

论著·临床研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.06.015

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail//50.1097.r.20230130.1604.016.html\(2023-01-31\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail//50.1097.r.20230130.1604.016.html(2023-01-31))

重症患者高流量氧疗失败的预后研究及预测模型构建^{*}

张 舒¹,许 珊^{2△},秦开秀²,罗盛淑¹

(1. 重庆医科大学附属第一医院肝胆外科 400010;2. 重庆医科大学附属第二医院急救部 400010)

[摘要] **目的** 研究重症患者高流量氧疗失败的预后情况及影响因素,并绘制列线图。**方法** 选择重症监护医疗信息集市(MIMIC)中 MIMIC-IV 数据库中 1 291 例高流量氧疗患者作为研究对象,分为高流量氧疗成功组($n=846$)和失败组($n=445$),比较两组重症监护室(ICU)死亡率、住 ICU 时间、住院时间及住院死亡率, Kaplan-Meier 生存曲线评估 28 d 累积生存率,Log-rank 检验比较两组生存情况,logistic 回归模型用于评价高流量氧疗失败的影响因素并绘制列线图,通过绘制受试者工作特征(ROC)曲线及临床决策分析(DCA)评价该模型的效能,Bootstrap 法进行重复抽样内部验证。**结果** 高流量氧疗失败的发生率为 34.46%。与高流量氧疗成功组比较,高流量氧疗失败组血小板计数、pH 值、氧合指数、血氧饱和度、吸入氧浓度(FiO_2)更低,凝血酶原时间及活化部分凝血酶原时间更长,SAPS II 及 SOFA 评分更高,高流量氧疗时间更短,28 d 死亡率、ICU 死亡率、院内死亡率更高,住 ICU 时间、住院时间更长,差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素回归分析结果发现,年龄、呼吸频率、 FiO_2 、GCS-语言、GCS-睁眼是高流量氧疗失败的独立影响因素($P<0.05$)。建立模型发现其曲线下面积(AUC)为 0.827,DCA 显示临床效能较好。**结论** 研究构建的模型可用于高流量氧疗失败的预测。

[关键词] 高流量氧疗;重症;预后;影响因素;列线图

[中图法分类号] R4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2023)06-0876-07

Construction of prognosis research and prediction models for high-flow oxygen therapy failure in critical illness patients^{*}

ZHANG Shu¹,XU Shan^{2△},QIN Kaixiu²,LUO Shengshu¹

(1. Department of Hepatological Surgery, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China; 2. Department of Emergency, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

[Abstract] **Objective** To explore the prognosis and influencing factors of high-flow oxygen therapy failure in critical illness patients and draw a nomogram. **Methods** A total of 1 291 patients with high-flow oxygen therapy in the MIMIC-IV database of the Intensive Care Medical Information Market (MIMIC) were selected as the research subjects. They were divided into the high-flow oxygen therapy success group ($n=846$) and the failure group ($n=445$). The mortality in the intensive care unit (ICU), the duration of stay in the ICU, the length of stay in the hospital and the mortality in the hospital were compared between the two groups. The cumulative survival rate of 28 days was evaluated by Kaplan-Meier survival curve, and the survival conditions of the two groups were compared by Log-rank test. The logistic regression model was used to explore the influencing factors of high-flow oxygen failure and nomogram was drawn. The efficiency of the model was evaluated by drawing the the receiver operator characteristic (ROC) curve and decision curve analysis (DCA). Bootstrap method was for internal validation of repeated sampling. **Results** The rate of high-flow oxygen failure therapy was 34.46%. Compared with the successful high-flow oxygen therapy group, the failed high-flow oxygen therapy group had lower platelet count, pH value, oxygenation index, blood oxygen saturation, inhaled oxygen concentration (FiO_2), longer prothrombin time and activated partial prothrombin time, higher SAPS II and

^{*} **基金项目:**重庆医科大学附属第一医院内科科研基金项目(HLJ2015-02)。 **作者简介:**张舒(1988—),主管护师,硕士,主要从事外科学、急危重症、医院感染护理研究。 [△] **通信作者,**E-mail:601421954@qq.com。

SOFA scores, shorter high-flow oxygen therapy time, higher 28-day mortality, ICU mortality, hospital mortality, longer stay in ICU, and longer hospital stay, the difference were statistically significant ($P < 0.05$). Multivariate regression analysis showed that age, respiration rate, FiO_2 , GCS-language, GCS-eye opening were the independent influencing factors of the failure of high-flow oxygen therapy ($P < 0.05$). The area under curve (AUC) of the model was 0.827, and DCA showed better clinical efficacy. **Conclusion** The model constructed in the study can be used for the prediction of failure of high-flow oxygen therapy.

