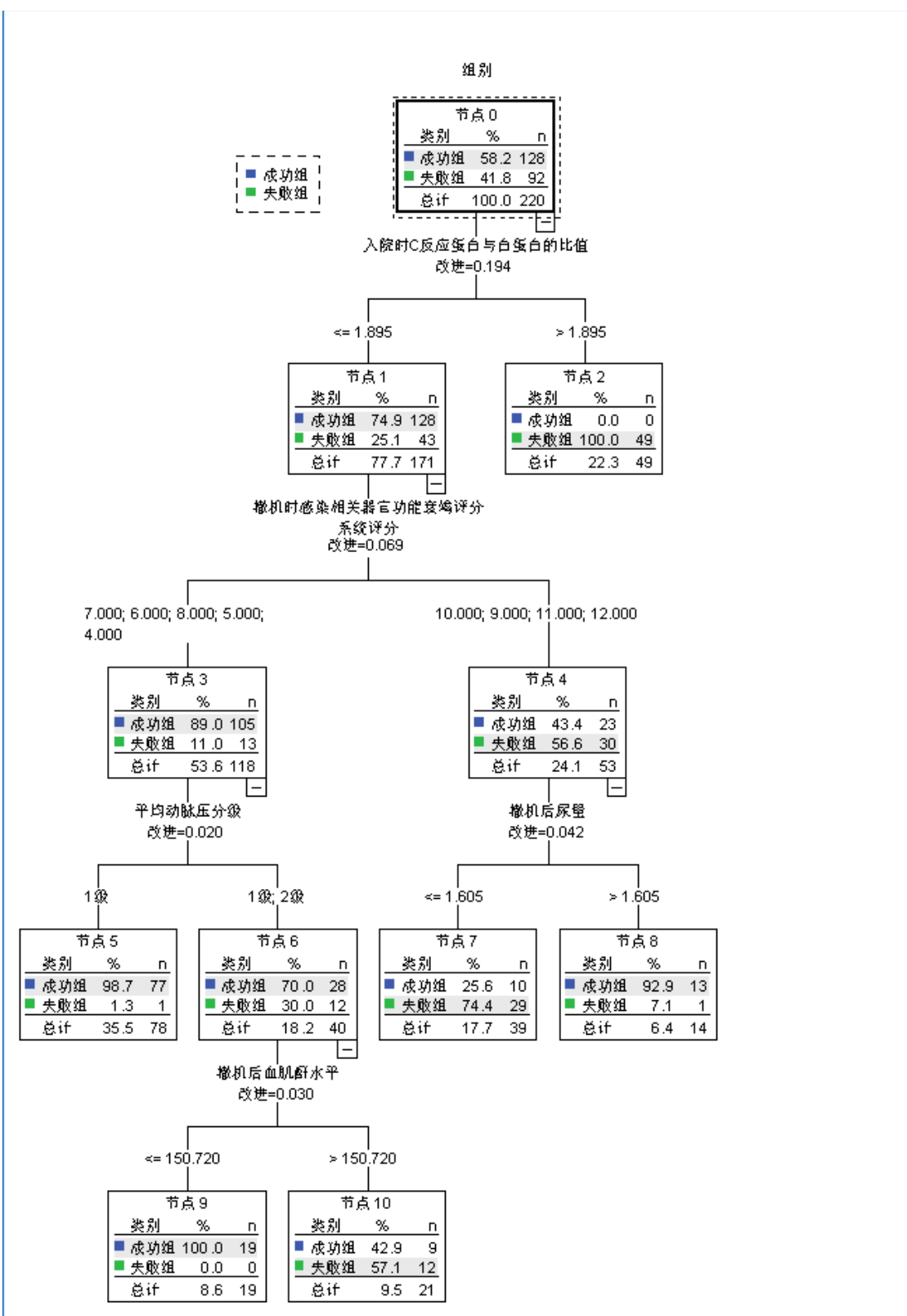


图 1 影响感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败的决策树模型

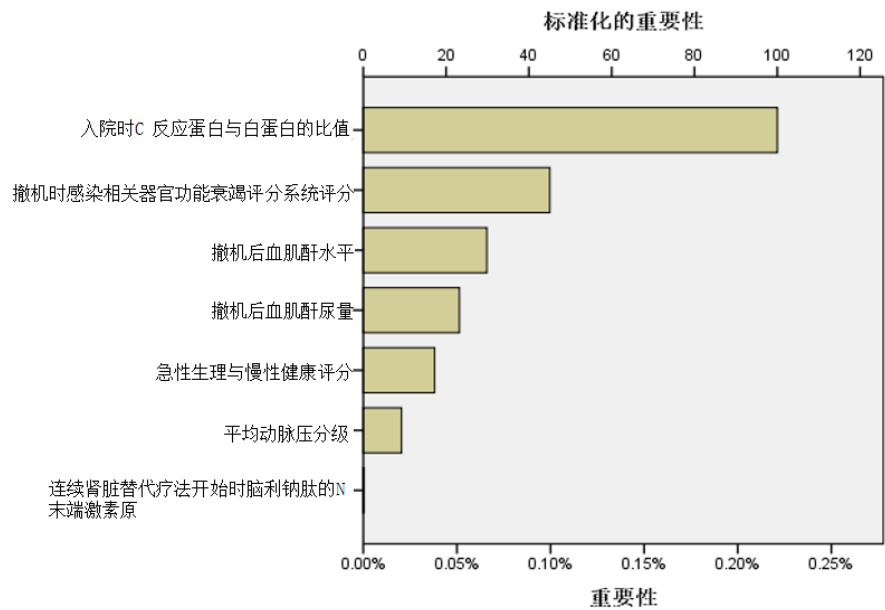


图 2 影响感染性休克并发急性肾损伤患者 CRRT 撤机失败的预测变量重要性排序

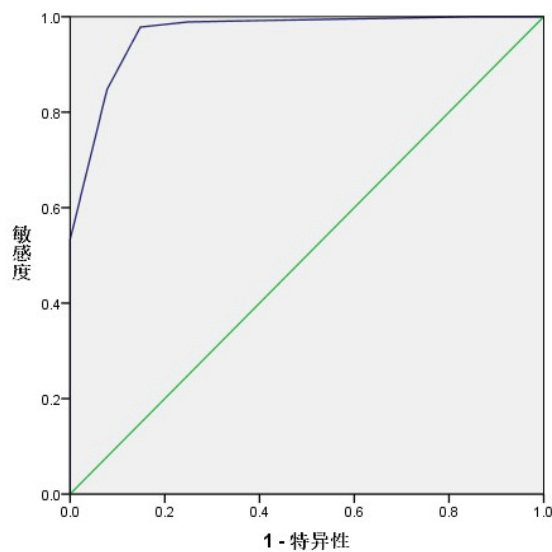


图 3 决策树模型的 ROC 曲线

3. 讨论

本研究共计纳入的 220 例感染性休克并发急性肾损伤患者中有 92 例患者撤机失败，撤机失败率为 41.82%，与窦军^[13]等人的研究结果一致。可以看出，关于 CRRT 撤机失败的发生概率较高，因此对于其撤机成功与否的预测模型的构建是非常必要的。

在本研究中，CRP 与 ALB 比值大小是预测 CRRT 撤机失败最重要的因素，其比值越高，撤机失败发生的概率也越高，这与张妍^[14]等人的研究结果一致。

CRP 通过促进受损肾组织纤维化加重炎症程度，同时也阻止了受损肾小管上皮细胞增殖^[15]；而 ALB 在体内可以维持机能营养、调节免疫反应，可以有效改善微循环、减缓炎症^[16]；因此，量化二者即利用 CRP 与 ALB 的比值，可以达到同时反映机体炎症反应和营养状况的目的，且其获取简便，可在临床上推广应用；但目前该指标尚未成为统一金标准，对于该指标的实用性和科学性尚待进一步大样本、多中心的研究进一步佐证。