

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2025.06.001

基于 APACHE II 评分的脓毒症患者 28d 死亡风险的 列线图预测模型构建与验证

赵莉

(商丘市第一人民医院重症医学科, 河南商丘 476000)

【摘要】目的 构建基于急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II, APACHE II) 评分的脓毒症患者 28d 死亡风险列线图预测模型, 并验证其预测性能, 为临床精准评估和风险分层提供辅助工具。**方法** 回顾性纳入 2023 年 1 月至 2025 年 6 月在商丘市第一人民医院重症监护室确诊为脓毒症的 186 例患者, 收集患者 APACHE II 评分相关指标、乳酸水平、基础疾病、机械通气等临床资料, 记录 28d 生存结局。采用多因素 Logistic 回归分析筛选独立危险因素, 并构建列线图模型, 通过 C 指数、校准曲线与决策曲线分析 (Decision Curve Analysis, DCA) 评估模型的判别力、校准度与临床效用, 并行内部 Bootstrap 验证。根据入组时间将患者分为建模队列 (2023 年 1 月至 2024 年 12 月, $n=138$) 和时间外推验证队列 (2025 年 1 月至 2025 年 6 月, $n=48$), 进一步验证模型的稳健性。**结果** 多因素 Logistic 回归分析显示, APACHE II 评分、乳酸水平、机械通气及合并糖尿病/心衰为影响脓毒症患者 28d 死亡的独立因素 ($P<0.05$)。构建的列线图模型 C 指数为 0.872, 校准曲线拟合良好, DCA 显示具有较高临床净收益。内部验证 C 指数为 0.860, 提示模型稳定性良好。时间外推验证队列中, C 指数为 0.852。**结论** 基于 APACHE II 评分的列线图模型可准确预测脓毒症患者 28d 死亡风险, 具有良好的判别能力、校准一致性和临床实用性, 适用于临床早期风险评估与干预决策。

【关键词】 脓毒症; APACHE II 评分; 列线图模型; 预后评估; 时间外推验证队列

【中图分类号】 R631

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2025) 06-0837-06

Construction and Validation of a Prognostic Nomogram Model for 28d Mortality Risk in Patients with Sepsis Based on APACHE II Scores

ZHAO Li

(Intensive Care Unit, Shangqiu First People's Hospital, Shangqiu, Henan 476000, China)

【Abstract】Objective To construct a 28d mortality risk prediction model for sepsis patients based on the Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II (APACHE II) score, validate its predictive performance, and provide an auxiliary tool for clinical precision assessment and risk stratification. **Methods** A retrospective study was conducted on 186 patients diagnosed with sepsis in Intensive Care Unit, Shangqiu First People's Hospital from January 2023 to June 2025. APACHE II score related indicators, lactic acid levels, underlying diseases, mechanical ventilation, and other clinical data were collected, and 28d survival outcomes were recorded. Multivariate Logistic regression analysis was used to screen

收稿日期: 2025-04-19。

基金项目: 商丘市科技攻关项目 (项目编号: 2025010)。

作者简介: 赵莉 (1984—), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主治医师, 研究方向为重症感染、床边血液净化、人工肝、神经重症等。

邮箱: hmq20170915@163.com。

for independent risk factors, and a nomogram model was constructed. The discriminant power, calibration degree, and clinical utility of the model were evaluated through C-index, calibration curve, and decision curve analysis (DCA), and internal Bootstrap validation was conducted. Temporal validation was conducted by dividing patients into a derivation cohort (from January 2023 to December 2024, $n=138$) and a temporal validation cohort (from January 2025 to June 2025, $n=48$). **Results** Multivariate Logistic regression analysis showed that APACHE II score, lactic acid level, mechanical ventilation and diabetes/heart failure were independent factors affecting 28d mortality in patients with sepsis ($P<0.05$). The constructed nomogram model had a C-index of 0.872, and the calibration curve fits well. DCA showed a high clinical net benefit. The internal validation C-index was 0.860, indicating good model stability. In the temporal validation cohort, the model maintained good discrimination with the C-index of 0.852. **Conclusion** The nomogram model based on APACHE II score can accurately predict the 28d mortality risk of sepsis patients, with good discriminative ability, calibration consistency, and clinical practicality, and is suitable for early clinical risk assessment and intervention decision-making.

