

创伤患者呼吸机相关性肺炎风险预测模型的建立及验证

王知兵 于克静 刘倩倩 李中健 张春霞 韩冬冬

河北省沧州中西医结合医院急诊医学科,河北沧州 061000

通信作者:王知兵, Email: czeyjz110667@163.com

【摘要】 目的 建立创伤患者呼吸机相关性肺炎(VAP)风险预测模型,并评价其效能。方法 采用单中心回顾性研究方法,选取2018年1月1日至2023年1月1日河北省沧州中西医结合医院急诊重症监护病房(EICU)收治的创伤患者为研究对象,根据是否发生VAP将患者分为VAP组和非VAP组。比较两组人口学特征、临床资料、临床评分等自变量之间的差异,为了避免模型的过度拟合,应用LASSO回归将两组间差异有统计学意义的自变量进行降维处理。采用多因素Logistic回归方法筛选影响创伤患者发生VAP的危险因素,并构建风险预测模型;通过受试者工作特征曲线(ROC曲线)及曲线下面积(AUC)评价模型区分度,绘制校准曲线并进行 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评价模型的校准度;采用决策曲线分析(DCA)、临床影响曲线(CIC)分析模型在不同阈值概率下的净获益。结果 共纳入888例创伤患者,其中诊断为VAP 166例(18.7%)。与非VAP组比较,VAP组年龄、年龄校正 Charlson 合并症指数(aCCI)评分、白细胞计数(WBC)、序贯器官衰竭评分(SOFA)、ICU住院时间和存在胸部创伤、颅脑损伤、颈脊髓损伤患者比例均明显增加,血红蛋白(Hb)、格拉斯哥昏迷评分(GCS)、体质量指数(BMI)均明显降低(均 $P<0.05$)。应用LASSO回归共筛选出ICU住院时间、aCCI、WBC和SOFA评分4个变量为创伤患者VAP发生的重要预测因素。多因素Logistic回归分析显示,ICU住院时间[优势比(OR)和95%可信区间(95%CI)为1.094(1.070~1.117)],aCCI[OR(95%CI)为1.135(1.065~1.210)],WBC[OR(95%CI)为1.139(1.104~1.176)],SOFA评分[OR(95%CI)为1.137(1.080~1.197)]均是影响创伤患者发生VAP的独立危险因素(均 $P<0.05$);根据以上影响因素构建VAP发生的预测模型,ROC曲线分析显示:该模型预测创伤患者发生VAP的AUC=0.876,95%CI为0.850~0.903,敏感度为86.14%,特异度为75.17%,表明该模型有较高的鉴别能力。Hosmer-Lemeshow拟合优度检验: $\chi^2=7.7,P=0.2$,Cox & Snell $R^2=0.236$,Nagelkerke $R^2=0.387$,校准曲线非常贴近于对角线,平均绝对误差(MAE)=0.03,表明模型预测结果和实际临床观察结果一致性较高。DCA和CIC曲线显示,在阈概率<70%范围内,使用该模型识别创伤患者VAP高危人群并做出临床决策能在临床中获益。结论 本研究成功建立了创伤患者VAP风险预测模型,该模型有较高的区分度和校准度,能为医疗人员提供有价值的参考依据,以便早期识别创伤患者中高风险的VAP人群,并实施针对性的干预措施。

【关键词】 创伤; 呼吸机相关性肺炎; 风险预测模型

基金项目:河北省中医药管理局中医药类科研计划课题(2021305)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.06.008

Construction and verification of a risk prediction model for ventilator-associated pneumonia in trauma patients

Wang Zhibing, Yu Kejing, Liu Qianqian, Li Zhongjian, Zhang Chunxia, Han Dongdong

Department of Emergency, Hebei Cangzhou Hospital of Integrated Traditional Chinese Medicine and Western Medicine, Cangzhou 061000, Hebei, China

Corresponding author: Wang Zhibing, Email: czeyjz110667@163.com

【Abstract】 **Objective** To construct a risk prediction model for ventilator-associated pneumonia (VAP) in trauma patients and evaluate its efficacy. **Methods** A single-center retrospective study was conducted, trauma patients admitted to the department of emergency intensive care unit (EICU) of Hebei Cangzhou Hospital of Integrated Traditional Chinese Medicine and Western Medicine from January 1, 2018 to January 1, 2023 were selected as the study subjects, and the patients were divided into VAP group and non-VAP group. Differences between the two groups in variables including demographic characteristics, clinical data, and clinical scores. To prevent overfitting, differences between the groups were reduced using LASSO regression. Multifactor Logistic regression was used to identify risk factors for VAP in trauma patients and construct a risk prediction model. The model's discrimination was evaluated using the receiver operator characteristic curve (ROC curve) and area under the curve (AUC). The calibration curve was drawn and Hosmer-Lemeshow test were performed to evaluate the calibration degree of the model. Decision curve analysis (DCA) and clinical impact curve (CIC) were used to analyse the model's net benefit at different probability thresholds. **Results** A total of 888 trauma patients were included, among which 166 cases (18.7%) were diagnosed with VAP. Compared to the non-VAP group, the VAP group showed a significant increase in age, age-adjusted Charlson

