

# 重症监护病房患者压力性损伤严重程度 预测模型的构建及验证

柯霞<sup>1,2</sup> 钟月梅<sup>2</sup> 李丹<sup>3</sup> 左曼<sup>4</sup>

<sup>1</sup>河源市人民医院(广东省人民医院河源医院)重症监护室,广东河源 517000; <sup>2</sup>南方医科大学附属广东省人民医院(广东省医学科学院)胃肠外科,广东广州 510080; <sup>3</sup>河源市人民医院(广东省人民医院河源医院)肝胆胰甲状腺外科, <sup>4</sup>急诊重症监护室,广东河源 517000

通信作者:左曼, Email: 714027954@qq.com

**【摘要】** 目的 分析影响重症监护病房(ICU)患者压力性损伤(PI)严重程度的独立危险因素,并构建及验证预测不可逆性PI风险的列线图模型。方法 采用回顾性研究设计。纳入2019至2023年河源市人民医院(广东省人民医院河源医院)ICU收治的143例PI患者作为建模集,选取南方医科大学附属广东省人民医院(广东省医学科学院)73例患者作为外部验证集。依据个体预后或诊断的美国国家压力性损伤咨询小组(NPIAP)指南,将1期和2期PI定义为可逆性PI,3期及以上定义为不可逆性PI。收集患者人口学特征、疾病状况和临床指标,通过单因素和多因素Logistic回归分析筛选出影响ICU患者PI发展为不可逆性PI的独立预测因子,据此构建列线图预测模型;采用受试者工作特征曲线(ROC)、校准曲线和决策曲线分析(DCA)评估模型的区分度、拟合度和临床实用性;通过Bootstrap重抽样进行内部验证及外部数据进行外部验证。结果 多因素Logistic回归分析显示,ICU住院时间[优势比(OR)=1.096, P=0.002]、使用呼吸机(OR=3.635, P=0.046)、有尿失禁(OR=32.688, P<0.001)和有糖尿病史(OR=3.746, P=0.011)是独立危险因素。基于上述因子构建的列线图模型在建模集中表现优异,ROC曲线下面积(AUC)为0.935[95%可信区间(95%CI)为0.892~0.978],敏感度为87.4%,特异度为87.3%,且校准度和临床净收益良好,内部验证AUC为0.833。外部验证结果显示,模型的AUC为0.880(95%CI为0.875~0.974),敏感度为80.8%,特异度为81.6%,证实了模型具有良好的泛化能力。结论 ICU住院时间、使用呼吸机、有尿失禁和有糖尿病史是预测ICU患者PI严重程度的独立危险因素。本列线图模型简单直观、预测性能良好,有助于临床医护人员早期实施分层管理和针对性干预,从而改善患者预后。

**【关键词】** 重症监护病房; 压力性损伤; 严重程度; 预测模型

**基金项目:**广东省高水平医院建设项目(YNKT202208);广东省医学科研基金(A2022043)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2026.02.013

## Construction and validation for the pressure injury severity prediction model in intensive care unit patients

Ke Xia<sup>1,2</sup>, Zhong Yuemei<sup>2</sup>, Li Dan<sup>3</sup>, Zuo Man<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Intensive Care Unit, Heyuan People's Hospital (Guangdong Provincial People's Hospital Heyuan Hospital), Heyuan 517000, Guangdong, China; <sup>2</sup>Department of Gastrointestinal Surgery, Guangdong Provincial People's Hospital Affiliated to Southern Medical University (Guangdong Academy of Medical Sciences), Guangzhou 510080, Guangdong, China; <sup>3</sup>Department of Hepatobiliary, Pancreatic and Thyroid Surgery; <sup>4</sup>Department of Emergency Intensive Care Unit, Heyuan People's Hospital (Guangdong Provincial People's Hospital Heyuan Hospital), Heyuan 517000, Guangdong, China  
Corresponding author: Zuo Man, Email: 714027954@qq.com

