DOI:10.12138/j.issn.1671－9638.20262530

·论著·

接受有创机械通气的重症肺炎患者预后影响因素及临床预测模型构建

陈　虎[1]，卞恒娟[2]，曹利军[1]，曹玉立[1]，杨　翔[1]，王一帆[3]，叶索笛[3]，孙　昀[1]，鹿中华[1]
（1. 安徽医科大学第二附属医院重症医学一科，安徽 合肥　230601；2. 安徽医科大学第二附属医院急诊内科，安徽 合肥 230601；3. 安徽医科大学第一临床医学院麻醉系，安徽 合肥　230032）

［摘　要］ **目的**　探讨影响接受有创机械通气重症肺炎患者 28 天预后的危险因素，构建临床预测模型，为早期识别高风险患者提供客观依据。**方法**　回顾性收集 2022 年 1 月—2023 年 12 月某院重症监护病房（ICU）收治的接受有创机械通气重症肺炎患者的临床资料。根据 28 天转归将患者分为死亡组与存活组，比较两组基线临床特征，采用多因素 logistic 回归分析筛选独立危险因素，并构建列线图预测模型，通过受试者工作特征（ROC）曲线和决策曲线分析（DCA）评估模型的区分度与临床适用性，采用 Cox 比例风险回归模型评估各变量对患者生存时间的影响。**结果**　共纳入 418 例患者，28 天病死率为 12.20%。死亡组患者男性比例、APACHE Ⅱ评分和心率均高于生存组（均 $P<0.05$），氧合指数（PaO_2/FiO_2）及其分层分析显示，死亡组患者 PaO_2/FiO_2 显著降低（$P<0.05$）。多因素 logistic 回归分析显示，男性、高 APACHE Ⅱ评分和低 PaO_2/FiO_2 是 ICU 接受有创机械通气重症肺炎患者 28 天死亡的独立危险因素；与 $PaO_2/FiO_2>300$ mmHg 相比，PaO_2/FiO_2 为 101～300 mmHg（$OR=2.527$，95%CI：1.122～5.689，$P=0.025$）和≤100 mmHg（$OR=5.932$，95%CI：2.313～15.214，$P<0.001$）的患者死亡风险显著增加。基于男性、APACHE Ⅱ评分和 PaO_2/FiO_2 构建的列线图预测模型，经 DCA 验证具有中等预测效能。联合指标的 ROC 曲线下面积（AUC）为 0.726（灵敏度 60.8%，特异度 73.0%）。多因素 Cox 比例风险模型进一步证实，男性（$HR=2.189$，95%CI：1.062～4.512）、APACHE Ⅱ评分＞22.5 分（$HR=1.051$，95%CI：1.007～1.096）和低 PaO_2/FiO_2（整体 $P=0.001$）的有创机械通气重症肺炎患者 28 天死亡风险明显升高。**结论**　男性、高 APACHE Ⅱ评分和低 PaO_2/FiO_2 是接受有创机械通气的重症肺炎患者 28 天死亡的独立危险因素。基于上述因素构建的临床预测模型具有一定区分能力，可为早期识别高危患者提供参考。

［关　键　词］ 重症肺炎；机械通气；急性生理学与慢性健康状况评分Ⅱ；危险因素
［中图分类号］ R563.1

Prognostic factors and clinical prediction model construction for patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

CHEN Hu[1], *BIAN Hengjuan*[2], *CAO Lijun*[1], *CAO Yuli*[1], *YANG Xiang*[1], *WANG Yifan*[3], *YE Suodi*[3], *SUN Yun*[1], *LU Zhonghua*[1]（1. *The First Department of Critical Care Medicine, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei* 230601, *China*; 2. *Department of Emergency Internal Medicine, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei* 230601, *China*; 3. *Department of Anesthesiology, The First Clinical Medical College, Anhui Medical University, Hefei* 230032, *China*）

［**Abstract**］ **Objective**　To explore the risk factors affecting the 28-day prognosis of patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation, construct a clinical prediction model, and provide objective evidence for early identification of high-risk patients. **Methods**　Clinical data of patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation in the intensive care unit (ICU) of a hospital from January 2022 to December 2023 were

［收稿日期］ 2025－05－26
［基金项目］ 2023 年度安徽省高校自然科学研究重点项目（2023AH053168）；2024 年度安徽省卫生健康科研项目（2024Aa20292）；2024 年度安徽省中医药传承创新科研项目（2024CCCX128）；安徽医科大学校级质量工程项目（2024xjxm91）；安徽医科大学第二附属医院临床研究培育计划项目（2021LCYB09）
［作者简介］ 陈虎（1989－），男（汉族），安徽省无为市人，主治医师，主要从事脓毒症、急性肾损伤等疾病诊治及相关研究。
［通信作者］ 鹿中华　E-mail：luzhonghua.ahmu.edu.cn；孙昀　E-mail：sunyun9653@126.com