comorbidity index (aCCI) scores, white blood cell count (WBC), sequential organ failure assessment (SOFA) scores, length of ICU stay, and the proportion of patients with chest trauma, traumatic brain injury, and spinal cord injury. In contrast, hemoglobin (Hb), Glasgow coma scale (GCS) scores, and body mass index (BMI) were significantly lower in the VAP group (all $P < 0.05$). Using LASSO regression, four variables were identified as important predictors for the occurrence of VAP in trauma patients: length of ICU stay, aCCI, WBC, and SOFA score. Multivariate Logistic regression showed that length of ICU stay [odds ratio (OR) and 95% confidence interval (95%CI) was 1.094 (1.070–1.117)], aCCI [OR (95%CI) was 1.135 (1.065–1.210)], WBC [OR (95%CI) was 1.139 (1.104–1.176)], and SOFA score [OR (95%CI) was 1.137 (1.080–1.197)] were independent risk factors for the occurrence of VAP in trauma patients (all $P < 0.05$). Based on these influencing factors, a predictive model for VAP occurrence was constructed. ROC curve analysis showed that the AUC for predicting VAP occurrence in trauma patients was 0.876, with a 95%CI was 0.850–0.903, a sensitivity of 86.14%, and a specificity of 75.17%, indicating that the model has a high discriminative ability. Hosmer-Lemeshow test: $\chi^2 = 7.7$, $P = 0.2$, Cox & Snell $R^2 = 0.236$, Nagelkerke $R^2 = 0.387$, the calibration curve was very close to the diagonal, and the mean absolute error (MAE) = 0.03, indicating the model's predictions were highly consistent with actual clinical observations. The DCA and CIC curves indicate that within the threshold probability of $< 70\%$, using this model to identify high-risk groups for VAP in trauma patients and making clinical decisions can provide benefits in clinical practice. **Conclusion** The risk prediction model of VAP in trauma patients constructed in this study has high discrimination and calibration, which can provide reference for medical personnel to identify high-risk groups of VAP among trauma patients at an early stage and provide targeted intervention measures.

【Key words】 Trauma; Ventilator-associated pneumonia; Risk prediction model

Fund program: Hebei Province Administration of Traditional Chinese Medicine Science and Research Project (2021305)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.06.008

严重创伤患者通常需要机械通气以保持呼吸道通畅和改善氧合障碍。然而,与其他危重症患者相比,由于全身炎症反应、免疫失衡、黏膜屏障功能损伤、内源性细菌及其毒素移位等因素的影响使得呼吸机相关性肺炎(ventilator-associated pneumonia, VAP)在创伤患者中的发病率较高^[1-2]。VAP是创伤患者常见的医院获得性感染之一,发病率在不同文献中的报告存在的差异,文献报告创伤患者中VAP的发生率为17.2%~43.0%^[2-4]。一旦发生VAP会明显延长患者机械通气时间和重症监护病房(intensive care unit, ICU)住院时间,同时还会带来巨大的经济负担^[5-6]。因此,早期识别创伤患者中VAP发生的高危人群并采取个体化预防措施对于降低VAP的发生率至关重要^[7]。既往有研究表明,创伤患者VAP发生的危险因素包括损伤严重程度评分(injury severity score, ISS)^[8]、颅脑创伤、颈脊髓损伤、胸部创伤、血管活性药物的应用、ICU住院时间延长和输血等^[9-11]。本研究旨在整合影响创伤患者发生VAP的危险因素并建立图形化、可视化的预测模型,以为临床早期识别创伤患者VAP高危人群提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象:本研究为单中心回顾性研究,选择本院2018年1月1日至2023年1月1日急诊ICU住院的患者作为研究对象。