**【Abstract】 Objective** To analyze the independent risk factors influencing the severity of pressure injury (PI) in patients in the department of intensive care unit (ICU), and to construct and validate a nomogram model for predicting the risk of irreversible PI. **Methods** A retrospective study design was adopted. A total of 143 ICU patients with PI admitted to Heyuan People's Hospital (Guangdong Provincial People's Hospital Heyuan Hospital) from 2019 to 2023 were included as the modeling set, and 73 patients from Guangdong Provincial People's Hospital Affiliated to Southern Medical University (Guangdong Academy of Medical Sciences) were selected as the external validation set. According to the National Pressure Injury Advisory Panel (NPIAP) guidelines, stage 1 and stage 2 PI were defined as reversible PI, while stage 3 and above were defined as irreversible PI. Demographic characteristics, disease status, and clinical indicators were collected. Independent predictors that affect the development of ICU patients' PI into irreversible PI were screened by univariate and multivariate Logistic regression analyses, based on which a nomogram prediction model was constructed. The discrimination, goodness-of-fit, and clinical utility of the model were evaluated by receiver operator characteristic curve (ROC curve), calibration curve, and decision curve analysis (DCA). Internal validation was performed via Bootstrap resampling, and external validation was conducted using external data. **Results** Multivariate Logistic regression analysis showed that length of ICU stay [odds ratio (OR) = 1.096, P = 0.002], mechanical ventilation use (OR = 3.635, P = 0.046), urinary incontinence (OR = 32.688, P < 0.001), and have a history diabetes mellitus (OR = 3.746, P = 0.011) were independent risk factors for the progression of PI to irreversible injury in ICU patients. The nomogram model constructed based on the above factors performed excellently in the modeling set, with area under the curve (AUC) of 0.935 [95% confidence interval (95%CI) was 0.892-0.978], sensitivity of 87.4%, and specificity of 87.3%, showing good calibration and clinical net benefit, the internal validation AUC was 0.833. External validation results showed an AUC of 0.880 (95%CI was 0.875-0.974), sensitivity of 80.8%, and specificity of 81.6%, confirming the good generalization ability of the model. **Conclusions** Length of ICU stay, mechanical ventilator use, urinary incontinence,

and have a history diabetes mellitus are independent risk factors in predicting the severity of PI in ICU patients. The nomogram model is simple, intuitive, and has good predictive performance. It can help clinical staff implement stratified management and targeted interventions early, thereby improving patient prognosis.

**【Key words】** Intensive care unit; Pressure injury; Severity; Prediction model

**Fund program:** Guangdong Province High-Level Hospital Construction Project (YNKT202208); Guangdong Provincial Medical Research Fund (A2022043)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2026.02.013

压力性损伤 (pressure injury, PI) 目前已成为全球范围内重要的健康话题,严重威胁着患者的生活质量和生命安全<sup>[1]</sup>。统计显示,医院获得性 PI 发生率为 8.4%,在医疗环境中 PI 的发生给个体和医疗保健系统均带来沉重的负担,不仅影响患者生活质量、增加疼痛和感染风险及住院频率,延长住院时间,使恢复延迟,甚至增加患者病死率<sup>[2]</sup>。一项流行病学研究调查了 1 117 个重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 的 13 254 例患者,其中 3 997 例在 ICU 发生 PI,总发生率为 30.16%<sup>[3]</sup>。由于人口老龄化和慢性疾病负担的不断加重,未来 PI 的发病率及其相关的不良健康影响和经济后果可能会进一步上升,因此识别影响 PI 发生发展的因素,有效控制和预防 PI 是医院管理者应关注的重点。

既往研究显示,PI 的影响因素主要包括 6 个方面:年龄 (特别是年龄较大者更易受影响);性别;疾病 (糖尿病、肾衰竭、心血管疾病、外周血管疾病、肺炎或流感、低血压、感染性休克以及中度至重度营养不良、意识障碍、感染等);生理状态与症状 [如水肿、低布雷登量表 (Braden) 评分、低血红蛋白及白蛋白水平、低血细胞比容、胃肠道出血和蜂窝织炎等];医疗操作与治疗 (包括手术时间、ICU 治疗时间、使用血管加压剂及血管收缩剂、依赖呼吸支持装置、卧床、留置胃管、治疗低蛋白血症、置入鼻饲管);住院与评分情况 [住院时间较长、高急性生理学及慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)、较高的治疗干预评分系统 (therapeutic intervention scoring system, TISS) 评分以及使用较多医疗器械等]<sup>[4-10]</sup>。美国国家压力性损伤咨询小组 (National Pressure Injury Advisory Panel, NPIAP) 2019 年制定的指南中指出,对于 3 期及以上的 PI,由于其组织损伤程度严重,常需借助负压伤口疗法或手术切开引流等手段以促进伤口愈合进程<sup>[7]</sup>。然而,即便采取这些积极的治疗措施,患者的伤口往往难以恢复至皮肤原有的健康状态。相比之下,1 期与 2 期 PI 的处理方式相对直接且保守,对患者造成的生理负担较小,在及时且有效的干预下,1 期和 2 期 PI 的皮肤状况具备完全

复原的潜力。鉴于此,本研究致力于根据 PI 的严重程度对患者进行分类管理,分为可逆性 PI 组 (涵盖 1 期与 2 期 PI) 和不可逆 PI 组 (包括其他类型 PI),设计并开发了一种直观易懂的列线图工具,旨在辅助护士准确预测 PI 的发生风险,进一步优化临床护理决策,减少不可逆性 PI 的发生,进而改善患者预后。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象:** 纳入 2019 年至 2023 年河源市人民医院 (广东省人民医院河源医院) ICU 收治的 143 例 PI 患者作为建模集,选取南方医科大学附属广东省人民医院 (广东省医学科学院) 73 例患者作为外部验证集。

