· 临床研究 ·

脓毒症患者并发急性肾损伤的独立预测因子筛选及列线图预测模型的建立与验证

汪清[1]　杨国辉[2]　彭振康[1]　杜迎[1]

[1]贵州医科大学临床医学院，贵阳 550001；[2]贵州医科大学附属医院内科 ICU，贵阳 550001

通信作者：杨国辉，Email：guohuiy2006@126.com

【摘要】 目的　筛选脓毒症患者并发急性肾损伤（sepsis-associated acute kidney injury，SA-AKI）的独立预测因子，通过整合多维度临床数据，构建并验证可视化列线图预测模型，为临床早期识别高危患者、优化干预策略提供可靠依据。**方法**　回顾性纳入 2021 年 2 月至 2025 年 2 月贵州医科大学附属医院收治的 236 例脓毒症患者。根据是否并发急性肾损伤将患者分为未并发组（n=154）与并发组（n=82）。收集两组患者临床资料［年龄、性别、平均动脉压、急性生理与慢性健康状况评分Ⅱ（acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ，APACHE Ⅱ）、序贯器官衰竭评估评分（sequential organ failure assessment，SOFA）、基础疾病及血管活性药物使用情况］与实验室指标［血小板、白蛋白、总胆红素（total bilirubin，TBIL）、丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶（aspartate aminotransferase，AST）、血肌酐、C-反应蛋白、白细胞介素 6（interleukin-6，IL-6）、降钙素原、乳酸］。采用 SPSS 26.0 软件进行单因素分析筛选潜在风险因素，通过二元 Logistic 回归分析确定独立预测因子；运用 R 4.5 软件构建列线图模型，采用受试者工作特征曲线（receiver operating characteristic curve，ROC 曲线）、校准曲线、Hosmer-Lemeshow 检验及 Bootstrap 法分别评估模型区分度、吻合度、一致性及稳定性。**结果**　单因素分析显示，并发组 APACHE Ⅱ 评分（16.86±3.57）分、SOFA 评分（8.55±1.89）分、C 反应蛋白（138.95±19.36）mg/L、血肌酐（93.66±12.49）μmol/L、降钙素原（13.91±3.54）μg/L、IL-6（10.15±2.98）μg/L、TBIL（18.98±3.65）μmol/L、丙氨酸氨基转移酶（47.15±5.84）U/L、AST（47.68±5.46）U/L 水平均高于未并发组（13.86±3.32）分、（6.48±1.75）分、（122.32±18.95）mg/L、（85.65±10.23）μmol/L、（10.32±3.78）μg/L、（6.65±2.36）μg/L、（15.46±2.65）μmol/L、（42.46±4.85）U/L、（41.28±4.22）U/L，差异有统计学意义（P<0.05）；而性别、年龄、基础疾病（高血压、糖尿病等）、平均动脉压等指标比较，差异无统计学意义（P>0.05）。二元 Logistic 回归分析证实，SOFA 评分（OR=1.407，95%CI：1.078～1.838，P=0.012）、IL-6 水平（OR=1.256，95%CI：1.058～1.490，P=0.009）、TBIL（OR=1.219，95%CI：1.020～1.457，P=0.029）、AST（OR=1.198，95%CI：1.069～1.343，P=0.002）是 SA-AKI 的独立预测因子。基于上述 4 项指标构建的列线图模型，ROC 曲线下面积为 0.863（95%CI：0.807～0.919），提示模型区分度优异；校准曲线显示真实值与预测值绝对误差 0.044，Hosmer-Lemeshow 检验显示实际观测值与预测值差异无统计学意义（P=0.412），校准度良好；Bootstrap 验证（n=1000）显示变异系数为 13%，模型稳定性可靠。**结论**　SOFA 评分、IL-6 水平、TBIL、AST 是脓毒症患者并发急性肾损伤的核心独立预测因子，基于此构建的列线图模型具有高区分度、高校准度及良好稳定性。该模型纳入指标均为临床常规检测项目，获取便捷，且通过可视化图形可快速量化个体化 SA-AKI 发生风险，能有效弥补传统预测工具的不足，为临床早期识别高危患者、及时启动干预措施、改善患者预后提供重要的临床参考工具。

【关键词】　脓毒症；急性肾损伤；预测；列线图；模型

基金项目：贵州省卫生健康委科学技术基金项目（gzwjkj2020-1-026）

DOI：10.3969/j.issn.1671-2390.2026.09.008

Screening independent predictors of sepsis-associated acute kidney injury and development and validation of a nomogram prediction model

Wang Qing[1], *Yang Guo-hui*[2], *Peng Zhen-kang*[1], *Du Ying*[1]
[1]*Clinical College of Guizhou Medical University*, *Guiyang* 550001, *China*; [2]*Medical Intensive Care Unit*, *the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University*, *Guiyang* 550001, *China*
Corresponding author: *Yang Guo-hui*, *Email*: *guohuiy*2006@126. *com*

