

基于 Logistic 回归的机械通气伴发高氧血症预测模型的构建及验证

李晓婕 吴喆 俞一琴 邓佩璇 杨翊

南方医科大学第三附属医院重症医学科, 广东广州 510630

摘要 目的: 构建机械通气患者伴发高氧血症的预测模型, 并验证其预测价值。方法: 回顾性分析 2020 年 1 月至 2021 年 3 月南方医科大学第三附属医院重症医学科 147 例接受机械通气患者的临床资料, 根据机械通气 72 h 最高动脉氧分压是否 ≥ 120 mmHg 分为高氧血症组(94 例)和非高氧血症组(53 例)。收集入选患者性别、年龄、体重指数、急性生理学及慢性健康状况评估 (APACHE II) 评分、序贯器官衰竭评估 (SOFA) 评分、合并慢性疾病、收治原因、机械通气原因、机械通气参数、循环指标及实验室检查结果。对 2 组患者的临床数据进行单因素、Logistic 多因素分析, 通过独立危险因素的回归系数构建预测模型; 采用受试者工作特征 (ROC) 曲线对比预测模型与各原始协变量 ROC 曲线下面积 (AUC), 以约登指数最大时确定最佳临界值, 计算敏感度、特异性及预测准确性等工作性能参数。将预测模型应用于 2022 年 1 月至 6 月 53 例机械通气患者, 验证其预测效能。结果: 单因素分析结果显示, 机械通气伴发高氧血症与 SOFA 评分、因内科疾患转入、肺部病变、因意识状态改变上机、持续正压气道通气 (CPAP)、同步间歇指令通气、血乳酸及血红蛋白水平相关 (P 均 < 0.05)。Logistic 多因素分析显示年龄 (X_1)、SOFA 评分 (X_2)、因内科疾患转入 (X_3)、因意识状态改变上机 (X_4)、使用 CPAP (X_5) 是机械通气患者发生高氧血症的独立危险因素 (P 均 < 0.05)。预测模型 $Y = 4.317 - 0.036X_1 - 0.183X_2 + 1.699X_3 - 2.045X_4 - 1.864X_5$ 。Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验 $\chi^2 = 10.202, P = 0.177$ 。绘制 ROC 曲线, 预测模型 AUC 为 0.817。预测模型的最佳临界值为 0.404。预测模型预测机械通气伴发高氧血症的 AUC 高于年龄、SOFA 评分、因内科疾患转入、因意识状态改变上机、使用 CPAP 模式单独预测时的 AUC (0.817 vs. 0.574、0.651、0.609、0.554、0.641)。将预测模型和最佳临界值应用于 53 例机械通气患者作为验证, 预测正确率为 79.2%, 敏感度 80.6%, 特异性 77.3%, 阳性预测值 83.3%, 阴性预测值 73.9%, 阳性似然比 3.551, 阴性似然比 0.251。结论: 使用 Logistic 回归构建的预测模型对机械通气伴发高氧血症有较好的预测价值。

关键词 高氧血症; 机械通气; Logistic 回归; 预测模型

中图分类号 R459.6; R459.7

文献标识码 A

DOI 10.11768/nkjwzzzz20250507

Construction and validation of a predictive model for hyperoxemia in patients with mechanical ventilation based on logistic regression analysis LI Xiao-jie, WU Zhe, YU Yi-qin, DENG Pei-ying, YANG Hong. Department of Intensive Care Medicine, the Third Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangdong Guangzhou 510630, China

Corresponding author: YANG Hong, E-mail: yhicu_nysy@163.com

Abstract Objective: To construct a predictive model of hyperoxemia in patients with mechanical ventilation and to verify its predictive value. Methods: This is a retrospective analysis of clinical data from 147 patients who underwent mechanical ventilation in the Intensive Care Unit of the Third Affiliated Hospital of Southern Medical University from January 2020 to March 2021, and patients were categorized into hyperoxemia group (94 cases) and non-hyperoxemia group (53 cases) according to whether the maximum arterial partial pressure of oxygen was ≥ 120 mmHg during 72 h of mechanical ventilation. The sex, age and body mass index (BMI) of the enrolled patients were recorded, along with the acute physiological assessment and chronic health evaluation II (APACHE II) score, sequential organ failure assessment (SOFA) score, chronic complications, reasons for admission, reasons for mechanical ventilation, ventilator parameters, hemodynamic data and laboratory test results. Univariate analysis was performed on the clinical variables of the two groups. Multivariate binary regression analysis of risk factors was conducted to screen independent risk factors affecting hyperoxemia in patients with mechanical ventilation. Then the combined predictor was constructed and the receiver operating characteristic (ROC) curve for the predictive model was built. The area under the ROC curve (AUC) for both the new indicator and original ones were compared. The best cut-off value was obtained where the Youden index reached the maximum value. Parameters such as sensitiv-

