

分类号：
学号：20222114181

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



ICU机械通气患者呼吸机相关肺炎风险预测模型的构建及初步应用

学位申请人	陈洁
指导教师	何文英 主任医师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	公共卫生
研究领域	医学与卫生事业管理
所在学院	医学院

中国·新疆·石河子

2025年5月

分类号:

密 级: 公开

学 号: 20222114181

单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



ICU机械通气患者呼吸机相关肺炎风险预测模型的构建及初步应用

学 位 申 请 人

陈洁

指 导 教 师

何文英 主任医师

申 请 学 位 类 别

专业硕士

专 业 名 称

公共卫生

研 究 领 域

医学与卫生事业管理

所 在 学 院

医学院

中国·新疆·石河子

2025年5月

**Construction and preliminary application of a prediction model for
ventilator-associated pneumonia risk in mechanically ventilated ICU
patients**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Public Health

By

Chen Jie

(Public Health)

Dissertation Supervisor: Prof. He Wen-ying

May, 2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明


学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：  时间： 2025 年 5 月 20 日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：  时间： 2025 年 5 月 20 日

导师签名：  时间： 2025 年 5 月 20 日

摘要

目的

使用新疆地区重症监护病房（ICU，Intensive care unit）机械通气患者的临床资料，分析呼吸机相关肺炎（VAP，Ventilator-associated pneumonia）机械通气患者发生呼吸机相关肺炎的独立危险因素，构建 VAP 风险预测模型并进行初步应用，为早期识别 VAP 高危患者、优化临床决策提供重要工具。

方法

1.研究设计与数据收集：采用回顾性多中心病例对照研究设计，纳入新疆地区 4 所三级甲等医院 2020 年 1 月至 2023 年 12 月期间 ICU 收治的 4121 例机械通气患者，通过电子病历系统提取以下数据：包括人口学特征：年龄、性别等；基础疾病；临床指标：急性生理学与慢性健康状况评分 II（APACHE II）、氧合指数；实验室指标：外周血白细胞计数、血小板计数、降钙素原、C 反应蛋白、白蛋白；治疗措施：镇静药物使用、机械通气方式、通气时间等。

2.数据分组与变量筛选：按 7:3 比例将患者随机分为训练集（n=2885）和验证集（n=1236），通过 LASSO 回归筛选潜在预测变量，采用多因素 Logistic 回归分析确定 VAP 独立危险因素。

3.模型构建与验证：基于回归分析结果构建列线图预测模型，并通过以下方法验证模型性能，采用 Bootstrap 重抽样法进行内部验证，采用受试者工作特征曲线下面积，Hosmer-Lemeshow 检验及校准曲线、决策曲线分析评价模型的区分度、校准度和临床效用。

4.模型应用与效果评价：将模型参数转化为简易风险评分表，于 2024 年 1 月 1 日-2024 年 12 月 31 日期间在石河子大学第一附属医院 ICU 进行前瞻性应用。对符合纳入标准的病例计算 VAP 发生概率，依据风险分层实施分级干预，并通过干预前后 VAP 发病率比较评价模型指导效果。

结果

1.本研究共纳入机械通气患者 4121 例，发生 VAP 为 315 例，发病率为 7.64%。

2.多因素 Logistic 回归分析显示：机械通气天数（OR=1.01，95%CI：0.00~0.01）、使用抗菌药物天数（OR=1.01，95%CI：1.00~1.02）、再插管次数（OR=1.38，95%CI：1.23~1.55）、昏迷（OR=1.71，95%CI：1.24-2.36）、合并基础疾病≥3 种（OR=1.95，95%CI：1.38-2.78）、使用镇静药（OR=3.89，95%CI：2.77-5.54）和低蛋白血症（OR=5.28，95%CI：3.85-7.28）为 VAP 的独立危险因素。

3.预测模型性能评估结果显示：区分度：训练集 AUC 为 0.835（95%CI：0.811-0.860），验证集 AUC 为 0.835（95%CI：0.792-0.877）。最佳截断值：通过最大化约登指数确定，训练集截断值 0.054，对应灵敏度 84.2%、特异度 66.7%；验证集截断值 0.064，对应灵敏度 82.8%、特异度 71.5%。校准度：Hosmer-Lemeshow 检验显示模型预测概率与实际风险无显著差异（P>0.05），校准曲线斜率接近 1。