【Abstract】 Objective To screen independent predictors of sepsis-associated acute kidney injury (SA-AKI) and, by integrating multidimensional clinical data, to develop and validate a visual nomogram prediction model. The model aims to provide reliable evidence for the early identification of high-risk patients and optimization of intervention strategies in clinical practice. **Methods** A retrospective cohort of 236 patients with sepsis treated at the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University from February 2021 to February 2025 was included. Patients were divided into a non-complicated group (n=154) and a complicated group (n=82) according to whether acute kidney injury was present. Clinical data were collected (age, sex, mean arterial pressure, acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ [APACHE Ⅱ] score, sequential organ failure assessment [SOFA] score, comorbidities, and use of vasoactive drugs) and laboratory indicators (platelet count, albumin, total bilirubin [TBIL], alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase [AST], serum creatinine, C-reactive protein, interleukin-6 [IL-6], procalcitonin, and lactate). Univariate analysis using SPSS 26.0 was used to screen potential risk factors, and independent predictors were determined by binary logistic regression. A nomogram model was constructed using R 4.5. Model discrimination, calibration, consistency, and stability were evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curves, the Hosmer-Lemeshow test, and Bootstrap methods. **Results** Univariate analysis showed that APACHE Ⅱ score (16.86±3.57), SOFA score (8.55±1.89), C-reactive protein (138.95±19.36) mg/L, creatinine (93.66±12.49) μmol/L, procalcitonin (13.91±3.54) μg/L, IL-6 (10.15±2.98) μg/L, TBIL (18.98±3.65) μmol/L, alanine aminotransferase (47.15±5.84) U/L, and AST (47.68±5.46) U/L were higher in the complicated group than in the non-complicated group (13.86±3.32, 6.48±1.75, 122.32±18.95) mg/L, (85.65±10.23) μmol/L, (10.32±3.78) μg/L, (6.65±2.36) μg/L, (15.46±2.65) μmol/L, (42.46±4.85) U/L, and (41.28±4.22) U/L, respectively; all P<0.05). By contrast, there were no statistically significant differences between groups in sex, age, comorbidities (*e. g.*, hypertension, diabetes), and mean arterial pressure (all P>0.05). Binary logistic regression confirmed that SOFA score (*OR*=1.407, 95%*CI*: 1.078-1.838, P=0.012), IL-6 level (*OR*=1.256, 95%*CI*: 1.058-1.490, P=0.009), TBIL (*OR*=1.219, 95%*CI*: 1.020-1.457, P=0.029), and AST (*OR*=1.198, 95%*CI*: 1.069-1.343, P=0.002) were independent predictors of SA-AKI. Based on these four indicators, the nomogram model had an ROC area under the curve of 0.863 (95%*CI*: 0.807-0.919), indicating excellent discrimination. The calibration curve showed an absolute error between true and predicted values of 0.044. The Hosmer-Lemeshow test indicated no statistically significant difference between observed and predicted values (P=0.412), suggesting good calibration. Bootstrap validation (n=1000) showed a coefficient of variation of 13%, indicating reliable model stability. **Conclusion** SOFA score, IL-6 level, TBIL, and AST are the core independent predictors of acute kidney injury in sepsis patients. The nomogram model constructed based on these predictors demonstrates high discrimination, good calibration, and reliable stability. All included indicators are routine clinical tests, are readily available, and, through visualization, can quickly and quantitatively estimate an individual's risk of SA-AKI. This model can effectively address limitations of traditional prediction tools and provides an important clinical reference for early identification of high-risk patients, timely initiation of interventions, and improvement of patient outcomes.

【Key words】 Sepsis; Acute kidney injury; Forecast; Nomogram; Model

Fund program: Science and Technology Fund Project of Guizhou Provincial Health Commission (gzwjkj2020-1-026)

DOI: 10.3969/j. issn. 1671-2390. 2026. 09. 008

脓毒症作为机体对感染反应失调引发的器官功能障碍综合征，该病主要表现为尿量减少、微循环血流量减少，容易导致休克、多器官功能障碍，严重危及生命安全，且已成为全球公共卫生领域的重要挑战[1]。据统计[2]，全球每年约500万人患有脓毒症，其中约50%患者并发急性肾损伤（acute kidney injury，AKI），二者共存时病死率可攀升至40%以上，显著延长住院时间并增加慢性肾脏病等远期并发症风险[3]。脓毒症相关AKI（sepsis-associated acute kidney injury，SA-AKI）的病理生理机制复杂，涉及炎症级联反应、肾小管细胞损伤、微循环功能障碍及线粒体能量代谢紊乱等多重途径，但具体机制尚未完全阐明[4-5]。现有预测模型多基于单变量分析或简单逻辑回归，难以全面捕捉脓毒症患者异质性及多因素交互作用，且易受感染程度、液体复苏等因素干扰，导致诊断延迟或漏诊。而本文不仅通过整合临床、实验室及影像学等多维度数据，更高效挖掘潜在危险因素并量化其贡献度，并使用列线图构建更精准、全面的预测模型，为临床早期识别SA-AKI高危患者、优化干预策略提供有力依据。

对象与方法

一、研究对象

对2021年2月至2025年2月期间贵州医科大学附属医院收集的236例脓毒症患者基本资料进行回顾性分析，其中男133例，女103例，年龄（62.67±4.66）岁，平均动脉压（mean arterial pressure，MAP）为（86.82±5.62）mmHg（1 mmHg=0.133 kPa）。纳入标准：（1）符合《2021年脓毒症和脓毒症休克管理国际指南》[6]中相关诊断标准；（2）入住重症监护病房＞6 h；（3）临床资料齐全。排除标准：（1）合并先天免疫障碍者；（2）各种疾病的终末期；（3）合并呼吸衰竭等其他严重并发症者；（4）因其他疾病引起的AKI，如肾小管坏死等；（5）由心源性病变引起的脓毒症者；（6）长期使用免疫抑制剂或免疫功能异常者。本研究经贵州医科大学附属医院医学伦理委员会审核批准（伦理批号：23.0221）。