ity, specificity and predictive accuracy were also calculated for comparison. Finally, individual data of 53 patients with mechanical ventilation, who were admitted from January to June in 2022, were substituted into the equation to test the performance of the predictive model in predicting hyperoxemia. Results: Univariate analysis showed that SOFA score, admitting due to medical diseases, ventilator applied for lung lesions, ventilator applied for change of consciousness, using continuous positive airway pressure (CPAP), using synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV), lactate value and Hb value were risk factors for hyperoxemia in patients with mechanical ventilation (all $P < 0.05$). Multivariate analysis showed that age (X_1), SOFA score (X_2), admitting due to medical diseases (X_3), ventilator applied for change of consciousness (X_4) and using CPAP mode (X_5) were independent risk factors for hyperoxemia in patients with mechanical ventilation (all $P < 0.05$). The combined predictor model was as follows: $Y = 4.317 - 0.036X_1 - 0.183X_2 + 1.699X_3 - 2.045X_4 - 1.864X_5$. Hosmer and Lemeshow test showed good fitting effect ($\chi^2 = 10.202$, $P = 0.177$). ROC curve analysis showed that the AUC for predicting hyperoxemia in patients with mechanical ventilation was 0.817. The best cut-off value of the predictive model was 0.404 points. The AUC for the new predictive model was higher than that of any other indicator, including age, SOFA score, admitting due to medical diseases, ventilator applied for change of consciousness and using CPAP mode (0.817 vs. 0.574, 0.651, 0.609, 0.554, 0.641). The clinical data of 53 patients with mechanical ventilation were substituted in the probability equation of prediction. Its predictive accuracy was 79.2% and its sensitivity was 80.6%, specificity was 77.3%, positive predictive value was 83.3%, negative predictive value was 73.9%, positive likelihood ratio was 3.551 and negative likelihood ratio was 0.251. Conclusion: The predictive model based on logistic regression analysis has good discrimination and can be used as a reference and assessment tool for prediction of hyperoxemia in patients with mechanical ventilation.

Key words Hyperoxemia; Mechanical ventilation; Logistic regression; Predictive model

机械通气在改善重症患者氧合、紧急拯救生命过程中起着重要作用。但实施机械通气后患者可能会发生动脉血氧分压(PaO_2)水平过高。目前认为 $\text{PaO}_2 \geq 120 \text{ mmHg}$ 为高氧血症的诊断标准^[1,2]。研究表明,高氧血症是呼吸机相关性肺炎的独立危险因素,并与住院死亡率、重症监护病房(intensive care unit, ICU)死亡率增加有关^[3~7]。本研究通过分析ICU机械通气患者的临床资料,利用Logistic回归模型建立机械通气伴发高氧血症的预测模型,并将预测模型应用于临床,验证其效能,为高氧血症的早期发现和预防提供依据。

资料与方法

1. 研究对象:采用回顾性队列研究方法,选择2020年1月至2021年3月南方医科大学第三附属医院重症医学科机械通气患者作为研究对象。纳入标准:①年龄 > 18 岁;②机械通气时间 $> 72 \text{ h}$ 。排除标准:①治疗性低温;②施行心肺复苏;③进行体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)治疗;④拒绝有创操作或选择姑息治疗、临终关怀治疗者。本研究经医院医学伦理委员会批准(2021-伦审-012),无需签署知情同意书。

2. 方法:遵照ICU机械通气操作规程设置呼吸机参数,定期监测并记录患者机械通气24、48及72 h的血气分析结果。高氧血症定义为 $\text{PaO}_2 \geq$