4.模型临床前瞻性应用显示,实施风险分层干预后,VAP总发病率从2023年的5.31%(对照组)显著降至2024年的2.18%(干预组)($P<0.001$)。按风险分层分析:高风险组:发病率下降11.66%(18.21%至6.55%),中风险组:下降2.67%(5.23%至2.56%),低风险组:下降1.54%(1.92%至0.38%)。

结论

1.模型性能与临床价值:本研究基于多中心回顾性数据构建的VAP风险预测模型具有良好的区分度和校准度,模型通过整合机械通气时长、昏迷状态、基础疾病、使用镇静药、低蛋白血症等7项独立危险因素,实现了对VAP风险的量化评估,为临床早期识别高危患者提供了客观工具。

2.临床应用效果:基于该模型开发的VAP风险评分表在试点医院应用中显著降低了VAP发病率(从5.31%降至2.18%, $P<0.001$),尤其在高风险患者中下降幅度达11.66%。这一结果支持该模型通过指导分级干预改善医疗质量的潜在价值。

关键词: 呼吸机相关肺炎; 危险因素; 预测模型; 列线图; 风险评估

Abstract

Objective

Using the clinical data of mechanically ventilated patients in intensive care unit (ICU, Intensive care unit) in Xinjiang, we analyzed the independent risk factors of ventilator-associated pneumonia (VAP, Ventilator-associated pneumonia) for the occurrence of ventilator-associated pneumonia in mechanically ventilated patients, constructed a risk prediction model for VAP, and carried out a The preliminary application of the model provides an important tool for the early identification of high-risk patients with VAP and the optimization of clinical decision-making.

Methods

1. Study design and data collection: A retrospective multicenter case-control study design was used to include 4,121 mechanically ventilated patients admitted to the ICUs of four tertiary-level hospitals in Xinjiang region between January 2020 and December 2023, and the following data were extracted through the electronic medical record system: including demographic characteristics: age, gender, etc.; underlying diseases; clinical indicators: acute physiology and chronic Health Status Score II (APACHE II), oxygenation index; laboratory indicators: white blood cell count, platelet count, calcitoninogen, C-reactive protein, albumin; therapeutic measures: use of sedative drugs, mechanical ventilation mode, ventilation time, etc.

2. Data grouping and variable screening: patients were randomly divided into training set (n=2885) and validation set (n=1236) according to the ratio of 7:3. Firstly, potential predictive variables were screened by LASSO regression, and then multifactorial logistic regression analysis was used to determine the independent risk factors of VAP.

3. Model construction and validation: The column-line graph prediction model was constructed based on the results of regression analysis, and the model performance was validated by the following methods: internal validation using Bootstrap resampling method, area under the curve of the subject's work characteristics, Hosmer-Lemeshow test and calibration curves, and decision-curve analysis were used to evaluate the model's differentiation, calibration and clinical utility.

4. Model application and effect evaluation: The model parameters were transformed into a simple risk rating scale, which was prospectively applied between January 1, 2024 and December 31, 2024 in the ICU of the First Affiliated Hospital of Shihezi University. The probability of VAP occurrence was calculated for cases meeting the inclusion criteria, graded interventions were implemented based on the risk stratification, and the effect of model guidance was evaluated by comparing the incidence of VAP before and after the intervention.

Results

1. A total of 4,121 mechanically ventilated patients were included in this study, and the occurrence of VAP was 315 cases, with a prevalence rate of 7.64%.

2. Multifactorial logistic regression analysis showed that the number of days of mechanical ventilation (OR=1.01, 95% CI: 0.00-0.01), the number of days of antimicrobial drug use (OR=1.01, 95% CI: 1.00-1.02), the number of reintubation (OR=1.38, 95% CI: 1.23-1.55), the coma (OR=1.71, 95% CI: 1.24-2.36), comorbid underlying diseases ≥ 3 (OR=1.95, 95% CI: 1.38-2.78), use of sedative medication (OR=3.89, 95% CI: 2.77-5.54), and hypoproteinemia (OR=5.28, 95% CI: 3.85-7.28) were independent risk factors for VAP.