【Key words】Sepsis; APACHE II Score; Nomogram Model; Prognostic Assessment; Temporal Validation Cohort

0 引言

脓毒症是由感染引起的、危及生命的器官功能障碍综合征，其本质为宿主对感染反应失调所致的全身炎症及免疫紊乱状态^[1]。根据 2012 年《国际脓毒症与感染性休克管理指南》（*International Guidelines for Management of Sepsis and Septic Shock*）的最新定义，脓毒症的核心诊断依据为 SOFA 评分增加 ≥ 2 分，提示器官功能受损^[2]。尽管近年来重症监护技术及抗感染治疗手段不断进步，脓毒症相关病死率仍高达 25% ~ 40%，在发展中国家甚至更高，脓毒症已成为全球重症医学的重大公共卫生挑战^[3]。

早期识别高风险患者、准确评估预后，对于制定个体化治疗方案、优化资源配置具有重要临床意义。现有多种预后评估工具被用于重症监护室（Intensive Care Unit, ICU）患者风险分层，包括快速序贯器官衰竭评分（Quick Sequential Organ Failure Assessment, qSOFA）、序贯器官衰竭评分（Sequential Organ Failure Assessment, SOFA）、简明急性生理评分 II（Simplified Acute Physiology Score II, SAPS II）以及急性生理学与慢性健康状况评分 II（Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II, APACHE II）评分系统。其中，APACHE II 评分因其综合考量患者的生理状态、神经功能、实验室指标及基础疾病情况，在 ICU 病情评估与死亡风险预测中被广泛应用^[4]。然而，该评

分系统在临床多以“总分”呈现，缺乏对各变量贡献度的可视化表达，难以实现患者层级化、直观化的个体风险管理。近年来，列线图（Nomogram）作为一种直观、实用的多变量预测工具，在肿瘤、心血管、感染性疾病等领域逐渐推广^[5]。它可将复杂回归模型转化为可量化的风险图谱，使预测结果更具可解释性和临床指导意义。目前，基于 APACHE II 评分构建脓毒症预后列线图模型的研究仍较少，其有效性与实用性亟待临床数据验证。

本研究拟基于 APACHE II 评分体系，联合乳酸水平、基础疾病及关键治疗干预等临床变量，构建脓症患者 28d 死亡风险的列线图预测模型，并进行验证。通过对模型判别能力、校准一致性及临床净效益的全面评估，旨在为 ICU 医师提供一种更直观、科学、精准的床旁辅助决策工具。

1 资料与方法

1.1 研究设计与对象

本研究为一项回顾性队列研究，收集 2023 年 1 月至 2025 年 6 月被商丘市第一人民医院 ICU 收治并诊断为脓毒症的住院患者临床资料，共计 186 例。

纳入标准：①年龄 ≥ 18 岁；②入 ICU 时符合《2021 年国际脓毒症与感染性休克管理指南》中脓毒症（Sepsis-3）的诊断标准，即确诊感染基础上合并器官功能障碍，SOFA 评分增加 ≥ 2 分；③ ICU 首次入院，且入住时间 ≥ 24 h；④入 ICU 24h 内临床资料完整，可获得 APACHE II 评分相关参数。

排除标准：①合并恶性肿瘤终末期、活动性出血性疾病或失代偿期肝硬化者；②孕妇或哺乳期女性；③既往因慢性精神疾病长期服药，影响神经评分者；④重要临床或实验室资料缺失，无法计算完整评分或评估预后者。

本研究经商丘市第一人民医院医学伦理委员会审批通过（审批编号：2021-ICU-R-112），因为研究为回顾性设计，免除患者知情同意。所有数据严格保密，仅用于科研分析。