撤机时 SOFA 评分是对全身器官功能情况的综合考察评估，评分较高者病情易反复、不宜过早停用 CRRT，这与谢龙昇^[17]等人的研究结果一致。Scr 水平常用来反映肾功能状态，若其升高，提示患者肾脏功能恢复程度较低，无法自主正常地发挥肾脏功能，是 CRRT 撤机失败的独立危险因素；MAP 分级过高同时患者肾灌注减少，肾脏功能受损，是感染性休克并发 AKI 患者预后的独立危险因素，这与王建中^[18]等人的研究结果一致。APACHE II 评分的评分数值高低与病情严重程度正相关，在临床上广泛应用于危重患者病情评估和预测预后；对于感染性休克合并急性肾损伤患者的预后具有预测价值，与韩明帅^[19]等人的研究结果一致。撤机后尿量仍是 CRRT 撤机的主要指标，与目前已有的众多的研究结果一致^[20]；但利尿剂的使用也会增加患者尿量^[21]，对于此类情况尚无科学方法可以排除相关影响，因此在今后的研究中可考虑将其作为辅助诊断的指标。

评定模型优劣的重要指标为 AUC, AUC 的值与模型的预测性能呈正比。若 $AUC \geq 0.9$ ，则为“优秀”，如果 AUC 在 0.8~0.9，则为“好”^[22]。基于决策树构建的预测模型曲线下的面积为 0.965，说明该预测模型的预测效能佳。基于该预测模型，医务人员对于感染性休克并发急性肾损伤患者行 CRRT 后撤机的预后预测可以多关注 CRP 与 ALB 的比值，对于高 SOFA 评分、高 APACHE II 评分、MAP 分级高的患者，以便及早干预，减少病情进一步加重甚至死亡的风险。