**1.1.1 纳入标准:** ① 年龄 18 岁及以上; ② 入住 ICU 时间  $\geq 24$  h; ③ 入住 ICU 时出现的 PI,符合 2019 年美国 NPIAP<sup>[11]</sup> 对 PI 的定义和分期标准。

**1.1.2 排除标准:** ① 患有系统性红斑狼疮、银屑病等皮肤病; ② 有烧伤或其他皮肤损伤。

**1.1.3 伦理学:** 本研究设计符合预测模型个体预后或诊断的多变量预测模型透明报告 (transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis, TRIPOD) 声明<sup>[8]</sup>,并得到医院伦理委员会的批准 (审批号: YXLL-2021K52)。

**1.2 研究分组:** 根据 PI 是否可逆,将患者分为可逆性 PI 组和不可逆性 PI 组。

**1.3 结局变量:** 依据 NPIAP 的标准<sup>[11]</sup> 按严重程度将 PI 分为 1、2、3、4 和不可分期 PI。在本研究中,将 1 期与 2 期定义为可逆性 PI,3 期及以上定义为不可逆 PI。

**1.4 预测变量:** 参照诊治指南、专家共识、PI 患者常见临床症状与指标、临床研究,同时结合目前常用评估系统条目指标,选取可能与 PI 严重程度相关影响因素条目,剔除无法收集的内容,最终确定本研究收集的 PI 严重程度影响因素为 3 个连续变量 (年龄、ICU 住院时间、Braden 评分) 和 9 个分类变量 (性别、使用呼吸机、手术史、自主翻身能力、尿失禁、大便失禁、糖尿病、肾脏疾病以及瘫痪情况),12 个收集的变量及赋值见表 1。

**表 1 ICU 患者 PI 严重程度预测变量及赋值**

因素	赋值方式	因素	赋值方式
ICU 住院时间	原值代入	是否可以自主翻身	是=1,否=0
年龄	原值代入	是否有尿失禁	是=1,否=0
Braden 评分	原值代入	是否有大便失禁	是=1,否=0
是否男性	是=1,否=0	是否伴有糖尿病史	是=1,否=0
是否使用呼吸机	是=1,否=0	是否瘫痪	是=1,否=0
是否手术	是=1,否=0	是否伴随肾脏方面疾病	是=1,否=0

**1.5 样本量计算:** 根据统计原则,设计的样本量按照自变量的 5~10 倍计算,本研究样本量拟定为自变量的 10 倍,自变量为 12,最终计算建模集所需样本量至少为 120。

**1.6 资料收集:** 患者的人口统计学数据和一般临床数据通过医院信息系统收集,Braden 评分为 ICU 住院期间患者的最低。由研究者和 2 名硕士学历人员完成资料收集、数据录入并复核。

**1.7 统计学方法:** 使用 Zstats 和 R version 4.4.0 统计软件分析数据。本研究选取建模集数据集进行 PI 患者严重程度的预测因素分析。基于单因素和多因素 Logistic 回归分析筛选的预测变量构建 ICU 患者 PI 严重程度预测模型,并绘制列线图进行可视化。采用受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)、校准曲线和决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)分别对模型的区分能力、拟合度和临床实用性进行评价。内部验证和外部验证分别采用 Bootstrap 重抽样 1 000 次和空间验证。以中位数(四分位数)[ $M(Q_L, Q_U)$ ]表示数值变量,采用秩和检验;以[例(百分比)]表示计

数变量,采用  $\chi^2$  检验。双侧检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 患者基线特征(表 2):** 建模集纳入 143 例患者,男性 92 例、女性 51 例,中位年龄为 78.00(70.00, 86.00)岁。其中 102 例发生可逆性 PI(71.33%)。

**2.2 ICU 患者 PI 严重程度预测模型的构建**

**2.2.1 建模集患者基线特征及单因素分析结果:** 单因素分析结果表明,可逆性 PI 组和不可逆性 PI 组在 ICU 住院时间、是否使用呼吸机、是否有尿失禁、是否有大便失禁、是否伴有糖尿病史、是否瘫痪方面差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。

**2.2.2 建模集 ICU 患者 PI 严重程度风险因素的多因素 Logistic 回归分析(表 3):** 将单因素分析中有统计学意义的变量进行二元 Logistic 回归分析,结果显示,ICU 住院时间、使用呼吸机、有尿失禁、有糖尿病史是患者 PI 严重程度的独立预测因子(均  $P < 0.05$ )。对上述指标进行共线性诊断,未发现多重共线性问题。