collected retrospectively. According to the 28-day prognosis, patients were divided into a death group and a survival group, the baseline clinical characteristics of two groups were compared, independent risk factors were screened with multivariate logistic regression analysis, and the nomogram prediction model was constructed. The discriminability and clinical applicability of the model were assessed through receiver operating characteristic (ROC) curve and decision curve analysis (DCA), and the impact of each variable on patients's survival time was assessed by Cox proportional hazards regression model. **Results** A total of 418 patients were included in the study, with a 28-day mortality of 12.20%. The proportions of male patients, acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ (APACHE Ⅱ) score, and heart rate in the death group were all higher than those in the survival group (all $P<0.05$). The oxygenation index (PaO_2/FiO_2) and its stratified analysis showed that the PaO_2/FiO_2 in patients in the death group decreased significantly ($P<0.05$). Multivariate logistic regression analysis showed that male, high APACHE Ⅱ score, and low PaO_2/FiO_2 were independent risk factors for 28-day mortality in patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation in the ICU; compared with patients with PaO_2/FiO_2 >300 mmHg, those with PaO_2/FiO_2 of 101-300 mmHg ($OR=2.527$, 95%CI: 1.122-5.689, $P=0.025$) and ≤100 mmHg ($OR=5.932$, 95%CI: 2.313-15.214, $P<0.001$) had significantly increased risk of mortality. The nomogram prediction model constructed based on male, APACHE Ⅱ score, and PaO_2/FiO_2 demonstrated moderate predictive performance verified by DCA. The area under the ROC curve (AUC) of the combined indicators was 0.726 (sensitivity 60.8%, specificity 73.0%). Multivariate Cox proportional hazards model further confirmed that for patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation, risk for 28-day mortality enhaced obviously in those who were male ($HR=2.189$, 95%CI: 1.062-4.512), with APACHE Ⅱ score>22.5 points ($HR=1.051$, 95%CI: 1.007-1.096), and with low PaO_2/FiO_2 (overall $P=0.001$). **Conclusion** Male, high APACHE Ⅱ score, and low PaO_2/FiO_2 are indepen-dent risk factors for 28-day mortality in patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation. The clinical prediction model constructed based on the above factors has discriminative ability and can provide reference for early identification of high-risk patients.

[**Key words**] severe pneumonia; mechanical ventilation; acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ score; risk factor

重症肺炎是临床常见的危重症之一，具有起病急、进展快、病死率高等特点[1]。据统计，在美国，23%的社区获得性肺炎(community-acquired pneumonia, CAP)患者需入住重症监护病房(intensive care unit, ICU)，其中 24%需有创机械通气；CAP 的发病率为 14.5/10 万，30 天病死率达 27%，1 年病死率 47%[2]。有创机械通气和血流动力学不稳定是重症肺炎主要诊断标准，二者病理生理机制不同但相互关联，需有创机械通气的重症肺炎患者往往存在更严重的肺泡损伤及低氧血症；而以血流动力学不稳定为主要表现者则以循环衰竭为特征，伴低血压、组织低灌注及多器官功能障碍。重症肺炎患者中需机械通气者的比例高于表现为血流动力学不稳定者[3]。此外，机械通气本身可能导致呼吸机相关肺损伤及呼吸机相关肺炎等并发症。尽管现代重症监护和呼吸支持技术不断进步，但接受有创机械通气的重症肺炎患者病死率仍居高不下，给临床治疗带来巨大挑战。早期识别影响患者预后的关键因素，对优化治疗策略、合理配置医疗资源及改善患者预后具有重要意义。本研究旨在分析接受有创机械通气重症肺炎患者的临床特征及结局，探讨影响其预后的独立危险因素，为早期识别预后不良的高危患者及制定精准治疗和护理策略提供依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 本研究为单中心回顾性研究，纳入 2022 年 1 月 1 日—2023 年 12 月 31 日在安徽医科大学第二附属医院外科 ICU 明确诊断为重症肺炎并行有创机械通气的患者。纳入标准：①符合重症肺炎诊断标准[4]，并行有创机械通气患者；②ICU 住院时间≥2 d；③年龄≥18 岁。排除标准：哺乳期女性或孕妇；入住 24 h 内死亡者；病历中关键信息不完整或缺失，未经授权的病例或不符合伦理审查标准的病例；研究期间多次入院的患者，仅分析第一次入院 ICU，排除后续入院。本研究通过该医院医学研究伦理委员会批准实施，伦理号 YX2024-158。

1.2 研究方法

1.2.1 数据收集 收集患者人口学资料、临床指标

等，主要包括性别、年龄、住院号、合并症、生命体征等；实验室检查包括血气、氧合指数（PaO_2/FiO_2）、电解质、白细胞计数（WBC）等，计算急性生理学与慢性健康状况评分系统（acute physiology and chronic health evaluation system，APACHE）Ⅱ评分。本研究中的基线资料（如性别、APACHE Ⅱ评分、PaO_2/FiO_2、心率等）均无缺失，部分随访变量存在少量缺失。在去除随访前已死亡患者后，缺失值包括：第 3 天 PaO_2/FiO_2 1 例，第 3 天 APACHE Ⅱ评分 1 例，第 7 天 PaO_2/FiO_2 22 例，第 7 天 APACHE Ⅱ评分 21 例。在统计分析过程中，SPSS 在计算中位数及四分位间距时基于有效样本完成，缺失值未进入计算。