3. The results of predictive model performance assessment showed the following: discrimination: training set AUC was 0.835 (95% CI: 0.811-0.860) and validation set AUC was 0.835 (95% CI: 0.792-0.877). Optimal cutoff value: determined by maximizing the Jordon index, the training set cutoff value of 0.054 corresponded to a sensitivity of 84.2% and a specificity of 66.7%, and the validation set cutoff value of 0.064 corresponded to a sensitivity of 82.8% and a specificity of 71.5%. Calibration: Hosmer-Lemeshow test showed that there was no significant difference between the predicted probability of the model and the actual risk ($P>0.05$), and the slope of the calibration curve was close to 1.

4. Clinical prospective application of the model showed that the implementation of the risk stratification intervention significantly reduced the overall incidence of VAP from 5.31% (control group) in 2023 to 2.18% (intervention group) in 2024 ($P<0.001$). Analyzed by risk stratification: high-risk group: 11.66% decrease in incidence (18.21% to 6.55%), medium-risk group: 2.67% decrease (5.23% to 2.56%), and low-risk group: 1.54% decrease (1.92% to 0.38%).

Conclusion

1. Model performance and clinical value: The VAP risk prediction model constructed based on multicenter retrospective data in this study has good differentiation and calibration. The model realizes quantitative assessment of VAP risk by integrating 7 independent risk factors such as duration of mechanical ventilation, coma status, underlying diseases, use of sedative drugs, and hypoproteinemia, and provides an objective tool for the early identification of high-risk patients in the clinic.

2. Clinical application effect: The VAP risk scale developed based on the model significantly reduced the incidence of VAP in the pilot hospital application (from 5.31% to 2.18%, $P<0.001$), especially in high-risk patients with a decrease of 11.66%. This result supports the potential value of the model to improve quality of care by guiding graded interventions.

Key words: Ventilator-associated pneumonia; Risk factors; Predictive modeling; Nomogram; Risk assessment

目录

摘要	I
ABSTRACT	III
目录	V
英文缩略语表	VII
第1章 前言	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 呼吸机相关肺炎流行现状	2
1.2.2 呼吸机相关肺炎危险因素	3
1.2.3 呼吸机相关肺炎风险预测模型建立方法研究进展	4
1.2.4 文献述评	5
1.3 研究目的	6
1.4 研究内容	6
1.4.1 呼吸机相关肺炎风险预测模型的构建与验证	6
1.4.2 呼吸机相关肺炎风险预测模型的初步应用	6
第2章 资料与方法	7
2.1 研究对象	7
2.1.1 资料来源	7
2.1.2 纳入排除标准	7
2.1.3 样本量计算	7
2.2 资料收集	8
2.2.1 资料收集内容	8
2.2.2 资料收集方法	8
2.3 诊断标准及概念界定	9
2.3.1 呼吸机相关肺炎定义	9
2.3.3 呼吸机相关肺炎的诊断	9
2.4 缺失数据处理	10
2.5 统计学方法	10
2.6 伦理学审查	10
2.7 质量控制	11
2.7.1 调查前控制	11
2.7.2 调查中控制	11
2.7.3 调查后控制	11
2.8 技术路线图	12
第3章 结果	13
3.1 研究对象基线特征	13
3.1.1 变量赋值	13

3.1.2 研究对象基线特征描述	14
3.2 呼吸机相关肺炎风险预测模型的构建	20
3.2.1 训练集和验证集的划分	20
3.2.2 训练集基线资料的比较	26
3.2.3 变量筛选	32
3.2.4 多因素分析	33
3.2.5 列线图的绘制	34
3.3 呼吸机相关肺炎风险预测模型的验证	35
3.3.1 区分度评价	35
3.3.2 校准度评价	37
3.3.3 决策曲线分析	38
3.4 呼吸机相关肺炎风险预测评分表的设计	41
3.5 呼吸机相关肺炎风险预测模型的初步应用	41
3.5.1 干预对象	41
3.5.2 干预流程	41
3.5.3 干预措施及执行情况	42
3.5.4 干预效果评价	46
第4章 讨论	47
4.1 呼吸机相关肺炎的发生现状	47
4.2 呼吸机相关肺炎的影响因素分析	47
4.2.1 昏迷	48
4.2.2 合并基础疾病 ≥ 3 种	48
4.2.3 低蛋白血症	48
4.2.4 机械通气天数	49
4.2.5 再插管次数	49
4.2.6 使用镇静镇痛药	49
4.2.7 使用抗菌药物天数	50
4.3 呼吸机相关肺炎风险预测模型的临床应用	50
4.3.1 呼吸机相关肺炎防控面临的主要问题	50
4.3.2 呼吸机相关肺炎风险预测模型的临床验证与效能评估	51
4.3.3 呼吸机相关肺炎防控策略的优化建议	52
4.4 呼吸机相关肺炎风险预测模型的临床应用价值	52
4.5 创新性与局限性	53
4.5.1 创新性	53
4.5.2 局限性	53
第5章 结论	55
文献综述	56
参考文献	61
致谢	69
作者简介	70
石河子大学硕士研究生学位论文导师评阅表	71