**表 3 建模集 143 例 ICU 患者 PI 严重程度风险因素的多因素 Logistic 分析结果**

影响因素	$\beta$ 值	$s_e$	Z 值	P 值	OR(95%CI)
常量	-3.691	0.603	-6.124	<0.001	0.025(0.008 ~ 0.081)
ICU 住院时间	0.091	0.030	3.078	0.002	1.096(1.034 ~ 1.161)
瘫痪	1.059	0.574	1.844	0.065	2.885(0.936 ~ 8.894)
有糖尿病史	1.321	0.522	2.529	0.011	3.746(1.346 ~ 10.428)
有尿失禁	3.487	0.896	3.893	<0.001	32.688(5.649 ~ 189.143)
使用呼吸机	1.291	0.646	1.999	0.046	3.635(1.026 ~ 12.887)
大便失禁	1.961	1.270	1.544	0.123	7.105(0.589 ~ 85.639)

**表 2 建模集 143 例 ICU 患者的基线特征**

变量	全体 (143 例)	可逆性 PI 组 (102 例)	不可逆性 PI 组 (41 例)	$\chi^2/Z$ 值	P 值
性别[例(%)]				1.025	0.311
男性	92(64.34)	63(61.76)	29(70.73)		
女性	51(35.66)	39(38.24)	12(29.27)		
年龄[岁, $M(Q_L, Q_U)$ ]	78.0 (70.0, 86.0)	78.0 (71.0, 85.0)	82.0 (68.0, 89.0)	-0.576	0.564
Braden 评分[分, $M(Q_L, Q_U)$ ]	10.0 (10.0, 13.0)	10.0 (10.0, 12.0)	11.0 (10.0, 14.0)	-0.200	0.841
是否使用呼吸机[例(%)]				12.408	<0.001
否	119(83.22)	92(90.20)	27(65.85)		
是	24(16.78)	10( 9.80)	14(34.15)		
是否手术[例(%)]				0.461	0.497
否	106(74.13)	74(72.55)	32(78.05)		
是	37(25.87)	28(27.45)	9(21.95)		
是否可以自主翻身[例(%)]				0.751	0.386
否	46(32.17)	35(34.31)	11(26.83)		
是	97(67.83)	67(65.69)	30(73.17)		
是否有尿失禁[例(%)]				24.484	<0.001
否	128(89.51)	100(98.04)	28(68.29)		
是	15(10.49)	2( 1.96)	13(31.71)		
是否有大便失禁[例(%)]				8.908	0.003
否	134(93.71)	100(98.02)	34(82.93)		
是	9( 6.29)	2( 1.96)	7(17.07)		
是否伴有糖尿病史[例(%)]				15.210	<0.001
否	100(69.93)	81(79.41)	19(46.34)		
是	43(30.07)	21(20.59)	22(53.66)		
是否伴随肾脏方面疾病[例(%)]				0.335	0.563
否	89(62.24)	65(63.72)	24(58.54)		
是	54(37.76)	37(36.28)	17(41.46)		
是否瘫痪[例(%)]				7.523	0.006
否	112(78.32)	86(84.31)	26(63.42)		
是	31(21.68)	16(15.69)	15(36.58)		
ICU 住院时间	11.0	9.0	15.0	-3.014	0.003
[d, $M(Q_L, Q_U)$ ]	(7.0, 15.5)	(6.0, 14.0)	(8.0, 23.0)		

2.3 ICU 患者 PI 严重程度列线图构建(图 1): 基于 Logistic 回归分析结果, 纳入有意义的 6 个风险因素构建的风险列线图表现良好。

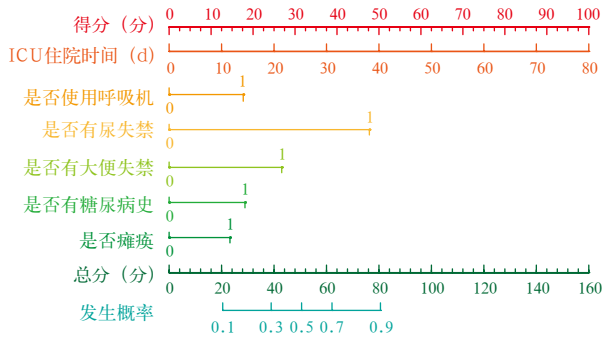


图 1 影响 143 例 ICU 患者 PI 严重程度风险列线图

2.4 ICU 患者 PI 严重程度风险预测模型的评价(图 2~4): 为了评估本研究建立的 ICU 患者 PI 严重程度预测模型的性能, 基于列线图预测模型绘制了 ROC 曲线、校准曲线、DCA 曲线。结果显示, 本研究所构建模型的 ROC 曲线下面积(area under the curve, AUC)为 0.935, 95% 可信区间(95% confidence interval, 95%CI)为 0.892~0.978, 敏感度为 87.4%, 特异度为 87.3%。Hosmer-Lemeshow 检验结果显示,  $\chi^2=6.146, P=0.631$ , 提示模型拟合度较好。DCA 曲线结果显示, 使用该模型可以获得净收益。