1.2.2　*分组方法*　根据患者入住 ICU 28 天预后，分为生存组和死亡组。

1.2.3　*相关指南和定义*　（1）重症肺炎诊断标准。根据美国感染病学会（Infectious Diseases Society of America，IDSA）/美国胸科学会（American Thoracic Society，ATS）重症肺炎诊断标准[4]：重症肺炎的诊断需符合 1 项主要标准或 3 项次要标准。主要标准：1）有创机械通气；2）脓毒性休克需要血管活性药物治疗。次要标准：1）呼吸频率（RR）≥30 次/min；2）PaO_2/FiO_2 ≤250 mmHg；3）多肺叶浸润；4）意识模糊、定向力障碍；5）高尿素血症（血尿素氮≥20 mg/dL）；6）感染所致白细胞减少（外周血 WBC＜4×10^9/L）；7）血小板减少（血小板计数＜100×10^9/L）；8）低体温（肛温＜36℃）；9）低血压（收缩压＜90 mmHg）需要积极的液体复苏。（2）机械通气指征。根据 2018 年指南[5]，对于严重呼吸衰竭和（或）有生命体征异常且具有以下情况者：1）不适宜采用无创机械通气，且严重低氧血症和（或）二氧化碳潴留危及生命时（PaO_2/FiO_2 ＜150 mmHg）；2）气道分泌物清除障碍、误吸危险性高（如球麻痹或腹胀、呕吐）、意识障碍；3）血流动力学不稳定、多器官功能衰竭；4）正确使用无创机械通气仍未达到预期效果或病情恶化者。（3）PaO_2/FiO_2 分层。＞300 mmHg 为正常，100～300 mmHg 为轻中度低氧血症，≤100 mmHg 为重度低氧血症。（4）研究终点定义。ICU 28 天病死率，终点定义为患者自入住 ICU 之日起至第 28 天内发生的全因死亡事件，对于在 28 天内出院且无死亡记录的患者，视为存活；住院 90 天病死率，终点定义为患者自入院之日起至第 90 天内，在住院期间任何时间发生的死亡事件（包括 ICU 和普通病房）。

1.3　*统计学方法*　应用 SPSS 24.0 和 R（version 4.3.2）处理数据，非正态分布数据用中位数（四分位间距）表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验（即 Wilcoxon 秩和检验）；定性资料比较用卡方检验。以 28 天预后为因变量（存活 = 0，死亡 = 1），将两组间基线分析有统计学意义的变量纳入回归方程，进行多因素二分类 logistic 回归分析构建预测模型。筛选出的变量用 R 软件绘制列线图，采用受试者工作特征（ROC）曲线、决策曲线分析（DCA）对模型进行验证。根据 ROC 得出的截断值，进行 28 天 K-M 生存分析；对组间基线分析有统计学意义的变量，根据 28 天预后进行单因素和多因素 Cox 回归分析。$P\leq0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　*研究对象纳入情况*　2022 年 1 月 1 日—2023 年 12 月 31 日，共 2 411 例患者入住 ICU，477 例为接受有创机械通气治疗的重症肺炎患者。排除 3 例年龄＜18 岁患者，剔除 54 例有创机械通气＜2 d 及 2 例入住 ICU 时长＜2 d 的患者，最终纳入 418 例患者。见图 1。

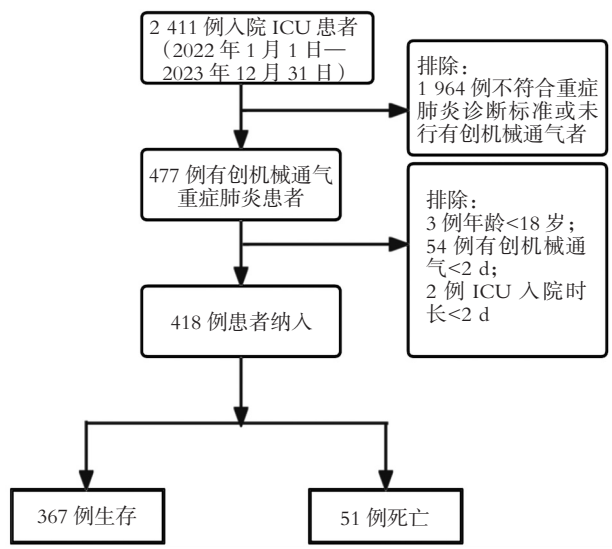


图 1　有创机械通气重症肺炎患者预后分析研究患者纳入流程图

Figure 1　Flowchart for patient inclusion for prognostic analysis of patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

2.2 不同预后患者基线资料比较 418 例接受有创机械通气治疗的重症肺炎患者中，男性 294 例(70.33%)。根据入住 ICU 28 天预后分为存活组和死亡组，死亡 51 例，病死率 12.20%；住院 90 天病死率为 14.59%(61 例)。28 天死亡组患者中，男性比例、APACHE Ⅱ 评分、心率高于存活组，PaO_2/FiO_2 低于存活组，差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。两组患者年龄、合并症[肾衰竭、心脏疾病、慢性阻塞性肺疾病(COPD)、糖尿病、高血压]、体温、RR 等组别比较，差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。见表 1。

