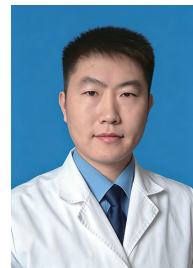


· 论著 · 烧伤危重症 ·

本文亮点:

- (1) 聚焦严重烧伤(烧伤总面积>30%体表总面积)患者这一并发急性呼吸窘迫综合征(ARDS)的高危人群,基于 ARDS 全球新定义进行诊断分组,利用最小绝对值压缩和选择算法回归结合样本权重调整策略进行变量筛选,构建并验证了一个包含改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、白蛋白及纤维蛋白原水平的列线图模型,为临床早期识别该类高危患者提供了可视化的量化工具。
- (2) 构建的列线图模型表现出优秀的区分度和良好的校准度,且在 17%~78% 的阈值概率范围内具有明确临床净收益,有助于个体化风险评估与早期干预决策。



Highlights:

- (1) This study focused on severely burned patients (total burn area >30% of total body surface area), a high-risk group for acute respiratory distress syndrome (ARDS). Diagnostic grouping was performed based on the new global definition of ARDS, and variable screening was conducted using least absolute shrinkage and selection operator regression combined with a sample weight adjustment strategy. A nomogram model incorporating the modified Baux index, neutrophil count, albumin level, and fibrinogen level was constructed and validated, providing a visualized quantitative tool for the early clinical identification of such high-risk patients.
- (2) The constructed nomogram model demonstrated excellent discriminative ability and good calibration, and showed clear clinical net benefit within a threshold probability range of 17% to 78%, facilitating individualized risk assessment and early intervention decision-making.

严重烧伤患者发生 ARDS 风险预测模型的构建与验证

姚颀^{1,2} 刘伟¹ 王盛书³ 华天楨¹ 张广良¹ 贾皓冉⁴ 马舒洁⁴ 申传安¹

¹解放军总医院第四医学中心烧伤整形医学部,北京 100048;²解放军医学院,北京 100853;³解放军总医院第二医学中心老年医学研究所,衰老及相关疾病研究北京市重点实验室,国家老年疾病临床医学研究中心,北京 100853;⁴南开大学医学院,天津 300350

通信作者:刘伟,Email:liuwei1@301hospital.com.cn

【摘要】 目的 构建并验证用于预测严重烧伤患者发生急性呼吸窘迫综合征(ARDS)风险的列线图模型。方法 该研究为回顾性队列研究。2015 年 1 月—2025 年 8 月,解放军总医院第四医学中心收治 372 例符合入选标准的严重烧伤患者,其中男 279 例、女 93 例,年龄 18~78 岁。按照伤后 7 d 内是否发生 ARDS,将患者分为 ARDS 组及非 ARDS 组。采用分层随机抽样法,按照 7:3 的比例将患者划分为训练集和验证集。训练集中,ARDS 组患者 35 例、非 ARDS 组患者 227 例;验证集中,ARDS 组患者 14 例、非 ARDS 组患者 96 例。收集患者一般临床资料,包括烧伤总面积、改良 Baux 指数、烧伤指数、

DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20260204-00070

收稿日期 2026-02-04

引用本文:姚颀,刘伟,王盛书,等.严重烧伤患者发生 ARDS 风险预测模型的构建与验证[J].中华烧伤与创面修复杂志,2026,42(6):552-561. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20260204-00070.

Yao Y,Liu W,Wang SS,et al.Construction and validation of a predictive model for the risk of ARDS in severely burned patients[J].Chin J Burns Wounds,2026,42(6):552-561. DOI: 10.3760/cma. j.cn501225-20260204-00070.



Ⅱ度烧伤面积、Ⅲ度烧伤面积、吸入性损伤程度、入院时是否行机械通气或高流量氧疗、气管切开天数、住院天数、病危病重天数及病死率等；以及入院 24 h 内与伤后发生 ARDS 相关的资料，包括白细胞计数、中性粒细胞计数、凝血酶时间及血红蛋白、肌酐、氯、降钙素原、白蛋白、纤维蛋白原(FIB)水平等。筛选训练集患者组间比较差异有统计学意义的变量，并基于最小绝对值压缩和选择算法(LASSO)回归结合权重调整策略进一步筛选特征性变量。进行多因素 logistic 回归分析确定患者发生 ARDS 风险的独立预测因子，并据此构建列线图模型。在训练集和验证集中对该模型效能进行验证。 **结果** 训练集一般临床资料中，ARDS 组患者的烧伤总面积、Ⅲ度烧伤面积均显著大于非 ARDS 组($P<0.05$)，改良 Baux 指数、烧伤指数、入院时行机械通气或高流量氧疗比例及病死率均显著高于非 ARDS 组($P<0.05$)，吸入性损伤程度显著重于非 ARDS 组($P<0.05$)，气管切开天数、住院天数及病危病重天数均显著多于非 ARDS 组($P<0.05$)，Ⅱ度烧伤面积显著小于非 ARDS 组($P<0.05$)；与伤后发生 ARDS 相关的资料中，ARDS 组患者入院 24 h 内的白细胞计数、中性粒细胞计数及血红蛋白、肌酐、氯、降钙素原水平均显著高于非 ARDS 组($P<0.05$)，凝血酶时间显著长于非 ARDS 组($P<0.05$)，而白蛋白、FIB 水平均显著低于非 ARDS 组($P<0.05$)。LASSO 回归分析显示，改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、白蛋白及 FIB 水平为训练集中 262 例严重烧伤患者发生 ARDS 的特征性变量。多因素 logistic 回归分析显示，改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、白蛋白及 FIB 水平为训练集中 262 例严重烧伤患者发生 ARDS 的独立预测因子(OR 分别为 1.058、1.147、0.752、0.615，95% CI 分别为 1.045~1.072、1.092~1.206、0.694~0.814、0.500~0.757， P 值均 <0.05)。基于前述 4 个独立预测因子构建了训练集中 262 例严重烧伤患者发生 ARDS 风险的列线图模型。受试者操作特征曲线分析显示，该模型在训练集的曲线下面积(AUC)为 0.960(95% CI 为 0.934~0.986)，在验证集的 AUC 为 0.914(95% CI 为 0.837~0.991)。校准曲线显示，该模型预测的 ARDS 发生风险与实际观察值高度一致。临床决策曲线分析显示，在阈值概率为 17%~78% 的范围内，应用该模型进行临床决策所能获得的临床净收益均显著高于对所有患者均干预或对所有患者均不干预的策略。 **结论** 构建的包含改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、白蛋白及 FIB 水平的列线图模型，对严重烧伤患者发生 ARDS 风险具有良好的预测效能，具备潜在临床辅助决策价值。

【关键词】 烧伤；呼吸窘迫综合征，成人；回顾性研究；危险因素；Logistic 模型；列线图
基金项目：解放军总医院创新类技术项目(2025CXT017V)

