

## · 论著 ·

# 重症机械通气患者脱机失败的风险预测 列线图模型构建与验证

扫描二维码  
获取更多赵文婷<sup>1</sup>, 周大文<sup>1</sup>, 杨晓梅<sup>1</sup>, 郑红艳<sup>2</sup>

**【摘要】** 目的 构建并验证重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型。方法 采用便利抽样法, 选取2020年5月至2022年5月在淮安市第二人民医院重症医学科进行机械通气的患者670例为研究对象。按照7:3的比例将患者分为建模组( $n=469$ )及验证组( $n=201$ )。根据脱机结果将建模组进一步分为失败亚组( $n=88$ )和成功亚组( $n=381$ )。自行设计基线资料调查表并统计患者基线资料, 采用多因素Logistic回归分析探讨建模组重症机械通气患者脱机失败的影响因素; 基于多因素Logistic回归分析结果, 采用R软件构建重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型; 采用Hosmer-Lemeshow检验及校准曲线评估该列线图模型的校准度, 采用ROC曲线评估该列线图模型的区分度。结果 失败亚组机械通气时间 $\geq 7$  d、入院24 h内最低急性生理学与慢性健康状况评分系统II(APACHE II)评分 $\geq 15$ 分、入院24 h内最低脓毒症相关性器官功能衰竭评价(SOFA)评分 $\geq 6$ 分者占比及通气后动脉血二氧化碳分压( $\text{PaCO}_2$ )、呼吸机相关性膈肌功能障碍(VIDD)发生率高于成功亚组, 脱机前24 h内血清白蛋白低于成功亚组( $P<0.05$ )。多因素Logistic回归分析结果显示, 机械通气时间、入院24 h内最低APACHE II评分、入院24 h内最低SOFA评分、通气后 $\text{PaCO}_2$ 、VIDD是建模组重症机械通气患者脱机失败的影响因素( $P<0.05$ )。基于多因素Logistic回归分析结果, 构建重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型。Hosmer-Lemeshow检验及校准曲线分析结果显示, 该列线图模型预测建模组、验证组重症机械通气患者脱机失败的发生率分别与本组重症机械通气患者脱机失败的实际发生率比较, 差异无统计学意义( $\chi^2=7.650, P=0.468$ ;  $\chi^2=7.465, P=0.487$ )。ROC曲线分析结果显示, 该列线图模型预测建模组、验证组重症机械通气患者脱机失败的曲线下面积分别为0.870 [95%CI (0.836, 0.903)]、0.867 [95%CI (0.812, 0.911)], 灵敏度分别为74.47%、75.31%, 特异度分别为87.19%、85.83%。结论 机械通气时间 $\geq 7$  d、入院24 h内最低APACHE II评分 $\geq 15$ 分、入院24 h内最低SOFA评分 $\geq 6$ 分、通气后 $\text{PaCO}_2$ 升高、VIDD是重症机械通气患者脱机失败的危险因素, 基于以上危险因素构建的重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型具有良好的校准度、区分度, 其对重症机械通气患者脱机失败风险具有良好的预测能力。

**【关键词】** 机械通气; 脱机失败; 影响因素分析; 列线图; 预测

**【中图分类号】** R 605.973 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2023.00.141

## Construction and Validation of a Nomogram Model for Predicting the Risk of Offline Failure in Patients with Severe Mechanical Ventilation ZHAO Wenting<sup>1</sup>, ZHOU Dawen<sup>1</sup>, YANG Xiaomei<sup>1</sup>, ZHENG Hongyan<sup>2</sup>

1. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Huai'an Second People's Hospital, Huaian 223002, China

2. Department of Neurosurgery, Huai'an Second People's Hospital, Huaian 223002, China

Corresponding author: ZHENG Hongyan, E-mail: 328914166@qq.com

**【Abstract】 Objective** To construct and validate a nomogram model for predicting the risk of offline failure in patients with severe mechanical ventilation. **Methods** A total of 670 patients with mechanical ventilation admitted to the Department of Intensive Care Medicine of Huai'an Second People's Hospital from May 2020 to May 2022 were selected as the research objects by convenience sampling method. Patients were divided into modeling group ( $n=469$ ) and validation group ( $n=201$ ) in a ratio of 7:3. According to the offline results, the modeling group was further divided into failure subgroup ( $n=88$ ) and success subgroup ( $n=381$ ). The baseline data questionnaire was designed and the baseline data of patients were collected. Multivariate Logistic regression analysis was used to explore the influencing factors of offline failure in patients with severe mechanical ventilation in the modeling group. Based on the results of multivariate Logistic regression analysis, R software was used to establish the nomogram model for predicting the risk of offline failure in patients with severe mechanical ventilation. Hosmer-Lemeshow test and calibration curve were used to evaluate the calibration degree of the nomogram model. ROC curve was used to evaluate the differentiation of the nomogram model. **Results** The proportion of mechanical ventilation duration  $\geq 7$  d, the lowest acute physiology and chronic