1.1.1 诊断标准:VAP的诊断依据《中国成人医院获得性肺炎与呼吸机相关性肺炎诊断和治疗指南

(2018年版)》^[12]制定:气管插管或气管切开患者接受机械通气48h后发生的肺炎,机械通气撤机、拔管后48h内出现的肺炎,胸部X线或CT显示新出现或进展性的浸润影、实变影或磨玻璃影;再加下列3种临床指标中的2种即可诊断:①体温 $> 38\text{ }^\circ\text{C}$;②脓性气道分泌物;③外周血白细胞计数(white blood cell count, WBC) $> 10 \times 10^9/\text{L}$ 或 $< 4 \times 10^9/\text{L}$ 。需排除急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)、肺栓塞、肺结核、肺水肿、肺不张等其他相关肺部疾病。

1.1.2 纳入标准:①年龄 ≥ 18 岁;②创伤患者;③机械通气 > 48 h。

1.1.3 排除标准:①入院前存在肺部感染;②孕妇或围产期女性;③临床数据缺失过多影响评价。

1.1.4 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并经本院伦理委员会批准(审批号:2021-KY-029),对患者采取的治疗和检测均获得患者或家属知情同意。

1.2 研究分组:将患者按是否发生VAP分为VAP组和非VAP组。

1.3 资料收集:通过医院信息系统(hospital information system, HIS)及护理重症系统收集资料。同一变量的原始数据缺失 $> 10\%$ 不纳入统计,缺失值 $\leq 10\%$ 的变量以多重填补法补充。①人口学特征:性别、年龄、体质量指数(body mass index, BMI)、年龄校正Charlson合并症指数(age-adjusted Charlson comorbidity index, aCCI)^[13];②临床资料:是否存在胸部创伤、是否存在颅脑损伤、是否存在

腹部创伤、是否存在颈脊髓损伤、是否接受手术治疗、是否接受输血治疗、是否使用抑酸剂、是否使用血管活性药物；③ 生命体征：心率、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、呼吸频率、最高体温；④ 实验室检查指标：血红蛋白(hemoglobin, Hb)、血小板计数(platelet count, PLT)、WBC、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、肌酐(creatinine, Cr)、血乳酸(lactic acid, Lac)、动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO₂)、氧合指数(oxygenation index, PaO₂/FiO₂)；⑤ ICU 住院时间；⑥ 临床评分：序贯器官衰竭评分(sequential organ failure assessment, SOFA)^[14]、格拉斯哥昏迷评分(Glasgow coma scale, GCS)^[15]；⑦ 结局指标：是否患有 VAP。

患者性别、年龄、BMI、aCCI、生命体征、实验室检查结果、SOFA 评分、GCS 评分均来自入住 ICU 24 h 内的首次记录,并通过入院诊断确定患者是否存在胸部创伤、颅脑损伤、腹部创伤、颈脊髓损伤。检索治疗过程中是否接受手术治疗、是否接受输血治疗、是否使用血管活性药物、是否使用抑酸剂。

1.4 统计学方法:使用 SPSS 22.0 及 R-4.2.2 统计软件分析数据。采用 Shapiro-Wilk 检验对连续变量进行正态性检验,符合正态分布的连续变量以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间差异比较采用独立样本 *t* 检验;不符合正态分布的连续变量以中位数(四分位数)[$M(Q_L, Q_U)$]表示,组间比较采用独立样本秩和检验;分类变量以频数(百分比)表示,采用 χ^2 检验。考虑到自变量之间存在一定的共线性和相关性,为了避免模型的过度拟合,使用 LASSO 回归将自变量进行降维处理。采用多因素 Logistic 回归分析筛选出导致 VAP 发病的独立危险因素,并应用 R 软件构建列线图。采用 Bootstrap 法(重复抽样 1 000 次)对模型进行内部验证,通过受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)下面积(area under the curve, AUC)评价模型的区分度,校准曲线、Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评价模型校准度;决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)、临床影响曲线(clinical impact curve, CIC)确定模型在不同阈值概率下的净获益。均采用双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本特征(表 1):本研究共纳入 888 例创伤患者,其中诊断为 VAP 166 例(18.7%)。患者中男性 518 例(58.3%),中位年龄为 62.41(51.71, 69.68)岁,

中位 BMI 为 28.64(24.12, 33.90)kg/m²,中位 ICU 住院时间为 7.33(3.90, 13.78)d。VAP 组与非 VAP 组年龄、aCCI、Hb、WBC、SOFA 评分、GCS 评分、BMI、ICU 住院时间、是否存在胸部创伤、是否存在颅脑损伤、是否存在颈脊髓损伤比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。