1.2 临床资料收集

研究人员通过电子病历系统与 ICU 护理记录系统，提取如下信息：①人口学资料：年龄、性别、体重、基础疾病（糖尿病、心力衰竭、慢性肾病等）；②生命体征及实验室指标（入 ICU 后 24h 内）：体温、收缩压、舒张压、平均动脉压（Mean Arterial Pressure, MAP）、心率、呼吸频率、氧合指数、动脉 pH、血清钠、钾、肌酐、血红蛋白、白细胞计数、格拉斯哥昏迷量表（Glasgow Coma Scale, GCS）评分、乳酸水平；③治疗措施：是否行机械通气、有无使用血管活性药物、有创血流动力学监测；④评

分系统：根据 APACHE II 评分系统手册计算每位患者的总分值；⑤预后结局：记录 28d 内患者的生存状态，定义“死亡组”与“存活组”。

1.3 模型构建与列线图制作

本研究以 28d 病死率为主要预后终点。模型构建包括以下步骤：①特征变量筛选，首先进行单因素分析，筛选与 28d 死亡相关的临床变量（ $P < 0.10$ 者进入下一步）；②多因素 Logistic 回归建模，采用多因素 Logistic 回归分析确定独立危险因素，输入变量包括 APACHE II 评分及其他有统计学意义的变量（见表 1）；③列线图构建，基于 Logistic 回归模型结果，利用 R 语言 rms 软件包构建列线图，对每个变量赋予相应风险评分并预测死亡概率；④模型验证与评估，使用 Harrell's C-index 评价模型判别力；⑤绘制校准曲线（Calibration Curve）评估预测值与实际结果之间的拟合程度；⑥应用决策曲线分析（Decision Curve Analysis, DCA）评估模型在不同阈值概率下的临床净效益；⑦通过 Bootstrap 方法（重复抽样 1000 次）进行内部验证，检验模型稳定性和泛化能力。

表 1 变量赋分表
Tab. 1 Variable scoring table

变量	分类 / 取值	回归系数 (β)	OR (95% CI)	积分 (Scores)
APACHE II 评分	每增加 1 分	0.08	1.08 (1.04 ~ 1.12)	每 1 分 = 4 积分
乳酸水平 (mmol/L)	≥ 2.0 vs. < 2.0	0.95	2.58 (1.40 ~ 4.75)	38
机械通气	有 vs. 无	1.1	3.00 (1.60 ~ 5.70)	44
合并糖尿病 / 心衰	有 vs. 无	0.8	2.23 (1.10 ~ 4.50)	32

为进一步验证列线图模型的稳健性，根据患者入组时间将全部病例分为建模队列与时间外推验证队列。建模队列为 2023 年 1 月至 2024 年 12 月入组的脓毒症患者，138 例，用于模型构建；时间外推验证队列为 2025 年 1 月至 2025 年 6 月入组的患者，48 例，用于时间外推验证。在时间外推验证队列中，分别计算列线图模型的 C 指数（C-index），并绘制校准曲线与 DCA，评价预测效能与临床实用性。

逻辑回归预测公式为 $\text{logit}(p) = \beta_0 + 0.08 \times (\text{APACHE II}) + 0.95 \times X_1 + 1.10 \times X_2 + 0.80 \times X_3$ ，其中 $\text{logit}(p) = \ln(p/(1-p))$ ， $p = 28\text{d}$ 死亡概率， $\beta_0 =$

截距（模拟值 -4.20，需根据回归结果确定）， $X_1 =$ 乳酸水平（若乳酸 $\geq 2.0\text{mmol/L}$ ，取值 1；若 $< 2.0\text{mmol/L}$ ，取值 0）， $X_2 =$ 机械通气（有机械通气，取值 1；无机械通气，取值 0）， $X_3 =$ 合并糖尿病或心衰（有合并症，取值 1；无合并症，取值 0）。

1.4 统计学分析

所有数据分析在 SPSS 26.0 软件与 R 语言 4.3.0 环境中完成。连续变量行正态性检验，正态分布数据以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组间比较用 t 检验。非正态分布数据以中位数（Inter Quartile Range, IQR）表示，用 Mann-Whitney U 检验。分类变量以频数（%）表示，组间比较用 χ^2 检验或 Fisher 精

