

急性肾损伤患者短期预后不良风险预测模型的构建与验证

任辉辉, 方英, 李文慧, 张冠孟
(联勤保障部队第九八五医院泌尿外科, 山西 太原 030001)

【摘要】目的: 探究影响急性肾损伤 (AKI) 患者短期预后不良的危险因素, 构建风险预测模型并进行验证。**方法:** 选择 228 例 AKI 患者分为建模组 ($n=182$) 和验证组 ($n=46$)。通过单因素、二元 Logistic 回归分析确定患者预后不良的危险因素, 建立列线图模型, 并采用 ROC 曲线、校准曲线、DCA 曲线对模型进行验证。**结果:** 建模组短期预后不良 45 例 (24.73%), 验证组短期预后不良 11 例 (23.91%)。血小板、血尿素氮、出院血肌酐、血钾、肾脏替代治疗、住院时间与 AKI 患者短期预后不良独立相关 ($P<0.05$)。模型在建模组中曲线下面积 (AUC) 为 0.975 (95% CI: 0.956 ~ 0.994), 验证组 AUC 为 0.930 (95% CI: 0.858 ~ 1.000)。校准曲线分析显示, 模型拟合良好。DCA 曲线分析阈值率值各范围净收益均 >0 。**结论:** 列线图模型对 AKI 患者短期预后不良具有较好的预测能力, 可为医护人员对 AKI 短期预后不良的评估提供参考及借鉴。

【关键词】 急性肾损伤; 短期预后; 危险因素; 预测模型
【中图分类号】 R692 **【文献标志码】** A

Construction and verification of risk prediction model for short-term poor prognosis in patients with acute kidney injury

REN Hui-hui, FANG Ying, LI Wen-hui, ZHANG Guan-meng
(Department of Urology, 985th Hospital of the United Logistics Force, Taiyuan 030001, Shanxi, China)

【Abstract】Objective: To explore the risk factors affecting the short-term prognosis in patients with acute kidney injury (AKI), and to construct a risk prediction model and verify it. **Methods:** A total of 228 patients with AKI were chosen and split into modeling group ($n=182$) and verification group ($n=46$). The risk factors were determined by single factor and binary Logistic regression analysis, and the nomogram model was developed. And its effectiveness was evaluated using the ROC, calibration, and DCA curves. **Results:** Poor short-term prognosis occurred in 45 patients (24.73%) in the modeling group and 11 patients (23.91%) in the validation group. Platelet, blood urea nitrogen, serum creatinine, serum potassium, renal replacement therapy and length of stay were independent risk factors of poor short-term prognosis in patients with AKI. The AUC of the nomogram model in the modeling group was 0.975 (95% CI: 0.956 ~ 0.994), and the AUC of the validation group was 0.930 (95% CI: 0.858 ~ 1.000). The calibration curve analysis showed that the model fitted well. The net income of each range of the threshold probability value of the DCA curve analysis was greater than 0. **Conclusion:** The nomogram model has a good predictive ability for the short-term poor prognosis of AKI patients and can provide reference for medical staff to evaluate the short-term poor prognosis of AKI.

【Key words】 Acute kidney injury; Short-term prognosis; Risk factors; Prediction model

急性肾损伤 (acute kidney injury, AKI) 的典型特征为肾功能在短时间内迅速衰退, 同时伴随代谢废物于体内大量蓄积^[1]。AKI 在住院患者中的总体发生率为 7% ~ 22%, 在重症监护室患者中的发生率为 20% ~ 50%^[2]。近年来, 研究^[3]表明, AKI 并不是一种完全可逆的综合征, 可能会产生永久性肾脏损伤甚至其他器官的损伤, 对患者的生命健康构成严重威胁。这导致 AKI 从危及生命的急性情况转

变为需要长期随访以防止肾功能进一步恶化的情况。因此, 预测 AKI 患者出院后的预后情况至关重要, 以便尽早发现高危患者并采取干预措施降低死亡率。当前, 已有影响 AKI 患者预后的风险因素的研究, 但缺乏 AKI 患者短期预后不良的评估工具的研究。故本研究拟建立并验证 AKI 患者短期预后不良的列线图模型, 旨在为临床实践提供简便客观的评估工具。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究拟纳入 22 个变量,按照样本量为变量数 5~10 倍的要求^[4],同时考虑 10%~20% 无效样本,最终纳入 228 例。选取 2018 年 9 月至 2024 年 10 月联勤保障部队第九八五医院收治的 228 例 AKI 患者为研究对象。将 80% 的患者作为建模组,20% 的患者作为验证组。纳入标准:(1)明确诊断为 AKI;(2)年龄≥18 岁;(3)出院后随访时间至少达 90 d。排除标准:(1)入院前已行肾脏替代治疗;(2)AKI 确诊后 90 d 内死亡或失访;(3)临床资料严重缺失。患者或家属均知情同意,本研究通过医学伦理审核。