表 1 两组有创机械通气重症肺炎患者基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline characteristics between two groups of patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

变量	全部($n=418$)	生存组($n=367$)	死亡组($n=51$)	χ^2/Z	P
男性[例(%)]	294(70.33)	252(68.66)	42(82.35)	4.021	0.045
APACHE Ⅱ评分[$M(P_{25},P_{75})$]	20(15～24)	19(15～24)	24(17～28)	−3.504	<0.001
年龄[岁，$M(P_{25},P_{75})$]	58(49～70)	58(49～69)	58(47～72)	−0.032	0.975
并发症[例(%)]					
肾衰竭	23(5.50)	21(5.72)	2(3.92)	0.279	0.597
心脏疾病	30(7.18)	26(7.08)	4(7.84)	0.039	0.844
COPD	27(6.46)	22(5.99)	5(9.80)	1.075	0.300
糖尿病	58(13.88)	52(14.17)	6(11.76)	0.217	0.642
高血压	168(40.19)	144(39.24)	24(47.06)	1.140	0.286
PaO_2/FiO_2[$M(P_{25},P_{75})$]	260.3(154.0～415.3)	277.5(162.5～425.0)	154.0(91.3～282.5)	−4.178	<0.001
PaO_2/FiO_2 分层(mmHg)					
≤100	52(12.44)	36(9.81)	16(31.37)	25.081	<0.001
101～300	192(45.93)	166(45.23)	26(50.98)		
>300	174(41.63)	165(44.96)	9(17.65)		
体温[℃，$M(Q_L,Q_U)$]	37.5(36.5～38.3)	37.4(36.5～38.3)	37.6(36.5～38.5)	−0.795	0.427
MAP[mmHg，$M(P_{25},P_{75})$]	71(61～113)	71(60～112)	76(63～116)	−1.099	0.272
心率[次/分，$M(P_{25},P_{75})$]	106.5(60～130)	102(60～128)	119(88～142)	−2.351	0.019
RR[次/分，$M(P_{25},P_{75})$]	24(16～29)	24(16～29)	25(20～32)	−1.961	0.050
pH[$M(P_{25},P_{75})$]	7.39(7.31～7.48)	7.39(7.32～7.48)	7.36(7.23～7.46)	−1.464	0.143
Na^+[mmol/L，$M(P_{25},P_{75})$]	138(135～142)	138(135～142)	139(134～143)	−0.212	0.832
K^+[mmol/L，$M(P_{25},P_{75})$]	3.8(3.4～4.4)	3.86(3.4～4.4)	3.80(3.3～4.5)	−0.239	0.811
HCT[%，$M(P_{25},P_{75})$]	33(26～42)	33(26～41)	35(27～47)	−1.159	0.246
WBC[$\times10^9$/L，$M(P_{25},P_{75})$]	13.29(9.94～17.80)	13.28(9.89～17.75)	14.15(9.97～18.94)	−0.237	0.813

注：MAP 为平均动脉压，Na 为血钠，K 为血钾，HCT 为红细胞比容。

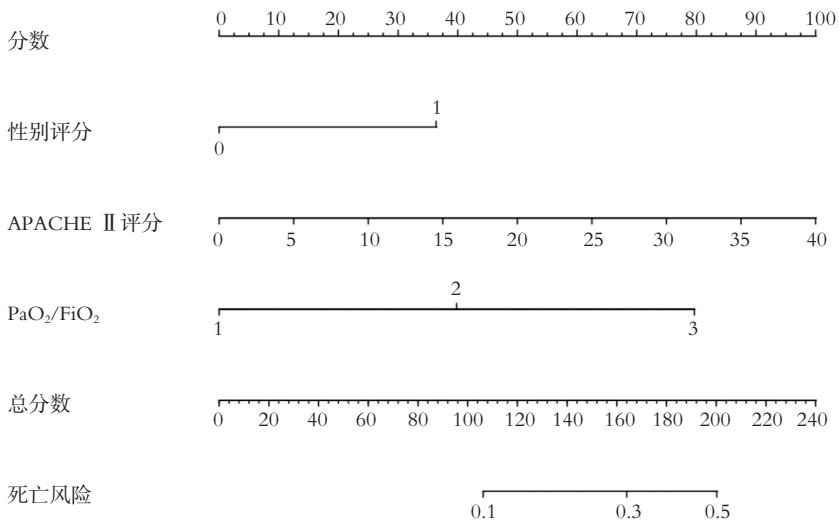
2.3 有创机械通气治疗的重症肺炎患者死亡危险因素分析 将基线资料组间比较差异有统计学意义的变量纳入多因素二元 logistic 回归分析，男性($OR=2.349$，95%CI：1.073～5.142，$P=0.033$)、APACHE Ⅱ评分($OR=1.055$，95%CI：1.006～1.107，$P=0.028$)，以及低 PaO_2/FiO_2 是有创机械通气治疗的重症肺炎患者 28 天死亡的独立危险因素；与 $PaO_2/FiO_2>300$ 相比，PaO_2/FiO_2 101～300($OR=2.527$，$P=0.025$)及≤100($OR=5.932$，$P<0.001$)的患者死亡风险显著增加。基于多因素 logistic 回归模型的结果构建列线图。见表 2、图 2。