英文缩略语表

英文缩写	英文全名	中文译名
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AUC	Area under curve	曲线下面积
CI	Confidence Interval	可信区间
CIC	Clinical Impact Curve	决策分析曲线
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease	慢性阻塞性肺疾病
DRG	Diagnosis-Related Groups	诊断相关分组
HAP	Hospital-acquired pneumonia	医院获得性肺炎
HIS	Hospital information system	医院信息系统
HL	Hosmer-lemeshow	霍斯默莱梅肖
ICU	Intensive care unit	重症监护病房
LASSO	Least Absolute Shrinkage and Selection Operator	最小绝对收缩选择 算子
MV	Mechanical ventilation	机械通气
OR	Odds ratio	比值比
ROC	Receiver operating characteristic	受试者工作特征
VAP	Ventilator-associated pneumonia	呼吸机相关肺炎

第1章 前言

1.1 研究背景

重症监护病房(Intensive care unit, ICU)是为医院各类急危重症患者提供生理功能严密监测和有效及时诊治的场所,主要以抢救患者生命、减少伤残率、降低死亡率、提高生命质量为前提^[1]。重症患者多伴有器官功能衰竭,在 ICU 除接受病因治疗之外,还需要进行器官功能支持治疗,包括循环支持、呼吸支持、营养支持、肾脏替代治疗等,其中,呼吸机辅助的机械通气(Mechanical ventilation, MV)是危重症患者呼吸支持的一种常用治疗及生命支持手段^[2]。机械通气作为重要的呼吸支持手段,在挽救患者生命的同时,其临床应用也伴随着多种并发症风险,其中以呼吸机相关肺炎(Ventilator-associated pneumonia, VAP)最为常见^[3]。VAP 作为医院获得性肺炎(Hospital-acquired pneumonia, HAP)的一种,不仅延长患者机械通气时间和住院时间,严重影响患者的治疗和预后,还会导致呼吸机相关性肺损伤、多器官功能衰竭等严重并发症,甚至威胁患者生命^[4]。同时,VAP 还会引起呼吸系统、循环系统和神经系统的一些不良并发症,如误吸、谵妄等,这些并发症的叠加效应会增加治疗难度,导致 ICU 内 VAP 的死亡率居高不下^[5,6]。VAP 作为接受有创机械通气患者最常见的并发症之一,受到各个国家的关注和重视,VAP 的发病率已成为反映 ICU 医疗、护理、院感质量的重要指标^[7,8]。

由于地域环境、医疗资源、临床医生诊断水平等的不同,不同地区 ICU 机械通气患者 VAP 发病率和影响因素可能有所不同。因此,分析 VAP 的危险因素并建立 VAP 的风险预测模型具有重要意义,筛选高风险人群对于降低 VAP 发病率和死亡率、保障医疗质量安全至关重要。本研究基于新疆地区 4 家代表性医院的临床病例数据,构建 ICU 机械通气患者的 VAP 风险预测模型,有效识别 VAP 感染高风险人群,实现 VAP 的精准防控,指导临床针对高风险患者及时采取预防措施,优化 ICU 医疗资源配置,提高临床工作效率。通过临床实际应用验证,为临床早期干预提供科学依据并提升医疗质量安全管理水平,从而有效降低 ICU 患者 VAP 发生率和相关病死率,为新疆地区 ICU 院内感染防控提供新的技术支撑。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 呼吸机相关肺炎流行现状