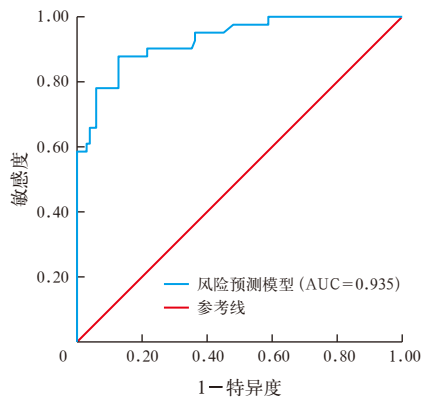


图 2 143 例 ICU 患者 PI 严重程度风险因素列线图 ROC 曲线

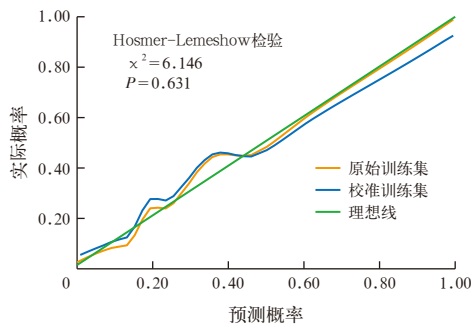


图 3 143 例 ICU 患者 PI 严重程度风险因素列线图校准曲线

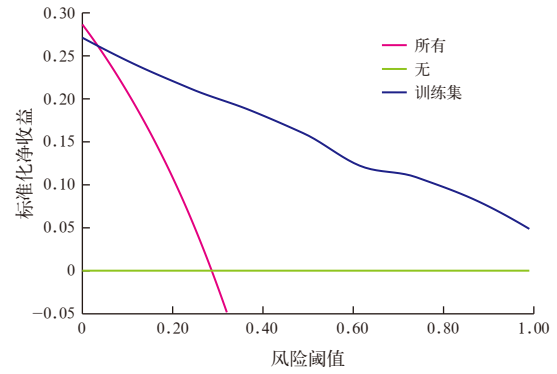


图 4 143 例 ICU 患者 PI 严重程度风险因素列线图 DCA 曲线

2.5 列线图的验证与评价

2.5.1 ICU 患者 PI 严重程度风险因素列线图内部验证与评价: 通过重抽样法( $B=1\ 000$  次)对模型进行内部验证, 绘制 ROC 曲线、校准曲线以及 DCA 曲线。结果显示, AUC 为 0.833 (95%CI 为 0.549~0.930)。

2.5.2 ICU 患者 PI 严重程度风险因素列线图外部验证与评价(图 5~7; 表 4): 选择南方医科大学附属广东省人民医院 ICU 的 73 例 PI 患者进行外部验证。首先对建模数据集和外部验证集的一般资料均衡性进行了比较, 结果显示, 两组一般资料差异无统计学意义, 均衡可比。进而基于外部验证集绘制了 ROC 曲线、校准曲线、DCA 曲线。结果显示, 本研究所构建模型的 AUC 为 0.880 (95%CI 为 0.875~0.974), 敏感度为 80.8%, 特异度为 81.6%。Hosmer-Lemeshow 检验结果显示,  $\chi^2=9.311, P=0.317$ , 提示模型拟合度较好。DCA 曲线结果显示, 使用该模型可以获得净收益。