120 mmHg。根据患者机械通气72 h最高 PaO_2 将患者分为高氧血症组(最高 $\text{PaO}_2 \geq 120 \text{ mmHg}$)和非高氧血症组(最高 $\text{PaO}_2 < 120 \text{ mmHg}$)。

3. 观察指标:收集患者行机械通气24 h的临床特征指标,包括:①基线特征:性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、急性生理学与慢性健康状况评估(acute physiological assessment and chronic health evaluation II, APACHE II)评分、序贯器官衰竭评估(sequential organ failure assessment, SOFA)评分、合并慢性疾病(慢性阻塞性肺疾病、慢性心功能不全、慢性肾功能不全)、收治原因;②机械通气原因:心力衰竭、肺部病变、全麻手术、神经肌肉病变、急性循环衰竭、气道梗阻、非心肺疾患所致的意识状态改变(根据格拉斯哥昏迷评分);③机械通气参数:通气模式、氧浓度(FiO_2)、呼气末正压(positive end expiratory pressure, PEEP);④循环状况:乳酸值、是否使用血管活性药物;⑤血红蛋白(Hb)值。

4. 预测模型的构建:比较2组机械通气24 h时上述各项临床特征。在单因素的基础上利用Logistic回归分析筛选出引起高氧血症的独立危险因素,把独立危险因素的回归系数重新赋值,构建预测模型,并以约登指数最大值时确定最佳临界值。

5. 预测模型效能的临床验证:另外收集2022年1月至6月本院重症医学科收治的实施机械通气患者的临床资料,纳入标准和排除标准同前,验证预

测模型预测的效能。

6. 统计学分析: 采用 SPSS 22.0 统计学软件进行分析,符合正态分布的计量资料采用($\bar{x} \pm s$)表示,比较采用独立样本 t 检验;不符合正态分布的数据采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,比较采用 Mann-Whitney U 检验;计数资料采用例数(%)表示,比较采用卡方检验。将单因素中 $P < 0.05$ 的因素纳入 Logistic 二元回归分析,得出独立危险因素并建立预测模型,行 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验,采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线计算曲线下面积(area under the curve, AUC)。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料: 预测模型构建共纳入 147 例患

者,其中男性 104 例(70.7%);中位年龄 63(51,76)岁;中位 BMI 为 23.0(21.3,26.1)kg/m²;APACHEII 评分 19(12,25)分,SOFA 评分 8(5,11)分;内科患者 76 例(51.7%);有慢性合并症者 36 例(24.5%)。预测模型 147 例患者中高氧血症组 94 例,非高氧血症组 53 例。

2. 机械通气患者临床资料单因素分析: ICU 机械通气患者发生高氧血症与 SOFA 评分、因内科疾患转入、肺部病变上机、意识状态改变上机、持续正压气道通气(continuous positive airway pressure, CPAP)、同步间歇指令通气(synchronized intermittent mandatory ventilation, SIMV)、乳酸值、Hb 值有相关性(P 均 < 0.05),见表 1。