VAP 是机械通气患者中最常见的医院感染^[2,9]。随着医学技术的不断发展和 VAP 防治策略的不断优化,国内外学者在 VAP 的流行病学、病原学、诊断方法、预防策略和治疗方案等方面均取得了进展,尤其是 VAP 流行现状方面研究更加深入^[10]。呼吸机相关肺炎(VAP)发病率的计算存在千分率(‰)和百分率(%)两种表达方式,但两者有明确的区别和适用场景。

VAP 发病率(‰) = (VAP 发生例数/总机械通气日数) × 1000‰,反映每 1000 个机械通气日中发生 VAP 的例数,千分率计算时以机械通气日数为单位,反映 ICU 呼吸机相关肺炎的感染控制水平或医疗质量,考虑了暴露时间(通气日数)的影响,多用于医院感染监测。千分率便于不同区域 ICU 之间的比较,可计算累计发病率。美国疾病控制中心监测系统、欧洲监测系统、中国监测网等国家监测系统均使用千分率,根据 2023 年国际医院感染控制联盟多中心研究数据显示,全球 ICU 机械通气患者 VAP 发病率为 10-15.7‰,地域差异发病率也有所不同,如:北美:1-2.5‰,欧洲:18.3‰,亚洲:14.6‰,其他地区:部分低中等收入国家报告的 VAP 发病率更高,约为每 1000 机械通气日数 18.5‰^[11,12]。据《国家医疗服务与质量安全报告—医院感染管理分册》报告显示,2023 年我国 VAP 发病率为 2.86‰,其中三级公立医院 2.77‰,二级公立医院 3.20‰;新疆 VAP 发病率 2.80‰^[13]。一项对中国西部 20769 例机械通气患者的观察性研究发现,ICU 机械通气患者的 VAP 发病率为 16.7‰^[14]。

VAP 发病率(%) = (VAP 发生例数/总机械通气患者数) × 100%,反映每 100 例机械通气患者中发生 VAP 的例数。百分率计算时以患者为单位,主要关注患者个体的 VAP 发生风险,常用于临床疗效对比或危险因素分析,可更直观反映患者的结局。国外研究结果显示,VAP 的发病率波动在 5%-47.9%^[15,16],在严重创伤患者中,VAP 的发病率在 35%-60%左右^[17,18]。欧洲研究中心报告的 VAP 发病率为 1.8%,中低收入国家为 1.85%,高收入国家为 0.9%,该研究调查了欧洲 27 个 ICU 的医院获得性肺炎情况,发现 VAP 是最常见的类型^[19]。国内研究显示,VAP 的发病率在 5%至 40%之间,死亡率高达 10%。一项 Meta 分析显示我国大陆 VAP 的发病率大概为 23.8%^[20]。

呼吸机相关肺炎文献报告的发病率差别很大,从 5%到 40%不等^[21],其差异取决于环境背景和诊断标准。首先,环境背景对 VAP 发病率具有重要影响,不同国家和地区 ICU 的规模、医护人员配备比例、收治的病种构成、机械通气应用指征、感染控制水平等方面存在显著差异。其次,诊断标准的不统一是造成发病率差异的另一重要原因^[22,23]。目前临床应用的 VAP 诊断标准主要包括:1)美国疾病控制与预防中心和国家医疗安全网

络制定的监测标准；2)临床肺部感染评分；3)基于微生物学证据的确诊标准。2016年美国感染病学会和美国胸科学会联合发布的指南特别强调，不同诊断标准的选择会显著影响VAP流行病学数据的可比性。再次，发病率表达方式的不同（如百分率与千分率）也会影响研究结果的解读。以患者为分母的百分率表示方法更适用于评估个体风险，而以机械通气日为分母的千分率则更适合进行医疗质量监测和机构间比较。这种方法学差异进一步增加了文献报道VAP发病率的异质性。

1.2.2 呼吸机相关肺炎危险因素

VAP的发病机制涉及多因素协同作用，其危险因素可依据来源分为宿主相关因素和医疗相关因素两大类^[24]。宿主相关因素主要涉及患者基础状况和病理生理状态，包括：性别、高龄、合并基础疾病、意识障碍、低蛋白血症、反复呼吸道感染史等。医疗相关因素则主要涵盖诊疗操作和感染控制措施，具体包括：近期广谱抗生素使用史、糖皮质激素使用、气管切开状态、再插管次数、机械通气时间、口腔护理频次、呼吸机管路管理、手卫生执行情况、病房环境消毒、吸痰操作规范性、误吸风险以及ICU环境微生物负荷等。