综上所述，基于决策树算法构建的对于感染性休克合并急性肾损伤患者行 CRRT 后撤机失败的预测模型有较好的预测效能，可以为之后临床指导 CRRT 撤机提供新思路。但本研究中存在样本量较少，单中心研究的不足，对于该模型的临床实际应用还需进一步增加样本量和联合多中心研究，以佐证该研究结果的科学性。

参考文献

- [1] 滕旭升,丁颖威,陈琳,等.感染性休克患者预后影响因素及循环组蛋白和 NLRP3 炎症小体对预后的价值[J].中华医院感染学杂志,2024,34(01):13-17.
- [2] HASANIN A, KARAM N, MUKHTAR AM, et al. The ability of pulse

oximetry-derived peripheral perfusion index to detect fluid responsiveness in patients with septic shock[J].J Anesth,2021,35(2):254-261.

[3] 李燕,黄庆生,方明星,等.黏附因子联合肾阻力指数对早期预测脓毒症患者发生急性肾损伤的价值[J].中华医院感染学杂志,2020,30(24):3711-3715.

[4] 何力,苏连久,张婧,等. ICU 内脓毒性休克急性肾损伤患者肾功能恢复的影响因素分析[J]. 中华危重病急救医学, 2020(2):199-203.

[5] 马冠华,李向阳,周伊南,等.连续性肾脏替代治疗在治疗高龄脓毒症合并急性肾损伤患者的作用[J].中国呼吸与危重监护杂志,2020,19(05):463-466.

[6] SCHIFFL H,LANG S M.Correction to:Current approach to successful liberation from renal replacement therapy in critically ill patients with severe acute kidney injury:The quest for biomarkers continues[J].Mol Diagn Ther,2021;25(1):1-8.

[7] **KENDALL M G**.Rank Correlation Methods[M].London: Charles Griffin, 1948: 108.

[8] 中华医学会重症医学分会.中国严重脓毒症/脓毒性休克治疗指南（2014）[J].中华内科杂志, 2015,54(6):557-581.

[9] 郭锦洲.改善全球肾脏病预后组织(KDIGO)临床实践指南:急性肾损伤[J].肾脏病与透析肾移植杂志,2013,22(01):57-60.

[10] 血液净化急诊临床应用专家共识组.血液净化急诊临床应用专家共识[J].中华急诊医学杂志,2017,26(1):24-36.

[11] 常瑞亭,孙瑞雪,于天舒,等.基于影像学 MAP 评分对 T1 期肾肿瘤切除术式选择的指导意义[J].临床放射学杂志,2020,39(10):2028-2032.

[12] HAN S S,BAE E,SONG S H,et al.NT-proBNP is predictive of the weaning from continuous renal replacement therapy [J] .Tohoku J Exp Med,2016,239(1):1-8.

[13] 窦军,何爱红.基于随机森林算法的急性肾损伤患者 CRRT 撤机成功因素及预测模型效能分析[J].现代医学,2023,51(01):52-59.

[14] 张妍,荣阳.急性肾损伤患者入院时 C 反应蛋白及白蛋白比值与连续性肾脏替代治疗 90 d 死亡相关[J].内科急危重症杂志,2024,30(03):261-263.

[15] **MOHAMED W,ASIMAKOPOULOS G**.Preoperative C-reactive protein as a predictor of postoperative acute kidney injury in patients undergoing coronary artery bypass grafting. Perfusion.

2021 May;36(4):330-337.

[16] WANG Y,SUN W J,JI Z S,et al.Serum albumin and the risk of contrast-induced acute kidney injury after percutaneous coronary intervention[J]. Rev Cardiovasc Med, 2020,21(1):139-145.

[17] 谢龙昇,余春澜,谢鑫,等.并发急性肾损伤重症病人 CRRT 撤机失败的预测模型构建[J].护理研究,2022,36(02):230-234.

[18] 王建中,曹世雄,黄河,等.脓毒症急性肾损伤 CRRT 治疗后撤机失败的危险因素分析[J].名医,2022,(20):72-74.

[19] 韩明帅,姚佳辉,张晨.老年脓毒症合并急性肾损伤患者肾动脉阻力指数、APACHEII 评分及 $\beta 2$ 微球蛋白水平与预后的关系 [J]. 中国老年学杂志,2024,44(13):3138-3142.

[20] 瞿雁,唐思宇,周彬兵,等.重症急性肾损伤患者连续性肾脏替代治疗停止时机的研究进展[J].浙江临床医学,2024,26(04):618-621.

[21] BOYER N,PERSCHINKA F,JOANNIDIS M,et al.When to discontinue renal replacement therapy.what do we know? [J].Curr Opin Crit Care,2023,29(6):559-565.

[22] SAYED M,RIÑO D,VILLAR J.Novel criteria to classify ARDSseverity using a machine learning approach[J].Crit Care,2021,25(1):150.