2.2 LASSO 回归模型的建立:考虑到自变量之间存在一定的共线性和相关性,为了避免模型的过度拟合,因此将自变量进行降维处理,并筛选出与发生 VAP 有关的危险因素,对单因素分析差异有统计学意义的自变量进行 LASSO 回归分析,并进行十折交叉验证,绘制变量收缩系数图(图 1)和模型误差与 $\log(\lambda)$ 关系图(图 2),本研究中,取误差最小时对应的 λ 值在其 1 倍标准差处[λ 取值为 0.028 9, $\log(\lambda)$ 为 -3.513]对应的变量,共筛选出 4 个变量,分别为:ICU 住院时间、aCCI、WBC 和 SOFA 评分。

2.3 多因素 Logistic 回归分析及列线图模型的构建:以是否患有 VAP 为因变量, LASSO 回归模型筛查结果为自变量,进行多因素 Logistic 回归分析,结果显示,ICU 住院时间、aCCI、WBC、SOFA 评分是创伤患者发生 VAP 的独立危险因素(均 $P < 0.05$;表 2)。建立 Logistic 回归方程为 $\ln(p/1-p) = -5.796 + 0.089 \times \text{ICU 住院时间} + 0.127 \times \text{aCCI} + 0.130 \times \text{WBC} + 0.129 \times \text{SOFA 评分}$,以此构建列线图(图 3)。

2.4 模型区分度验证(图 4):ROC 曲线分析显示,预测创伤患者发生 VAP 模型的 AUC=0.876 [95% 可信区间(95% confidence interval, 95%CI)为 0.850 ~ 0.903],当最佳截断值为 0.154 7 时,其敏感度为 86.14%,特异度为 75.17%,约登指数为 0.613,经过 1 000 次有放回 Bootstrap 重抽样的 C 统计量为 0.876(95%CI 为 0.848 ~ 0.905),表明该模型有较高的辨别能力。

2.5 模型校准度验证:Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验显示: $\chi^2 = 7.7, P = 0.2, \text{Cox \& Snell } R^2 = 0.236, \text{Nagelkerke } R^2 = 0.387$ 。运用 Bootstrap 法进行 1 000 次等量有放回重复抽样绘制校准曲线显示,校准曲线非常贴近对角线,平均绝对误差(mean absolute error, MAE)=0.03,表明模型预测结果和实际临床观察结果一致性较高(图 5)。