health evaluation II (APACHE II) score  $\geq 15$  points within 24 h of admission, the lowest sepsis-related organ failure assessment (SOFA) score  $\geq 6$  points within 24 h of admission, partial pressure of arterial carbon dioxide ( $\text{PaCO}_2$ ) after ventilation and the incidence of ventilator-induced diaphragmatic dysfunction (VIDD) in the failure subgroup were higher than those in the successful subgroup, and the serum albumin within 24 h before offline was lower than that in the successful subgroup ( $P < 0.05$ ). Multivariate Logistic regression analysis showed that mechanical ventilation duration, the lowest APACHE II score within 24 h of admission, the lowest SOFA score within 24 h of admission,  $\text{PaCO}_2$  after ventilation and VIDD were the influencing factors of offline failure in patients with severe mechanical ventilation in the modeling group ( $P < 0.05$ ). Based on the results of multivariate Logistic regression analysis, the nomogram model for predicting the risk of offline failure in patients with severe mechanical ventilation was constructed. Hosmer-Lemeshow test and calibration curve analysis results showed that there was no significant difference in the incidence of offline failure predicted by nomogram model in the modeling group and the verification group and the actual incidence of offline failure in patients with severe mechanical ventilation, respectively ( $\chi^2=7.650, P=0.468$ ;  $\chi^2=7.465, P=0.487$ ). ROC curve analysis results showed that the area under the curve of nomogram model in predicting offline failure in patients with severe mechanical ventilation in the modeling group and the verification group was 0.870 [95%CI (0.836, 0.903)] and 0.867 [95%CI (0.812, 0.911)], the sensitivity was 74.47% and 75.31%, the specificity was 87.19% and 85.83%, respectively. **Conclusion** Mechanical ventilation duration  $\geq 7$  d, the lowest APACHE II score  $\geq 15$  points within 24 h of admission, the lowest SOFA score  $\geq 6$  points within 24 h of admission, increased  $\text{PaCO}_2$  after ventilation, VIDD are risk factors for offline failure in patients with severe mechanical ventilation. The nomogram model for predicting the risk of offline failure in patients with severe mechanical ventilation constructed based on the above risk factors has good calibration and differentiation, and has good prediction ability for the risk of offline failure in patients with severe mechanical ventilation.

**【 Key words 】** Mechanical ventilations; Offline failure; Root cause analysis; Nomograms; Forecasting

机械通气是一种广泛用于维持重症监护病房患者生命的干预措施<sup>[1-2]</sup>。然而机械通气患者在病情好转后脱机失败率较高,脱机失败导致的死亡率高达25%~50%<sup>[3]</sup>,且长时间的机械通气经常导致许多并发症,包括呼吸机相关性肺炎、呼吸机相关膈肌疲劳、肺损伤和危重疾病相关性多发性神经病等<sup>[4-5]</sup>。因此,应尽早帮助机械通气患者脱机。近年来,虽有报道重症机械通气患者脱机失败影响因素的相关研究<sup>[6]</sup>,但建立相关预测模型者较少。列线图可直观展示患者出现相应疾病的概率,易于临床高效、快速地筛选高危人群,并制定有效的干预措施。基于此,本研究旨在构建并验证重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型,以期预防重症机械通气患者脱机失败提供参考依据。

## 1 对象与方法

1.1 研究对象 采用Logistic自变量事件数法计算样本量<sup>[7]</sup>,本研究共纳入22个变量,因此至少需要患者110例,本研究组进行的小样本量试验结果显示,50例重症机械通气患者脱机失败发生率为20.0% (10/50),再考虑到10%的失访率,本研究最小的样本量为612例,本研究最终确定样本量为670例。采用便利抽样法,选取2020年5月至2022年5月在淮安市第二人民医院重症医学科进行机械通气的患者670例为研究对象,其中重症肺部感染311例、心肺复苏术后52例、肿瘤切除术后40例、脑出血39例、慢性阻塞性肺疾病34例、急性心肌梗死33例、急性脑梗死30例、感染性中毒性休克25例、代谢性脑病25例、糖尿病肾病18例、脓毒

症15例、冠状动脉粥样硬化15例、腹腔感染8例、低血容量性休克8例、肺源性心脏病8例、急性左心衰竭6例、肿瘤3例。纳入标准:(1)机械通气时间 $>48$  h;(2)符合脱机标准;(3)自愿参加本研究,并签署知情同意书。排除标准:(1)年龄 $<18$ 岁者;(2)未进入脱机程序,因死亡或其他原因中断机械通气治疗者;(3)处于妊娠期或哺乳期者;(4)晚期癌症者;(5)患有急性神经系统疾病者。按照7:3的比例将患者分为建模组( $n=469$ )及验证组( $n=201$ )。根据脱机结果将建模组进一步分为失败亚组( $n=88$ )和成功亚组( $n=381$ )。脱机标准:原发感染灶痊愈或病情得到控制;意识清楚;有自主呼吸,咳嗽有力,吞咽功能良好,血气分析结果基本正常,无喉梗阻。脱机方法:逐渐降低吸入氧浓度,呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)逐渐降至3~4 cm  $\text{H}_2\text{O}$  (1 cm  $\text{H}_2\text{O}=0.098$  kPa),将间歇正压通气(intermittent positive pressure ventilation, IPPV)改为间歇指令通气(intermittent mandatory ventilation, IMV)或同步间歇指令通气(synchronized intermittent mandatory ventilation, SIMV)或压力支持,逐渐减少IMV或支持压力,最后过渡到持续正压气道通气(continuous positive airway pressure, CPAP)或完全撤离呼吸机,整个过程需严密观察患者呼吸、血气分析情况;气管插管者可一次性拔出气管,气管切开者可按照换细管、半堵管、全堵管顺序逐渐拔出气管。患者在脱机后可自主呼吸48 h以上,无呼吸困难、心率增快、大汗及烦躁等表现定

义为脱机成功; 而患者脱机48 h内死亡或脱机48 h内不能进行自主呼吸, 需再次使用机械通气治疗定义为脱机失败<sup>[8]</sup>。本研究经淮安市第二人民医院伦理委员会批准。