二、研究方法

1. 分组方法　并发AKI判定[6]：参照《中国急性肾损伤临床实践指南》[7]作为判定依据，若48 h内尿量＜0.5 mL·kg^{-1}·h^{-1}，且持续时间超过6 h。根据是否并发AKI分为两组，即未并发组（n=154）、并发组（n=82）。

2. 资料收集　收集患者临床、实验室资料，包括年龄、性别、血管活性药物、MAP、急性生理与慢性健康状况评分Ⅱ（acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ，APACHEⅡ）、序贯器官衰竭评估评分（sequential organ failure assessment，SOFA）以及合并高血压、糖尿病、心力衰竭、肾功能不全等慢性疾病情况；实验室指标包括，血小板（platelet，PLT）、白蛋白（albumin，Alb）、总胆红素（total bilirubin，TBIL）、丙氨酸氨基转移酶（alanine aminotransferase，ALT）、天冬氨酸氨基转移酶（aspartate amino transferase，AST）、血肌酐（serum creatinine，Scr）、C反应蛋白（C-reactive protein，CRP）、白细胞介素6（interleukin-6，IL-6）、降钙素原（procalcitonin，PCT）、乳酸（lactate，Lac）。

三、统计学方法

使用SPSS26.0软件计算数据，计数资料用例（%）表示，行χ^2检验；符合正态分布的计量资料用$\bar{x}\pm s$表示，行独立样本t检验；经单因素比较两组基本资料差异，并采用二元Logistic回归模型分析影响患者并发AKI的独立影响因素，采用Bootstrap法（n=1000）验证模型稳定性，随后将独立因子纳入R 4.5软件中，加载summary（Mydata）、library（Hmisc）、library（rms）、dd＜-datadist（Mydata）等程序，构建患者并发AKI的Nomogram预测模型，绘制受试者工作特征曲线（receiver operating characteristic curve，ROC曲线）、决策曲线；以α=0.05为检验水准。

结　果

一、一般资料比较

两组患者性别、高血压、糖尿病、心力衰竭、肾功能不全、血管活性药物、年龄、MAP、Lac、PLT、Alb比较，差异无统计学意义（P＞0.05），但APACHEⅡ评分、SOFA评分、CRP、Scr、PCT、IL-6、TBIL、ALT、AST比较，差异有统计学意义（P＜0.05）。（表1）

二、二元Logistic回归分析

以是否并发AKI作为因变量（0=未并发AKI组，1=并发AKI组），本次9个变量均为定量参数，以实际值纳入（表2）。经二元Logistic回归分析，结果显示，SOFA评分、IL-6、TBIL、AST是影响脓毒症患者并发AKI的独立影响因素（P＜0.05）。（表3）

三、影响脓毒症患者并发AKI风险列线图预测模型构建

SOFA评分、IL-6、TBIL、AST作为独立影响因素，纳入R软件中，构建预测模型。每个独立的风

表 1　脓毒症并发与未并发 AKI 患者基线临床特征及实验室指标比较

Tab 1　Comparison of baseline clinical characteristics and laboratory indicators between sepsis patients with and without acute kidney injury

指标	未并发组(n=154)	并发组(n=82)	χ^2/t 值	P 值
性别[例(%)]			0.047	0.828
男性	86(55.84)	47(57.32)		
女性	68(44.16)	35(42.68)		
高血压[例(%)]			0.076	0.783
合并	42(27.27)	21(25.61)		
未合并	112(72.73)	61(74.39)		
糖尿病[例(%)]			1.379	0.240
合并	31(20.13)	22(26.83)		
未合并	123(79.87)	60(73.17)		
心力衰竭[例(%)]			0.027	0.869
合并	25(16.23)	14(17.07)		
未合并	129(83.77)	68(82.93)		
肾功能不全[例(%)]			0.573	0.449
合并	31(20.13)	20(24.39)		
未合并	123(79.87)	62(75.61)		
血管活性药物[例(%)]			0.487	0.485
使用	26(16.88)	11(13.41)		
未使用	128(83.12)	71(86.59)		
年龄(岁,$\bar{x}\pm s$)	62.35±4.58	62.98±4.71	0.988	0.324
APACHE Ⅱ评分(分,$\bar{x}\pm s$)	13.86±3.32	16.86±3.57	6.409	<0.001
SOFA 评分(分,$\bar{x}\pm s$)	6.48±1.75	8.55±1.89	8.921	<0.001
MAP(mmHg,$\bar{x}\pm s$)	86.65±5.41	86.91±5.89	0.348	0.728
CRP(mg/L,$\bar{x}\pm s$)	122.32±18.95	138.95±19.36	6.372	<0.001
Scr(μmol/L,$\bar{x}\pm s$)	85.65±10.23	93.66±12.49	5.294	<0.001
PCT(μg/L,$\bar{x}\pm s$)	10.32±3.78	13.91±3.54	7.100	<0.001
IL-6(μg/L,$\bar{x}\pm s$)	6.65±2.36	10.15±2.98	9.876	<0.001
Lac(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	5.32±1.86	5.46±1.92	0.548	0.585
TBIL(μmol/L,$\bar{x}\pm s$)	15.46±2.65	18.98±3.65	8.481	<0.001
ALT(U/L,$\bar{x}\pm s$)	42.46±4.85	47.15±5.84	6.579	<0.001
AST(U/L,$\bar{x}\pm s$)	41.28±4.22	47.68±5.46	9.986	<0.001