[Key words] high-flow oxygen therapy; critical illness; prognosis; influencing factors; nomogram

近年来,高流量氧疗作为一种新兴的无创呼吸支持方式,在重症患者中得到了较为广泛的应用^[1-2]。其通过特殊的设备以高达 30~60 L/min 的速率提供加热和加湿的氧气。具有较好的舒适性、耐受性,并能有效缓解呼吸窘迫、改善氧合^[3-4]。高流量氧疗有望成为危重患者一线治疗最有前景的技术^[5],越来越受到临床医生的关注。既往研究发现,在急性呼吸衰竭患者中,高流量氧疗可以在不增加 CO_2 潴留的情况下降低呼吸频率,改善患者呼吸窘迫及增加氧合^[6]。一项随机对照试验发现,在急性呼吸衰竭患者中,接受高流量氧疗的患者死亡率较无创通气治疗组及常规吸氧组低^[7]。在免疫功能低下的患者中,高流量氧疗的使用与较低的死亡率、较长的无创呼吸机使用天数和较低的插管风险相关^[8]。

但值得注意的是,与无创通气类似,高流量氧疗同样存在失败的风险^[9]。通常高流量氧疗失败被定义为:高流量氧疗失败后转为有创通气或者高流量氧疗期间死亡^[10-11]。有研究发现,高流量氧疗失败的发生率高达 28%~48%^[11-13],且合并更高的死亡率^[14]。因此,及时发现高流量氧疗失败高风险患者并及时插管可能会改善患者预后,但目前针对高流量吸氧失败危险因素的研究较少。因此,本研究利用免费公开的数据库资料,旨在明确高流量氧疗患者的预后情况,寻找其失败的危险因素并建立预测模型,从而帮助改善预后,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

所有相关数据均来自重症监护医疗信息集市(medical information mart for intensive care, MIM-IC)中 MIMIC-IV 数据库^[15],选取该数据库中的 1 291 例患者作为研究对象。纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁;(2)住重症监护室(intensive care unit, ICU)时间 > 24 h 的重症患者;(3)住院期间有高流量氧疗记录。排除标准:(1)在高流量氧疗前已经进行有创机械通气的患者;(2)同时有无创通气和高流量氧疗治疗的患者;(3)重复住 ICU 患者,只纳入第 1 次住院信息。本研究通过美国国立卫生研究院基于该数据库使用相关的培训课程并取得认证后进行数据库的访问及数据提取(认证编号:36743986)。

1.2 方法

1.2.1 数据提取

本研究所有数据通过结构化查询语言(structured query language, SQL)提取,提取内容包括一般资料(性别、年龄、出院时间等)、合并症(高血压、糖尿病、慢性阻塞性肺疾病等)、实验室检查指标(血红蛋白、白细胞、血小板等)、血气分析、生命体征、疾病相关评分[序贯器官衰竭估计评分(sequential organ failure assessment, SOFA)、简化的急性生理学评分 II (simplified acute physiology score II, SAPS II)、格拉斯哥昏迷评分(Glasgow coma scale, GCS)]、高流量吸氧、有创通气及无创通气资料、结局指标(28 d 死亡率、ICU 死亡率、院内死亡率等)。

1.2.2 观察指标

主要结局指标为 28 d 死亡率,次要结局指标包括 ICU 死亡率、院内死亡率、住 ICU 时间及住院时间。生命体征及吸氧浓度为高流量氧疗期间的平均值,其余研究变量为高流量氧疗后的第 1 次记录数据。缺失值 $> 5\%$ 的变量予以排除。

1.3 统计学处理

采用 STATA16.0 软件进行数据分析,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,比较采用 t 检验;不符合正态分布的计量资料以 $M(Q1, Q3)$ 表示,比较采用秩和检验;计量资料以频数或百分率表示,比较采用 χ^2 检验。Kaplan-Meier 生存曲线评估累积生存率,Log-rank 检验比较生存情况。单因素及多因素分析 logistic 回归分析,计算比值比(odd ratio, OR)及其 95% 置信区间(confidence interval, CI)并绘制列线图。采用绘制受试者工作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curves, AUC)及绘制临床决策分析(decision curve analysis, DCA)以验证该模型的效能,Bootstrap 法进行重复抽样内部验证。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 高流量氧疗患者一般资料及预后情况

经过逐步筛选,最终纳入 1 291 例患者进行分析,具体筛选流程见图 1。根据高流量氧疗期间是否转变为有创通气或者死亡将患者分为高流量氧疗成

功组($n=846$)及高流量氧疗失败组($n=445$),高流量氧疗失败的发生率为 34.46%。与高流量氧疗成功组比较,高流量氧疗失败组血小板计数更低,凝血酶原时间及活化部分凝血酶原时间更长,pH 值更低,吸入氧浓度(fraction of inspiration oxygen,FiO₂)、氧合指数、氧分压更低,SOFA 及 SAPS II 评分更高,高流量