1.2 研究方法 自行设计基线资料调查表并统计患者资料, 具体内容包括: 年龄、性别、BMI、合并肺炎情况、合并休克情况、是否接受过大剂量( $\geq 1.0 \mu\text{g/kg}$ )血管活性药物治疗、机械通气时间, 入院时舒张压、收缩压、心率、呼吸频率、氧合指数、血氧饱和度, 入院24 h内最低急性生理学及慢性健康状况评分系统 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II) 评分、脓毒症相关性器官功能衰竭评价(sepsis-related organ failure assessment, SOFA) 评分, 通气后动脉血二氧化碳分压(partial pressure of arterial carbon dioxide, PaCO<sub>2</sub>)、浅快呼吸指数, 脱机前24 h内中性粒细胞分数、血红蛋白、血清白蛋白, 呼吸机相关性膈肌功能障碍(ventilator-induced diaphragmatic dysfunction, VIDD) 发生情况、脱机失败情况。

1.3 统计学方法 使用SPSS 22.0进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )表示, 组间比较采用两独立样本 $t$ 检验; 计数资料以相对数表示, 组间比较采用 $\chi^2$ 检验; 采用多因素Logistic回归分析探讨建模组重症机械通气患者脱机失败的影响因素; 基于多因素Logistic回归分析结果, 采用R软件建立重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型; 采用Hosmer-Lemeshow检验及校准曲线评估该列线图模型的校准度; 采用ROC曲线评估该列线图模型的区分度(曲线下面积 $>0.7$ 表明区分度较好)<sup>[9]</sup>。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 建模组和验证组基线资料比较 建模组与验证组年龄、性别、BMI、合并肺炎者占比、合并休克者占比、接受过大剂量血管活性药物治疗者占比、机械通气时间, 入院时舒张压、收缩压、心率、呼吸频率、氧合指数、血氧饱和度, 入院24 h内最低APACHE II评分、SOFA评分, 通气后PaCO<sub>2</sub>、浅快呼吸指数, 脱机前24 h内中性粒细胞分数、血红蛋白、血清白蛋白, VIDD发生率、脱机失败发生率比较, 差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 见表1。

2.2 建模组重症机械通气患者脱机失败影响因素的单因素分析 失败亚组与成功亚组年龄、性别、BMI、合并肺炎者占比、合并休克者占比、接受过大剂量血管活性药物治疗者占比, 入院时舒张压、收缩压、心率、呼吸频率、氧合指数、血氧饱和度, 通气后浅快呼吸指数, 脱机前24 h内中性粒细胞分数、血红蛋白比较, 差异无统计学意义( $P > 0.05$ ); 失败亚组机械通气时间

表1 建模组和验证组基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline data between modeling group and validation group

项目	建模组 ( $n=469$ )	验证组 ( $n=201$ )	$t$ ( $\chi^2$ ) 值	$P$ 值
年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	47.1 $\pm$ 3.3	47.0 $\pm$ 3.1	0.365	0.715
性别 (男/女)	300/169	120/81	1.094 <sup>a</sup>	0.296
BMI ( $\bar{x} \pm s$ , kg/m <sup>2</sup> )	22.0 $\pm$ 1.2	21.8 $\pm$ 1.4	1.304	0.193
合并肺炎 [ $n$ (%) ]	240 (51.2)	110 (54.7)	0.712 <sup>a</sup>	0.399
合并休克 [ $n$ (%) ]	55 (11.7)	21 (10.4)	0.229 <sup>a</sup>	0.632
接受过大剂量血管活性药物治疗 [ $n$ (%) ]	74 (15.8)	28 (13.9)	0.372 <sup>a</sup>	0.542
机械通气时间 [ $n$ (%) ]			3.724 <sup>a</sup>	0.054
$\geq 7$ d	175 (37.3)	91 (45.3)		
$< 7$ d	294 (62.7)	110 (54.7)		
入院时舒张压 [ $n$ (%) ]			0.454 <sup>a</sup>	0.500
$\geq 90$ mm Hg	18 (3.8)	10 (5.0)		
$< 90$ mm Hg	451 (96.2)	191 (95.0)		
入院时收缩压 [ $n$ (%) ]			0.008 <sup>a</sup>	0.931
$\geq 140$ mm Hg	178 (38.0)	77 (38.3)		
$< 140$ mm Hg	291 (62.0)	124 (61.7)		
入院时心率 [ $n$ (%) ]			0.924 <sup>a</sup>	0.336
$\geq 100$ 次/min	236 (50.3)	93 (46.3)		
$< 100$ 次/min	233 (49.7)	108 (53.7)		
入院时呼吸频率 [ $n$ (%) ]			2.705 <sup>a</sup>	0.100
$\geq 20$ 次/min	366 (78.0)	145 (72.1)		
$< 20$ 次/min	103 (22.0)	56 (27.9)		
入院时氧合指数 [ $n$ (%) ]			0.905 <sup>a</sup>	0.341
$\geq 300$ mm Hg	172 (36.7)	66 (32.8)		
$< 300$ mm Hg	297 (63.3)	135 (67.2)		
入院时血氧饱和度 [ $n$ (%) ]			0.042 <sup>a</sup>	0.839
$\geq 95\%$	263 (56.1)	111 (55.2)		
$< 95\%$	206 (43.9)	90 (44.8)		
入院24 h内最低APACHE II评分 [ $n$ (%) ]			0.329 <sup>a</sup>	0.566
$\geq 15$ 分	233 (49.7)	95 (47.3)		
$< 15$ 分	236 (50.3)	106 (52.7)		
入院24 h内最低SOFA评分 [ $n$ (%) ]			0.005 <sup>a</sup>	0.946
$\geq 6$ 分	218 (46.5)	94 (46.8)		
$< 6$ 分	251 (53.5)	107 (53.2)		
通气后PaCO <sub>2</sub> ( $\bar{x} \pm s$ , mm Hg)	70.7 $\pm$ 6.2	69.9 $\pm$ 6.0	1.597	0.111
通气后浅快呼吸指数 [ $n$ (%) ]			1.426 <sup>a</sup>	0.232
$\geq 105$ 次/min	10 (2.1)	1 (0.5)		
$< 105$ 次/min	459 (97.9)	200 (99.5)		
脱机前24 h内中性粒细胞分数 ( $\bar{x} \pm s$ , %)	75.7 $\pm$ 9.2	75.3 $\pm$ 9.3	0.499	0.618
脱机前24 h内血红蛋白 ( $\bar{x} \pm s$ , g/L)	119.7 $\pm$ 18.2	119.7 $\pm$ 18.2	0.033	0.974
脱机前24 h内血清白蛋白 ( $\bar{x} \pm s$ , g/L)	34.0 $\pm$ 2.9	34.2 $\pm$ 2.9	0.573	0.567
VIDD [ $n$ (%) ]	203 (43.3)	89 (44.3)	0.057 <sup>a</sup>	0.812
脱机失败 [ $n$ (%) ]	88 (18.8)	45 (22.4)	1.162 <sup>a</sup>	0.281