1.2 资料收集

(1)临床资料:性别、年龄、体质量指数(BMI)、基础疾病(高血压、糖尿病、心血管疾病、慢性肾脏病)、AKI 分期(I 期、II 期、III 期)、心率、脉压差、平均动脉压;(2)实验室指标:白细胞计数(WBC)、血小板计数(PLT)、血红蛋白(Hb)、白蛋白(albumin, Alb)、尿白蛋白、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、血肌酐(serum creatinine, Scr)、碳酸氢根、内生肌酐清除率(creatinine clearance, Ccr)、尿酸(uric acid, UA)、胱抑素 C(cystatin C, CysC)、血钾;(3)肾脏替代治疗(renal replacement therapy, RRT);(4)住院时间(length of stay, LOS)。

1.3 观察指标

基线 Scr:AKI 诊断前最近一次的检测值;最高 Scr:住院期间检测的最大值;出院 Scr:AKI 出院前最后一次检测值。AKI 诊断标准^[5]:48 h 内 Scr 升高≥26.5 μmol/L 或 7 d 内升高>50% 基线值。I 期:Scr 升高至基线值的 1.5~1.9 倍或升高≥26.5 μmol/L;II 期:Scr 升高至基线值的 2.0~2.9 倍;III 期:Scr 升高至基线值的 3 倍或升高 353.6 μmol/L 或开始 RRT。肾功能预后良好^[6]:随访截止点最近一次检测 Scr 值,降至基线值的 1.25 倍以下,或 Scr 值降至正常实验室指标范围(男性 Scr≤104 μmol/L 或女性 Scr≤84 μmol/L),或停止 RRT,否则为肾功能预后不良。

1.4 统计学分析

用 SPSS 26.0 软件进行数据分析。计量资料正态性检验行 Shapiro-Wilk 检验,符合正态分布以($\bar{x} \pm s$)表示,组间行独立样本 *t* 检验;不符合正态分布以[*M*(*P*₂₅,*P*₇₅)]表示,行 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料以[*n*(%)]表示,组间行独立样本 χ^2 检验。二元 Logistic 回归分析危险因素并使用 R 语言软件

建立列线图模型。使用受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线、决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评估预测模型。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较

将建模组与验证组临床资料进行分析比较,差异无统计学意义(*P*>0.05)。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较[$\bar{x} \pm s, M(P_{25}, P_{75}), n(\%)$]				
资料	建模组(<i>n</i> =182)	验证组(<i>n</i> =46)	<i>t</i> / χ^2 / <i>Z</i> 值	<i>P</i> 值
性别			0.043	0.836
男	102(56.04)	25(54.35)		
女	80(43.96)	21(45.65)		
年龄(岁)	61.51±10.13	62.89±10.23	-0.824	0.411
BMI(kg/m ²)	21.12±2.69	21.05±3.21	0.148	0.882
基础疾病			0.622	0.891
高血压	62(34.07)	18(39.13)		
糖尿病	40(21.98)	9(19.57)		
心血管疾病	34(18.68)	7(15.22)		
慢性肾脏病	46(25.27)	12(26.08)		
AKI 分期			0.130	0.937
I 期	76(41.76)	20(43.48)		
II 期	66(36.26)	17(36.96)		
III 期	40(21.98)	9(19.56)		
心率(次/min)	99.54±14.30	99.93±14.67	-0.165	0.869
脉压差(mmHg)	57.99±10.95	58.91±10.92	-0.509	0.611
平均动脉压(mmHg)	94.37±10.62	97.00±9.92	-1.518	0.131
WBC(×10 ⁹ /L)	12.40(8.68,16.43)	12.20(8.83,16.03)	-0.088	0.930
PLT(×10 ⁹ /L)	185.55(144.70,214.93)	184.35(138.95,238.55)	-0.225	0.822
Hb(g/L)	104.25(93.55,115.18)	102.55(93.33,114.18)	-0.370	0.711
Alb(g/L)	32.55±4.60	31.91±4.42	0.861	0.390
尿白蛋白阳性	76(41.76)	20(43.48)	0.045	0.833
BUN(mmol/L)	13.90(8.78,19.23)	13.25(7.85,18.25)	-0.254	0.800
基线 Scr(μmol/L)	151.95(87.18,203.33)	138.40(86.38,242.63)	-0.841	0.401
最高 Scr(μmol/L)	335.10(255.78,435.23)	308.55(235.35,456.55)	-0.525	0.599
出院 Scr(μmol/L)	221.35(142.10,298.93)	216.55(100.15,319.33)	-0.804	0.421
碳酸氢根(mmol/L)	22.45±3.01	22.11±3.15	0.678	0.498
Ccr(mL/min)	49.21±17.33	49.58±15.70	-0.132	0.895
UA(μmol/L)	421.35(323.00,518.80)	372.85(309.40,532.30)	-0.603	0.547
Cystatin C(mg/L)	2.26±0.90	2.17±0.80	0.627	0.531
血钾(mmol/L)	4.12±0.51	4.10±0.48	0.178	0.859
RRT	40(21.98)	10(21.74)	0.001	0.972
LOS(d)	20.00(9.75,30.00)	20.50(10.75,34.25)	-1.283	0.200