氧疗时间更短,28 d 死亡率、ICU 死亡率、院内死亡率更高,住 ICU 时间、住院时间更长,差异有统计学意义($P<0.05$)。通过绘制 28 d Kaplan-Meier 生存曲线发现高流量氧疗失败组生存率明显低于成功组,log-rank 检验值为 <0.001 ,见表 1、图 2。

表 1 各组一般情况统计表

项目	全部患者 ($n=1\,291$)	高流量氧疗成功组 ($n=846$)	高流量氧疗失败组 ($n=445$)	$\chi^2/t/U$	P
一般特征					
男性[$n(\%)$]	731(56.62)	487(57.57)	244(54.83)	0.887	0.346
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	67.84±15.44	68.67±15.10	66.25±15.98	2.684	0.007
体重($\bar{x}\pm s$,kg)	79.38±21.76	79.14±21.72	79.82±21.86	-0.528	0.597
高流量氧疗时间[$M(Q1,Q3)$,h]	22(11,46)	24(12,49)	20(10,41)	2.804	0.005
实验室指标					
血红蛋白($\bar{x}\pm s$,g/L)	10.79±2.27	10.14±2.00	9.98±2.11	1.313	0.189
白细胞[$M(Q1,Q3)$, $\times 10^{12}/L$]	11.7(8.4,16.0)	11.5(8.2,15.6)	12.0(8.9,17.1)	-1.852	0.064
血小板($\bar{x}\pm s$, $\times 10^9/L$)	223.54±126.08	226.01±127.59	209.19±138.55	2.185	0.029
红细胞分布宽度[$M(Q1,Q3)$]	15.1(14.0,17.2)	15.1(14.0,17.0)	15.2(13.9,17.4)	-0.192	0.848
凝血酶原时间[$M(Q1,Q3)$,s]	14.2(12.8,17.0)	14.1(12.7,16.5)	14.6(12.9,18.2)	-3.016	0.002
活化部分凝血酶原时间[$M(Q1,Q3)$,s]	31.8(28.0,44.4)	31.3(27.8,39.1)	33.0(28.4,43.2)	-2.752	0.005
国际标准化比值[$M(Q1,Q3)$]	1.3(1.2,1.6)	1.3(1.2,1.5)	1.3(1.2,1.7)	-3.162	0.001
尿素氮[$M(Q1,Q3)$,mmol/L]	24(15,39)	23(15,36)	25(16,43)	-1.812	0.070
肌酐[$M(Q1,Q3)$,mg/dL]	1.0(0.7,1.6)	1.0(0.7,1.6)	1.0(0.7,1.7)	-0.391	0.695
钾($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	4.15±0.68	4.16±0.66	4.15±0.73	0.370	0.711
钠($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	138.29±5.57	138.21±5.31	138.43±6.04	-0.665	0.505
氯($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	101.52±6.45	101.37±6.27	101.81±6.78	-1.154	0.248
血气分析					
pH($\bar{x}\pm s$)	7.39±0.07	7.40±0.07	7.38±0.08	2.566	0.010
氧分压[$M(Q1,Q3)$,mm Hg]	69(49,93)	69(47,92)	69(53,97)	-1.158	0.247
氧合指数[$M(Q1,Q3)$]	96.25(66.00,148.75)	96.25(68.42,156.25)	92.00(63.15,140.00)	2.552	0.010
碳酸氢盐($\bar{x}\pm s$, $\mu\text{mol}/L$)	24.78±5.32	25.08±5.16	24.20±5.57	2.825	0.004
阴离子间隙($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	14.86±3.60	14.61±3.65	15.14±4.04	-2.366	0.018
乳酸[$M(Q1,Q3)$,mmol/L]	1.5(1.1,2.1)	1.5(1.1,2.0)	1.5(1.1,2.3)	-0.579	0.562
高流量氧疗后的生命体征					
心率($\bar{x}\pm s$,次/分钟)	93.68±17.72	92.55±17.51	95.83±17.93	-3.173	0.001
呼吸频率($\bar{x}\pm s$,次/分钟)	23.60±5.37	23.16±5.21	24.42±5.57	-4.011	<0.001
平均血压($\bar{x}\pm s$,mm Hg)	88.09±17.80	87.92±17.87	88.41±17.68	-0.461	0.644
SpO ₂ ($\bar{x}\pm s$,%)	94.79±2.63	94.98±2.58	94.43±2.69	3.584	<0.001
FiO ₂ ($\bar{x}\pm s$,%)	67.92±17.29	63.13±16.28	76.97±15.45	-14.740	<0.001
ICU 类型[$n(\%)$]				11.751	0.163
心血管 ICU	115(8.91)	85(6.58)	30(2.32)		
冠心病 ICU	139(10.77)	99(7.67)	40(3.10)		
内科 ICU	344(26.64)	225(17.43)	119(9.22)		