1.2.2.1 宿主相关因素

患者的个体特征在VAP的诱发过程中起着决定性的作用，个体在年龄、性别、基础健康状况以及免疫机能等方面的差异会影响VAP的发生，尤其在老年、糖尿病患者及免疫功能低下人群中更为显著，此类人群受到病原体侵袭的可能性显著增加，发生VAP的潜在概率也会提高。年龄作为VAP发病的关键因素，特别是高龄人群，伴随着岁数的递增，机体免疫系统功能呈现逐渐衰减的趋势，生物化学过程与器官效能也可能遭遇退化，应对感染过程中，机体免疫系统功能呈现减弱趋势^[25]，年长者通常并存多种慢性病症，然而个体的肺脏功能及其呼吸系统防御体系相对较为薄弱，故在呼吸机辅助治疗过程中，VAP的发病率相对较高^[26]。VAP的发生与患者的免疫功能、基础疾病以及机械通气的持续时间密切相关。例如，重症、老年或免疫功能低下患者VAP发病率更高，且预后更差^[27]。

1.2.2.2 医疗相关因素

呼吸机相关肺炎的发生与机械通气持续时间、气道导管种类及其护理措施存在显著关联。研究表明，机械通气时间是VAP的独立危险因素，接受机械通气的时间越长，患者发生VAP的潜在概率也相应提升，并且在ICU中接受机械通气超过48小时的患者，VAP的发病率显著上升^[2, 28, 29]。长期机械通气可导致呼吸道结构和功能改变，促进分泌物积聚和病原微生物繁殖。气管插管和气管切开是有创机械通气的两种方式，其目的是

保持患者气道通畅，为患者提供呼吸支持，同时也有助于清除患者呼吸道分泌物，相较于气管插管，气管切开能改善通气、降低阻力、减少损伤和感染，但会破坏呼吸道防御功能，削弱咳嗽反射致分泌物潴留，增加 VAP 风险。此外，意识障碍患者因误吸风险增加，加之机械通气时间长、广谱抗生素的使用（如：哌拉西林他唑巴坦、美罗培南等）、过度使用镇静药物（如：瑞芬太尼、丙泊酚等）等治疗因素，也增加了 VAP 的感染风险^[30]。

呼吸机相关肺炎的病原学特征呈现多样性，国内外研究报道的优势致病菌谱基本一致，但在耐药菌株的流行病学分布及耐药趋势方面存在地域性差异^[31]。临床观察表明，ICU 获得性肺炎中耐药菌感染的发病率较高，且与患者不良临床预后密切相关^[32, 33]。铜绿假单胞菌作为环境中广泛存在的条件致病菌，具有显著的固有耐药性和获得性耐药能力。该菌株在医疗机构的潮湿环境及医疗器械表面具有强生存适应性，其快速进化抗生素耐药机制的特性导致临床治疗面临严峻挑战。金黄色葡萄球菌作为人体共生菌，主要定植于皮肤和呼吸道黏膜表面。其中，在极端情况下，耐甲氧西林金黄色葡萄球菌引起的感染可导致严重的肺实质破坏，其广泛耐药性已成为临床抗感染治疗的重要难题。有研究表明，操作不当和环境因素，如气管插管操作不规范、呼吸机管路污染或消毒不彻底，以及 ICU 内病原菌浓度高和医护人员手卫生不规范，都是导致 VAP 发生的重要原因^[34]。

国内外在 VAP 的流行病学、病原学、诊断方法、预防策略和治疗方案等方面取得了显著进展。国外在快速诊断技术、循证医学和精准医疗方面具有优势，而国内在中西医结合治疗和综合干预措施方面具有独特优势。未来研究应进一步加强国际合作，借鉴国外先进经验，结合国内实际情况，制定更加有效的预防和治疗策略，以降低 VAP 的发病率和死亡率，提高患者的生存质量。