表 2　有创机械通气重症肺炎患者死亡危险因素 logistic 分析

Table 2　Logistics analysis on risk factors for mortality in patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

变量	β	S_b	Wald χ^2	OR	95%CI	P
性别(男)	0.854	0.400	4.566	2.349	1.073～5.142	0.033
APACHE Ⅱ评分	0.054	0.024	4.849	1.055	1.006～1.107	0.028
心率(次/min)	0.004	0.005	0.753	1.004	0.995～1.013	0.386
PaO_2/FiO_2 分层(整体)	–	–	13.764	–	–	0.001
＞300 mmHg VS 101～300 mmHg	0.927	0.414	5.012	2.527	1.122～5.689	0.025
＞300 mmHg VS ≤100 mmHg	1.780	0.481	13.726	5.932	2.313～15.214	＜0.001
常数	－4.980	0.769	41.947	0.007	–	＜0.001

注：变量赋值，性别(0＝女性，1＝男性)；PaO_2/FiO_2 分层(1＝＞300 mmHg，2＝101～300 mmHg，3＝≤100 mmHg)。APACHEⅡ评分和心率均为原始数据；－表示没数据。



注：性别(0＝女性，1＝男性)；PaO_2/FiO_2 分层(1＝＞300 mmHg，2＝101～300 mmHg，3＝≤100 mmHg)。

图 2　有创机械通气重症肺炎患者预后列线图预测模型

Figure 2　Nomogram prediction model for prognosis of patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

ROC 曲线分析显示，性别(男性)、APACHE Ⅱ评分升高、低 PaO_2/FiO_2 对有创机械通气重症肺炎患者 28 天预后均有一定的预测价值，其预测 28 天死亡的 AUC 分别为 0.568、0.651、0.683，其联合指标预测 28 天死亡的 AUC 为 0.726，95%CI 为 0.650～0.803，灵敏度为 60.8%，特异度为 73.0%。见表 3、图 3。

表 3　相关指标及联合指标对有创机械通气重症肺炎患者死亡的预测价值

Table 3　Predictive value of relevant and combined indicators for death in patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

指标	AUC	95%CI	P	最佳截断值	灵敏度(%)	特异度(%)	约登指数
性别(男性)	0.568	0.511～0.626	0.021	–	–	–	–
APACHE Ⅱ评分	0.651	0.563～0.740	0.001	22.5	58.8	71.7	0.305
PaO_2/FiO_2 分层	0.683	0.611～0.754	＜0.001	–	–	–	–
联合指标	0.726	0.650～0.803	＜0.001	–	60.8	73.0	0.338

注：－表示没数据。

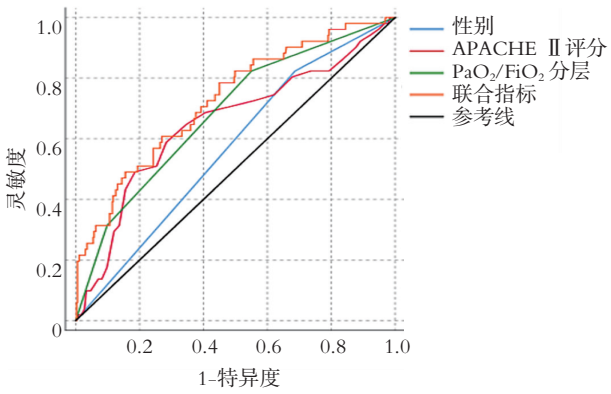
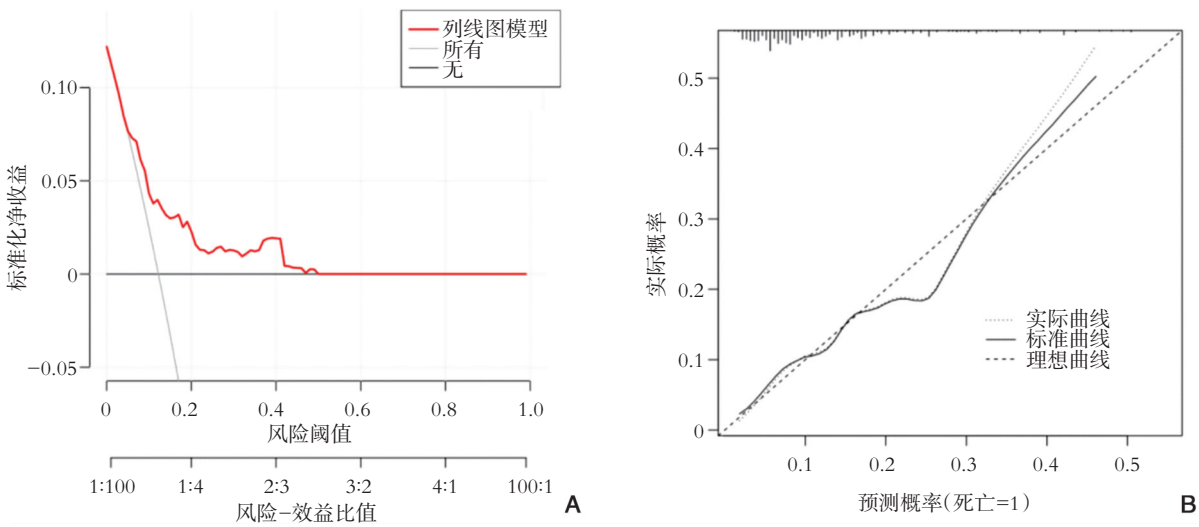