3. 机械通气患者伴发高氧血症的多因素分析: 结合单因素分析结果,以是否发生高氧血症为二分

表 1 2 组患者临床特征比较

项目	高氧血症组($n=94$)	非高氧血症组($n=53$)	Z/χ^2 值	P 值
年龄[岁, $M(P_{25}, P_{75})$]	61(48,75)	64(55,77)	-1.485	0.137
男性[例(%)]	64(68.0)	40(75.5)	0.894	0.345
BMI[kg/m ² , $M(P_{25}, P_{75})$]	23.0(21.2,26.1)	23.1(22.4,24.1)	-0.194	0.846
APACHEII 评分[分, $M(P_{25}, P_{75})$]	19(12,24)	20(15,29)	-1.115	0.265
SOFA 评分[分, $M(P_{25}, P_{75})$]	7(4,10)	10(5.5,13)	-3.051	0.002
入院原因[例(%)]			6.473	0.011
内科疾患	56(59.6)	20(37.7)		
外科疾患	38(40.4)	33(62.3)		
合并症[例(%)]				
慢性肾功能不全	12(12.8)	8(15.0)	0.156	0.693
慢性心功能不全	8(8.5)	2(3.8)	1.200	0.273
慢性阻塞性肺病	4(4.3)	2(3.8)	0.020	0.887
机械通气原因[例(%)]				
心力衰竭	8(8.5)	2(3.8)	1.200	0.273
肺部病变	48(51.1)	18(34.0)	4.006	0.045
全麻手术	18(19.1)	13(24.5)	0.589	0.443
意识状态改变	4(4.3)	8(15.1)	5.311	0.021
神经肌肉病变	2(2.1)	0	1.143	0.285
急性循环衰竭	10(10.6)	12(22.6)	3.621	0.057
气道梗阻	4(4.3)	0	2.318	0.128
FiO ₂ ≥50%[例(%)]	18(19.1)	8(15.1)	0.383	0.536
PEEP[cmH ₂ O, $M(P_{25}, P_{75})$]	5(5,8)	5(5,8)	-0.369	0.712
呼吸机模式[例(%)]				
CPAP	16(17.0)	24(45.3)	13.667	<0.001
SIMV	66(70.2)	21(39.6)	13.128	<0.001
A/C	12(12.8)	8(15.1)	0.156	0.693
使用血管活性药物[例(%)]	56(59.6)	38(71.7)	2.161	0.142
乳酸[mmol/L, $M(P_{25}, P_{75})$]	1.1(0.9,1.6)	1.4(0.9,2.2)	-2.264	0.024
Hb[g/L, $M(P_{25}, P_{75})$]	95(82,116)	92(71,105)	-2.121	0.034

注: A/C 为辅助控制通气

类结局变量 (Y), 年龄、APACHEII 评分、SOFA 评分、因内科疾患转入、因肺部病变上机、因意识状态改变上机、使用 CPAP 模式、SIMV 模式、乳酸、Hb 作为协变量(X), 行二元 Logistic 回归分析。结果显示年龄、SOFA 评分、因内科疾患转入、因意识状态改变上机、使用 CPAP 模式是机械通气患者发生高氧血症的独立危险因素, 见表 2。

4. 预测模型的构建: 根据年龄(X_1)、SOFA 评分(X_2)、因内科疾患转入(X_3)、因意识状态改变上机(X_4)、使用 CPAP 模式(X_5)的回归系数构建预测模型, 其中分类变量(因内科疾患转入、因意识状态改变上机、使用 CPAP 模式)均赋值为 1。预测模型 $Y = 4.317 - 0.036X_1 - 0.183X_2 + 1.699X_3 - 2.045X_4$

$-1.864X_5$ 。预测模型行 Omnibus 综合检验, $\chi^2 = 49.401, P < 0.001$ 。预测模型行 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验, $\chi^2 = 10.202, P = 0.177$ 。绘制 ROC 曲线, 预测模型的 AUC 为 0.817, 95% CI: 0.743 ~ 0.891 ($P < 0.01$), 提示预测模型的预测价值较好。通过计算得出预测模型的最佳临界值为 0.404, 阳性预测值为 75.0%, 预测准确率为 78.9%。

5. 预测模型及各原始协变量预测机械通气伴发高氧血症的 ROC 曲线和参数比较: 预测模型预测高氧血症的 AUC 大于各原始协变量, 表明预测模型的工作性能优于年龄、SOFA 评分、因内科疾患转入、因意识状态改变上机、使用 CPAP 模式单独作为指标预测高氧血症的工作性能, 见表 3, 图 1。

表 2 机械通气伴发高氧血症的独立危险因素

变量	偏回归系数	Wald χ^2 值	P 值	OR(95% CI) 值
年龄	-0.036	5.739	0.017	0.965(0.937,0.993)
SOFA 评分	-0.183	13.150	<0.001	0.833(0.754,0.919)
内科疾患	1.699	12.610	<0.001	5.468(2.141,13.965)
意识状态改变	-2.045	7.345	0.007	0.129(0.029,0.568)
CPAP 模式	-1.864	15.441	<0.001	0.155(0.061,0.393)

表 3 预测模型及各原始协变量对高氧血症预测的 AUC 及其他参数

协变量	AUC	敏感度(%)	特异性(%)	阳性似然比	阴性似然比	最佳临界值	准确率(%)
年龄	0.574	51.1	69.8	1.691	0.701	61.5	63.9
SOFA 评分	0.651	59.6	71.7	2.105	0.564	7.5	66.7
内科疾患	0.609	59.6	62.3	1.579	0.649	1	63.9
意识状态改变	0.554	95.7	15.1	1.128	0.281	1	66.7
CPAP 模式	0.641	83.0	45.3	1.517	0.376	1	69.4
预测模型	0.817	95.7	43.4	2.206	0.075	0.404	78.9