2.2 建模组短期预后不良单因素分析

228 例 AKI 患者中有 56 例(24.56%)短期预后不良。其中,建模组 182 例患者中有 45 例(24.73%)短期预后不良,将其纳入预后不良组;其余 137 例纳入预后良好组。与预后良好组比较,预后不良组患者 WBC、BUN、出院 Scr、Ccr、血钾指标水平均升高,PLT、碳酸氢根水平、RRT 比例均降低,LOS 延长,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 建模组短期预后不良单因素分析[$\bar{x} \pm s, M(P_{25}, P_{75}), n(\%)$]				
因素	预后不良组($n=45$)	预后良好组($n=137$)	$t/\chi^2/Z$ 值	P 值
性别			0.012	0.913
男	28(62.22)	84(61.31)		
女	17(37.78)	53(38.69)		
年龄(岁)	60.69 $\pm$ 7.21	59.95 $\pm$ 7.88	0.558	0.578
BMI(kg/m ²)	20.86 $\pm$ 2.42	21.38 $\pm$ 2.68	-1.171	0.243
基础疾病			0.466	0.926
高血压	20(44.44)	63(45.99)		
糖尿病	10(22.22)	32(23.36)		
心血管疾病	7(15.56)	16(11.67)		
慢性肾脏病	8(17.78)	26(18.98)		
AKI 分期			1.351	0.509
I 期	17(37.78)	61(44.53)		
II 期	10(22.22)	34(24.82)		
III 期	18(40.00)	42(30.65)		
心率(次/min)	102.20 $\pm$ 11.44	100.23 $\pm$ 13.85	0.864	0.389
脉压差(mmHg)	58.98 $\pm$ 11.58	57.81 $\pm$ 11.36	0.595	0.552
平均动脉压(mmHg)	95.60 $\pm$ 10.77	94.73 $\pm$ 10.71	0.472	0.637
WBC($\times 10^9/L$)	12.40(10.15,14.85)	10.70(8.80,12.70)	-3.392	<0.001
PLT($\times 10^9/L$)	172.50(136.90,202.40)	187.50(149.90,225.85)	-2.418	0.016
Hb(g/L)	99.80(86.70,115.80)	107.50(91.50,121.15)	-1.486	0.137
Alb(g/L)	32.10(28.50,34.95)	32.60(29.15,36.25)	-1.371	0.170
尿白蛋白阳性	16(35.56)	44(32.12)	0.181	0.670
BUN(mmol/L)	12.90(10.20,16.05)	10.80(7.50,13.15)	-4.124	<0.001
基线 Scr(μ mol/L)	107.10(94.70,128.30)	121.70(93.45,147.00)	-1.611	0.107
最高 Scr(μ mol/L)	301.20(224.05,416.75)	295.30(203.95,385.60)	-1.438	0.150
出院 Scr(μ mol/L)	207.20(143.85,266.00)	137.80(105.20,169.90)	-5.932	<0.001
碳酸氢根(mmol/L)	22.13 $\pm$ 3.40	23.42 $\pm$ 3.31	-4.005	<0.001
Ccr(mL/min)	47.60(35.70,58.25)	40.50(30.95,50.45)	-2.645	0.008
UA(μ mol/L)	397.20(298.55,467.85)	379.90(309.55,455.10)	-0.342	0.732
Cystatin C(mg/L)	1.90(1.60,2.30)	2.00(1.60,2.40)	-0.606	0.544
血钾(mmol/L)	4.30(3.85,4.55)	4.10(3.80,4.40)	-2.630	0.009
RRT	6(13.33)	48(35.04)	7.646	0.006
LOS(d)	27.00(21.00,33.00)	14.00(9.00,19.50)	-8.218	<0.001