图 3　有创机械通气重症肺炎患者预后 ROC 曲线

Figure 3　ROC curve of prognosis for patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

模型评估：(1)为验证模型稳定性，采用 Bootstrap 内部重抽样方法(重复抽样 1 000 次)对 logistic 回归模型进行内部验证，结果表明主要变量(如性别、APACHE Ⅱ评分、PaO_2/FiO_2 分层)具有良好的稳定性，进一步验证了模型的稳健性。(2)在不同风险阈值下，模型的 DCA 曲线显示，该列线图模型相较于“全有(假设所有患者死亡)”及“全无(假设所有患者存活)”均具有一定的净收益，提示模型可有效辅助临床决策。(3)列线图模型 calibration 曲线提示实际曲线与标准曲线接近，说明模型校准与基准模型相似。见图 4。

进一步评估 APACHE Ⅱ评分及 PaO_2/FiO_2 动态变化对预后的影响，结果显示，死亡组患者 APACHE Ⅱ评分在第 1 天、第 3 天、第 7 天均高于生存组(均 $P<0.001$)。第 1 天和第 7 天，生存组 PaO_2/FiO_2 比值均高于死亡组(均 $P<0.05$)。见表 4。



注：A 为 DCA 曲线，B 为校准曲线。

图 4　有创机械通气重症肺炎患者预后列线图预测模型 DCA 曲线和校准曲线评估

Figure 4　Nomogram prediction model DCA curve and calibration curve for prognosis of patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

2.4　28 天生存分析　K-M 分析显示男性患者 28 天累积病死率高于女性组(Log-Rank 检验：$\chi^2=3.856$，$P<0.05$)；$PaO_2/FiO_2\leqslant300$ mmHg 患者 28 天累积病死率高于 $PaO_2/FiO_2>300$ mmHg(Log-Rank 检验：$\chi^2=13.437$，$P<0.001$)。根据 ROC 得出的最佳截断值分组，APACHE Ⅱ评分>22.5 分患者 28 天累积病死率高于 APACHE Ⅱ评分≤22.5 分(Log-Rank 检验：$\chi^2=19.386$，$P<0.001$)。

单因素 Cox 回归分析显示，APACHE Ⅱ评分[风险比(HR)=1.072，95%CI：1.029～1.116，$P=0.001$]、PaO_2/FiO_2 分层(整体 $P<0.001$)与患者 28 天生存率相关。性别亦纳入多因素分析。多因素 Cox 回归分析结果表明，性别($HR=2.189$，95%CI：1.062～4.512，$P=0.034$)、APACHE Ⅱ评分($HR=1.051$，95%CI：1.007～1.096，$P=$

0.023)及 PaO_2/FiO_2 分层($P=0.001$)为有创机械通气治疗的重症肺炎患者 28 天生存率的独立影响因素。其中,男性、APACHE Ⅱ评分升高、低 PaO_2/FiO_2 患者的 28 天死亡风险明显升高。进一步比较显示,与 $PaO_2/FiO_2>300$ mmHg 组相比,101～300 mmHg 组($HR=2.412$,95%CI:1.113～5.231,$P=0.026$)和≤100($HR=4.820$,95%CI:2.049～11.338,$P<0.001$)的死亡风险明显升高。见表 5。

表 4　有创机械通气重症肺炎患者相关变量比较

Table 4　Comparison of relevant variables in patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

随访时间点	变量	生存组	死亡组	Z	P
第 1 天(基线)	APACHE Ⅱ评分	19(15～24)	24(17～28)	−3.504	<0.001
	PaO_2/FiO_2(mmHg)	277.5(162.5～425.0)	154.0(91.3～282.5)	−4.178	<0.001
第 3 天	APACHE Ⅱ评分	17(12～21)	22(17～25)	−4.151	<0.001
	PaO_2/FiO_2(mmHg)	233.8(161.8～348.1)	214.0(117.9～357.0)	−0.843	0.399
第 7 天	APACHE Ⅱ评分	17(13～21)	21(17～26)	−3.891	<0.001
	PaO_2/FiO_2(mmHg)	245.5(172.7～331.3)	205.5(111.6～308.1)	−2.059	0.040

表 5　有创机械通气重症肺炎患者 28 天 Cox 生存分析

Table 5　Cox survival analysis on 28-day survival of patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation

变量	单因素		多因素	
	HR(95%CI)	P	HR(95%CI)	P
性别(男性)	2.022(0.984～4.155)	0.055	2.189(1.062～4.512)	0.034
APACHE Ⅱ评分>22.5 分	1.072(1.029～1.116)	0.001	1.051(1.007～1.096)	0.023
PaO_2/FiO_2 分层(整体)		<0.001		0.001
>300 mmHg VS 101～300 mmHg	2.738(1.283～5.844)	0.009	2.412(1.113～5.231)	0.026
>300 mmHg VS ≤100 mmHg	6.550(2.894～14.828)	<0.001	4.820(2.049～11.338)	<0.001
心率(次/分)	1.009(1.002～1.017)	0.013	1.003(0.995～1.011)	0.417