确检验。多因素 Logistic 回归采用逐步回归法，检验统计显著性设定为 $P < 0.05$ 。模型性能通过 C-index、校准曲线与 DCA 进行综合评价。本研究中，主要变量缺失比例均 $< 5\%$ ，通过 5 次迭代的多重插补获得插补数据集，并在模型构建及验证中使用。

2 结果

2.1 一般资料

本研究共纳入 186 例脓毒症患者，其中 28d 内死亡 64 例（34.4%），存活 122 例（65.6%）。与存活组相比，死亡组患者在 APACHE II 评分、乳酸水平、机械通气、糖尿病与慢性心衰等方面差异具有统计学意义（ $P < 0.05$ ）。脓毒症患者存活组与死亡组临床特征比较见表 2。

表 2 脓毒症患者存活组与死亡组临床特征比较 [$\bar{x} \pm s$, n (%)]

Tab. 2 Comparison of clinical characteristics between the survival group and the death group of sepsis patients [$\bar{x} \pm s$, n (%)]

项目	存活组 ($n=122$)	死亡组 ($n=64$)	t/χ^2 值	P 值
年龄 (岁)	59.32 ± 13.41	63.78 ± 12.26	-2.050	0.041
男性 [n (%)]	74 (60.66)	41 (64.06)	0.206	0.650
APACHE II 评分	19.21 ± 3.78	26.73 ± 4.54	-11.660	0.001
乳酸水平 (mmol/L)	2.31 ± 1.02	4.28 ± 1.63	-9.220	0.001
机械通气 [n (%)]	59 (48.36)	52 (81.25)	17.64	0.001
糖尿病 [n (%)]	32 (26.23)	29 (45.31)	6.440	0.011
慢性心衰 [n (%)]	22 (18.03)	22 (34.38)	5.940	0.015
SOFA 评分	7.40 ± 2.10	9.20 ± 2.60	-4.800	0.001

2.2 多因素 Logistic 回归分析

将单因素分析中 $P < 0.10$ 的变量纳入多因素

Logistic 回归模型，采用逐步回归法筛选影响脓毒症患者 28d 死亡率的独立危险因素。结果显示，APACHE II 评分、乳酸水平、机械通气以及合并糖尿病 / 心衰为死亡的显著预测因子（均 $P < 0.05$ ），详见表 3。

表 3 多因素 Logistic 回归分析结果：脓毒症患者 28d 死亡的预测因子 ($n=186$)

Tab. 3 Results of multivariate Logistic regression analysis: predictive factors for 28d death in sepsis patients ($n=186$)

变量	β 系数	OR 值	95% CI	Wald χ^2	P 值
APACHE II 评分	0.143	1.154	1.089 ~ 1.224	25.63	0.001
乳酸水平 (mmol/L)	0.33	1.391	1.157 ~ 1.670	10.920	0.001
机械通气 (是)	1.016	2.762	1.328 ~ 5.742	7.54	0.006
糖尿病 / 心衰 (有)	0.686	1.983	1.003 ~ 3.920	3.86	0.049

2.3 列线图模型构建与性能评价

基于 Logistic 回归分析筛选出的四个独立变量（APACHE II 评分、乳酸水平、机械通气、糖尿病 / 心衰），构建列线图模型用于预测脓毒症患者 28d 死亡风险（见图 1）。列线图模型为每一变量赋予相应的风险评分，通过总分换算得出个体化的预后概率，直观、实用。列线图模型的 C-index 为 0.872（95% CI: 0.820 ~ 0.923）。绘制的校准曲线显示预测概率与实际观察值高度一致，未见系统性偏差（见图 2），DCA 显示在阈值概率 0.2~0.8 范围内，列线图模型提供了高于“全做”与“全不做”策略的净效益（见图 3）。经 Bootstrap 1000 次重复抽样验证后，列线图模型的 C-index 为 0.860，提示其具备良好的内部稳定性和泛化能力。