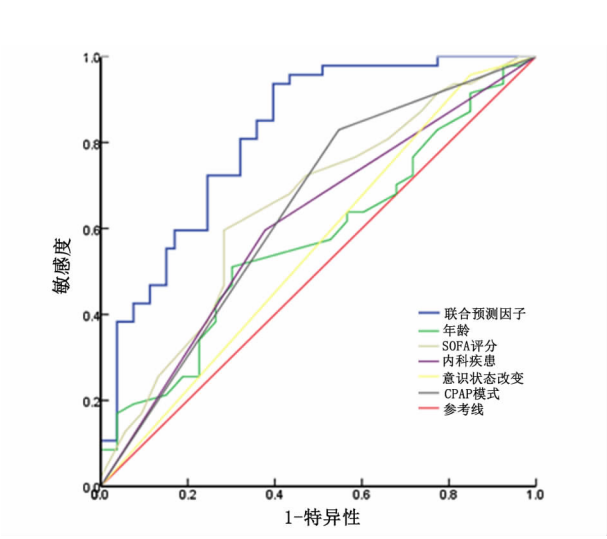


图 1 预测模型及各原始协变量预测机械通气伴发高氧血症的 ROC 曲线

6. 预测模型的验证: 将预测模型及最佳临界值应用于 2022 年 1 月至 6 月 ICU 连续收治的并符合纳入标准的 53 例机械通气患者, 其中男性 37 例 (69.8%), 中位年龄 68 (48, 72) 岁, SOFA 评分 7 (6, 10) 分, 内科患者 22 例 (41.5%)。按照预测模型公式进行计算, 将每位患者的预测模型结果与最佳临界值进行比较, 若结果 ≥ 0.404 预测为机械通气伴发高氧血症。以机械通气 72 h 内的血气分析为金标准, 若预测为机械通气伴发高氧血症, 经 72h 血气分析确诊的记为真阳性, 否则记为假阳性; 若预测为机械通气未伴发高氧血症, 经 72h 血气分析排除高氧血症的记为真阴性, 否则记为假阴性。53 例机械通气患者的临床资料见表 4。最终确诊为机械通气伴发高氧血症 31 例, 机械通气未伴发高氧血症 22 例。

经预测模型预测真阳性 25 例,真阴性 17 例,假阳性 5 例,假阴性 6 例,预测准确率为 79.2%,敏感度 80.6%,特异性 77.3%,约登指数 0.579,阳性预测值 83.3%,阴性预测值 73.9%,阳性似然比 3.551,阴性似然比 0.251。

讨 论

本研究通过 Logistic 回归分析建立了机械通气患者伴发高氧血症的预测模型,当预测模型 ≥ 0.404 分时对机械通气患者伴发高氧血症有一定预测价值。其预测模型特点为:首先,预测的是 ICU 患者在机械通气期间发生高氧血症的情况;其次,预测模型涵盖的危险因素除呼吸机的设置外,还包括患者的基线特征、入 ICU 时的特点(由内科或外科病房转入、机械通气的原因)及入 ICU 后的相关治疗情况(使用血管活性药物、输血治疗)。一般认为机械通气患者伴发高氧血症是医护人员为达到预设的 SPO₂ 目标使用了较高氧浓度或吸气压过高或潮气量过大所致^[8-11]。Itagaki 等^[12]研究发现,年轻患者的高氧血症发生率最高,且危重症评分较低,提示除了关注呼吸机设置,还应关注患者其他临床特征。相较于先前危重患者高氧血症的危险因素分析研究,本研究中的人群进一步扩大,并引入了更多的临床指标。另一方面,既往研究结果显示,随着机械通气时间的延长,高氧血症的发生率有增加趋势,机械通气 24~48 h 高氧血症的发生率最高^[12],推测机械通气 24~48 h 高氧血症多种影响因素联合作用的效应最大。