3　讨论

重症肺炎是临床常见的严重感染性疾病,病死率高达 30.3%[6]。随着病情进展,部分患者需依赖有创机械通气维持有效气体交换。本研究中,接受有创机械通气的重症肺炎患者 28 天病死率为 12.20%,低于既往文献[2]报道。这可能与本中心严格执行肺保护性通气策略、强化感染控制及早期康复干预等措施有关;此外,研究对象中外科 ICU 患者比例较高,其病情可逆性较好。研究发现,男性、APACHE Ⅱ评分升高及低 PaO_2/FiO_2 是影响接受有创机械通气的重症肺炎患者 28 天病死率的独立危险因素。生存分析和多因素 Cox 回归分析均证实上述指标与患者预后显著相关,据此构建的列线图预测模型经 ROC 分析显示具有中等预测效能。

男性是接受有创机械通气的重症肺炎患者 28 天死亡的独立危险因素($OR=2.349$,95%CI:1.073～5.142,$P=0.033$),此结论与既往研究[6-7]结果一致。性别差异可能与以下因素有关:(1)免疫反应模式的性别差异。男性患者表现出更强烈的气道炎症反应,这可能导致其重症肺炎发病率更高,临床结局更差[8]。体外研究表明,在脂多糖刺激下,男性中性粒细胞 Toll 样受体 4 的表达水平高于女性,同时释放更多的肿瘤坏死因子-α(TNF-α)[9]。(2)内分泌激素水平差异。雌激素的免疫调节作用可能使女性患者获得一定的保护效应。Yang 等[10]研究表明,女性对肺炎的抵抗力可能还与一氧化氮合酶 3(nitric oxide synthase 3,NOS3)的高活化有关。NOS3 由小鼠和人类巨噬细胞产生,是活性氮中间体这一杀菌因子的关键酶,而雌激素可上调 NOS3 的表达。此外,男性患者往往吸烟率更高及治疗依从性较差,这些因素均可能影响治疗效果和临床结局。

其次，APACHE Ⅱ评分系统广泛用于重症患者预后评估，能综合反映多系统功能状态及基础疾病的影响[11-12]。本研究显示，APACHE Ⅱ评分具备一定预后预测价值（OR = 1.055，95%CI：1.006～1.107，P = 0.028）；此外，死亡组患者在治疗早期（第 1、3、7 天）的 APACHE Ⅱ评分持续高于生存组，提示持续的高评分状态与不良预后相关。王冠超等[13]研究表明，APACHE Ⅱ评分联合血清炎症标志物对重症肺炎合并呼吸衰竭患者的预测效能较高。另一项研究[14]结果显示，对于接受有创机械通气的重症肺炎患者，当 APACHE Ⅱ评分＞17.5 分时，可有效预测拔管失败风险。本研究确定 APACHE Ⅱ评分 22.5 分为最佳截断值，为临床风险分层提供了量化依据。

PaO_2/FiO_2 是评估肺氧合功能的直接指标，可反映呼吸衰竭严重程度，预测 ICU 重症患者早期病死率[15]，并用于评估接受有创机械通气患者的治疗效果。其降低提示存在肺实质损伤、气体交换障碍，并可反映急性呼吸窘迫综合征（ARDS）的病情进展。Pan 等[16]研究表明，PaO_2/FiO_2 是 ICU CAP 患者住院死亡风险的独立危险因素，且随着其降低，死亡风险呈梯度上升。意大利一项横断面研究[17]结果显示，中重度 PaO_2/FiO_2 降低可使新型冠状病毒感染（COVID-19）患者的住院死亡风险增加 3 倍。在研究中，PaO_2/FiO_2 对接受有创机械通气的重症肺炎患者 28 天病死率具有良好预测价值（AUC = 0.683），当 $PaO_2/FiO_2 \leqslant 100$ mmHg 时，患者死亡风险显著增加（OR = 5.932，95%CI：2.313～15.214）。通过分析第 1、3、7 天的 PaO_2/FiO_2 动态变化发现，连续监测该指标比单次测量更能准确地预测预后。

接受有创机械通气的重症肺炎患者存在显著个体差异，临床表现异质性高，单一指标的预测价值有限，ROC 曲线分析显示，联合多项指标可将 AUC 提高至 0.726。因此，联合应用上述指标可更准确地综合评估此类患者 28 天预后。

本研究发现，男性、高 APACHE Ⅱ评分及低 PaO_2/FiO_2 是接受有创机械通气的重症肺炎患者 28 天死亡的独立危险因素。早期识别这些高危因素有助于制定个体化治疗方案，增强临床干预的时效性与有效性，进而改善患者预后。本研究存在以下局限性：（1）单中心回顾性设计；（2）样本量有限；（3）未纳入病原学检测结果及机械通气参数；（4）缺乏出院后长期随访数据。未来需通过多中心、大样本的前瞻性研究加以验证。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] Ching PR, Pedersen LL. Severe pneumonia[J]. Med Clin North Am, 2025, 109(3): 705－720.