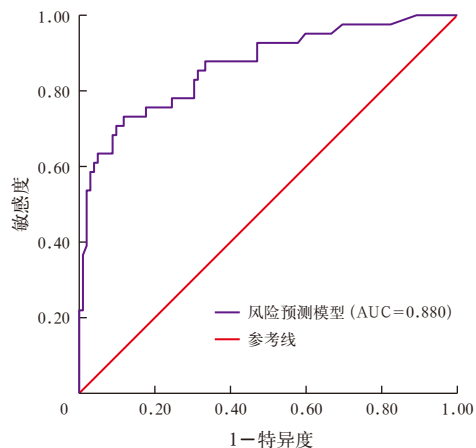


图 5 73 例外部验证集 ICU 患者 PI 严重程度预测模型 ROC 曲线

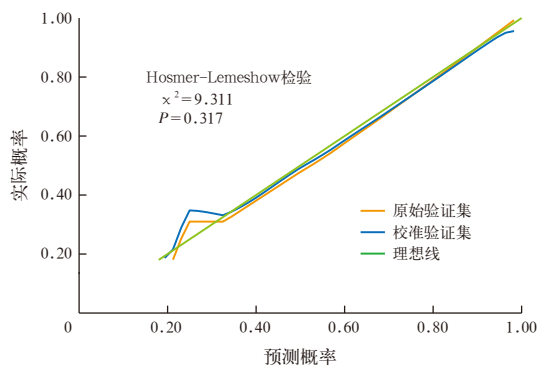


图 6 73 例外部验证集 ICU 患者 PI 严重程度预测模型校准曲线

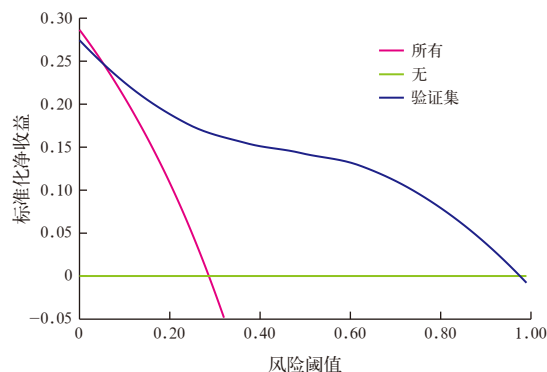


图 7 73 例外部验证集 ICU 患者 PI 严重程度预测模型 DCA 曲线

表 4 建模数据集 143 例 ICU 患者与外部验证集 73 例 ICU 患者一般资料比较

变量	全体 (216 例)	外部验证集 (73 例)	建模数据集 (143 例)	$\chi^2/Z$ 值	P 值
性别 [例 (%)]				0.551	0.458
男性	134 (62.33)	43 (58.90)	91 (64.08)		
女性	81 (37.67)	30 (41.10)	51 (35.92)		
年龄 [岁,	78.0	79.0	78.0	-0.043	0.966
$M(Q_L, Q_U)$	(71.8, 85.2)	(75.0, 85.0)	(70.0, 86.0)		
ICU 住院时间 [d,	11.0	12.0	11.0	-1.073	0.283
$M(Q_L, Q_U)$	(7.0, 18.0)	(7.0, 19.0)	(7.0, 15.5)		
Braden 评分 [分,	10.0	10.0	10.0	-0.978	0.328
$M(Q_L, Q_U)$	(8.0, 12.0)	(6.0, 12.0)	(10.0, 13.0)		
分组 [例 (%)]				0.406	0.524
可逆性 PI	151 (69.91)	49 (67.12)	102 (71.33)		
不可逆性 PI	65 (30.09)	24 (32.88)	41 (28.67)		
是否使用呼吸机 [例 (%)]				1.330	0.249
否	175 (81.02)	56 (76.71)	119 (83.22)		
是	41 (18.98)	17 (23.29)	24 (16.78)		
是否手术 [例 (%)]				0.409	0.523
否	163 (75.46)	57 (78.08)	106 (74.13)		
是	53 (24.54)	16 (21.92)	37 (25.87)		
是否可以自主翻身 [例 (%)]				0.866	0.352
否	65 (30.09)	19 (26.03)	46 (32.17)		
是	151 (69.91)	54 (73.97)	97 (67.83)		
是否有尿失禁 [例 (%)]				0.166	0.684
否	192 (88.89)	64 (87.67)	128 (89.51)		
是	24 (11.11)	9 (12.33)	15 (10.49)		
是否有大便失禁 [例 (%)]				0.000	1.000
否	202 (93.52)	68 (93.15)	134 (93.71)		
是	14 (6.48)	5 (6.85)	9 (6.29)		
是否伴有糖尿病史 [例 (%)]				0.167	0.683
否	153 (70.83)	53 (72.60)	100 (69.93)		
是	63 (29.17)	20 (27.40)	43 (30.07)		
是否伴随肾脏方面疾病 [例 (%)]				0.007	0.932
否	134 (62.04)	45 (61.64)	89 (62.24)		
是	82 (37.96)	28 (38.36)	54 (37.76)		
是否瘫痪 [例 (%)]				0.832	0.362
否	173 (80.09)	61 (83.56)	112 (78.32)		
是	43 (19.91)	12 (16.44)	31 (21.68)		

### 3 讨论

本研究确定了影响 ICU 患者 PI 严重程度的 4 个重要因素：使用呼吸机、有尿失禁、有糖尿病史及 ICU 住院时间。这与现有文献<sup>[3]</sup>强调机械通气和长时间 ICU 住院是 PI 发展的主要风险因素一致，可能原因是使用呼吸机的患者被迫保持仰卧位 [平均压力达 60~70 mmHg (1 mmHg ≈ 0.133 kPa)]，局部组织受压时间长，呼吸机依赖患者常合并低氧血症或血流动力学不稳定，进一步削弱了组织的耐受性。同样，尿液导致的皮肤潮湿可破坏表皮屏障功能，使角质层软化并增加摩擦系数，从而加剧压力与剪切力的损伤效应<sup>[9]</sup>。尽管大便失禁未被识别为独立危险因素，但可能与肠道管理措施 (如使用导泻药物) 降低了其发生率有关<sup>[2]</sup>。尿失禁和糖尿病患者血液循环受损会导致皮肤破损，增加 PI 形成的危险<sup>[4,9]</sup>。糖尿病患者的微血管病变和糖基化终末产物累积可