注：APACHEⅡ为急性生理与慢性健康状况评分Ⅱ；SOFA 为序贯器官衰竭评估评分；MAP 为平均动脉压；CRP 为 C-反应蛋白；Scr 为血肌酐；PCT 为降钙素原；IL-6 为白细胞介素 6；Lac 为乳酸；TBIL 为总胆红素；ALT 为丙氨酸氨基转移酶；AST 为天冬氨酸氨基转移酶。

险因素对应于一个特定的分数，通过画一条直线投影到模型最上方的单向得分刻度上，即可得出该变量的单项得分，通过将每个变量相关的特定分数相加，并将总分对应到总得分的线段上。(图 1)

将二元 Logistic 回归分析有差异的 4 个变量作为预测因素，构建危险因素模型，Logi(P) = -12.113 + 0.252×SOFA 评分 + 0.205×IL-6 + 0.112×TBIL + 0.135×AST，采用 Bootstrap 法对模型验证，利用校正曲线和 ROC 曲线对模型预测效能进行评估，结果显示，预测模型 AUC 为 0.863，95%*CI*：0.807～0.919，*CV* 为 13%。决策曲线中，真实值和预测值吻合度绝对误差为 0.044，且模型实际观测值与预测值无差异(P=0.412)。(图 2～4)

讨　论

脓毒症作为机体对感染反应失调所致的危及生命的器官功能障碍，其发病机制极为复杂[8]。目前研究认为，病原微生物侵入机体后，可触发过度炎症反应，大量炎症介质释放入血，形成“炎症风暴”，且在免疫功能紊乱、凝血系统激活、微循环障碍等因素相互作用下，会导致机体出现发热、心率加快、呼吸急促等全身炎症反应综合征表现，严重时可出现意识障碍、低血压等多器官功能障碍症状，危害极大，不仅可导致患者病情迅速恶化，更是患者主要死亡

表 2　脓毒症相关AKI二元Logistic回归分析变量赋值说明

Tab 2　Variable coding description for the binary logistic regression analysis of SA-AKI

序号	变量名称	赋值
Y	是否并发AKI	0=未并发AKI组，1=并发AKI组
X1	APACHEⅡ评分	实际值纳入
X2	SOFA评分	实际值纳入
X3	CRP	实际值纳入
X4	Scr	实际值纳入
X5	PCT	实际值纳入
X6	IL-6	实际值纳入
X7	TBIL	实际值纳入
X8	ALT	实际值纳入
X9	AST	实际值纳入

注：AKI为急性肾损伤；APACHEⅡ为急性生理与慢性健康状况评分Ⅱ；SOFA为序贯器官衰竭评估评分；CRP为C反应蛋白；Scr为血肌酐；PCT为降钙素原；IL-6为白细胞介素6；TBIL为总胆红素；ALT为丙氨酸氨基转移酶；AST为天冬氨酸氨基转移酶。

原因之一[9-10]。而随着全身炎症反应加重，会直接损伤肾小管上皮细胞，影响肾脏正常结构、功能，导致微循环障碍，使得肾脏缺血缺氧，进一步加重肾脏损伤，最典型表现为并发AKI，一旦合并，不仅会使病情更加复杂和危重，还会增加多器官功能衰竭风险，导致水、电解质和酸碱平衡紊乱，影响其他器官治疗和恢复[11-12]。鉴于脓毒症并发AKI的严重危害，早期预测显得尤为重要。

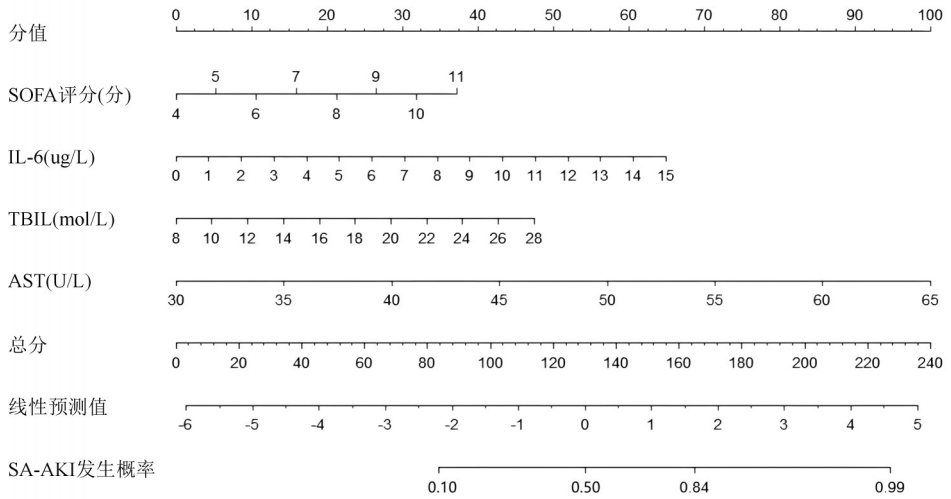
经二元Logistic回归分析，SOFA评分、IL-6、TBIL、AST是影响脓毒症患者并发AKI的独立影响因素，其中：(1)SOFA评分涵盖呼吸、凝血、肝、心血管、神经及肾脏六大系统功能，评分升高反映全身炎症反应失控导致的多器官损伤。本次结果中，并发组SOFA评分更高，与戎珊等[13]研究结果相似，是因高评分患者体内炎症介质通过血液循环扩散至肾脏，可激活肾小管上皮细胞核因子κB通路，诱导黏附分子表达，促进中性粒细胞浸润，释放活性氧和蛋白酶，直接损伤肾小管上皮细胞，加剧肾损伤[14]；(2)IL-6：单因素分析，并发组IL-6水平更高，与李雅琳等[15]研究结果相似，原因与以下几点有关：一方面，IL-6可刺激内皮细胞表达组织因子，促进中性粒细胞浸润，释放活性氧和蛋白酶，激活外源性凝血途径，可导致肾内微血管血栓形成，直接损伤肾小管基底膜和细胞骨架，破坏血管稳定性，导致肾小管坏死，从而更易并发AKI[16-17]；另一方面，IL-6通过诱导肝细胞合成急性期蛋白，可增加血管通透性，抑制一氧化氮合成酶活性，减少血管舒张因子释放，加剧肾血管收缩，从而导致低血容量和肾灌注不足，形成“低灌注-炎症损伤”恶性循环，加速肾损伤[18-19]；(3)TBIL：单因素分析，并发组TBIL水平更高，这一现象的原因主要在于以下两个方面。一方面，TBIL能够诱导血管内皮细胞表达黏附分子，进而促进中性粒细胞与肾微血管内皮细胞发生黏附反应，形成微血栓，阻塞肾小球滤过通道[20]；另一方面，TBIL升高常伴随胆汁酸淤积，不仅会加剧局部炎症反应，胆汁酸还会直接损伤肾小管基底膜，破坏细胞间紧密连接，导致蛋白尿和肾小管功能障碍[21-22]；(4)AST主要存在于心肌、肝脏及肾脏细胞中，可反映细胞膜完整性破坏和细胞内酶释放。高AST不仅提示肝脏或心肌损伤，更直接反映肾小管上皮细胞受损。AST通过激活肾小管细胞内的caspase-3凋亡通路，促进细胞程序性死亡，同时释放的