注: APACHE II=急性生理学及慢性健康状况评分系统 II, SOFA=脓毒症相关性器官功能衰竭评价, PaCO<sub>2</sub>=动脉血二氧化碳分压, VIDD=呼吸机相关性膈肌功能障碍; 1 mm Hg=0.133 kPa; <sup>a</sup>表示 $\chi^2$ 值



≥7 d、入院24 h内最低APACHE II评分≥15分、入院24 h内最低SOFA评分≥6分者占比及通气后PaCO<sub>2</sub>、VIDD发生率高于成功亚组，脱机前24 h内血清白蛋白低于成功亚组，差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )，见表2。

**2.3 建模组重症机械通气患者脱机失败影响因素的多因素Logistic回归分析** 以建模组重症机械通气患者脱机失败情况为因变量 (赋值: 否=0, 是=1)，机械通气时间 (赋值: <7 d=0, ≥7 d=1)、入院24 h内最低APACHE II评分 (赋值: <15分=0, ≥15分=1)、入院24 h内最低SOFA评分 (赋值: <6分=0, ≥6分=1)、通气后PaCO<sub>2</sub> (实测值)、脱机前24 h内血清白蛋白 (实测值)、VIDD发生情况 (赋值: 未发生=0, 发生=1) 为因变量, 进行多因素Logistic回归分析, 结果显示, 机械通气时间、入院24 h内最低APACHE II评分、入院24 h内最低SOFA评分、通气后PaCO<sub>2</sub>、VIDD是建模组重症机械通气患者脱机失败的影响因素 ( $P<0.05$ )，见表3。

**2.4 重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型的构建与验证** 基于多因素Logistic回归分析结果, 构建重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型, 见图1。Hosmer-Lemeshow检验及校准曲线分析结果显示, 该列线图模型预测建模组、验证组重症机械通气患者脱机失败的发生率分别与本组重症机械通气患者脱机失败的实际发生率比较, 差异无统计学意义 ( $\chi^2=7.650, P=0.468$ ;  $\chi^2=7.465, P=0.487$ )，见图2~3。ROC曲线分析结果显示, 该列线图模型预测建模组、验证组重症机械通气患者脱机失败的曲线下面积分别为0.870 [95%CI (0.836, 0.903)]、0.867 [95%CI (0.812, 0.911)]，灵敏度分别为74.47%、75.31%，特异度分别为87.19%、85.83%，见图4~5。

### 3 讨论

机械通气脱机是危重患者康复过程中的一个具有挑战性的步骤。脱机失败定义为在预定拔管后48 h内需要重新插管<sup>[9]</sup>。研究表明, 脱机失败和机械通气时间延长不仅与更长的ICU停留时间及更高的医疗保健费用相关, 也与患者死亡率增加有关<sup>[10]</sup>。因此, 寻找影响重症机械通气患者脱机失败的因素, 针对不同影响因素制定有效预防措施, 对提高脱机成功率具有重要意义。

本研究结果显示, 建模组469例患者中有88例脱机失败, 占18.8%。本研究多因素Logistic回归分析结果显示, 机械通气时间≥7 d、入院24 h内最低APACHE II评分≥15分、入院24 h内最低SOFA评分≥6分、通气后PaCO<sub>2</sub>升高、VIDD是建模组重症机械通气患者脱机失败的危险因素。机械通气时间延长会抑制呼吸道的黏液纤毛系统, 降低气道的防御功能, 增加患者切口感染及肺

**表2** 建模组重症机械通气患者脱机失败影响因素的单因素分析

**Table 2** Univariate analysis of influencing factors of offline failure in patients with severe mechanical ventilation in modeling group