2.6 模型临床效益验证:当模型的阈概率 < 70% 时,模型的 DCA 高于两极端值,说明在阈概率 < 70% 范围内,使用该模型识别创伤患者 VAP 高危人

表 1 是否发生 VAP 两组创伤患者一般资料比较

项目	全体 (n=888)	非 VAP 组 (n=722)	VAP 组 (n=166)	优势比 (OR)	95%CI	P 值
性别〔例(%)〕						0.239
男性	518(58.33)	414(57.34)	104(62.65)			
女性	370(41.67)	308(42.66)	62(37.35)	0.800	0.560 ~ 1.130	
年龄〔岁, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	62.41(51.71, 69.68)	62.167(52.23, 69.01)	64.97(50.39, 73.04)	1.010	1.000 ~ 1.020	0.015
aCCI 评分〔分, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	5.00(3.00, 7.00)	5.00(3.00, 7.00)	7.00(4.25, 9.00)	1.130	1.070 ~ 1.190	<0.001
Hb〔g/L, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	80.00(67.00, 95.00)	80.00(69.00, 95.00)	76.50(62.25, 92.00)	0.990	0.980 ~ 1.000	0.012
PLT〔 $\times 10^9/L$, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	153.00(108.00, 205.00)	153.00(110.00, 207.00)	151.50(101.50, 195.50)	1.000	1.000 ~ 1.000	0.178
WBC〔 $\times 10^9/L$, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	10.40(7.20, 14.55)	9.60(6.70, 13.10)	15.60(12.02, 20.10)	1.140	1.110 ~ 1.180	<0.001
BUN〔mmol/L, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	7.12(5.25, 10.87)	7.12(5.25, 10.87)	7.50(5.62, 9.75)	0.980	0.950 ~ 1.010	0.948
Cr〔 $\mu\text{mol/L}$, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	97.24(70.72, 141.44)	97.24(70.72, 141.44)	97.24(79.56, 132.60)	0.990	0.990 ~ 1.000	0.662
心率〔次/min, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	88.84(78.73, 100.91)	89.57(79.09, 101.22)	88.35(77.35, 98.21)	0.990	0.980 ~ 1.000	0.182
MAP(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	77.38 \pm 9.74	77.28 \pm 9.81	77.79 \pm 9.43	1.010	0.990 ~ 1.020	0.543
呼吸频率〔次/min, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	19.05(16.91, 21.69)	19.11(16.95, 21.78)	18.86(16.79, 21.34)	0.980	0.940 ~ 1.030	0.497
最高体温(°C, $\bar{x} \pm s$)	37.68 \pm 0.78	37.67 \pm 0.79	37.69 \pm 0.75	1.020	0.830 ~ 1.270	0.837
SOFA 评分〔分, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	5.00(2.00, 8.00)	4.00(2.00, 8.00)	7.00(4.25, 11.00)	1.150	1.100 ~ 1.200	<0.001
GCS 评分〔分, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	11.00(7.00, 14.00)	12.00(7.00, 14.00)	8.00(4.25, 11.00)	0.890	0.850 ~ 0.920	<0.001
Lac〔mmol/L, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	3.00(1.78, 4.70)	2.90(1.70, 4.60)	3.30(1.92, 5.46)	1.050	0.990 ~ 1.120	0.069
PaO ₂ 〔mmHg, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	76.00(59.00, 105.00)	75.00(59.00, 106.00)	79.00(61.25, 100.00)	1.000	0.990 ~ 1.010	0.093
PaO ₂ /FiO ₂ 〔mmHg, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	154.00(92.50, 238.18)	152.50(90.00, 237.50)	168.00(101.00, 250.00)	1.000	1.000 ~ 1.000	0.128
BMI〔kg/m ² , $M(Q_L, Q_U)$ 〕	28.64(24.12, 33.90)	29.21(24.27, 34.28)	27.28(23.91, 31.72)	0.980	0.950 ~ 1.000	0.010
ICU 住院时间〔d, $M(Q_L, Q_U)$ 〕	7.33(3.90, 13.78)	6.00(3.49, 10.92)	15.49(11.00, 23.44)	1.110	1.090 ~ 1.130	<0.001
胸部创伤〔例(%)〕						0.042
否	586(65.99)	488(67.59)	98(59.04)			
是	302(34.01)	234(32.41)	68(40.96)	1.450	1.030 ~ 2.060	
颅脑损伤〔例(%)〕						<0.001
否	607(68.36)	514(71.19)	93(56.02)			
是	281(31.64)	208(28.81)	73(43.98)	1.940	1.370 ~ 2.740	
腹部创伤〔例(%)〕						0.474
否	611(68.81)	501(69.39)	110(66.27)			
是	277(31.19)	221(30.61)	56(33.73)	1.160	0.810 ~ 1.660	
颈脊髓损伤〔例(%)〕						0.030
否	646(72.75)	537(74.38)	109(65.66)			
是	242(27.25)	185(25.62)	57(34.34)	1.520	1.060 ~ 2.170	
手术〔例(%)〕						0.174
否	408(45.95)	340(47.09)	68(40.96)			
是	480(54.05)	382(52.91)	98(59.04)	1.290	0.910 ~ 1.810	
输血〔例(%)〕						0.636
否	402(45.27)	330(45.71)	72(43.37)			
是	486(54.73)	392(54.29)	94(56.63)	1.100	0.780 ~ 1.550	
使用抑酸剂〔例(%)〕						0.352
否	270(30.41)	214(29.64)	56(33.73)			
是	618(69.59)	508(70.36)	110(66.27)	0.830	0.580 ~ 1.190	
使用血管活性药物〔例(%)〕						0.651
否	347(39.08)	279(38.64)	68(40.96)			
是	541(60.92)	443(61.36)	98(59.04)	0.910	0.650 ~ 1.280	

表 2 创伤患者是否发生 VAP 的多因素 Logistic 回归分析

项目	β 值	s_e	χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
ICU 住院时间	0.089	0.011	8.11	<0.001	1.094	1.070 ~ 1.117
aCCI 评分	0.127	0.032	3.91	<0.001	1.135	1.065 ~ 1.210
WBC	0.130	0.016	8.04	<0.001	1.139	1.104 ~ 1.176
SOFA 评分	0.129	0.026	4.90	<0.001	1.137	1.080 ~ 1.197
常数	-5.796	0.421	-13.75	<0.001		

注：空白代表无此项

群并作出临床决策能在临床中获益,说明该模型有较高的临床效益(图 6)。利用该模型预测 1 000 例的风险分层,绘制 CIC 曲线来评价该模型的临床有效率,结果显示,当阈概率>70% 预测评分概率时,创伤患者发生 VAP 的患者数与实际发生患者数高度匹配,说明该模型有效率极高(图 7)。