[2] Cavallazzi R, Furmanek S, Arnold FW, et al. The burden of community-acquired pneumonia requiring admission to ICU in the United States[J]. Chest, 2020, 158(3): 1008－1016.

[3] Oreibi T, Alenezi F, Ahmed AM, et al. Outcomes of patients admitted to the intensive care unit with community-acquired pneumonia in a tertiary care center in Riyadh, Saudi Arabia [J]. Ann Thorac Med, 2023, 18(4): 206－210.

[4] Metlay JP, Waterer GW, Long AC, et al. Diagnosis and treatment of adults with community-acquired pneumonia, an official clinical practice guideline of the American Thoracic Society and Infectious Diseases Society of America[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2019, 200(7): e45－e67.

[5] 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.
Infection Group of the Respiratory Disease Branch, Chinese Thoracic Society. Guidelines for the diagnosis and treatment of hospital-acquired pneumonia and ventilator-associated pneumonia in adults in China (2018 edition)[J]. Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases, 2018, 41(4): 255－280.

[6] Xie K, Guan SN, Kong XX, et al. Predictors of mortality in severe pneumonia patients: a systematic review and meta-analysis[J]. Syst Rev, 2024, 13(1): 210.

[7] de Miguel-Yanes JM, Lopez-de-Andres A, Jiménez-Garcia R, et al. Incidence, outcomes and sex-related disparities in pneumonia: a matched-pair analysis with data from Spanish hospitals (2016－2019)[J]. J Clin Med, 2021, 10(19): 4339.

[8] Chamekh M, Deny M, Romano M, et al. Differential susceptibility to infectious respiratory diseases between males and females linked to sex-specific innate immune inflammatory response[J]. Front Immunol, 2017, 8: 1806.

[9] Aomatsu M, Kato T, Kasahara E, et al. Gender difference in tumor necrosis factor-α production in human neutrophils stimulated by lipopolysaccharide and interferon-γ[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2013, 441(1): 220－225.

[10] Yang Z, Huang YCT, Koziel H, et al. Female resistance to pneumonia identifies lung macrophage nitric oxide synthase-3 as a therapeutic target[J]. Elife, 2014, 3: e03711.

[11] Azumi M, Mizobuchi Y, Nakanishi N, et al. Value of the acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ (APACHE Ⅱ) score in predicting hospital mortality for postoperative brain tumor patients in intensive care units in Japan: a retro-

spective case-control study[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2024, 244: 108435.

[12] Chlabicz M, Łaguna W, Kazimierczyk R, et al. Value of APACHE Ⅱ, SOFA and CardShock scoring as predictive tools for cardiogenic shock: a single-centre pilot study[J]. ESC Heart Fail, 2024, 11(6): 3584-3597.

[13] 王冠超，张永涛. APACHE Ⅱ评分结合血清 PCT、hs-CRP 对重症肺炎合并呼吸衰竭的预测价值研究[J]. 现代医药卫生，2024，40(8)：1307-1311，1316.
Wang GC, Zhang YT. Study on the predictive value of APACHE Ⅱ score combined with serum PCT and hs-CRP in severe pneumonia with respiratory failure[J]. Journal of Modern Medicine & Health, 2024, 40(8): 1307-1311, 1316.

[14] Yu H, Luo J, Ni YN, et al. Early prediction of extubation failure in patients with severe pneumonia: a retrospective cohort study[J]. Biosci Rep, 2020, 40(2): BSR20192435.

[15] 毕春华，朱曼晨，倪辰，等. 入重症监护病房时氧合指数对脓毒症患者 30 d 病死率的预测价值[J]. 中华危重病急救医学，2025，37(2)：111-117.
Bi CH, Zhu MC, Ni C, et al. Predictive value of oxygenation index at intensive care unit admission for 30-day mortality in patients with sepsis[J]. Chinese Critical Care Medicine, 2025, 37(2): 111-117.

[16] Pan JJ, Bu W, Guo T, et al. Development and validation of an in-hospital mortality risk prediction model for patients with severe community-acquired pneumonia in the intensive care unit[J]. BMC Pulm Med, 2023, 23(1): 303.

[17] Sinatti G, Santini SJ, Tarantino G, et al. PaO_2/FiO_2 ratio forecasts COVID-19 patients' outcome regardless of age: a cross-sectional, monocentric study[J]. Intern Emerg Med, 2022, 17(3): 665-673.

（本文编辑：左双燕）

本文引用格式：陈虎，卞恒娟，曹利军，等. 接受有创机械通气的重症肺炎患者预后影响因素及临床预测模型构建[J]. 中国感染控制杂志，2026，25(6)：819-827. DOI：10.12138/j.issn.1671-9638.20262530.

Cite this article as: CHEN Hu, BIAN Hengjuan, CAO Lijun, et al. Prognostic factors and clinical prediction model construction for patients with severe pneumonia undergoing invasive mechanical ventilation[J]. Chin J Infect Control, 2026, 25(6): 819-827. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20262530.