变量	失败亚组 (n=88)	成功亚组 (n=381)	t (χ <sup>2</sup> ) 值	P值
年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	47.2 ± 3.3	47.0 ± 3.3	0.805	0.421
性别 (男/女)	54/34	246/135	0.318 <sup>a</sup>	0.573
BMI ( $\bar{x} \pm s$ , kg/m <sup>2</sup> )	22.0 ± 1.1	22.0 ± 1.3	0.429	0.668
合并肺炎 [n (%)]	48 (54.5)	192 (50.4)	0.493 <sup>a</sup>	0.483
合并休克 [n (%)]	12 (13.6)	43 (11.3)	0.381 <sup>a</sup>	0.537
接受过大剂量血管活性药物治疗 [n (%)]	16 (18.1)	58 (14.2)	0.471 <sup>a</sup>	0.493
机械通气时间 [n (%)]			7.454 <sup>a</sup>	0.006
≥7 d	44 (50.0)	131 (34.4)		
<7 d	44 (50.0)	250 (65.6)		
入院时舒张压 [n (%)]			0.054 <sup>a</sup>	0.816
≥90 mm Hg	3 (3.4)	15 (3.9)		
<90 mm Hg	85 (96.6)	366 (96.1)		
入院时收缩压 [n (%)]			1.149 <sup>a</sup>	0.284
≥140 mm Hg	29 (33.0)	149 (39.1)		
<140 mm Hg	59 (67.0)	232 (60.9)		
入院时心率 [n (%)]			0.414 <sup>a</sup>	0.520
≥100 次/min	47 (53.4)	189 (49.6)		
<100 次/min	41 (46.6)	192 (50.4)		
入院时呼吸频率 [n (%)]			0.037 <sup>a</sup>	0.847
≥20 次/min	68 (77.3)	298 (78.2)		
<20 次/min	20 (22.7)	83 (21.8)		
入院时氧合指数 [n (%)]			1.100 <sup>a</sup>	0.294
≥300 mm Hg	28 (31.8)	144 (37.8)		
<300 mm Hg	60 (68.2)	237 (62.2)		
入院时血氧饱和度 [n (%)]			0.103 <sup>a</sup>	0.748
≥95%	48 (54.5)	215 (56.4)		
<95%	40 (45.5)	166 (43.6)		
入院24 h内最低APACHE II评分 [n (%)]			13.067 <sup>a</sup>	<0.001
≥15分	59 (67.0)	174 (45.7)		
<15分	29 (33.0)	207 (54.3)		
入院24 h内最低SOFA评分 [n (%)]			27.454 <sup>a</sup>	<0.001
≥6分	63 (71.6)	155 (40.7)		
<6分	25 (28.4)	226 (59.3)		
通气后PaCO <sub>2</sub> ( $\bar{x} \pm s$ , mm Hg)	83.6 ± 7.9	62.1 ± 5.1	35.532	<0.001
通气后浅快呼吸指数 [n (%)]			0.846 <sup>a</sup>	0.358
≥105次/min	3 (3.4)	7 (1.8)		
<105次/min	85 (96.6)	374 (98.2)		
脱机前24 h内中性粒细胞分数 ( $\bar{x} \pm s$ , %)	76.0 ± 9.4	75.5 ± 9.2	0.596	0.551
脱机前24 h内血红蛋白 ( $\bar{x} \pm s$ , g/L)	118.4 ± 17.6	120.6 ± 18.5	1.284	0.200
脱机前24 h内血清白蛋白 ( $\bar{x} \pm s$ , g/L)	29.3 ± 2.1	37.2 ± 3.4	28.020	<0.001
VIDD [n (%)]	66 (75.0)	137 (36.0)	44.388 <sup>a</sup>	<0.001

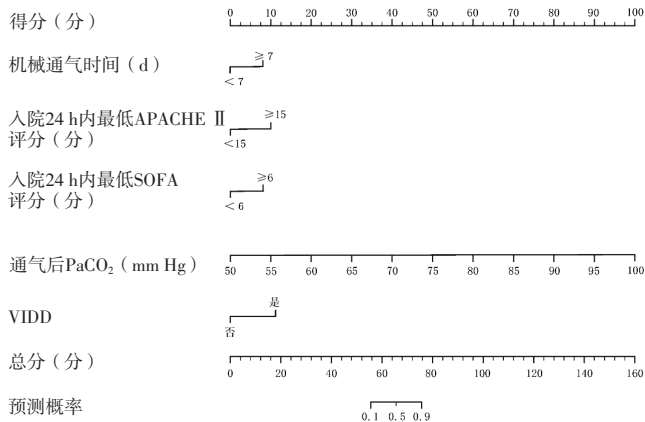
注: <sup>a</sup>表示  $\chi^2$ 值

**表3** 建模组重症机械通气患者脱机失败影响因素的多因素Logistic回归分析

**Table 3** Multivariate Logistic regression analysis of influencing factors of offline failure in patients with severe mechanical ventilation in modeling group

变量	$\beta$	SE	Wald $\chi^2$ 值	P值	OR值	95%CI
机械通气时间	1.782	0.773	5.311	0.021	5.940	(1.305, 27.033)
入院24 h内最低APACHE II评分	2.406	0.825	8.495	0.004	11.088	(2.199, 55.905)
入院24 h内最低SOFA评分	1.863	0.689	7.305	0.007	6.441	(1.669, 24.862)
通气后PaCO <sub>2</sub>	0.514	0.072	50.992	<0.001	1.672	(1.452, 1.925)
VIDD	2.737	0.746	13.448	<0.001	15.442	(3.576, 66.684)
常量	-41.622	5.808	51.359	<0.001	0.033	-