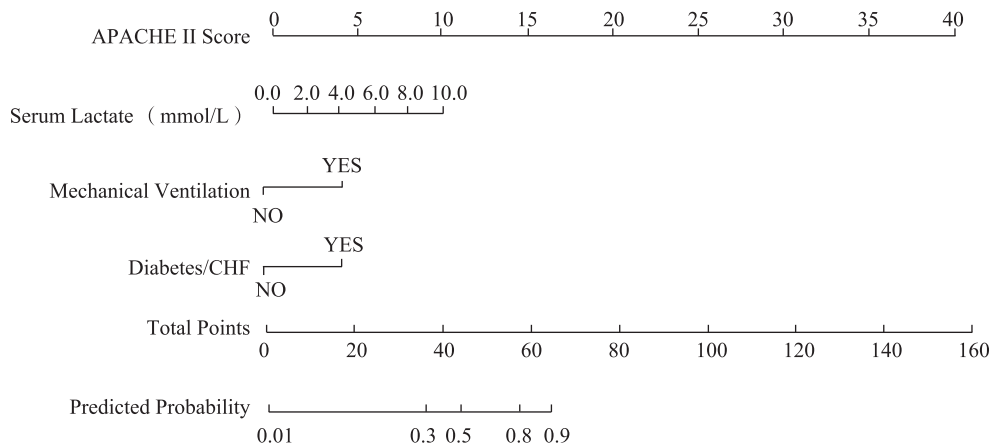


图 1 列线图模型
Fig. 1 Nomogram model

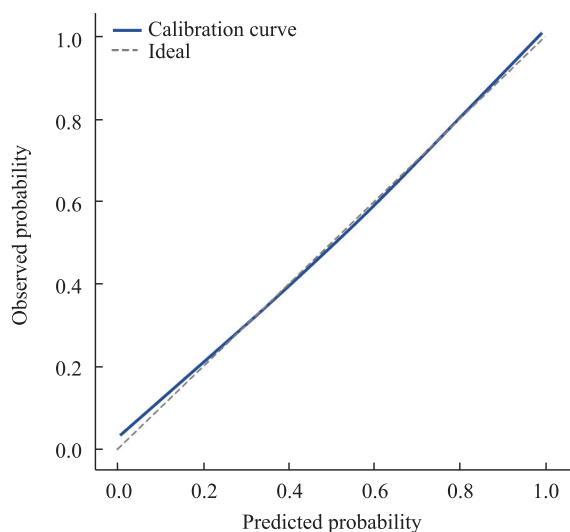


图 2 校准曲线图

Fig. 2 Calibration curve plot

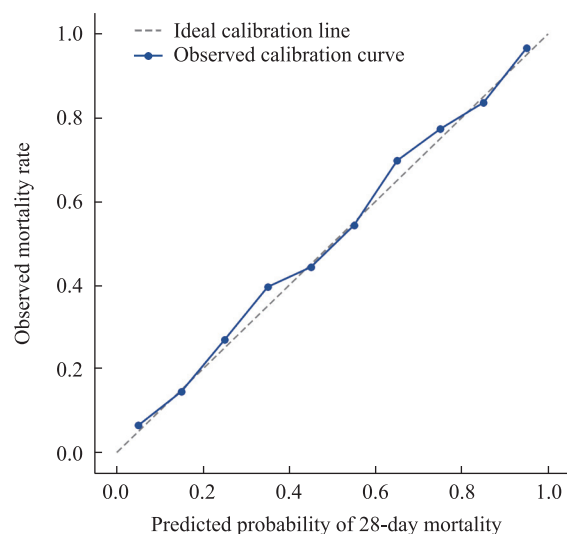


图 4 时间外推验证校准曲线图

Fig. 4 Temporal validation calibration curve plot

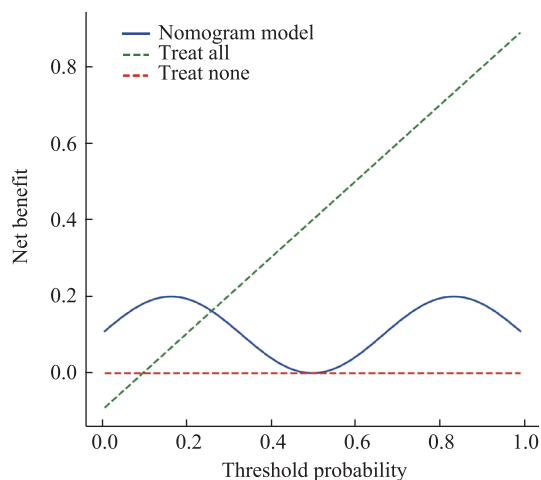


图 3 DCA 图

Fig. 3 DCA plot

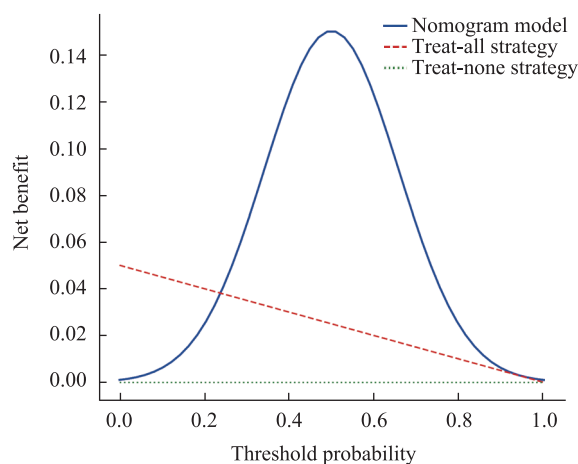


图 5 时间外推验证 DCA 图

Fig. 5 Temporal validation DCA plot

2.4 时间外推验证

在时间外推验证队列 ($n=48$) 中, 列线图模型的 C-index 为 0.852 (95%CI: 0.790 ~ 0.902)。绘制的校准曲线显示预测概率与实际发生率高度一致, 拟合良好, 无明显系统偏差。DCA 表明, 在阈值概率 0.25 ~ 0.75 的范围内, 该模型较“全做”与“全不做”策略可获得更高的临床净收益 (见图 4、图 5)。

3 讨论

脓毒症作为重症医学领域的“核心难题”之一, 其病死率依然居高不下, 早期、精准的风险评估对于指导干预策略、优化资源配置、改善预后具有重要意义^[6]。本研究基于 186 例 ICU 脓毒症患者的临

床数据, 整合 APACHE II 评分、生理生化参数及关键治疗措施, 构建了一个多因素列线图预测模型, 用于预测患者 28d 死亡风险, 并通过内部验证证实该模型具有良好的稳定性和实用价值。