表 3　脓毒症患者并发AKI独立影响因素的二元Logistic回归分析结果（n=236）

Tab 3　Results of binary logistic regression analysis of independent factors associated with SA-AKI（n=236）

指标	*B*值	*S. E.* 值	*Wald*值	*P*值	*OR*值	95%*CI*	
						下限	上限
APACHEⅡ评分	0. 002	0. 070	0. 001	0. 977	1. 002	0. 873	1. 150
SOFA评分	0. 342	0. 136	6. 293	0. 012	1. 407	1. 078	1. 838
CRP	-0. 017	0. 014	1. 457	0. 227	0. 983	0. 956	1. 011
Scr	-0. 039	0. 023	2. 810	0. 094	0. 962	0. 919	1. 007
PCT	0. 037	0. 069	0. 284	0. 594	1. 038	0. 906	1. 188
IL-6	0. 228	0. 087	6. 820	0. 009	1. 256	1. 058	1. 490
TBIL	0. 198	0. 091	4. 758	0. 029	1. 219	1. 020	1. 457
ALT	-0. 050	0. 054	0. 884	0. 347	0. 951	0. 856	1. 056
AST	0. 181	0. 058	9. 646	0. 002	1. 198	1. 069	1. 343
常量	-9. 023	2. 387	14. 286	＜0. 001	＜0. 001	-	-

注：AKI为急性肾损伤；B为回归系数；S. E. 为标准误；Wald为卡方值；OR为比值比；CI为置信区间；APACHEⅡ为急性生理与慢性健康状况评分Ⅱ；SOFA为序贯器官衰竭评估评分；CRP为C反应蛋白；Scr为血肌酐；PCT为降钙素原；IL-6为白细胞介素6；TBIL为总胆红素；ALT为丙氨酸氨基转移酶；AST为天冬氨酸氨基转移酶。



注：AKI为急性肾损伤；SOFA为序贯器官衰竭评分；IL-6为白细胞介素6；TBIL为总胆红素；AST为天冬氨酸氨基转移酶。

图1　预测脓毒症患者并发AKI发生风险的列线图（n=236）

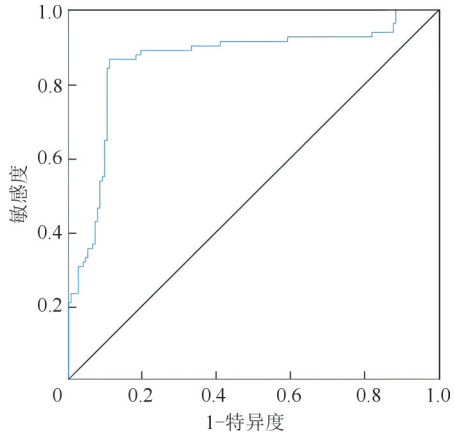
Fig 1　Nomogram for predicting the risk of SA-AKI（n=236）

表4　脓毒症相关AKI列线图预测模型回归系数及Bootstrap内部验证结果

Tab 4　Regression coefficients and Bootstrap internal validation results of the nomogram prediction model for SA-AKI

指标	*B*值	偏差	S. E. 值	*P*值	95%*CI*	
					下限	上限
SOFA评分	0. 252	0. 008	0. 094	0. 008	0. 074	0. 431
IL-6	0. 205	0. 008	0. 072	0. 005	0. 069	0. 354
TBIL	0. 112	0. 000	0. 078	0. 134	-0. 042	0. 265
AST	0. 135	0. 005	0. 058	0. 017	0. 028	0. 263
常量	-12. 113	-0. 351	2. 710	0. 001	-18. 480	-7. 802