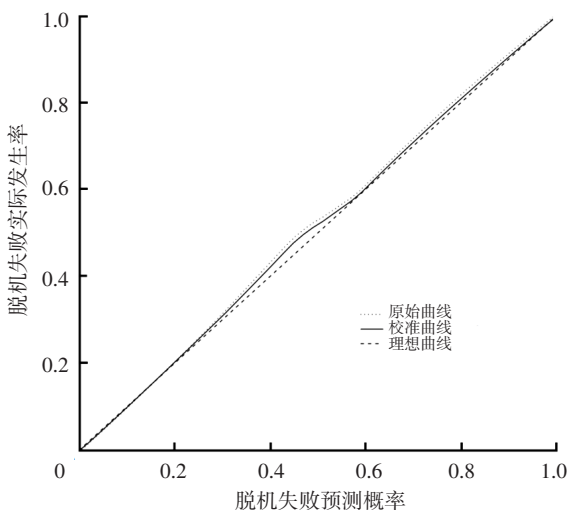
注: -表示无此数据



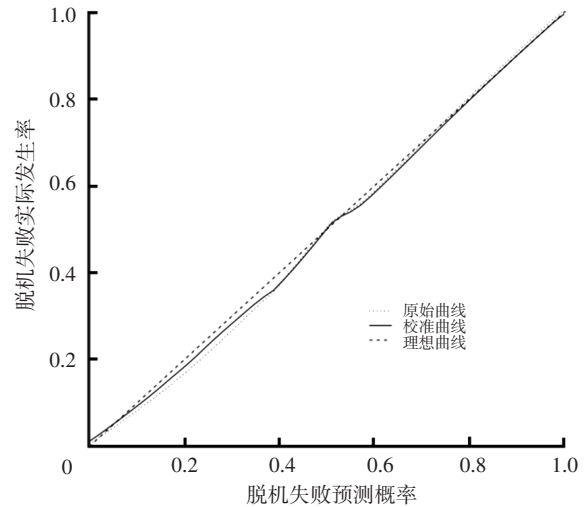
注: APACHE II=急性生理学及慢性健康状况评分系统II, SOFA=全身性感染相关性器官功能衰竭评分, PaCO<sub>2</sub>=动脉血二氧化碳分压, VIDD=呼吸机相关性膈肌功能障碍

**图1** 重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型

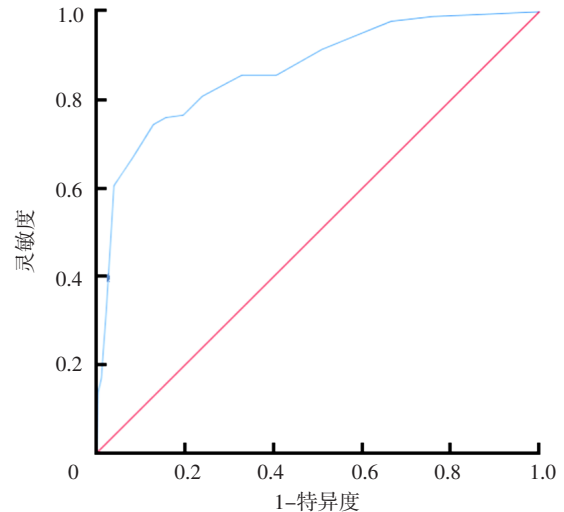
**Figure 1** Nomogram model for predicting risk of offline failure in patients with severe mechanical ventilation



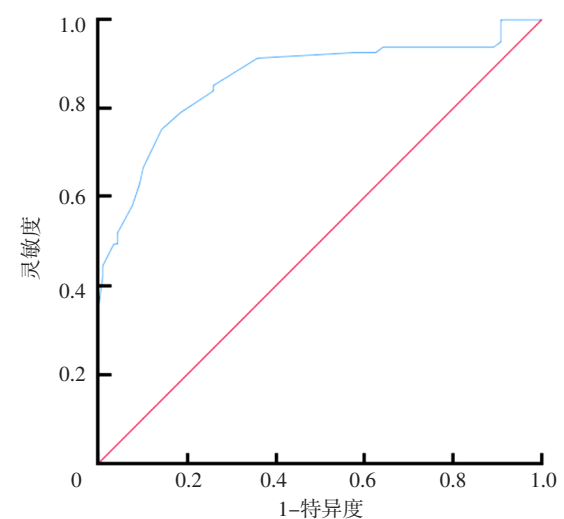
**图2** 列线图模型预测建模组重症机械通气患者脱机失败的校准曲线  
**Figure 2** Calibration curve of nomogram model for predicting offline failure in patients with severe mechanical ventilation in the modeling group



**图3** 列线图模型预测验证组重症机械通气患者脱机失败的校准曲线  
**Figure 3** Calibration curve of nomogram model for predicting offline failure in patients with severe mechanical ventilation in the validation group



**图4** 列线图模型预测建模组重症机械通气患者脱机失败的ROC曲线  
**Figure 4** ROC curve of nomogram model for predicting offline failure in patients with severe mechanical ventilation in the modeling group



**图5** 列线图模型预测验证组重症机械通气患者脱机失败的ROC曲线  
**Figure 5** ROC curve of nomogram model for predicting offline failure in patients with severe mechanical ventilation in the validation group

间质气肿等并发症的发生风险，而一系列并发症的发生可能对脱机结果产生影响<sup>[11]</sup>，最终导致脱机失败发生率升高，提示临床应合理安排患者的机械通气时间，以期提高脱机成功率。APACHE II评分用于临床评估ICU患者病情严重程度及死亡风险，评分越高表明患者病情越严重，死亡风险越高。研究表明，APACHE II评分升高与脱机失败密切相关<sup>[12]</sup>，提示护理人员应积极监测重症机械通气患者APACHE II评分，在APACHE II评分<15分时进行脱机程序可能在一定程度上提高脱机成功率。SOFA评分是反映器官功能变化的动态指标，可快速评估患者的凝血功能、血液循环、呼吸反应和神经功能等<sup>[13]</sup>，SOFA评分越高表明患者病情越严重。SHIN等<sup>[14]</sup>研究表明，机械通气第21天SOFA评分升高与需要长时间机械通气患者的脱机失败有关，本研究结果与之相似，提示医护人员应对入院24 h内最低SOFA评分 $\geq 6$ 分的重症机械通气患者及时采取有效措施以预防脱机失败。研究显示，当PaCO<sub>2</sub>异常升高时，患者可能出现血压降低、心律失常等，从而导致脱机失败<sup>[15]</sup>。因此，护理人员在患者机械通气过程中应定时检测患者气道是否阻塞，保证呼吸系统的顺畅，从而降低PaCO<sub>2</sub>。长时间的机械通气会导致由膈肌萎缩和收缩功能障碍引发的吸气肌无力快速进展，这统称为VIDD<sup>[16]</sup>。研究显示，约有53%的机械通气患者会发生VIDD，而VIDD易导致呼吸系统并发症的发生，从而延长机械通气时间，增加脱机失败发生率，进而影响患者预后<sup>[17-18]</sup>。提示临床应加强关注重症机械通气患者膈肌功能的恢复情况。