1.2.3 呼吸机相关肺炎风险预测模型建立方法研究进展

近年来，与 VAP 风险预测相关的模型建立取得了显著进展，多种先进的建模方法被广泛应用于该领域。如 A. Samadani 等^[35-37]使用机器学习算法和 AI 预测 VAP 发生的研究和基于 MIMIC-IV 数据库的研究 ICU 呼吸机相关肺炎患者多重耐药菌感染研究，董一帆^[38]的研究基于随机森林模型和 Logistic 回归构建预测模型分析耐碳青霉烯类鲍曼不动杆菌性呼吸机相关肺炎的影响因素。还有传统算法的单中心小样本量研究，如 D. Younan^[39]对创伤患者发生 VAP 的风险预测以及神经重症老年患者呼吸机相关肺炎风险预测模型的构建及验证和老年慢性阻塞性肺疾病（COPD, Chronic obstructive pulmonary disease）并发呼吸机相关肺炎风险预警模型的构建与验证^[40-42]，有创机械通气患者脱机困难的危险因素分析及预测模型构建^[43, 44]等。这些研究为 VAP 的早期识别和干预提供了重要的理论依据和实践指导。

国内 VAP 研究聚焦于风险预测模型的构建与验证，重点关注老年及重症患者的临床特征。付爱清^[45]团队针对老年慢性阻塞性肺疾病合并 VAP 患者，开发了整合多维度临床指标的风险预警系统，显著提升高危病例的早期筛查效能。许如丽^[43]等创新性地将列线图分析应用于早产儿呼吸窘迫综合征风险预测，为新生儿重症监护提供量化评估工具。林青岳^[46]与吕文毅^[47]分别构建了老年重症肺炎合并心力衰竭及弥散性血管内凝血的预测体系，其共性在于采用多因素联合评估策略，拓展了 VAP 并发症的预测维度。于小杰^[48]和明杰欣^[49]团队则致力于感染性肺炎领域，相继建立肺炎克雷伯菌耐药性及社区获得性肺炎重症化转归的临床预测模型。

当前研究进一步延伸至特殊人群的风险预测，王静^[27]等通过列线图模型实现老年重症肺炎预后不良的精准预测。李泽标^[50]团队创新性整合 PNI/SII 生物标志物构建肝脓肿继发脓毒症预测体系，为 VAP 并发症管理提供新视角。王锦栋等^[51, 52]针对糖尿病合并肺炎患者建立短期死亡风险模型，凸显代谢性疾病与 VAP 的关联性。陈燕^[53]等系统解析 VAP 对重症肺炎转归的影响机制，开发并验证新型预后评估工具。Sun-A P^[54]团队系统阐明肿瘤患者群体中免疫功能状态、癌种特异性及机械通气时长等变量对 VAP 的交互影响，开发出专科化风险评估工具，后续研究通过多维数据分析优化癌症患者 VAP 预测算法，显著提升了模型的临床适用性。

1.2.4 文献述评

目前，传统的 Logistic 回归、Cox 比例风险模型仍占据重要地位，随机森林、支持向量机、XGBoost 等的机器学习算法应用日益广泛。列线图在医学研究中相比随机森林等机器学习模型具有独特的优势，主要体现在直观的可视化呈现、清晰的临床解释性、小样本数据的稳定性以及便捷的临床实用性。它将复杂的统计模型转化为易于理解的图形化评分工具，使医生和患者能快速评估个体风险，同时便于整合到临床决策流程中；而随机森林虽然在大数据量和复杂非线性关系预测上表现更优，但其“黑箱”特性、依赖计算工具以及较低的透明性限制了在医学实践中的直接应用。因此，列线图更适用于需要强解释性和临床落地的预测场景，而随机森林更适合以纯预测精度为导向的研究。未来，随着大数据和人工智能技术的进一步发展，VAP 风险预测模型将更加智能化、个性化和实时化，为临床决策提供更有力的支持。

综上，本研究通过收集新疆地区 4 家代表性医院的病例数据，构建新疆地区 ICU 机械通气患者 VAP 风险预测模型，将该模型通过实地应用，实现对 ICU 患者中 VAP 感染高风险人群的早期识别，从而指导临床对高风险患者及时采取有效的预防和控制措施。有利于优化工作流程和合理分配有限的临床资源，以提升医疗质量与安全，最终降低 ICU 患者 VAP 的发病率和死亡率。