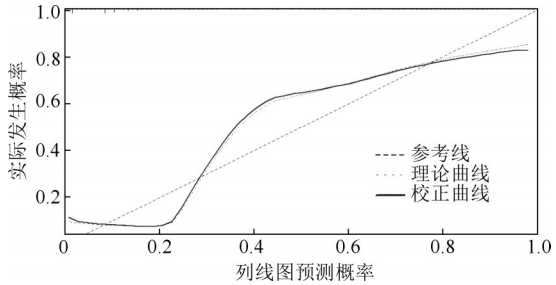
注：AKI为急性肾损伤；除非另行说明，否则拔靴法结果基于1000个拔靴法样本；B为回归系数；S. E. 为标准误；CI为置信区间；SOFA为序贯器官衰竭评估评分；IL-6为白细胞介素6；TBIL为总胆红素；AST为天冬氨酸氨基转移酶。



注：AKI为急性肾损伤。

图2　脓毒症相关AKI列线图预测模型的受试者工作特征曲线（n=236）

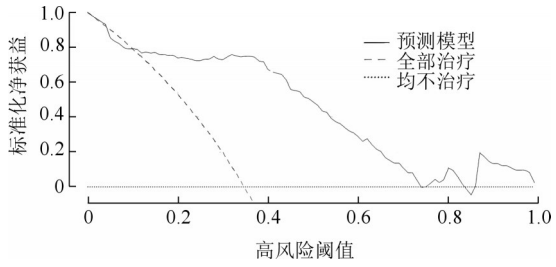
Fig 2　ROC curve of the nomogram prediction model for SA-AKI（n=236）



注：AKI为急性肾损伤。

图3　脓毒症相关AKI列线图预测模型的校准曲线

Fig 3　Calibration curve of the nomogram prediction model for SA-AKI



注：AKI为急性肾损伤。

图4　脓毒症相关AKI列线图预测模型的决策曲线分析

Fig 4　Decision curve analysis of the nomogram prediction model for SA-AKI

AST可进一步催化α-酮戊二酸生成草酰乙酸，干扰肾小管细胞能量代谢，导致三磷酸腺苷合成减少，加重细胞功能障碍[23-24]。

脓毒症并发AKI的早期识别对改善预后至关重要，但传统预测工具易受感染严重程度、液体复苏及基础肾功能影响，导致诊断延迟或漏诊。多变量分析虽能整合临床、实验室及影像学数据，但结果呈

现复杂，临床应用不便。列线图作为多变量模型的可视化工具，可将复杂统计模型转化为直观图形，通过量化各危险因素的贡献度，可为个体化风险评估提供便捷工具。本研究构建的列线图模型纳入SOFA评分、IL-6、TBIL和AST四个独立危险因素，旨在为SA-AKI提供精准、便捷的早期预警手段。在深入剖析本模型机制合理性之余，与现有同类研究对比，本模型优势尽显。从预测效能来看，赵恒等[25]基于传统指标构建的模型曲线下面积分别为0.830、0.845，而本模型AUC高达0.863，显著提升了预测精准度，能更敏锐地识别出脓毒症患者并发AKI高危个体。在指标组合上，本模型创新性地将SOFA评分、IL-6、TBIL、AST等主观和客观指标深度融合，能够分别从器官功能、炎症反应、胆红素代谢及细胞损伤等不同维度，全面捕捉脓毒症复杂病理生理特征，实现更精准风险分层。此外，通过决策曲线分析显示，真实值与预测值吻合度绝对误差为0.044，说明模型预测概率与实际发生概率高度接近，误差范围在临床可接受范围内。P=0.412提示模型实际观测值与预测值无显著差异，进一步验证了模型的校准度，即其预测概率与真实风险的一致性较高。

综上所述，SOFA评分、IL-6、TBIL、AST是影响脓毒症患者并发AKI的独立影响因素，对此需重点关注肾功能、炎症水平，及时干预，从而减轻肾功能受损，改善预后。但本研究也存在不足之处，首先未纳入动态指标可能限制模型敏感性，且当前数据源于单中心回顾性分析，存在选择偏倚，未来需开展多中心前瞻性研究，结合机器学习算法优化变量组合，以进一步提升模型普适性。

利益冲突　所有作者均声明没有利益冲突

参　考　文　献

[1] 赵志杰，吕晓婷，韩婷婷，等. 脓毒症患者急性肾损伤的影响因素及与HBP、Cyr61、CCL3的相关性分析[J]. 临床和实验医学杂志，2025，24(6)：576-580. DOI：10.3969/j.issn.1671-4695.2025.06.005.
Zhao ZJ, Lyu XT, Han TT, et al. Factors influencing acute kidney injury in patients with sepsis and the correlation with HBP, Cyr61 and CCL3[J]. J Clin Exp Med, 2025, 24(6): 576-580. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4695.2025.06.005.

[2] An MM, Liu CX, Gong P. Effects of continuous renal replacement therapy on inflammation-related anemia, iron metabolism and prognosis in sepsis patients with acute kidney injury[J]. World J Emerg Med, 2023, 14(3): 186-192. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2023.052.

[3] 刘莉，刘名鑫，牛世慧，等. 脓毒症并发急性肾损伤患者肾功能衰竭的影响因素[J]. 中华医院感染学杂志，2021，31(20)：3078-3081. DOI：10.11816/cn.ni.2021-201239.
Liu L, Liu MX, Niu SH, et al. Influencing factors of renal failure in patients with sepsis complicated with acute renal injury [J]. Chin J Nosocomiology, 2021, 31(20): 3078-3081. DOI: 10.11816/cn.ni.2021-201239.