Construction and validation of a predictive model for the risk of ARDS in severely burned patients

Yao Yi^{1,2}, Liu Wei¹, Wang Shengshu³, Hua Tianzhen¹, Zhang Guangliang¹, Jia Haoran⁴, Ma Shujie⁴, Shen Chuan'an¹

¹Senior Department of Burns and Plastic Surgery, the Fourth Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100048, China; ²PLA Medical School, Beijing 100853, China; ³Beijing Key Laboratory of Aging and Geriatrics, National Clinical Research Center for Geriatrics Diseases, Institute of Geriatrics, the Second Medical Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; ⁴Nankai University Medical School, Tianjin 300350, China

Corresponding author: Liu Wei, Email: liuwei1@301hospital.com.cn

【Abstract】 Objective To construct and validate a nomogram model for predicting the risk of acute respiratory distress syndrome (ARDS) in severely burned patients. **Methods** This study was a retrospective cohort study. From January 2015 to August 2025, 372 severely burned patients who met the inclusion criteria were admitted to the Fourth Medical Center of Chinese PLA General Hospital, including 279 males and 93 females, aged 18 to 78 years. According to whether ARDS occurred within 7 days post-injury, patients were divided into ARDS group and non-ARDS group. Stratified random sampling was used to allocate patients into training set and validation set in a ratio of 7 : 3. In training set, there were 35 patients in ARDS group and 227 patients in non-ARDS group; in validation set, there were 14 patients in ARDS group and 96 patients in non-ARDS group. General clinical data of the patients were collected, including total burn area, modified Baux score, burn index, partial-thickness burn area, full-thickness burn area, severity of inhalation injury, whether mechanical ventilation or high-flow oxygen therapy performed upon admission, number of days after tracheostomy, length of hospital stay, duration in critical illness, and mortality rate, as well as data related to post-burn ARDS development within 24 hours of admission, including white blood cell count, neutrophil count, thrombin time, and levels of hemoglobin,

creatinine, chloride, procalcitonin, albumin, and fibrinogen (FIB). Variables with statistically significant differences between two groups in training set were screened, and characteristic variables were further selected using least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) regression combined with a weight adjustment strategy. Multivariate logistic regression analysis was performed to identify independent predictors, based on which a nomogram model was constructed. The performance of the model was validated in both training set and validation set. **Results** In the general clinical data of training set, patients in ARDS group had significantly larger total burn area and full-thickness burn area ($P<0.05$), significantly higher modified Baux score, burn index, proportion of patients receiving mechanical ventilation or high-flow oxygen therapy upon admission, and mortality rate ($P<0.05$), significantly more severe degree of inhalation injury ($P<0.05$), significantly greater number of days after tracheostomy, length of hospital stay, and duration in critical illness ($P<0.05$), and significantly smaller partial-thickness burn area ($P<0.05$) than those in non-ARDS group. With the data related to post-burn ARDS development, patients in ARDS group had significantly higher white blood cell count, neutrophil count, and levels of hemoglobin, creatinine, chloride, and procalcitonin ($P<0.05$), significantly longer thrombin time ($P<0.05$), and significantly lower levels of albumin and FIB ($P<0.05$) than those in non-ARDS group within 24 hours of admission. LASSO regression analysis showed that modified Baux score, neutrophil count, albumin level, and FIB level were the characteristic variables for the development of ARDS in 262 severely burned patients in training set. Multivariate logistic regression analysis revealed that modified Baux score, neutrophil count, albumin level, and FIB level were independent predictors of ARDS in 262 severely burned patients in training set (with ORs of 1.058, 1.147, 0.752, and 0.615, respectively, 95% CIs of 1.045–1.072, 1.092–1.206, 0.694–0.814, and 0.500–0.757, respectively, P values all <0.05). A nomogram model for predicting the risk of ARDS in 262 severely burned patients in training set was constructed based on the above four independent predictors. Receiver operating characteristic curve analysis showed that the model had an area under the curve (AUC) of 0.960 (with 95% CI of 0.934–0.986) in training set and an AUC of 0.914 (with 95% CI of 0.837–0.991) in validation set. The calibration curve showed that the risk of ARDS predicted by the model was in high agreement with the actual observed values. Clinical decision curve analysis showed that within the threshold probability range of 17% to 78%, the clinical net benefit obtained by applying this model for clinical decision-making was significantly higher than that of the strategies of intervening in all patients or intervening in none. **Conclusions** The constructed nomogram model incorporating the modified Baux score, neutrophil count, albumin level, and FIB level demonstrates good predictive performance for the risk of ARDS in severely burned patients and holds potential value for clinical decision-making.

【 Key words 】 Burns; Respiratory distress syndrome, adult; Retrospective studies; Risk factors; Logistic models; Nomograms

Fund program: Innovation Technology Project of Chinese PLA General Hospital (2025CXT017V)

ARDS 是一种由感染、创伤、烧伤等多种因素诱发的临床危重症,以顽固性低氧血症和弥漫性肺泡损伤为特征,病理生理机制复杂^[1-3],尽管支持性治疗策略(如肺保护性通气)不断进步^[4-5],但 ARDS 在重症患者中的致死率仍高达 30%~40%^[6-7],给全球公共卫生系统带来沉重负担。

在各类病因中,烧伤是诱发 ARDS 的重要危险因素^[8]。烧伤后,机体皮肤屏障被破坏、免疫系统紊乱,并处于持续的全身炎症反应状态,这使得肺部成为最早且最易受损的靶器官^[9]。一项荟萃分析显示,烧伤患者 ARDS 的总体发生率约为 24%,而其相关病死率可高达 31%;合并吸入性损伤的烧伤患者 ARDS 发生率超过 40%;烧伤总面积 $\geq 20\%$ TBSA 或需

要行机械通气的患者,ARDS 发生率分别可达 32% 与 37%^[10]。战时烧伤患者,尤其需要行机械通气者,并发 ARDS 的比例高达 32.6%~53.2%^[11]。烧伤患者一旦并发 ARDS,不仅会显著延长机械通气时间、增加 MOF 的发生风险,更可能导致其发生院内死亡^[12]。因此,对严重烧伤患者并发 ARDS 的风险进行早期、准确识别具有至关重要的临床意义。

针对烧伤后 ARDS 的风险评估,目前临床实践仍多依赖单一指标或医师临床经验。尽管有研究初步表明吸入性损伤、烧伤总面积、年龄等因素与 ARDS 相关^[13-14],但这些因素交互作用复杂^[15],且单一因素预测效能有限。本研究旨在通过回顾性分析严重烧伤患者的临床资料,采用最小绝对值压缩

和选择算法 (least absolute shrinkage and selection operator, LASSO) 回归^[16]筛选关键预测因子, 构建多因素 logistic 回归模型, 并最终开发一个可视化的列线图模型, 以期为临床早期识别严重烧伤患者发生 ARDS 风险提供一种直观、有效的量化工具, 辅助决策。