2.3 建模组短期预后不良二元 Logistic 回归分析

共线性分析表明,表 2 中 9 个差异有统计学意义变量的 VIF 为 1.037~1.370,容差值为 0.730~0.964,其间不存在共线性。将上述变量纳入二元 Logistic 回归分析,结果显示,PLT、BUN、出院 Scr、血钾、RRT、LOS 与 AKI 患者短期预后不良独立相关($P < 0.05$)。见表 3 及表 4。

表 3 变量赋值表

变量	赋值
是否发生预后不良	是=1;否=0
WBC	原值输入
PLT	原值输入
BUN	原值输入
出院 Scr	原值输入
碳酸氢根	原值输入
Ccr	原值输入
血钾	原值输入
是否接受 RRT	是=1;否=0
LOS	原值输入

表 4 建模组短期预后不良二元 Logistic 回归分析

变量	β 值	SE 值	Wald 值	P 值	OR 值	95% CI
WBC	0.236	0.175	1.832	0.176	1.267	0.899~1.784
PLT	-0.030	0.010	8.708	0.003	0.971	0.952~0.990
BUN	0.367	0.129	8.147	0.004	1.143	1.122~1.857
出院 Scr	0.034	0.009	14.555	0.001	1.035	1.017~1.053
碳酸氢根	-0.211	0.122	2.994	0.084	0.810	0.638~1.028
Ccr	0.064	0.035	3.309	0.069	1.066	0.995~1.143
血钾	1.882	0.634	8.799	0.003	6.565	1.894~22.763
接受 RRT	-2.429	1.261	3.710	0.034	0.088	0.007~1.044
LOS	0.376	0.094	15.974	0.001	1.456	1.211~1.750
常量	-29.980	10.516	8.128	0.004		

2.4 列线图模型构建及验证

依据二元 Logistic 回归分析结果,建立列线图模型。见图 1。ROC 曲线分析列线图模型预测 AKI 患者短期预后不良的曲线下面积(AUC)为 0.975(95% CI :0.956~0.994)(图 2A),敏感度为 97.10%,特异度为 84.40%;验证组 AUC 为 0.930(95% CI :0.858~1.000)(图 2B),敏感度为 94.30%,特异度为 74.50%。校准曲线显示,建模组与验证组中列线图模型的准确性均较高(图 3)。Hosmer-Lemeshow 检验显示,建模组 $\chi^2 = 1.293, P = 0.996$,验证组 $\chi^2 = 9.340, P = 0.314$ 。DCA 曲线分析在阈值区间 0~1 范围内,曲线均高于参考线(图 4)。