本研究建立的预测模型包含年龄、SOFA 评分、因内科疾患转入、因意识状态改变上机、使用 CPAP 模式 5 个变量。SOFA 评分是 ICU 常用的危重症评分^[13,14],一般通过简单量表的形式获得,在临床中可根据 SOFA 评分量化患者疾病的严重程度,因此将 SOFA 评分作为连续型变量符合临床意义^[15,16]。本研究结果显示,年龄与 SOFA 评分对高氧血症的

影响较大。年轻患者高氧血症发生率较高,且 SOFA 评分较低,可能与此类患者基础肺功能较好,病情相对较轻有关。另外,患者来源的科室及机械通气的模式也对高氧血症的发生有影响。因内科疾患转入的患者发生高氧血症的风险增加 5 倍以上,可能与罹患内科疾病的患者存在慢性合并症,机械通气时间相对较长,高氧血症发生率增加有关。由于颅脑病变、急性中毒等非心、肺疾患所致的意识障碍,此类患者容易出现气道保护能力下降及氧合波动而需要机械通气,但由于心肺功能相对较好,上机后容易发生高氧血症。本研究显示,使用 CPAP 通气模式的患者,其高氧血症的发生率低于使用 SIMV 或 A/C 模式的患者(16/40 vs. 66/87、12/20)。动物试验研究发现 CPAP 模式对高氧血症诱导的气道炎性反应有保护作用^[17],可限制高氧血症引起的肺损伤^[18]。这提示在病情允许的情况下进一步优化患者的通气模式可能减少高氧血症的发生。

本研究建立的预测模型性能良好,主要体现在以下几个方面:①模型拟合方面,模型的 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验, $\chi^2 = 10.202, P = 0.177$,该检验 $P > 0.05$,提示模型与研究人群良好拟合^[19];②可靠性方面,预测模型的 AUC 为 0.817,95% CI 为 0.743~0.891($P < 0.01$),显示模型的总体辨别力良好。预测模型的总体预测准确率为 78.9%,能较好地预测机械通气患者伴发高氧血症。预测模型的最佳临界值为 0.404,提示当代入计算的概率值大于最佳临界值 0.404 时,在预测准确率为 78.9%的条件下,患者发生高氧血症。进一步临床验证,将 53 例机械通气患者的临床资料代入预测模型公式,结果预测正确率为 79.2%,敏感度 80.6%,特异性 77.3%,阳性预测值 83.3%,阴性预测值 73.9%,说明预测模型的预测效果较好;③模型使用方面,预测模型仅包含 5 个变量,在临床中易于获得,其中 3 个变量为分类变量,2 个连续变量除年龄外,SOFA 评分为 ICU 日常工作的核查内容之一,不需要额外使

表 4 53 例机械通气验证患者的临床资料

项目	伴发高氧血症($n = 31$)	未伴发高氧血症($n = 22$)	Z/χ^2 值	P 值
年龄[岁, $M(P_{25}, P_{75})$]	65.0(43.0, 70.0)	70.0(61.8, 76.5)	-2.079	0.038
男性[例(%)]	21(67.7)	16(72.7)	-0.152	0.697
SOFA 评分[分, $M(P_{25}, P_{75})$]	6(5, 8)	8(7, 10)	-2.245	0.025
内科患者[例(%)]	17(54.8)	5(22.7)	5.465	0.019
意识状态改变[例(%)]	5(16.1)	9(40.9)	4.065	0.044
CPAP 模式[例(%)]	1(3.2)	9(40.9)	11.937	0.001

用繁琐的评分量表,使得预测模型更易被临床应用。

本研究建立的预测模型提示,临床医生应关注机械通气患者的年龄及疾病的严重程度,对于肺病基础情况相对较好及处于恢复期的患者,应警惕高氧血症的发生,呼吸机参数的设置也应该根据患者的氧合情况进行动态调整,从而避免高氧血症,为患者争取更好的临床结局。

本研究为单中心、回顾性研究,纳入病例数量有限;重症患者干扰因素多,可能导致结果的偏倚,如患者入 ICU 后治疗措施多,除机械通气外往往还接受了血液净化等治疗;未能观察高氧血症的持续时间;建立的预测模型系数值较复杂,需要进一步简化。

参 考 文 献

1 Six S, Jaffal K, Ledoux G, et al. Hyperoxemia as a risk factor for ventilator-associated pneumonia[J]. Crit Care, 2016, 20(1):195-195.