1 对象与方法

本回顾性队列研究收集匿名患者临床资料, 分析过程中不泄露患者身份及相关疾病信息, 获得解放军总医院第四医学中心 (以下简称本院) 伦理委员会批准 (批号: 2026KY105-KS001), 且该委员会豁免患者知情同意, 符合《赫尔辛基宣言》的基本原则。

1.1 入选标准

纳入标准: (1) 年龄 18~80 岁; (2) 临床资料完整; (3) 烧伤总面积 $\geq 30\%$ TBSA; (4) 伤后 7 d 内入院。排除标准: (1) 伤前伴脏器功能严重障碍; (2) 入院后 4 d 内死亡或出院; (3) 妊娠。

1.2 临床资料收集与分组

2015 年 1 月—2025 年 8 月, 本院收治 372 例符合入选标准的严重烧伤患者, 其中男 279 例、女 93 例, 年龄 18~78 岁。按照伤后 7 d 内是否发生 ARDS, 将患者分为 ARDS 组和非 ARDS 组。采用分层随机抽样法, 以 7:3 的比例将患者划分为训练集 (262 例) 和验证集 (110 例)。使用 R 软件 (caret 包, 设置随机种子为 123) 实现分层抽样, 确保分组结果可重复且 2 组患者发生 ARDS 风险相近。训练集中, ARDS 组患者 35 例、非 ARDS 组患者 227 例; 验证集中, ARDS 组患者 14 例、非 ARDS 组患者 96 例。

收集患者以下资料: (1) 一般临床资料, 包括基线资料、致伤环境、烧伤指标、院前指标、结局指标。基线资料包括年龄、性别、身高、体重、身体质量指数, 烧伤指标包括烧伤总面积、II 度烧伤面积、III 度烧伤面积、烧伤指数、改良 Baux 指数、吸入性损伤程

度, 院前指标包括伤后入院时间、入院前是否曾在外院治疗、初次急救时间、初始复苏时间、入院时是否行机械通气或高流量氧疗, 结局指标包括住院天数、病危病重天数、气管切开天数、存活结局。(2) 与伤后发生 ARDS 相关的资料^[17-18], 包括血常规、血生化指标和凝血指标, 即白细胞计数、淋巴细胞计数、中性粒细胞计数、血红蛋白水平, 国际标准化比值 (international normalized ratio, INR)、凝血酶时间、纤维蛋白原 (fibrinogen, FIB) 水平, ALT、白蛋白、钠、氯、肌酐、生物标志物 N 末端 B 型利钠肽前体、降钙素原水平, 这些指标均为入院后 24 h 内的首次检验结果或记录值。

部分指标评估标准如下: 采用中国九分法评估烧伤总面积; 烧伤指数 = III 度烧伤面积 + II 度烧伤面积 $\div 2$; 改良 Baux 指数 = 年龄 (岁) + 烧伤总面积 (%TBSA) + $17 \times \alpha$, 其中 α 为吸入性损伤赋值变量 (是 = 1, 否 = 0)。入院时间指患者受伤时至送至本院治疗的时间间隔。

训练集中 ARDS 组与非 ARDS 组患者性别、年龄、身高、体重、身体质量指数比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。

1.3 ARDS 的诊断标准

根据 2024 年 ARDS 全球新定义^[8], 诊断需同时满足以下条件: (1) 低氧性呼吸衰竭的急性发作或加重发生在烧伤后 1 周内; (2) 影像学检查 (诊断时或入院 48 h 内) 显示胸部 X 线片或 CT 证实肺浸润影, 或超声提示存在无法完全由积液、肺不张和/或结节、肿块解释的肺 B 线和/或实变; (3) 满足以下任意一条氧合标准——动脉血气氧合指数 ≤ 315 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa), 或缺乏动脉血气结果时在脉搏氧饱和度 $\leq 97\%$ 条件下脉氧指数^[19] ≤ 315 mmHg, 或使用经鼻高流量氧疗者氧气流速 ≥ 30 L/min。

1.4 统计学处理

利用 R 4.5.1 统计软件进行数据分析。使用训练集患者数据进行变量筛选及建模; 验证集患者数

表 1 训练集中 2 组严重烧伤患者基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline characteristics between two groups of severely burned patients in training set

组别	例数	性别 (例)		年龄 [岁, $M(Q_1, Q_3)$]	身高 [m, $M(Q_1, Q_3)$]	体重 [kg, $M(Q_1, Q_3)$]	身体质量指数 [kg/m ² , $M(Q_1, Q_3)$]
		男	女				
ARDS 组	35	6	29	44.0 (34.0, 54.0)	1.7 (1.7, 1.7)	75.0 (68.0, 80.0)	26.0 (23.0, 28.4)
非 ARDS 组	227	52	175	41.0 (31.0, 51.0)	1.7 (1.7, 1.8)	72.0 (61.0, 80.0)	24.7 (22.2, 27.5)
统计量值		$\chi^2=0.298$		$Z=-1.317$	$Z=0.079$	$Z=-0.678$	$Z=-1.059$
P 值		0.585		0.188	0.938	0.498	0.290

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征

据仅用于模型的内部验证,全程与建模数据隔离。首先对训练集患者数据进行单因素分析:对不符合正态分布的连续变量以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验;分类变量以频数表示,组间比较采用 χ^2 检验(频数 ≥ 5)或 Fisher 精确概率法检验(频数 < 5)。所有检验为双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

针对样本不均衡问题,在调整样本权重后,基于临床经验及单因素分析结果并排除结局指标(如住院天数、存活情况等),然后将训练集患者发生 ARDS 风险的相关变量纳入 LASSO 回归^[20],筛选特征性变量,筛选时采用 λ_{1se} 以获得更简约的模型。进一步,将筛选出的特征性变量纳入多因素 logistic 回归分析,以确定患者发生 ARDS 风险的独立预测因子,并据此构建列线图模型。

将独立预测因子在训练集和验证集中进行比较,若差异无统计学意义(即基线特征均衡),则分别在训练集和验证集中对该模型的效能进行验证:采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC)评价模型。在训练集中采用 Bootstrap 法(500 次重抽样)对模型进行内部验证,并绘制校准曲线以评估该模型的校准度。此外,采

用临床决策曲线分析评估该模型在不同阈值概率下的临床净收益。

2 结果

2.1 单因素分析结果

训练集中,严重烧伤患者伤后 7 d 内发生 ARDS 的概率为 13.4%(35/262),ARDS 组患者病死率为 31.4%(11/35)。一般临床资料中,ARDS 组患者的烧伤总面积、Ⅲ度烧伤面积均显著大于非 ARDS 组($P < 0.05$),改良 Baux 指数、烧伤指数、入院时行机械通气或高流量氧疗比例及病死率均显著高于非 ARDS 组($P < 0.05$),吸入性损伤程度显著重于非 ARDS 组($P < 0.05$),气管切开天数、住院天数及病危病重天数均显著多于非 ARDS 组($P < 0.05$),Ⅱ度烧伤面积显著小于非 ARDS 组($P < 0.05$)。见表 2。