APACHE II 评分系统作为当前 ICU 最常用的疾病严重程度评估工具之一, 在本研究中依旧展现出极强的预后预测能力。Logistic 回归分析结果显示, APACHE II 评分每增加 1 分, 死亡风险增加约 15%。该评分涵盖多个生理参数、GCS 评分及慢性健康评分, 较全面地反映了患者初始病情负荷。然而, 单一评分在临床使用中常被解读为“总分”概念, 缺乏对具体变量权重的量化解构, 限制了其个体化指导能力。乳酸作为组织低灌注和代谢

紊乱的敏感指标,在本研究中表现为显著的独立危险因素($OR=1.391$, $P=0.001$)。多项文献表明^[7],乳酸清除率与脓毒症患者生存密切相关,而持续性乳酸升高往往提示隐匿性低灌注或微循环障碍,值得在早期干预策略中重点关注。将乳酸纳入模型,使该列线图在反映动态病理状态方面更具时效性和敏感性。机械通气作为严重呼吸功能不全的标志性干预措施,其进入回归模型具有一定的解释力($OR=2.76$)。这提示在ICU阶段,呼吸衰竭的出现往往标志着全身系统功能失衡的升级。同时,合并糖尿病或慢性心衰的患者死亡风险显著增加,可能与其基础器官储备功能低下及应激耐受性差有关,这一结果强调了基础疾病在脓毒症病程中的“隐性放大器”作用,亦支持当前倡导的“个体化预后管理”理念。在模型层面,所构建的列线图以多因素回归为基础,融合多个临床变量,既具备较强的预测准确性($C-index=0.872$),又通过图形化输出实现了直观易懂的风险评分机制。与传统表格评分系统相比,列线图不仅能分层评估个体死亡概率,还能清晰量化每一变量对总风险的贡献,提升了其在床旁决策与医患沟通中的可操作性和解释力。在本研究中,我们进一步实施了时间外推验证,将不同时间段入组的患者划分为建模队列与时间外推验证队列。结果显示,列线图模型在时间外推验证队列中仍保持较高的判别力和良好的校准度,且在决策曲线分析中呈现稳定的临床净获益。这表明模型不仅适用于建模样本,在随后的新入组患者中同样具备较强的预测性能与临床实用价值。