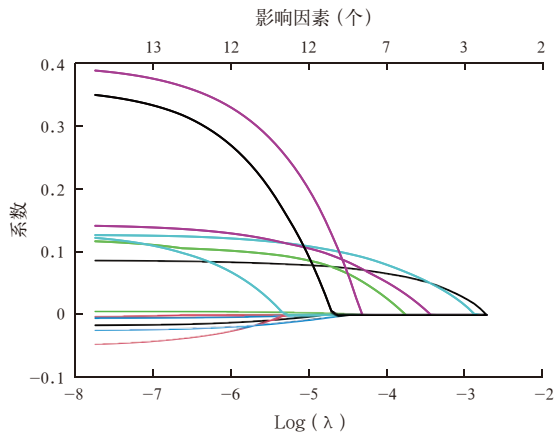


图 1 创伤患者发生 VAP 危险因素的 LASSO 回归变量收缩系数图

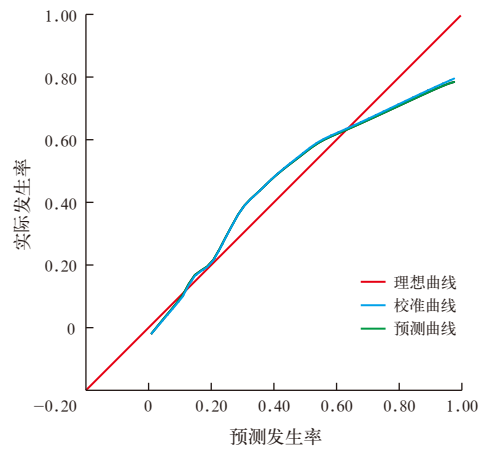


图 5 创伤患者发生 VAP 预测模型的校准曲线

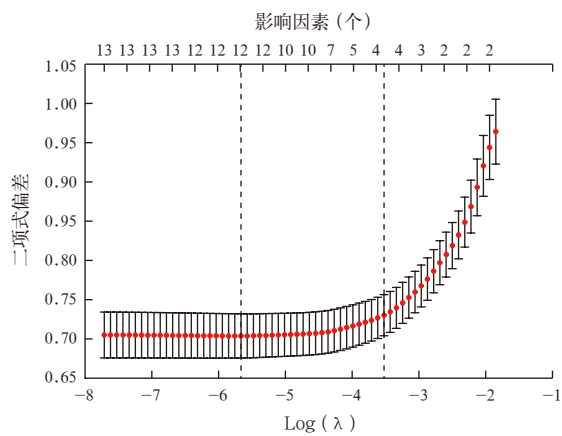


图 2 创伤患者发生 VAP 危险因素的 LASSO 回归模型误差与 Log(λ) 关系图

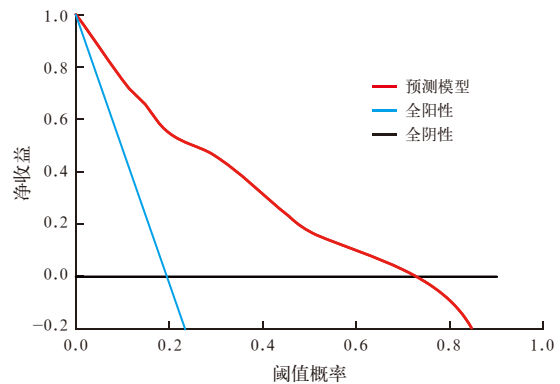


图 6 创伤患者 VAP 发生风险列线图模型的 DCA 曲线

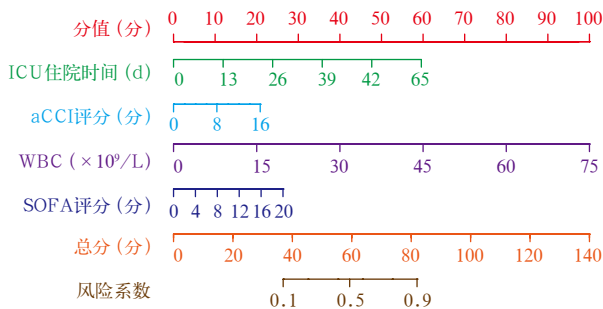


图 3 创伤患者发生 VAP 危险因素的多因素 Logistic 回归分析模型列线图

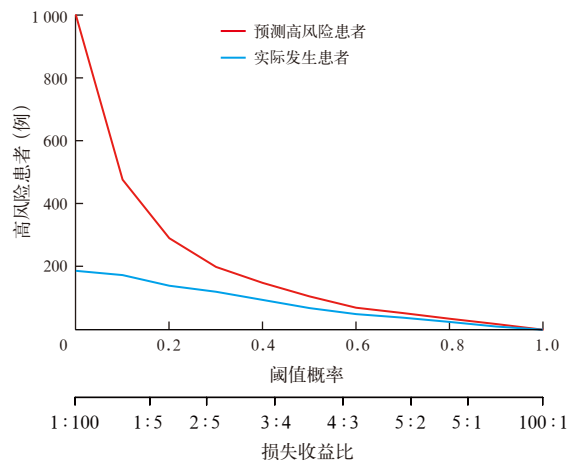


图 7 创伤患者 VAP 发生风险模型的 CIC 曲线

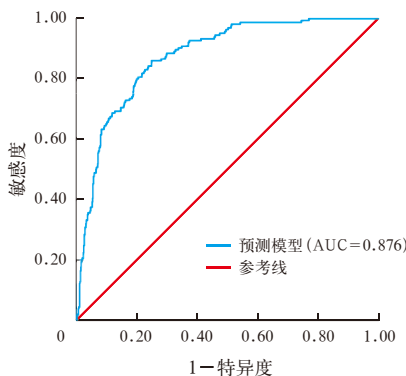


图 4 模型预测创伤患者发生 VAP 的 ROC 曲线

3 讨论

VAP 是创伤患者机械通气过程中常见的院内感染之一,快速准确识别 VAP 风险较高的患者对于更好地预防和管理 VAP 至关重要。本研究共纳入 888 例创伤患者,其中诊断为 VAP 166 例(18.7%),患者一般人口学资料、临床资料、实验室检查、临床评分、结局指标等 VAP 相关因素,组间比较表明,是否发生 VAP 两组年龄、aCCI、Hb、WBC、SOFA 评分、

GCS 评分、BMI、ICU 住院时间、是否存在胸部创伤、是否存在颅脑损伤、是否存在脊髓损伤差异均有统计学意义。为了避免模型的过度拟合,应用 LASSO 回归共筛选出 4 个变量,分别为:ICU 住院时间、aCCI、WBC 和 SOFA 评分。