训练集中,与伤后发生 ARDS 相关的资料中,ARDS 组患者入院 24 h 内的白细胞计数、中性粒细胞计数及血红蛋白、肌酐、氯、降钙素原水平均显著高于非 ARDS 组($P < 0.05$),凝血酶时间显著长于非 ARDS 组,而白蛋白及 FIB 水平均显著低于非 ARDS 组($P < 0.05$)。2 组患者淋巴细胞计数、INR、ALT 及钠、N 末端 B 型利钠肽前体水平等比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表 3。

表 2 训练集中 2 组严重烧伤患者一般临床资料比较

Table 2 Comparison of general clinical data between two groups of severely burned patients in training set

组别	例数	致伤环境(例)		吸入性损伤程度(例)				入院时行机械通气或高流量氧疗(例)		死亡(例)		Ⅱ度烧伤面积	Ⅲ度烧伤面积
		密闭	开放	无	轻度	中度	重度	是	否	是	否	[%TBSA, $M(Q_1, Q_3)$]	[%TBSA, $M(Q_1, Q_3)$]
ARDS 组	35	18	17	2	6	9	18	12	23	11	24	10.0(5.0, 30.0)	45.0(22.0, 85.0)
非 ARDS 组	227	122	105	104	86	31	6	4	223	4	223	23.0(15.0, 30.0)	20.0(10.0, 40.0)
统计量值		$\chi^2=0.005$		—				—		—		$Z=3.623$	$Z=-4.427$
P 值		0.941		<0.001				<0.001		<0.001		0.001	<0.001

组别	例数	烧伤总面积[%TBSA, $M(Q_1, Q_3)$]	住院天数[d, $M(Q_1, Q_3)$]	病危病重天数[d, $M(Q_1, Q_3)$]	伤后入院时间[h, $M(Q_1, Q_3)$]	入院前曾在外院治疗[例, $M(Q_1, Q_3)$]		初次急救时间[h, $M(Q_1, Q_3)$]
						是	否	
ARDS 组	35	80.0(55.0, 95.0)	54.0(27.0, 74.0)	40.0(23.0, 67.0)	7.0(5.0, 35.0)	28	7	1.0(1.0, 1.0)
非 ARDS 组	227	45.0(35.0, 65.0)	32.0(19.0, 52.0)	17.0(8.0, 33.0)	6.0(4.0, 39.0)	152	75	1.0(1.0, 1.0)
统计量值		$Z=-5.694$	$Z=-2.910$	$Z=-4.964$	$Z=-0.952$	$\chi^2=1.830$		$Z=0.470$
P 值		<0.001	0.004	<0.001	0.341	0.176		0.639

组别	例数	初始复苏时间[h, $M(Q_1, Q_3)$]	烧伤指数[$M(Q_1, Q_3)$]	改良 Baux 指数[$M(Q_1, Q_3)$]	气管切开天数[d, $M(Q_1, Q_3)$]
ARDS 组	35	1.0(1.0, 2.0)	65.0(45.0, 91.0)	146.0(124.0, 159.0)	15.5(7.0, 26.0)
非 ARDS 组	227	1.0(1.0, 2.0)	32.5(23.5, 55.0)	101.0(79.0, 124.0)	0
统计量值		$Z=-0.562$	$Z=-5.914$	$Z=-6.572$	$Z=-8.668$
P 值		0.575	<0.001	<0.001	<0.001

注:ARDS 为急性呼吸窘迫综合征, TBSA 为体表总面积;“—”表示无此统计量值

表 3 训练集中 2 组严重烧伤患者血常规、凝血指标、血生化指标比较 $[M(Q_1, Q_3)]$

Table 3 Comparison of routine blood parameters, coagulation indicators, and blood biochemical indices between two groups of severely burned patients in training set

组别	例数	血常规			凝血指标			
		白细胞计数 ($\times 10^9/L$)	淋巴细胞计数 ($\times 10^9/L$)	中性粒细胞计数 ($\times 10^9/L$)	血红蛋白水平(g/L)	INR	纤维蛋白原 水平(g/L)	凝血酶时间(s)
ARDS组	35	26.6(15.8, 33.6)	1.0(0.7, 1.7)	22.3(13.4, 30.3)	170.0(139.0, 190.0)	1.1(1.0, 1.4)	2.9(2.3, 3.6)	14.6(13.6, 15.7)
非 ARDS组	227	11.2(8.4, 16.0)	1.1(0.8, 1.4)	9.2(6.8, 13.4)	129.0(112.0, 153.0)	1.1(1.0, 1.2)	4.5(3.3, 6.2)	13.0(12.4, 13.9)
Z值		-6.154	-0.866	-6.277	-4.302	-1.786	5.291	-5.272
P值		<0.001	0.387	<0.001	<0.001	0.074	<0.001	<0.001

组别	例数	血生化指标						
		ALT水平 (U/L)	白蛋白水平 (g/L)	钠水平 (mmol/L)	氯水平 (mmol/L)	肌酐水平 ($\mu\text{mol/L}$)	NT-proBNP水平 (pg/mL)	降钙素原水平 (ng/mL)
ARDS组	35	38.0(24.0, 50.0)	27.5(24.0, 30.8)	137.0(134.0, 140.0)	104.0(101.0, 106.3)	94.3(71.9, 139.2)	115.2(49.7, 444.9)	4.7(1.2, 8.0)
非 ARDS组	227	28.9(20.1, 42.0)	33.4(30.3, 37.1)	138.0(136.0, 140.0)	101.0(98.0, 103.2)	61.4(51.3, 69.6)	198.6(70.2, 493.4)	0.4(0.1, 0.8)
Z值		-1.956	5.894	0.940	-3.708	-6.197	>0.999	-6.517
P值		0.051	<0.001	0.348	<0.001	<0.001	0.318	<0.001

注: ARDS为急性呼吸窘迫综合征, INR为国际标准化比值, ALT为丙氨酸氨基转移酶, NT-proBNP为N末端B型利钠肽前体; 血常规、凝血指标和血生化指标均为入院 24 h 内的首次检验结果或记录值

2.2 LASSO 回归变量筛选

LASSO 回归分析显示, 改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、白蛋白及 FIB 水平为训练集中 262 例严重烧伤患者发生 ARDS 的特征性变量。见图 1。

2.3 多因素 logistic 回归分析

多因素 logistic 回归分析显示, 改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、白蛋白及 FIB 水平为训练集中 262 例严重烧伤患者发生 ARDS 的独立预测因子 (OR 分别为 1.058、1.147、0.752、0.615, 95%CI 分别为 1.045~1.072、1.092~1.206、0.694~0.814、0.500~0.757, P 值均 < 0.001)。