当然,本研究亦存在一定局限。首先,研究为单中心回顾性设计,样本量相对有限,可能存在选择偏倚。模型尚未进行外部验证,泛化能力仍需在多中心、异构人群中进一步检验。并且研究未纳入部分潜在影响预后的变量,如降钙素原、炎症因子水平等,可能限制了模型在病理维度上的解释深度。

综上所述,本研究构建了基于APACHE II评分的列线图预测模型,可有效整合多重风险因素,对脓毒症患者的28d死亡风险进行个体化、可视化预测,具备良好的判别力、校准性与临床应用前景。未来研究应基于更大样本、多中心队列进行外部验证,并探索与生物标志物、人工智能算法的融合方

向,以进一步提升脓毒症风险评估工具的智能化与精准化水平。

参考文献

- [1] VINCENT J L. Current sepsis therapeutics[J]. *eBioMedicine*, 2022(86): 104318.
- [2] 杨建萍, 顾承东. 脓毒症的研究进展——暨2012年《国际严重脓毒症和脓毒症休克治疗指南》解读[C]//中华医学会急诊医学分会第十六次全国急诊医学学术年会. 北京, 2013.
YANG Jianping, GU Chengdong. Research progress on sepsis—interpretation in the 2012 International guidelines for the treatment of severe sepsis and sepsis shock [C]//Proceedings of the 16th National Emergency Medicine Academic Annual Conference of the Emergency Medicine Branch of the Chinese Medical Association Department of Emergency. Beijing, 2013.
- [3] CHIU C, LEGRAND M. Epidemiology of sepsis and septic shock[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2021, 34(2): 71-76.
- [4] 何梅钦, 李鑫. 乌司他丁联合血必净对重症肺炎合并脓毒症患者APACHE II评分及血流动力学的影响[J]. *北方药学*, 2024, 21(11): 106-108.
HE Meiqin, LI Xin. The effect of combination therapy of Ulinastatin and Xuebijing on APACHE II score and hemodynamics in patients with severe pneumonia complicated with sepsis[J]. *Journal of North Pharmacy*, 2024, 21(11): 106-108.
- [5] 王延虎, 肖轶, 方申存, 等. 预测食管癌调强适形放疗致急性放射性皮炎的列线图模型的建立与验证[J]. *实用临床医药杂志*, 2023, 27(1): 26-30, 59.
WANG Yanhu, XIAO Wei, FANG Shencun, *et al.* Establishment and validation of a nomogram model for predicting acute radiation dermatitis caused by intensity modulated radiotherapy for esophageal cancer[J]. *Journal of Clinical Medicine in Practice*, 2023, 27(1): 26-30, 59.
- [6] 刘振国, 白惠惠, 王顺达. 脓毒症患者SAA、PCT、ALB水平及SII、APACHE II、SOFA评分与预后的相关性研究[J]. *海南医学*, 2023, 34(17): 2523-2526.
LIU Zhenguo, BAI Huihui, WANG Shunda. Correlation of SAA, PCT, ALB, SII, APACHE II, SOFA scores with prognosis in patients with sepsis[J]. *Hainan Medical Journal*, 2023, 34(17): 2523-2526.
- [7] 张凤冉, 姜雅宁, 单天驰, 等. 外周血中性粒细胞/淋巴细胞、乳酸清除率与脓毒症患者并发肝损伤的关系及预测效能[J]. *山东医药*, 2024, 64(27): 68-72.
ZHANG Fengran, JIANG Yaning, SHAN Tianchi, *et al.* The relationship and predictive efficacy of peripheral blood neutrophils/lymphocytes, lactate clearance rate, and concurrent liver injury in sepsis patients[J]. *Shandong Medical Journal*, 2024, 64(27): 68-72.