以是否发生 VAP 为因变量,LASSO 回归模型筛查结果为自变量,进行多因素 Logistic 回归分析,结果显示,ICU 住院时间、aCCI、WBC、SOFA 评分是影响创伤患者发生 VAP 的独立危险因素,并使用以下算法构建了 VAP 患者死亡预测模型: $\ln(p/1-p) = -5.796 + 0.089 \times \text{ICU 住院时间} + 0.127 \times \text{aCCI} + 0.130 \times \text{WBC} + 0.129 \times \text{SOFA 评分}$,并以此构建列线图。对模型进行内部验证,ROC 曲线分析显示,该模型的 $\text{AUC} = 0.876$ ($95\% \text{CI}$ 为 $0.850 \sim 0.903$),敏感度为 86.14% ,特异度为 75.17% ,表明该模型有较高的鉴别能力。Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验显示: $\chi^2 = 7.7, P = 0.2$,校准曲线非常贴近对角线, $\text{MAE} = 0.03$,说明该模型预测结果与实际临床观察之间具有高度一致性。DCA 和 CIC 曲线显示,在阈概率 $< 70\%$ 范围内,使用该模型识别创伤患者 VAP 高危人群并作出决策能在临床中获益。

ICU 住院时间已被多项研究确定为患者发生 VAP 的风险因素,一方面 ICU 滞留时间越长,接受治疗及有创操作的机会越多,获得性感染的风险越高。另外,当患者发生 VAP 时,机械通气时间、ICU 住院时间和住院时间明显增加^[16-17],这与胡志成等^[18]的研究结果一致。SOFA 评分是一种广泛应用于重症患者的评分系统,是通过测定主要器官功能损害程度对患者进行预后判断。该评分系统采用了 6 个标准来反映器官系统的功能,包括循环、呼吸、肾脏、肝脏、凝血和神经系统。SOFA 评分越高提示患者病情越重,预后越差^[14]。aCCI 是一种应用较广泛的合并症评分体系,是基于患者所患疾病数目和严重程度,对合并症进行量化,可用于预测疾病的死亡风险^[13]。本研究显示,SOFA 评分及 aCCI 是 VAP 发生的危险因素,aCCI 表明病情越重且有合并症的患者更容易发生 VAP。WBC 一般用于评估机体免疫功能和感染情况,WBC 升高是炎症反应最重要的特征,本研究显示,WBC 是 VAP 发生的独立危险因素,说明重症创伤患者入院时炎症反应越重发生 VAP 的可能性越大。