损害组织氧供与修复能力，导致皮肤弹性下降和抗压阈值降低<sup>[10]</sup>。此外，高血糖环境易继发感染，进一步加重局部组织损伤<sup>[11]</sup>。

然而，与本研究结果对比，其他研究更加强调独立翻身能力、大便失禁、肾脏疾病和年龄等。尽管这些因素在大多数患者群体中经常被发现，但在 ICU 环境中其影响可能减弱，这是因为 ICU 的医疗干预措施和监测更加严格和仔细。如大便失禁与皮肤损伤有关，但严格的护理管理可能减轻其在 PI 发展中的作用<sup>[11-13]</sup>。同样，肾脏疾病通常与液体滞留和电解质失衡相关，这些都可能对皮肤健康产生负面影响<sup>[14]</sup>，但其效应可能与其他变量 (如低蛋白血症、液体过负荷) 存在多重共线性，在多元分析中被其他因素取代。本研究中年龄和可以自主翻身能力不是影响因素，这可能是由于 ICU 人群的独有特征。虽然高龄通常与 PI 风险增加有关，但疾病危重

和 ICU 治疗可能会掩盖其影响<sup>[15]</sup>。同样, ICU 患者普遍存在活动受限,即使保留部分自主翻身能力,仍依赖护理人员定时翻身,因此瘫痪及个体差异的影响被标准化护理措施弱化<sup>[16]</sup>。瘫痪患者运动功能丧失,使压力无法通过自然活动缓解而形成持续性缺血,感觉障碍也无法感知疼痛或不适,延误干预时机<sup>[17]</sup>。长期停留 ICU 会增加这些风险暴露,从而加剧 PI 的严重程度<sup>[15]</sup>。ICU 中使用镇静镇痛药物可能掩盖患者的不适反应,间接延长受压时间<sup>[18]</sup>。

本研究列线图结合了使用呼吸机、尿失禁、糖尿病和 ICU 住院时间作为 PI 严重程度的预测变量,其结果显示出显著的预测能力,原始模型的 AUC 为 0.935,外部验证集模型的 AUC 为 0.880,优于其他学者开发的基于机器学习模型用于预测 ICU 患者 PI 时的 AUC(0.850)<sup>[14]</sup>。表明基于临床数据的预测模型可以有效识别 ICU 的高风险患者。

本模型的优势在于使用了在 ICU 中容易获得的简单临床变量,将机械通气、长时间住 ICU、有尿失禁、有糖尿病史这些 PI 发展的关键风险因素<sup>[17, 19]</sup>整合成一个性能良好的实用工具,既可用于内部验证,也可用于外部验证,并且具有很高的 AUC,支持其在临床领域广泛应用。另外,其他的机器学习方法预测模型<sup>[14]</sup>通常结合了更多样化的变量,如血流动力学参数或实验室结果,这些数据在护理时不易实时获取。尽管这类模型表现出较高的预测性能,但其复杂性可能限制了它们在临床中的即时应用。

本研究结果强调了使用呼吸机、有尿失禁、有糖尿病史、ICU 住院时间在预测 PI 严重程度方面的重要性。其他因素如年龄和肾脏疾病与结果缺乏关联,这表明 ICU 治疗及其管理对 PI 发展的影响可能比基础健康因素更为直接。这些结果对指导 ICU 采取针对性预防策略以减轻 PI 严重程度有益。

本研究的局限性:回顾性设计的潜在混杂因素未能得到有效控制,影响预测模型的可靠性,特别是记录不完整或缺少关键数据情况下;虽然本模型包括 4 个关键的临床变量,但还有其他因素可能影响压力损伤的发展,如营养状况或某些药物的使用<sup>[20]</sup>。未来的研究应着眼于前瞻性研究,纳入更广泛的临床和生理变量,以提高 PI 风险预测的准确性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] Wassel CL, Delhougne G, Gayle JA, et al. Risk of readmissions, mortality, and hospital-acquired conditions across hospital-

acquired pressure injury (HAPI) stages in a US National Hospital Discharge database [J]. *Int Wound J*, 2020, 17 (6): 1924–1934. DOI: 10.1111/iwj.13482.

[2] Liu HM, Zhang YM, Jiang H, et al. Outcomes of hospital-acquired pressure injuries and present-on-admission pressure injuries: a propensity score matching analysis [J]. *J Tissue Viability*, 2023, 32 (4): 590–595. DOI: 10.1016/j.jtv.2023.08.001.