[4] 文青，曾永秦，李智恒，等. 脓毒症相关急性肾损伤患者预后影响因素分析及列线图模型的建立与验证[J]. 贵州医科大学学报，2025，50(1)：103-108，120. DOI：10.19367/j.cnki.2096-8388.2025.01.014.
Wen Q, Zeng YQ, Li ZH, et al. Analysis of prognostic factors for patients with sepsis-associated acute kidney injury and establishment of a nomogram model and its validation[J]. J Guizhou Med Univ, 2025, 50(1): 103-108, 120. DOI: 10.19367/j.cnki.2096-8388.2025.01.014.

[5] 潘思梦，姚瑶，林世龙，等. 脓毒症急性肾损伤患者早期肾功能恢复的影响因素分析[J]. 中国临床医学，2024，31(3)：451-456. DOI：10.12025/j.issn.1008-6358.2024.20240401.
Pan SM, Yao Y, Lin SL, et al. Analysis of influence factors of early renal function recovery in patients with sepsis-associated acute kidney injury[J]. Chin J Clin Med, 2024, 31(3): 451-456. DOI: 10.12025/j.issn.1008-6358.2024.20240401.

[6] 钱建丹，李俊，霍娜，等.《拯救脓毒症运动：2021年脓毒症和脓毒症休克管理国际指南》感染管理更新要点解读[J]. 中华传染病杂志，2022，40(7)：385-391. DOI：10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2021.11.003.
Qian JD, Li J, Huo N, et al. Interpretation of key points in the infection management update of the Surviving sepsis campaign: international guidelines for the management of sepsis and septic shock 2021[J]. Chin J Infect Dis, 2022, 40(7): 385-391. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2021.11.003.

[7] Zarbock A, Nadim MK, Pickkers P, et al. Sepsis-associated acute kidney injury: consensus report of the 28th Acute Disease Quality Initiative workgroup[J]. Nat Rev Nephrol, 2023, 19(6): 401-417. DOI: 10.1038/s41581-023-00683-3.

[8] 薛钰婷，徐春梅，冷波，等. 血清miRNA-205、miRNA-233及miRNA-210在脓毒症合并急性肾损伤中的表达变化及其意义[J]. 临床和实验医学杂志，2025，24(14)：1483-1487. DOI：10.3969/j.issn.1671-4695.2025.14.008.
Xue YT, Xu CM, Leng B, et al. Expression changes of serum miRNA-205, miRNA-233 and miRNA-210 in sepsis complicated with acute kidney injury and their sig-nificance[J]. J Clin Exp Med, 2025, 24(14): 1483-1487. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4695.2025.14.008.

[9] 赵亮，郭文娟，王黄锁，等. 血清Nrf2、NLRP3及IL-18在老年脓毒症并发急性肾损伤患者中的表达及预后价值[J]. 国际老年医学杂志，2025，46(4)：451-456. DOI：10.3969/j.issn.1674-7593.2025.04.013.
Zhao L, Guo WJ, Wang HS, et al. Expression and prognostic value of serum Nrf2, NLRP3 and IL-18 in elderly patients with sepsis complicated with acute kidney injury[J]. Int J Geriatr, 2025, 46(4): 451-456. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7593.2025.04.013.

[10] Chen RP, Liu DW, Zhao H, et al. Renal medullary perfusion differs from that in renal cortex in patients with sepsis associated acute kidney injury and correlates with renal function prognosis: a prospective cohort study[J]. Clin Hemorheol Microcirc,

2024, 88(2): 181-198. DOI: 10.3233/CH-242296.

[11] 李静, 孟润祺, 郭鲁恒, 等. 在线动态列线图可视化分析脓毒症患者发生急性肾损伤的预测模型: 开发与验证应用研究[J]. 中华危重病急救医学, 2024, 36(10): 1069-1074. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240102-00003.
Li J, Meng RQ, Guo LH, et al. Visualization analysis of predictive model of acute kidney injury in patients with sepsis by online dynamic nomogram: research on development and validation of application[J]. Chin Crit Care Med, 2024, 36(10): 1069-1074. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240102-00003.

[12] 刘名胜, 邢柏. 脓毒症性与非脓毒症性急性肾损伤行CRRT治疗患者临床特征及预后影响因素对比分析[J]. 山东医药, 2020, 60(14): 60-64. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2020.14.018.
Liu MS, Xing B. Comparative analysis of clinical characteristics and prognostic factors of patients with septic and non-septic acute kidney injury treated with CRRT [J]. Shandong Med J, 2020, 60(14): 60-64. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2020.14.018.

[13] 戎珊, 叶久航, 朱曼晨, 等. 脓毒症患者早期发生急性肾损伤的预测模型构建与内部验证[J]. 中华急诊医学杂志, 2023, 32(9): 1178-1183. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.09.006.
Rong S, Ye JH, Zhu MC, et al. Construction and internal validation of a predictive model for early acute kidney injury in patients with sepsis[J]. Chin J Emerg Med, 2023, 32(9): 1178-1183. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.09.006.

[14] 陈东, 蒋龙, 王志高, 等. 脓毒症患者入住重症监护病房方式对并发急性肾损伤及预后的影响[J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34(3): 250-254. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20211110-01675.
Chen D, Jiang L, Wang ZG, et al. Effect of admission mode of septic patients in intensive care unit on acute kidney injury and prognosis[J]. Chin Crit Care Med, 2022, 34(3): 250-254. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20211110-01675.