本研究根据多因素Logistic回归分析结果构建了重症机械通气患者脱机失败的风险预测列线图模型，其具有可视化的特点，能够将多因素Logistic回归分析结果通过直观的形式展示出来，并进行个体化预测。Hosmer-Lemeshow检验及校准曲线分析结果显示，该列线图模型预测建模组、验证组重症机械通气患者脱机失败的发生率分别与本组重症机械通气患者脱机失败的实际发生率比较，差异无统计学意义，表明该列线图模型具有良好的校准度。ROC曲线分析结果显示，该列线图模型预测建模组、验证组重症机械通气患者脱机失败的曲线下面积分别为0.870、0.867，表明该列线图模型具有良好的区分度。综上，该列线图模型对重症机械通气患者脱机失败风险具有良好的预测能力，且其中的各项指标易获取，可操作性强，对于筛查出的高风险脱机失败患者，可及时进行干预，以降低脱机失败发生风险。

综上所述，机械通气时间 $\geq 7$  d、入院24 h内最低APACHE II评分 $\geq 15$ 分、入院24 h内最低SOFA评分 $\geq 6$ 分、通气后PaCO<sub>2</sub>升高、VIDD是重症机械通气患者脱机失败的危险因素，基于以上危险因素构建的重症机械通

气患者脱机失败的风险预测列线图模型具有良好的校准度、区分度，其对重症机械通气患者脱机失败风险具有良好的预测能力，有较高的临床应用价值。但本研究样本量及纳入的影响因素有限，可能导致结果存在一定偏倚，今后将纳入更多样本量及影响因素进一步验证本研究结论。

作者贡献：赵文婷进行文章的构思与设计、统计学处理，撰写论文；郑红艳进行研究的实施与可行性分析，对文章整体负责、监督管理；周大文、杨晓梅进行数据收集、数据整理；赵文婷、郑红艳进行结果的分析与解释、论文的修订，负责文章的质量控制及审校。

本文无利益冲突。

### 参考文献

- [1] XU X, WU R, ZHANG Y J, et al. Value of combination of heart, lung, and diaphragm ultrasound in predicting weaning outcome of mechanical ventilation [J]. *Med Sci Monit*, 2020, 26: e924885. DOI: 10.12659/MSM.924885.
- [2] PATNAIK R, MISRA R, AZIM A, et al. Evaluation of ventilator associated events in critically ill patients with invasive mechanical ventilation: a prospective cohort study at a resource limited setting in Northern India [J]. *J Crit Care*, 2021, 64: 29-35. DOI: 10.1016/j.jcrc.2021.03.001.
- [3] 王芳, 成亚东, 王爱文. 重症监护病房机械通气患者脱机困难的高危因素分析 [J]. *中国药物与临床*, 2020, 20(17): 2928-2929. DOI: 10.11655/zgywylc2020.17.048.
- [4] LIANG Y R, YANG M C, WU Y K, et al. Transitional percentage of minute volume as a novel predictor of weaning from mechanical ventilation in patients with chronic respiratory failure [J]. *Asian Nurs Res (Korean Soc Nurs Sci)*, 2020, 14(1): 30-35. DOI: 10.1016/j.anr.2020.01.002.
- [5] 孟超, 范志强, 佟庆, 等. 两种SBT模式下CORE指数及RSBI值对ICU患者脱机成功的预测价值 [J]. *西部医学*, 2021, 33(1): 124-129. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3511.2021.01.027.
- [6] 杨建国, 何细飞, 黄菊九, 等. 程序化脱机方案在呼吸内科重症监护病房机械通气患者脱机过程中的临床实践 [J]. *护士进修杂志*, 2021, 36(14): 1281-1286. DOI: 10.16821/j.cnki.hsjx.2021.14.007.
- [7] 高永祥, 张晋昕. Logistic回归分析的样本量确定 [J]. *循证医学*, 2018, 18(2): 122-124. DOI: 10.12019/j.issn.1671-5144.2018.02.015.
- [8] PALKAR A, MAYO P, SINGH K, et al. Serial diaphragm ultrasonography to predict successful discontinuation of mechanical ventilation [J]. *Lung*, 2018, 196(3): 363-368. DOI: 10.1007/s00408-018-0106-x.
- [9] YANG Z X, YANG F W, YANG M F, et al. Prediction of overall survival in patients with stage I esophageal cancer: a novel web-based calculator [J]. *J Surg Oncol*, 2021, 124(5): 767-779. DOI: 10.1002/jso.26594.
- [10] CROGNIER L, POETTE M, CONIL J M, et al. Diaphragmatic speckle tracking imaging for 2D-strain assessment in mechanical ventilation weaning test [J]. *Med Hypotheses*, 2021, 152:

- 110593.DOI: 10.1016/j.mehy.2021.110593.
- [11] 朱孟雷, 刘虹, 韩继斌, 等. 膈肌超声对重症机械通气患者脱机结果的预测价值 [J]. 中华危重症医学杂志 (电子版), 2021, 14 (5): 425-429. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6880.2021.05.015.
- [12] 何少媚, 柳双燕. 分级肺康复护理对重症监护室机械通气患者脱机趋势的影响 [J]. 中国实用护理杂志, 2022, 38 (11): 807-811. DOI: 10.3760/cma.j.cn211501-20210406-01021.
- [13] 闫荣, 巨婷, 阎旭, 等. 早期主动活动对重症肌无力机械通气患者脱机的效果观察 [J]. 中国实用护理杂志, 2020, 36 (32): 2505-2509. DOI: 10.3760/cma.j.cn211501-20191103-03198.
- [14] SHIN H J, CHANG J S, AHN S, et al. Clinical factors associated with weaning failure in patients requiring prolonged mechanical ventilation [J]. *J Thorac Dis*, 2017, 9 (1): 143-150. DOI: 10.21037/jtd.2017.01.14.
- [15] SANFILIPPO F, DI FALCO D, NOTO A, et al. Association of weaning failure from mechanical ventilation with transthoracic echocardiography parameters: a systematic review and meta-analysis [J]. *Br J Anaesth*, 2021, 126 (1): 319-330. DOI: 10.1016/j.bja.2020.07.059.
- [16] HYATT H W, OZDEMIR M, YOSHIHARA T, et al. Calpains play an essential role in mechanical ventilation-induced diaphragmatic weakness and mitochondrial dysfunction [J]. *Redox Biol*, 2021, 38: 101802. DOI: 10.1016/j.redox.2020.101802.
- [17] 李嘉. 老年慢性阻塞性肺疾病急性加重期并呼吸衰竭患者机械通气脱机失败的多因素分析 [J]. 中国临床医生杂志, 2020, 48 (1): 57-60. DOI: 10.3969/j.issn.2095-8552.2020.01.016.
- [18] 袁法伟, 冯辉斌, 尹欢, 等. 呼吸衰竭患者体外膜肺氧合治疗后心率、氧合指数改变及APACHE II与SOFA评分对预后的预测价值 [J]. 国际医药卫生导报, 2022, 28 (10): 1338-1342. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-1245.2022.10.002.
- (收稿日期: 2023-02-03; 修回日期: 2023-04-04)  
(本文编辑: 崔丽红)
- 
- (上接第58页)
- [17] HANNIBAL L, BLOM H J. Homocysteine and disease: causal associations or epiphenomenons? [J]. *Mol Aspects Med*, 2017, 53: 36-42.
- [18] SMITH A D, REFSUM H. Homocysteine—from disease biomarker to disease prevention [J]. *J Intern Med*, 2021, 290 (4): 826-854. DOI: 10.1111/joim.13279.
- [19] 梁喆, 范芳芳, 张岩, 等. 中国高血压人群中H型高血压的比率和特征及与美国人群的比较 [J]. 北京大学学报 (医学版), 2022, 54 (5): 1028-1037.
- [20] XU R R, HUANG F, WANG Y R, et al. Gender- and age-related differences in homocysteine concentration: a cross-sectional study of the general population of China [J]. *Sci Rep*, 2020, 10 (1): 17401. DOI: 10.1038/s41598-020-74596-7.
- [21] 李宏锦, 于海洋, 李亚楠, 等. 同型半胱氨酸水平和年龄相关疾病的研究进展 [J]. 中国医药科学, 2020, 10 (19): 38-42, 59. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0616.2020.19.009.
- [22] 谢容, 牛晓娜, 张妍楠, 等. 尿酸与H型高血压的相关性研究 [J]. 中国医科大学学报, 2022, 51 (2): 101-105. DOI: 10.12007/j.issn.0258-4646.2022.02.002.
- [23] LIU P T, CHEN J D. Synergistic association of hyperuricemia and hyperhomocysteinemia with chronic kidney disease in middle-aged adults and the elderly population [J]. *Medicine*, 2021, 100 (37): e27202. DOI: 10.1097/md.00000000000027202.
- [24] 郭紫. 血清同型半胱氨酸的影响因素及其对血尿酸影响的分析 [D]. 大连: 大连医科大学, 2021.
- [25] DEDUAL M A, WUEEST S, CHALLA T D, et al. Obesity-induced increase in cystatin C alleviates tissue inflammation [J]. *Diabetes*, 2020, 69 (9): 1927-1935. DOI: 10.2337/db19-1206.
- [26] GARCIA-CARRETERO R, VIGIL-MEDINA L, BARQUERO-PEREZ O, et al. Cystatin C as a predictor of cardiovascular outcomes in a hypertensive population [J]. *J Hum Hypertens*, 2017, 31 (12): 801-807. DOI: 10.1038/jhh.2017.68.
- [27] ANDROULAKIS E, PAPAGEORGIU N, LIODAKI E, et al. Subclinical organ damage in white-coat hypertension: the possible role of cystatin C [J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2017, 19 (2): 190-197. DOI: 10.1111/jch.12882.
- [28] OTALORA L, CHAVEZ E, WATFORD D, et al. Identification of glomerular and podocyte specific genes and pathways activated by sera of patients with focal segmental glomerulosclerosis [J]. *PLoS One*, 2019, 14 (10): e222948. DOI: 10.1371/journal.pone.0222948.
- [29] ELSHERBINY N M, SHARMA I, KIRA D, et al. Homocysteine induces inflammation in retina and brain [J]. *Biomolecules*, 2020, 10 (3): 393. DOI: 10.3390/biom10030393.
- (收稿日期: 2023-01-17; 修回日期: 2023-05-30)  
(本文编辑: 谢武英)