[3] Labeau SO, Afonso E, Benbenishty J, et al. Prevalence, associated factors and outcomes of pressure injuries in adult intensive care unit patients: the DecubICUs study [J]. *Intensive Care Med*, 2021, 47 (2): 160–169. DOI: 10.1007/s00134-020-06234-9.

[4] Karacabay K, Savci A, Dalkılıç M, et al. Determining the incidence and risk factors of medical device-related pressure injury in intensive care patients [J]. *J Tissue Viability*, 2023, 32 (4): 596–600. DOI: 10.1016/j.jtv.2023.08.002.

[5] Kim P, Aribindi VK, Shui AM, et al. Risk factors for hospital-acquired pressure injury in adult critical care patients [J]. *Am J Crit Care*, 2022, 31 (1): 42–50. DOI: 10.4037/ajcc2022657.

[6] Alderden J, Rondinelli J, Pepper G, et al. Risk factors for pressure injuries among critical care patients: a systematic review [J]. *Int J Nurs Stud*, 2017, 71: 97–114. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2017.03.012.

[7] Kottner J, Cuddigan J, Carville K, et al. Prevention and treatment of pressure ulcers/injuries: The protocol for the second update of the international Clinical Practice Guideline 2019 [J]. *J Tissue Viability*, 2019, 28 (2): 51–58. DOI: 10.1016/j.jtv.2019.01.001.

[8] Collins GS, Reitsma JB, Altman DG, et al. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD statement [J]. *BMJ*, 2015, 350: g7594. DOI: 10.1136/bmj.g7594.

[9] Li ZY, Lin F, Thalib L, et al. Global prevalence and incidence of pressure injuries in hospitalised adult patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Nurs Stud*, 2020, 105: 103546. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2020.103546.

[10] Huang C, Ma YX, Wang CX, et al. Predictive validity of the braden scale for pressure injury risk assessment in adults: a systematic review and meta-analysis [J]. *Nurs Open*, 2021, 8 (5): 2194–2207. DOI: 10.1002/nop.2.792.

[11] Pei JH, Guo XJ, Tao HX, et al. Machine learning-based prediction models for pressure injury: a systematic review and meta-analysis [J]. *Int Wound J*, 2023, 20 (10): 4328–4339. DOI: 10.1111/iwj.14280.

[12] 李静, 岳燕, 涂舒涵, 等. 一种重症患者防压疮护理装置的设计与应用 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2025, 32 (3): 361–363. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.03.020.

[13] Moda Vitoriano Budri A, Moore Z, Patton D, et al. Impaired mobility and pressure ulcer development in older adults: Excess movement and too little movement—two sides of the one coin? [J]. *J Clin Nurs*, 2020, 29 (15–16): 2927–2944. DOI: 10.1111/jocn.15316.

[14] Xu J, Chen DX, Deng XF, et al. Development and validation of a machine learning algorithm-based risk prediction model of pressure injury in the intensive care unit [J]. *Int Wound J*, 2022, 19 (7): 1637–1649. DOI: 10.1111/iwj.13764.

[15] Sankar J, Lalitha AV, Rameshkumar R, et al. Use of honey versus standard care for hospital-acquired pressure injury in critically ill children: a multicenter randomized controlled trial [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2021, 22 (6): e349–e362. DOI: 10.1097/PCC.0000000000002611.

[16] Alshahrani B, Sim J, Middleton R. Nursing interventions for pressure injury prevention among critically ill patients: a systematic review [J]. *J Clin Nurs*, 2021, 30 (15–16): 2151–2168. DOI: 10.1111/jocn.15709.

[17] Latimer S, Chaboyer W, Thalib L, et al. Pressure injury prevalence and predictors among older adults in the first 36 hours of hospitalisation [J]. *J Clin Nurs*, 2019, 28 (21–22): 4119–4127. DOI: 10.1111/jocn.14967.

[18] Rubulotta F, Brett S, Boulanger C, et al. Prevalence of skin pressure injury in critical care patients in the UK: results of a single-day point prevalence evaluation in adult critically ill patients [J]. *BMJ Open*, 2022, 12 (11): e057010. DOI: 10.1136/bmjopen-2021-057010.

[19] 姚秀英, 耿丽, 张理想, 等. ICU 患者压力性损伤预测风险列线图模型的建立 [J]. *护理学报*, 2019, 26 (11): 55–59. DOI: 10.16460/j.issn1008-9969.2019.11.055.

[20] Wang I, Walker RM, Gillespie BM, et al. Risk factors predicting hospital-acquired pressure injury in adult patients: an overview of reviews [J]. *Int J Nurs Stud*, 2024, 150: 104642. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2023.104642.

(收稿日期: 2025-10-31)  
(责任编辑: 邸美仙)