[15] 李雅琳, 李东风, 孙振康, 等. 基于脓毒症急性肾损伤多因素的预测模型构建及验证[J]. 临床内科杂志, 2023, 40(11): 754-757. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9057.2023.11.010.
Li YL, Li DF, Sun ZK, et al. Construction and validation of prediction model based on multiple factors of acute kidney injury in sepsis[J]. J Clin Intern Med, 2023, 40(11): 754-757. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9057.2023.11.010.

[16] 徐广民, 吴化奎, 曹子君, 等. 连续性血液净化治疗脓毒症合并急性肾损伤患者预后的危险因素[J]. 临床与病理杂志, 2021, 41(12): 2877-2881. DOI: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.12.020.
Xu GM, Wu HK, Cao ZJ, et al. Risk factors for the prognosis of patients with sepsis complicated with acute kidney injury treated by continuous blood purification[J]. Int J Pathol Clin Med, 2021, 41(12): 2877-2881. DOI: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.12.020.

[17] Stanski NL, Zhang B, Cvijanovich NZ, et al. Diagnostic validation of the updated pediatric sepsis biomarker risk II for acute kidney injury prediction model in pediatric septic shock[J]. Pediatr Crit Care Med, 2024, 25(11): 1005-1016. DOI: 10.1097/PCC.0000000000003589.

[18] 王亚丽, 周晋萌, 王美霞, 等. HP联合CVVH治疗脓毒症相关急性肾损伤患者预后不良的预测模型构建[J]. 检验医学与临床, 2024, 21(18): 2664-2669. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9455.2024.18.009.
Wang YL, Zhou JM, Wang MX, et al. Construction of a predictive model for poor prognosis in patients with sepsis associated acute kidney injury treated with HP combined with CVVH [J]. Lab Med Clinic, 2024, 21(18): 2664-2669. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9455.2024.18.009.

[19] 王志勇, 王刚, 才仔全. 脓毒症并发急性肾损伤患者临床特征及预后的影响因素[J]. 临床急诊杂志, 2022, 23(8): 566-571. DOI: 10.11816/cn.ni.2017-172321.
Wang ZY, Wang G, Cai ZQ. Clinical characteristics and influencing factors of prognosis in patients with sepsis complicated with acute renal injury[J]. J Clin Emerg, 2022, 23(8): 566-571. DOI: 10.11816/cn.ni.2017-172321.

[20] 敖雪, 邓超, 侯宇, 等. 脓毒症患者并发急性肾损伤的危险因素分析及Nomogram预测模型的构建[J]. 广东医学, 2024, 45(6): 712-716. DOI: 10.13820/j.cnki.gdyx.20230443.
Ao X, Deng C, Hou Y, et al. Analysis of risk factors for acute kidney injury in patients with sepsis and construction of a Nomogram predictive model[J]. Guangdong Med J, 2024, 45(6): 712-716. DOI: 10.13820/j.cnki.gdyx.20230443.

[21] 孙杰, 塔来白克·买买居马, 祁雷. 脓毒症患者新发心房颤动的影响因素及其对临床预后的影响分析[J]. 临床和实验医学杂志, 2024, 23(15): 1587-1590. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4695.2024.15.006.
Sun J, Talaibaike Maimaijuma, Qi L. Analysis of the influencing factors of new-onset atrial fibrillation in patients with sepsis and its impact on clinical prognosis[J]. J Clin Exp Med, 2024, 23(15): 1587-1590. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4695.2024.15.006.

[22] 辛若梅, 江强, 王赛惠, 等. 老年脓毒症并发急性肾损伤患者肾功能恢复的影响因素[J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2023, 22(10): 746-751. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2023.10.158.
Xin RM, Jiang Q, Wang SH, et al. Influencing factors of renal function recovery in elderly septic patients with acute kidney injury[J]. Chin J Mult Organ Dis Elder, 2023, 22(10): 746-751. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2023.10.158.

[23] 冯超男, 张钰. 使用机器学习分析脓毒症合并急性呼吸窘迫综合征患者发生急性肾损伤的影响因素及构建预测模型[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2024, 45(12): 1256-1262. DOI: 10.3760/cma.j.cn321761-20240618-01167.
Feng CN, Zhang Y. Risk factors and prediction model construction of acute kidney injury in patients with sepsis complicated with acute respiratory distress syndrome[J]. Int J Anesthesiol Resusc, 2024, 45(12): 1256-1262. DOI: 10.3760/cma.j.cn321761-20240618-01167.

[24] White KC, Bellomo R, Tabah A, et al. Sepsis-associated acute kidney injury in patients with chronic kidney disease: Patient characteristics, prevalence, timing, trajectory, treatment and associated outcomes[J]. Nephrology (Carlton), 2024, 29(12): 838-848. DOI: 10.1111/nep.14392.

[25] 赵恒, 陈宇, 冯芳, 等. 个体化预测脓毒症患者并发急性肾损伤的风险列线图的建立及验证[J]. 医学研究杂志, 2024, 53(9): 69-73. DOI: 10.11969/j.issn.1673-548X.2024.09.014.
Zhao H, Chen Y, Feng F, et al. Establishment and validation of risk nomogram for individualized prediction of acute kidney injury in patients with sepsis[J]. J Med Res, 2024, 53(9): 69-73. DOI: 10.11969/j.issn.1673-548X.2024.09.014.

（收稿日期：2025-10-13）