2 Ke ZW, Jiang Y, Bao YP, et al. Intensivists' response to hyperoxemia in mechanical ventilation patients: The status quo and related factors[J]. World J Emerg Med, 2021, 12(3):202-206.

3 Girardis M, Busani S, Damiani E, et al. Effect of conservative *vs* conventional oxygen therapy on mortality among patients in an intensive care unit: the oxygen-ICU randomized clinical trial[J]. JAMA, 2016, 316(15):1583-1589.

4 Hong JY, Kim MN, Kim EG, et al. Clusterin deficiency exacerbates hyperoxia-induced acute lung injury[J]. Cells, 2021, 10(4):944.

5 杨怡, 胡旭, 胡汝均, 等. 高氧血症对重症患者的危害及管理措施[J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34(3):333-336.

6 Young P, Mackle D, Bellomo R, et al. Conservative oxygen therapy for mechanically ventilated adults with sepsis: a post hoc analysis of data from the intensive care unit randomized trial comparing two approaches to oxygen therapy (ICU-ROX)[J]. Intensive Care Med, 2020, 46(1):17-26.

7 Martin J, Mazer-Amirshahi M, Pourmand A. The impact of hyperoxia in the critically ill patient: a review of the literature[J]. Respir Care, 2020, 65(8):1202-1210.

8 Schwarte LA, Schober P, Loer SA. Benefits and harms of increased inspiratory oxygen concentrations[J]. Curr Opin Anaesthesiol, 2019, 32(6):783-791.

9 Stephens RJ, Siegler JE, Fuller BM. Mechanical ventilation in the pre-hospital and emergency department environment [J]. Respir Care, 2019, 64(5):595-603.

10 Lellouche F, Dionne S, Simard S, et al. High tidal volumes in mechanically ventilated patients increase organ dysfunction after cardiac surgery[J]. Anesthesiology, 2012, 116(5):1072-1082.

11 Chiao SS, Colquhoun DA, Naik BI, et al. Changing default ventilator settings on anesthesia machines improves adherence to lung-protective ventilation measures[J]. Anesth Analg, 2018, 126(4):1219-1222.

12 Itagaki T, Nakano Y, Okuda N, et al. Hyperoxemia in mechanically ventilated, critically ill subjects: incidence and related factors[J]. Respir Care, 2015, 60(3):335-340.

13 Kashyap R, Sherani KM, Dutt T, et al. Current utility of sequential organ failure assessment score: a literature review and future directions [J]. Open Respir Med J, 2021, 13(15):1-6.

14 辛璐, 张杨. 血清 PCT、CRP、cTnI 及 NT-proBNP 水平与感染性休克患者病情危重程度的相关性研究[J]. 内科急危重症杂志, 2020, 26(3):207-211.

15 Tripepi G, Jager KJ, Stel VS, et al. How to deal with continuous and dichotomic outcomes in epidemiological research: linear and logistic regression analyses [J]. Nephron Clin Pract, 2011, 118(4):399-406.

16 杨朋磊, 袁静, 陈勇, 等. 基于左心室整体纵轴应变建立脓毒症心肌病预测模型[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(15):1100-1107.

17 Macfarlane PM, Mayer CA, Jafri A, et al. CPAP protects against hyperoxia-induced increase in airway reactivity in neonatal mice[J]. Pediatr Res, 2021, 90(10):52-57.

18 Gie AG, Salaets T, Vignero J, et al. Intermittent CPAP limits hyperoxia-induced lung damage in a rabbit model of bronchopulmonary dysplasia[J]. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol, 2020, 318(5):976-987.

19 Dankers FJWM, Traverso A, Wee L, et al. Prediction modeling methodology. Fundamentals of Clinical Data Science[M]. Cham (CH): Springer, 2019:101-120.

(2023-10-11 收稿 2024-12-10 修回)

《内科急危重症杂志》2026 年各期重点号

第 1 期	消化系统疾病	第 2 期	血液病与风湿免疫病	第 3 期	神经及感染性疾病
第 4 期	肾脏及内分泌疾病	第 5 期	呼吸系统疾病	第 6 期	心血管疾病