2.4 列线图模型构建

基于改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、白蛋白及 FIB 水平构建了训练集中 262 例严重烧伤患者发生 ARDS 风险的列线图模型(图 2), 用于预测单例患者发生 ARDS 的风险。

2.5 模型的验证与评估

ARDS 组和非 ARDS 组中, 训练集与验证集患者改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、白蛋白及 FIB 水平比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 4。

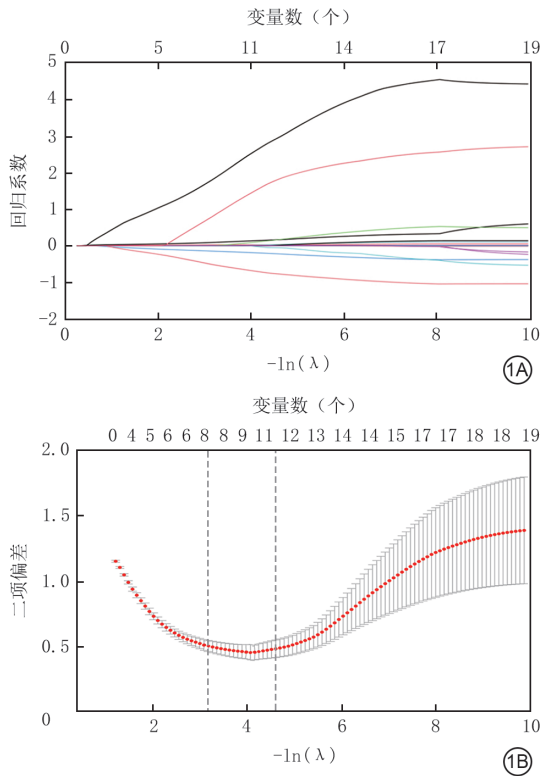
ROC 曲线分析显示, 该模型在训练集的 AUC 为 0.960(95%CI 为 0.934~0.986), 在验证集的 AUC 为 0.914(95%CI 为 0.837~0.991)。校准曲线显示, 该模型预测的 ARDS 发生风险与实际观察值高度一致

(校准曲线与理想曲线贴合良好)。临床决策曲线分析显示, 在阈值概率为 17%~78% 的范围内, 应用该模型进行临床决策所能获得的临床净收益均显著高于对所有患者均干预或对所有患者均不干预的策略。见图 3。

3 讨论

3.1 严重烧伤患者发生 ARDS 风险的分析及列线图模型构建

烧伤作为全球高致残率、高致死率的创伤类型之一, 其复杂的病理生理特征易诱发多器官功能障碍^[21], 严重烧伤患者成为发生 ARDS 的高危人群^[22]。本研究回顾性分析 372 例严重烧伤(烧伤总面积 > 30%TBSA) 患者的临床资料, 结果显示伤后 7 d 内 ARDS 发生率为 13.4%(35/262), 显著低于既往荟萃分析报道的烧伤患者总体 ARDS 发生率(约 24%)以及大面积烧伤(烧伤总面积 $\geq 20\%$ TBSA)亚组的 ARDS 发生率(约 32%)^[7]。本研究中 ARDS 患者的病死率为 31.4%(11/35), 与既往文献^[10]报道一致。本研究中 ARDS 患者呈现出“较低发生率、相似病死率”的特征。这一特征可能与以下因素相关: 首先, 本研究严格采用 2024 年 ARDS 全球新定义^[8]进行诊断, 纳入的是伤后 7 d 内以烧伤为直接诱因的早期 ARDS 病例, 未纳入晚期或脓毒症相关 ARDS 患者,



注:图 1A 中 λ 为调优参数,随着正则化参数 λ 增大,各变量回归系数被压缩直至归零并最终被剔除;不同颜色线条代表不同变量的压缩轨迹,在变量数收缩到 4 时,从上至下的曲线依次代表改良 Baux 指数、中性粒细胞计数、纤维蛋白原及白蛋白水平;图 1B 中实线表示交叉验证误差(二项偏差)随正则化参数 λ (对数尺度)的变化,用于平衡模型拟合优度与复杂度,阴影区域表示交叉验证误差的一个标准差范围;右侧虚线对应最小交叉验证误差 λ_{min} ,左侧虚线对应最小误差在一个标准差范围内的最大 λ 值 λ_{1se} ;本研究采用 λ_{1se} 以获得更简约的模型

图 1 训练集中 262 例严重烧伤患者各变量的最小绝对值压缩和选择算法的系数路径图及交叉验证图。1A. 路径图;1B. 交叉验证图

Figure 1 Coefficient path plot and cross-validation plot of the least absolute shrinkage and selection operator for each variable in 262 severely burned patients in training set

可能导致发生率低于既往报道。其次,单因素分析显示,训练集中 ARDS 组患者的烧伤总面积、改良 Baux 指数均显著高于非 ARDS 组,提示发生 ARDS 的患者初始伤情更重,且多因基层救治条件有限而转入上级医院,形成了经过初步筛选的危重患者群体。此外,2 组患者在致伤环境分布、初次急救时间及初始复苏时间方面比较,差异均无统计学意义 ($P > 0.05$),但外院治疗经历与 ARDS 发生风险升高相关,推测可能与基层医院早期救治能力不足、复苏不充分有关。而本研究中 ARDS 患者病死率与既往报道相似,提示严重烧伤患者一旦发生 ARDS,会

显著延长患者的机械通气时间、增加 MOF 风险。因此,早期精准预测 ARDS 发生可能性并及时干预,对改善患者预后具有重要临床意义。

鉴于此,本研究构建并验证了一个用于预测严重烧伤(烧伤总面积 $> 30\%$ TBSA)患者发生 ARDS 风险的列线图模型。经内部验证集验证,该模型展现出优秀的区分度、良好的校准度以及明确的临床净收益。