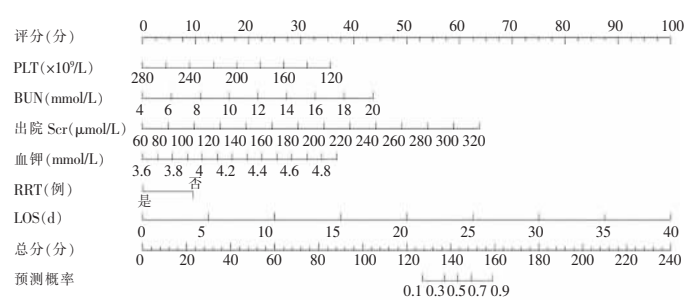


图 1 AKI 患者短期预后不良列线图模型

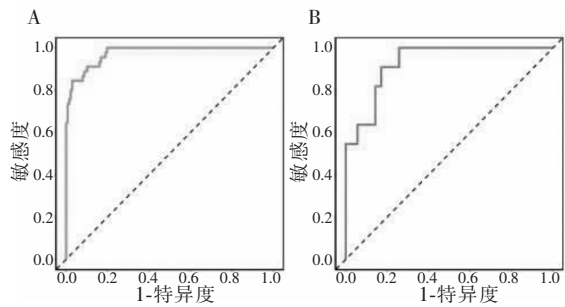


图 2 列线图模型的 ROC 曲线分析

A. 建模组;B. 验证组。

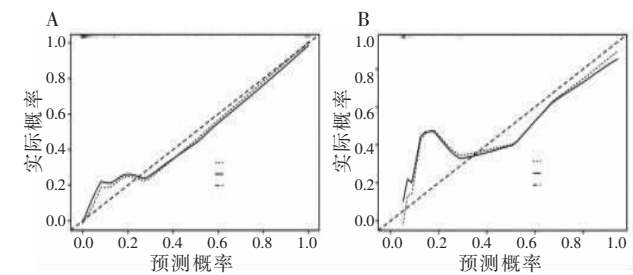


图 3 列线图模型的校准曲线分析

A. 建模组;B. 验证组。

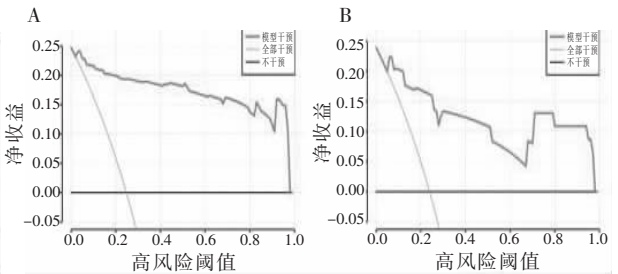


图 4 列线图模型的 DCA 曲线分析

A. 建模组;B. 验证组。

3 讨论

AKI 为临床常见疾病,与高发病率、死亡率、医疗资源利用率以及肾脏和非肾脏相关并发症的风险有关^[7]。AKI 预后不良会导致其他急性疾病的发生,如代谢紊乱、肺水肿、慢性肾脏病和心血管疾病^[8]。因此,尽早预测 AKI 短期预后不良的风险,及时实施有效的干预手段,对提升患者生存质量起着关键作用。

本研究纳入 AKI 患者 228 例,随访 90 d 内患者肾脏短期预后不良发生率为 24.56%。研究^[9]表明,血小板计数降低是住院患者发生 AKI 的危险因素。与未患 AKI 的老年患者相比,AKI 分期较高的老年患者血小板计数呈阶梯式降低。本研究中,血小板水平降低的 AKI 患者短期预后不良的风险更高,可能是由于血小板计数降低代表疾病早期炎症进展,可能干扰肾脏血流动力学过程以及对炎症的调节作用,从而影响 AKI 的预后^[10]。BUN 和 Scr 均为评估肾脏功能的重要指标。临床上常依据这两个指标的异常升高以及少尿来判断肾功能异常。研究^[11-12]表明,BUN 增高、出院 Scr 升高能够影响 AKI 患者预后,且为危险因素,这与本研究结果一致。原因可能是 BUN 和 Scr 主要通过肾脏排泄,血液中 BUN 和 Scr 水平升高表明肾功能受损,肾小球滤过率降低,导致患者预后不良^[13]。CysC 是评估肾功能的新兴标志物,轻微的肾脏损害即可导致 CysC 的变化,是较好的短期预后预测指标^[14]。但

CysC 在本研究的二元 Logistic 回归分析中无统计学意义。分析其主要原因,可能是阳性人群较少从而导致统计学偏倚。血钾在维持神经肌肉的兴奋性、细胞内外液的渗透压、机体的酸碱平衡等方面发挥重要生理功能。有研究^[15]指出,AKI 患者住院期间高钾血症发生率增加,导致不良预后的发生。本研究显示,血钾水平升高的 AKI 患者短期预后不良的风险更高。可能是因为血钾水平升高影响心脏的电生理活动,使心律失常的风险增加,严重时可导致心脏停搏,进而增加 AKI 患者的死亡风险^[16]。上述结果提示,在临床工作中,医护人员需注意 AKI 患者相关指标水平的检测,以便及时发现潜在风险,并为早期治疗提供参考依据。

夏艳梅等^[17]研究表明,脓毒症合并 AKI 患者早期采用 RRT 可提高治疗效果,促进肾脏功能的恢复,减少心血管方面不良反应的发生率,改善患者预后。本研究也发现,RRT 比例高的 AKI 患者短期预后不良的风险降低。可能是由于 RRT 可有效维持血流动力学及内环境稳定、及时清除代谢产物、纠正水电解质紊乱及酸碱平衡失调等,从而控制病情进展。此外,LOS 延长的 AKI 患者短期预后不良的风险更高,原因可能是长时间住院的患者更容易暴露在肾毒性药物的环境下,从而使病情更加复杂,导致肾功能出现不可逆转的损伤^[18]。提示对于 AKI 患者,入院时尽早进行 RRT 并减少 LOS,以降低患者预后不良的发生率。