本研究也有一些局限性。首先,本研究是一项单中心研究,受样本量的影响,可能对结果有所影响。其次,本研究为回顾性分析,可能存在其他

VAP 风险因素未包含在模型中。最后,该模型采用回顾性研究数据进行评估,需要进行前瞻性验证以确认其预测性能。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Mannick JA, Rodrick ML, Lederer JA. The immunologic response to injury [J]. *J Am Coll Surg*, 2001, 193 (3): 237-44. DOI: 10.1016/s1072-7515(01)01011-0.
- [2] Cook A, Norwood S, Berne J. Ventilator-associated pneumonia is more common and of less consequence in trauma patients compared with other critically ill patients [J]. *J Trauma*, 2010, 69 (5): 1083-1091. DOI: 10.1097/TA.0b013e3181f9b51.
- [3] Michetti CP, Fakhry SM, Ferguson PL, et al. Ventilator-associated pneumonia rates at major trauma centers compared with a national benchmark: a multi-institutional study of the AAST [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 72 (5): 1165-1173. DOI: 10.1097/TA.0b013e31824d10fa.
- [4] Marjanović V, Novak V, Velicković L, et al. The incidence and risk factors of ventilator-associated pneumonia in patients with severe traumatic brain injury [J]. *Med Pregl*, 2011, 64 (7-8): 403-407. DOI: 10.2298/mpns1108403m.
- [5] Papazian L, Klompas M, Luyt CE. Ventilator-associated pneumonia in adults: a narrative review [J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46 (5): 888-906. DOI: 10.1007/s00134-020-05980-0.
- [6] 赵婧,张丽琴,张冬泉,等.基于中国生物医学文献数据库的 VAP 研究现状的可视化分析 [J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30 (11): 1029-1035. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.11.004.
- [7] 张晓慧,宁波,张洁,等.呼吸机相关性肺炎的原因分析及综合护理对策 [J]. *中华危重病急救医学*, 2014, 26 (11): 841-842. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.11.016.
- [8] Baker SP, O'Neill B, Haddon W Jr, et al. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care [J]. *J Trauma*, 1974, 14 (3): 187-196.
- [9] Younan D, Delozier SJ, Adamski J, et al. Factors predictive of ventilator-associated pneumonia in critically ill trauma patients [J]. *World J Surg*, 2020, 44 (4): 1121-1125. DOI: 10.1007/s00268-019-05286-3.
- [10] Cavalcanti M, Ferrer M, Ferrer R, et al. Risk and prognostic factors of ventilator-associated pneumonia in trauma patients [J]. *Crit Care Med*, 2006, 34 (4): 1067-1072. DOI: 10.1097/01.CCM.0000206471.44161.A0.
- [11] Lee JY, Sul YH, Kim SH, et al. Risk factors for ventilator-associated pneumonia in trauma patients with torso injury: a retrospective single-center study [J]. *J Int Med Res*, 2021, 49 (12): 3000605211061029. DOI: 10.1177/03000605211061029.
- [12] 中华医学会呼吸病学分会感染学组.中国成人医院获得性肺炎与呼吸机相关性肺炎诊断和治疗指南(2018 年版)[J]. *中华结核和呼吸杂志*. 2018, 41 (4): 255-280. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2018.04.006.
- [13] Charlson ME, Pompei P, Ales KL, et al. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation [J]. *J Chronic Dis*, 1987, 40 (5): 373-383. DOI: 10.1016/0021-9681(87)90171-8.
- [14] Vincent JL, Moreno R, Takala J, et al. The SOFA (sepsis-related organ failure assessment) score to describe organ dysfunction/failure. On behalf of the Working Group on sepsis-related problems of the European Society of intensive care medicine [J]. *Intensive Care Med*, 1996, 22 (7): 707-710. DOI: 10.1007/BF01709751.
- [15] Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale [J]. *Lancet*, 1974, 2 (7872): 81-84. DOI: 10.1016/s0140-6736(74)91639-0.
- [16] Li YT, Liu CX, Xiao W, et al. Incidence, risk factors, and outcomes of ventilator-associated pneumonia in traumatic brain injury: a meta-analysis [J]. *Neurocrit Care*, 2020, 32 (1): 272-285. DOI: 10.1007/s12028-019-00773-w.
- [17] Gautam A, Ganu SS, Tegg OJ, et al. Ventilator-associated pneumonia in a tertiary paediatric intensive care unit: a 1-year prospective observational study [J]. *Crit Care Resusc*, 2012, 14 (4): 283-289.
- [18] 胡志成,周树生.呼吸机相关性肺炎的危险因素及病原学分析:县级医院 ICU 的 3 年病例分析 [J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30 (10): 933-938. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.10.005

(收稿日期:2024-06-01)

(责任编辑:邸美仙)