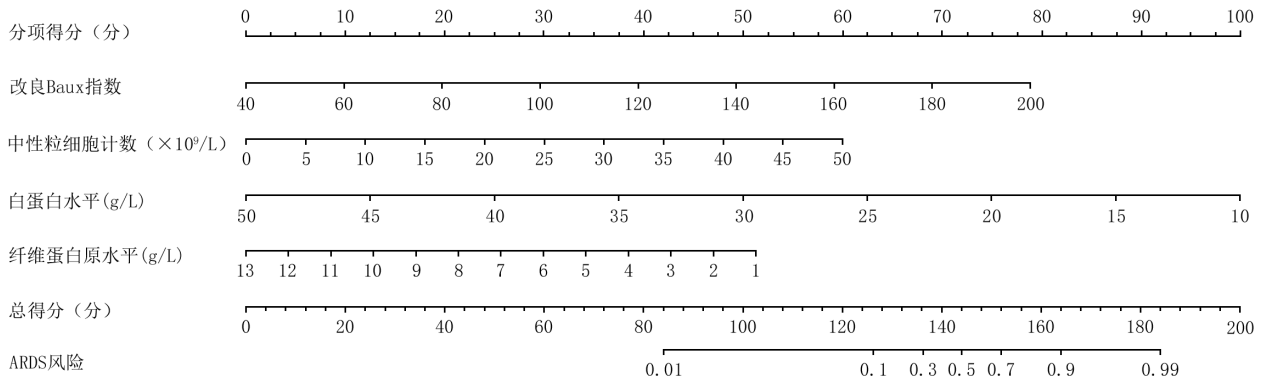
3.2 严重烧伤患者发生 ARDS 风险的独立预测因子分析

本模型筛选出的独立预测因子与 ARDS 已知的病理生理机制相符。既往研究表明,ARDS 的核心机制是弥漫性肺泡损伤^[23],涉及肺泡上皮与肺毛细血管内皮完整性的破坏,并伴随炎症反应与凝血系统的异常激活^[13,24-27]。已有研究显示,高龄、吸入性损伤及大面积烧伤(烧伤总面积 $\geq 40\%$ TBSA)均可增加 ARDS 的发病风险^[28-30]。本研究中,改良 Baux 指数整合了上述因素,亦是本列线图模型中独立预测因子之一。中性粒细胞计数升高是烧伤后炎症风暴的表现之一^[31],其经 P-选择素介导的滚动黏附作用浸润肺泡,释放弹性蛋白酶和活性氧,从而破坏上皮屏障^[22,29,32],并形成中性粒细胞胞外诱捕网;同时,通过结合血管性血友病因子,激活血小板黏附,促进微血栓生成^[33-34]。这一过程与凝血系统的异常激活形成协同作用:全身炎症反应激活凝血系统,抑制纤维蛋白溶解,并损害内皮抗凝功能,形成“凝血-炎症”恶性循环^[35]。在此背景下,严重烧伤患者中 FIB 水平因微血栓形成而被大量消耗。FIB 沉积与微血栓的协同作用,不仅阻塞肺血流、增加死腔通气,还可加剧内皮损伤与局部炎症,进一步放大肺损伤^[13,28,36]。低白蛋白血症是毛细血管渗漏综合征的重要标志。炎症因子破坏内皮连接,导致血管通透性剧增,富含蛋白的液体外渗,形成 ARDS 特征性的非心源性肺水肿^[25,34]。此外,白蛋白与乳酸水平联合也可用于预测 ARDS 患者的早期预后^[37]。

3.3 基于 LASSO 回归与诊断标准的创新性

本研究采用 LASSO 回归进行变量初筛,在应对样本不平衡的同时有效处理了高度相关的临床变量,避免了共线性问题。基于筛选出的独立预测因子构建列线图,形成可视化的风险预测模型,可用于快速评估严重烧伤患者发生 ARDS 的风险,显著提升了模型的实用性与可及性。

本研究的另一特点是在 ARDS 诊断标准上采用



注: ARDS为急性呼吸窘迫综合征;使用该列线图模型时,首先在相应变量的刻度轴上确定每例患者各指标取值所对应的分值,然后将各项分值相加得到总得分,最后在总得分轴上找到对应的ARDS发生风险

图2 训练集中262例严重烧伤患者发生ARDS风险的列线图模型

Figure 2 Nomogram model for the risk of ARDS in 262 severely burned patients in training set

表4 2组严重烧伤患者中训练集与验证集患者的改良Baux指数、中性粒细胞计数、白蛋白与纤维蛋白原水平比较[M(Q₁, Q₃)]

Table 4 Comparison of modified Baux index, neutrophil count, albumin level, and fibrinogen level between training set and validation set in two groups of severely burned patients

组别与分类	例数	改良Baux指数	中性粒细胞计数 (×10 ⁹ /L)	白蛋白水平 (g/L)	纤维蛋白原水平 (g/L)
ARDS组					
训练集	35	146.0(124.0, 159.0)	22.3(13.4, 30.3)	27.5(24.0, 30.8)	2.9(2.3, 3.6)
验证集	14	143.0(128.0, 157.0)	16.4(11.4, 28.0)	27.2(20.6, 32.5)	2.9(2.4, 4.5)
非ARDS组					
训练集	227	101.0(79.0, 124.0)	9.2(6.8, 13.4)	33.4(30.3, 37.1)	4.5(3.3, 6.2)
验证集	96	94.5(80.5, 119.5)	9.9(6.8, 13.6)	35.5(31.3, 37.9)	4.4(3.1, 6.3)
P ₁ 值		0.825	0.424	0.938	0.757
P ₂ 值		0.630	0.509	0.054	0.342

注: P₁值为ARDS组2个子集各指标比较所得, P₂值为非ARDS组2个子集各指标比较所得

了2024年ARDS全球新定义^[8,38]。该新定义扩展了ARDS的诊断条件, 纳入了接受高流量氧疗及非插管机械通气的患者, 并允许在特殊条件下采用脉氧指数作为诊断标准, 从而使烧伤患者早期ARDS的识别成为可能。相较于既往研究多采用2012年提出的ARDS柏林定义^[39-40], 本研究相对扩大了患者群体, 减少了漏诊率, 同时也是对新定义的一次验证。本列线图模型的良好性能也间接表明, 基于该新定

义诊断的烧伤相关ARDS患者具有较高的准确性。

3.4 模型的临床转化潜力与优化方向

本研究构建的列线图模型所纳入的4项指标均可在患者入院后24 h内获得, 不需要特殊设备或昂贵检查, 临床推广门槛低。所构建的列线图便于医疗资源相对有限的基层医院或烧伤专科病房快速进行风险评估。未来可基于电子病历系统开发嵌入式计算模块, 实现风险评分的自动抓取与即时输出。同时, 依托多中心烧伤数据平台开展外部验证, 进一步明确本模型在不同级别医院及不同烧伤病人群中的适用边界与校准度, 为其最终纳入临床决策路径提供更充分的证据支持。

3.5 局限性

本研究仍存在一定局限性。首先, 本研究为单中心回顾性研究, 样本量有限且存在类别不平衡问题。尽管采用LASSO回归进行变量筛选和数据平衡处理, 但纳入的预测因子数量仍相对较少, 可能存在选择性偏倚, 并增加模型过拟合的风险。模型的实际预测能力有待外部数据集进一步验证。其次, 所有预测变量均基于患者入院后的首次检查结果, 未能动态观察其变化趋势, 这可能导致患者病程中重要预测信息的遗漏。