近年来,有较多研究通过构建模型预测脓毒症

患者并发 AKI 预后的风险,且模型的效能较好,但预测 AKI 短期预后不良的模型尚未见报道。基于上述分析结果,本研究建立了列线图模型,并经 ROC 曲线、校准曲线、决策曲线验证。结果显示,其具有较好的预测效能和临床实用性。未来临床实践中可以利用该模型分析并识别 AKI 患者发生短期预后不良的风险因素,有助于医护人员及时开展针对性干预,从而提升患者的生活质量。

综上,本研究建立针对 AKI 患者发生短期预后不良的列线图模型,包括 PLT、BUN、出院 Scr、血钾、RRT、LOS 的 6 个独立危险因素,为临床决策提供参考依据。

参考文献

[1] 王岩,张锂泰,何龙,等. 急性肾损伤的定义诊断与变迁[J]. 中国实用内科杂志,2023,43(12):969-971,985.

[2] Haredasht FN, Vanhoutte L, Vens C, *et al.* Validated risk prediction models for outcomes of acute kidney injury: a systematic review [J]. BMC Nephrology, 2023, 24(1):133.

[3] 高欣然. 研究脓毒症合并急性肾损伤患者的炎症因子、血流动力学变化与肾功能转归的内在联系[J]. 首都食品与医药, 2024, 31(10):26-29

[4] 饶艳,姚梅琪,江大为,等. 脑卒中后发生急性肾损伤风险预测模型的构建及验证[J]. 中国全科医学, 2022, 25(23):2885-2891.

[5] Ostermann M, Bellomo R, Burdmann EA, *et al.* Controversies in acute kidney injury: conclusions from a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Conference[J]. Kidney International, 2020, 98(2):294-309.

[6] Pan L, Mo M, Huang A, *et al.* Coagulation parameters may predict clinical outcomes in patients with septic acute kidney injury[J]. Clinical Nephrology, 2021, 96(5):253-262.

[7] Joannidis M, Meersch-Dini M, Forni LG. Acute kidney injury[J]. Intensive Care Medicine, 2023, 49(6):665-668.

[8] Neyra JA, Ortiz SV, Liu LJ, *et al.* Prediction of mortality and major

adverse kidney events in critically ill patients with acute kidney injury[J]. American Journal of Kidney Diseases, 2023, 81(1):36-47.

[9] Park J, Jeong J, Choi HJ, *et al.* Role of thrombocytopenia in risk stratification for acute kidney injury after living donor liver transplantation[J]. Platelets, 2021, 32(4):453-462.

[10] Lyu D, Fu S. Association between platelet count and neonatal acute kidney injury: a cohort study using the medical information mart for intensive care III database[J]. The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine, 2024, 37(1):2379910.

[11] 周燕琳,杜晓刚. 成人原发性肾综合征并发急性肾损伤危险因素分析[J]. 中国医学科学院学报, 2020, 42(4):436-443.

[12] Mo M, Huang Z, Gao T, *et al.* Development and validation of short-term renal prognosis prediction model in diabetic patients with acute kidney injury[J]. Diabetology & Metabolic Syndrome, 2022, 14(1):197.

[13] 牛美红,郭继慧,赵丹. 老年重症急性胰腺炎患者并发急性肾损伤的影响因素[J]. 中国老年学杂志, 2020, 40(9):1859-1862.

[14] Hong C, Zhu Q, Li Y, *et al.* Acute kidney injury defined by cystatin C may be superior for predicting the outcomes of liver cirrhosis with acute gastrointestinal bleeding[J]. Renal Failure, 2022, 44(1):398-406.

[15] 吴燕华,陈源汉,董伟,等. 心内科病房急性肾损伤后高钾血症及危险因素分析[J]. 实用医学杂志, 2018, 34(8):1278-1281.

[16] Chávez-iñiguez JS, Maggiani-Aguilera P, Aranda-García de Quevedo A, *et al.* Serum potassium trajectory during acute kidney injury and mortality risk[J]. Nephron, 2023, 147(9):521-530.

[17] 夏艳梅,石海鹏,武卫东,等. 连续性肾脏替代疗法治疗脓毒症合并急性肾损伤患者的疗效观察[J]. 中华医院感染学杂志, 2019, 29(17):2594-2597,2610.

[18] 张钦,郭圣文,梁馨苓,等. 住院患者急性肾损伤的风险预测与关键影响因素分析[J]. 中国生物医学工程学报, 2019, 38(6):702-710.

(收稿日期:2025-01-21 修回日期:2025-03-27)