3.6 小结

本研究基于LASSO回归及多因素logistic回归分析, 构建了一个包含改良Baux指数、中性粒细胞计数、白蛋白及FIB水平的列线图模型。该模型对严重烧伤患者发生ARDS的风险具有良好的预测效能, 具有潜在的临床辅助决策价值。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 姚颐: 数据收集、统计分析、论文撰写; 刘伟: 研究设计、数据质控、临床指标把关、审读和修订、监督指导; 王盛书: 数据

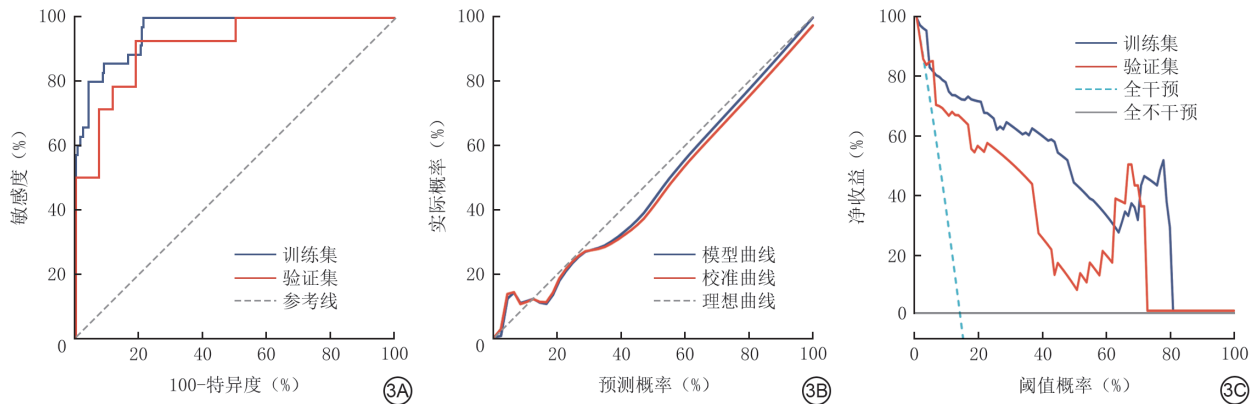


图3 训练集中262例严重烧伤患者发生急性呼吸窘迫综合征风险的列线图模型验证与评估。3A. 训练集与验证集的受试者操作特征曲线;3B. 训练集的校准曲线;3C. 训练集与验证集的临床决策曲线

Figure 3 Validation and assessment of a nomogram model for the risk of acute respiratory distress syndrome in 262 severely burned patients in training set

分析指导,文章审读、修改;华天桢:数据整理、文章审读;张广良、贾皓冉、马舒洁:数据收集、整理,论文图表制作;申传安:文章审读和把关、监督指导

参考文献

- [1] Bos L, Ware LB. Acute respiratory distress syndrome: causes, pathophysiology, and phenotypes[J]. *Lancet*, 2022, 400(10358): 1145-1156. DOI: 10.1016/S0140-6736(22)01485-4.
- [2] Yıldırım F, Karaman İ, Kaya A. Current situation in ARDS in the light of recent studies: Classification, epidemiology and pharmacotherapeutics[J]. *Tuberk Toraks*, 2021, 69(4): 535-546. DOI: 10.5578/tt.20219611.
- [3] Bittner E, Sheridan R. ARDS respiratory distress syndrome, mechanical ventilation, and inhalation injury in burn patients[J]. *Surg Clin North Am*, 2023,103(3):439-451. DOI: 10.1016/j.suc.2023.01.006.
- [4] 刘有芳,詹庆元,黄絮,等.急性呼吸窘迫综合征患者保护性肺通气策略依从性现状调查[J].*中华结核和呼吸杂志*,2024,47(5):419-429. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20230808-00054.
- [5] 杨娜,杨婧,康焰.经鼻高流量氧疗和无创通气在急性呼吸窘迫综合征治疗中的价值[J].*中华医学杂志*,2024,104(15):1230-1235. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20231023-00865.
- [6] Shao S, Kang H, Tong Z. Early neuromuscular blocking agents for adults with acute respiratory distress syndrome: a systematic review, meta-analysis and meta-regression[J]. *BMJ Open*, 2020,10(11):e037737. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-037737.
- [7] 马娟娟,陈雪玲,王蕾. ARDS患者救治中有创呼吸机辅助呼吸的临床干预及疗效分析[J/OL].*中华肺部疾病杂志(电子版)*, 2022, 15(6): 876-878[2026-02-04]. <https://rs.yiigle.com/cmaid/1558751>. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6902.2022.06.030.
- [8] Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC, et al. A new global definition of acute respiratory distress syndrome[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2024,209(1):37-47. DOI: 10.1164/rccm.202303-0558WS.
- [9] Nielson CB, Duethman NC, Howard JM, et al. Burns: pathophysiology of systemic complications and current management[J]. *J Burn Care Res*, 2017, 38(1): e469-e481. DOI: 10.1097/BCR.0000000000000355.
- [10] Wang B, Chenru W, Jiang Y, et al. Incidence and mortality of acute respiratory distress syndrome in patients with burns: a systematic review and meta-analysis[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 709642. DOI: 10.3389/fmed.2021.709642.
- [11] Belenkiy SM, Buel AR, Cannon JW, et al. Acute respiratory distress syndrome in wartime military burns: application of the Berlin criteria[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2014,76(3):821-827. DOI: 10.1097/TA.0b013e3182aa2d21.
- [12] 朱峰,郭光华.烧伤相关肺损伤的呼吸治疗任重道远[J].*中华烧伤与创面修复杂志*, 2024,40(11):1016-1023. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20240802-00291.
- [13] Silva L, Garcia L, Oliveira B, et al. Acute respiratory distress syndrome in burn patients: incidence and risk factor analysis[J]. *Ann Burns Fire Disasters*, 2016,29(3):178-182.
- [14] Wei S, Zhang H, Li H, et al. Establishment and validation of predictive model of ARDS in critically ill patients[J]. *J Transl Med*, 2025,23(1):64. DOI: 10.1186/s12967-024-06054-1.
- [15] 邓兆凯,刘晟辰,黎毅敏,等.急性呼吸窘迫综合征并发急性肾损伤风险预测研究:进展与挑战[J].*中华医学杂志*,2025,105(33):2820-2826. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20250424-01024.
- [16] 王琦,马宏伟,刘皓,等.基于LASSO-logistic回归模型构建脓毒症相关性脑病的风险预测模型[J].*解放军医学杂志*,2026,51(1):38-48. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.1570.2025.1124.
- [17] 白鹭,何涛,吴建祥,等.血清降钙素原、C反应蛋白、高迁移率族蛋白B1及白细胞介素-6水平对创伤性肺损伤患者预后的预测价值[J].*中华实验外科杂志*,2024,41(11):2613-2616. DOI: 10.3760/cma.j.cn421213-20240427-01081.
- [18] 余森,孟岩,朱科明,等.中性粒细胞胞外陷阱在急性呼吸窘迫综合征中的研究进展[J].*国际麻醉学与复苏杂志*,2024,45(10):1105-1110. DOI: 10.3760/cma.j.cn321761-20230815-01142.
- [19] 尚游,张红玲,刘玲,等.急性呼吸窘迫综合征全球新定义中S/F的中文命名[J].*中华医学杂志*,2025,105(9):647-649. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20241128-02671.
- [20] Tran TK, Tran MC, Joseph A, et al. A systematic review of machine learning models for management, prediction and classification of ARDS[J]. *Respir Res*, 2024, 25(1):232. DOI:

- 10.1186/s12931-024-02834-x.
- [21] Jeschke MG, van Baar ME, Choudhry MA, et al. Burn injury [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2020, 6(1): 11. DOI: 10.1038/s41572-020-0145-5.
- [22] Lam NN, Hung TD. ARDS among cutaneous burn patients combined with inhalation injury: early onset and bad outcome[J]. *Ann Burns Fire Disasters*, 2019,32(1):37-42.
- [23] 沈凯凯,魏雨晴,金佳佳,等. 肺泡巨噬细胞 TRIM21 表达水平对重症肺炎合并 ARDS 患者病情严重程度和预后的评估价值[J]. *解放军医学杂志*,2025,50(7):817-823. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.1625.2025.0226.
- [24] Jones SW, Williams FN, Cairns BA, et al. Inhalation injury: pathophysiology, diagnosis, and treatment[J]. *Clin Plast Surg*, 2017,44(3):505-511. DOI: 10.1016/j.cps.2017.02.009.
- [25] Wick KD, Ware LB, Matthay MA. Acute respiratory distress syndrome[J]. *BMJ*, 2024, 387: e076612. DOI: 10.1136/bmj-2023-076612.
- [26] 许呢妹,张爽,刘志锋. 急性呼吸窘迫综合征的分型及个体化治疗研究进展[J]. *解放军医学杂志*,2023,48(5):615-620. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2023.05.0615.
- [27] 李待兮,张孝斌,朱子锐,等. 急性呼吸窘迫综合征的亚型与精准治疗[J]. *中华结核和呼吸杂志*,2024,47(6):560-566. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20231126-00341.
- [28] Tanita MT, Capeletti MM, Moreira TA, et al. Risk factors for acute respiratory distress syndrome in severe burns: prospective cohort study[J]. *Int J Burns Trauma*, 2020,10(1): 1-14.
- [29] Wei T, Peng S, Li X, et al. Critical evaluation of established risk prediction models for acute respiratory distress syndrome in adult patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Evid Based Med*, 2023, 16(4): 465-476. DOI: 10.1111/jebm.12565.
- [30] ŻwierzeŃ W, Piorun K, Skórka-Majewicz M, et al. Burns: classification, pathophysiology, and treatment: a review[J]. *Int J Mol Sci*, 2023,24(4):3749. DOI: 10.3390/ijms24043749.
- [31] 刘双庆,祝筱梅,姚咏明. 严重烧创伤脓毒症免疫功能障碍的诊疗策略[J]. *中华创伤杂志*,2025,41(5):433-439. DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20250407-00197.
- [32] Burgess M, Valdera F, Varon D, et al. The immune and regenerative response to burn injury[J]. *Cells*, 2022,11(19): 3073. DOI:10.3390/cells11193073.
- [33] Sierawska O, Małkowska P, Taskin C, et al. Innate immune system response to burn damage-focus on cytokine alteration[J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(2): 716. DOI: 10.3390/ijms23020716.
- [34] Yoon J, Kym D, Cho YS, et al. Longitudinal analysis of ARDS variability and biomarker predictive power in burn patients [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 26376. DOI: 10.1038/s41598-024-77188-x.
- [35] Meyer NJ, Gattinoni L, Calfee CS. Acute respiratory distress syndrome[J]. *Lancet*, 2021, 398(10300): 622-637. DOI: 10.1016/S0140-6736(21)00439-6.
- [36] Toy P, Looney MR, Popovsky M, et al. Transfusion-related acute lung injury: 36 years of progress (1985-2021)[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2022, 19(5): 705-712. DOI: 10.1513/AnnalsATS.202108-963CME.
- [37] 罗延年,席振创,王锐,等. 乳酸/白蛋白比值联合 NLR 构建的列线图对急性呼吸窘迫综合征患者早期预后的预测价值[J]. *解放军医学杂志*,2023,48(10):1194-1200. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2364.2023.0718.
- [38] 袁雪燕,刘玲,邱海波. 2023 急性呼吸窘迫综合征全球新标准:进步与局限[J]. *中华医学杂志*,2024,104(15):1216-1220. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20231016-00770.
- [39] ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition [J]. *JAMA*, 2012, 307(23): 2526-2533. DOI: 10.1001/jama.2012.5669.
- [40] 冯云爱,李海潮. 急性呼吸窘迫综合征的定义演变、争议及本质探讨[J]. *中华结核和呼吸杂志*,2024,47(1):87-90. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20230713-00005.

· Burns & Trauma 好文推荐 ·

空气-液体界面培养促进皮肤类器官毛囊发育

引用格式: Sun J, Ahmed I, Brown J, et al. The empowering influence of air-liquid interface culture on skin organoid hair follicle development[J/OL]. *Burns Trauma*, 2025, 13: tkae070[2026-02-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39822647/>. DOI: 10.1093/burnst/tkae070.

啮齿类动物模型虽被广泛用于皮肤发育研究,但其皮肤附属器与色素缺失,组成与人类存在根本差异,难以全面模拟人类皮肤稳态与病理。最新研究已成功借助人诱导多能干细胞(hiPSC),于悬浮球形体系中制备含毛囊的皮肤类器官(SKO),实现分层表皮与真皮的共组装。然而,该SKO仍然存在毛囊数量有限、形态欠佳的问题。因此,澳大利亚昆士兰大学 Abbas Shafiee 教授团队在 *Burns & Trauma* 杂志上发表了利用空气-液体界面模型优化 hiPSC 来源 SKO 生成的研究。该研究采用 2 种方式形成 SKO: 在 Transwell 膜上通过空气-液体界面诱导构建 SKO(记为 T-SKO); 利用传统低黏附板悬浮培养构建 SKO(记为 F-SKO)。该研究显示 2 种条件下均可获得包含表皮、真皮及附属器的成熟 SKO。然而, F-SKO 中的毛囊尺寸更小、长度更短; 而 T-SKO 中的毛囊数量显著增加。该研究证实,用 Transwell 膜培养可显著调节 SKO 中的毛囊形态发生,为优化皮肤模型工程提供了新策略,有望推动皮肤科学与皮肤病研究发展。

沈芙蓉, 编译自 *Burns Trauma*, 2025, 13: tkae070; 苏佳灿, 审校