续表 1 各组一般情况统计表

项目	全部患者 (n=1 291)	高流量氧疗成功组 (n=846)	高流量氧疗失败组 (n=445)	$\chi^2/t/U$	P
内外科 ICU	376(29.12)	247(19.13)	129(9.99)		
神经外科 ICU	27(2.09)	14(1.08)	13(1.01)		
外科 ICU	164(12.70)	102(7.90)	62(4.80)		
创伤外科 ICU	126(9.76)	74(5.73)	52(4.03)		
合并症[n(%)]					
高血压	480(37.15)	308(36.41)	172(38.65)	0.629	0.428
糖尿病	381(29.51)	260(30.73)	121(27.19)	1.758	0.185
慢性阻塞性肺疾病	116(8.96)	78(9.22)	38(8.54)	0.165	0.684
慢性心力衰竭	100(7.75)	73(8.63)	27(6.07)	2.677	0.102
相关评分(分)					
SAPSⅡ($\bar{x}\pm s$)	37.34±13.22	36.03±12.33	39.83±14.45	-4.948	<0.001
SOFA[M(Q1,Q3)]	6(4,8)	5(4,7)	7(5,9)	-9.729	<0.001
GCS-运动[M(Q1,Q3)]	6(5,6)	6(5,6)	5(2,6)	10.958	<0.001
GCS-语言[M(Q1,Q3)]	4(1,5)	5(4,5)	1(1,4)	14.987	<0.001
GCS-睁眼[M(Q1,Q3)]	3(2,4)	3(3,4)	3(1,3)	10.734	<0.001
慢性病指数[M(Q1,Q3)]	6(4,8)	6(4,8)	6(4,8)	1.696	0.089
预后					
28 d 死亡率[n(%)]	329(25.48)	166(19.62)	163(36.62)	44.418	<0.001
ICU 死亡率[n(%)]	278(21.53)	108(12.76)	170(38.20)	111.663	<0.001
院内死亡率[n(%)]	368(28.51)	178(21.04)	190(42.69)	67.109	<0.001
住 ICU 时间[M(Q1,Q3),d]	2.80(2.95,8.91)	4.02(2.54,5.79)	9.70(5.66,15.37)	-16.990	<0.001
住院时间[M(Q1,Q3),d]	12.58(7.62,21.50)	10.91(6.95,17.79)	16.75(9.87,26.25)	-8.138	<0.001

SpO₂: 脉氧饱和度; 平均血压=1/3 收缩压+2/3 舒张压。

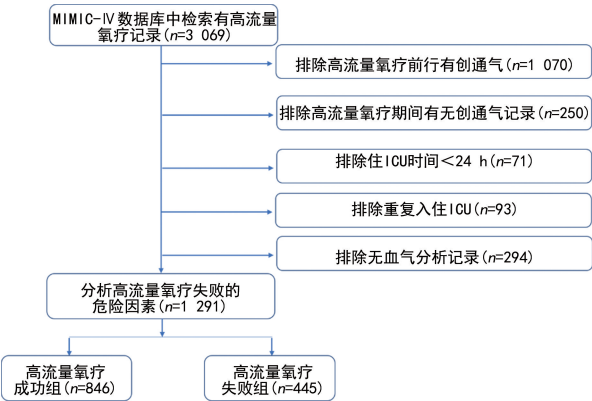


图 1 重症患者高流量氧疗失败危险因素预测的研究人群筛选流程图

2.2 高流量氧疗失败的影响因素分析

单因素分析结果发现,年龄、血小板、乳酸、氧合指数、凝血酶原时间、国际标准化比值、碳酸氢盐、SpO₂、心率、呼吸、GCS、吸氧浓度是高流量氧疗失败的影响因素($P<0.05$)。多因素回归分析结果发现,年龄、呼吸、FiO₂、GCS-语言、GCS-睁眼是高流量氧疗失败的独立影响因素($P<0.05$),见表 2。

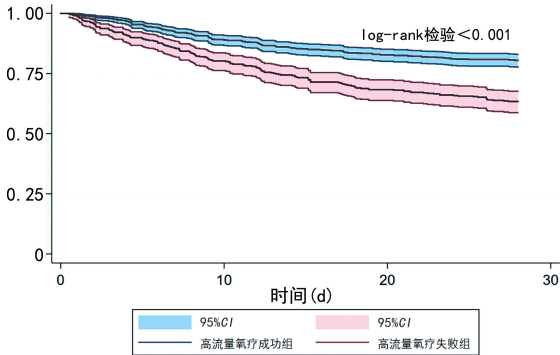


图 2 重症患者高流量吸氧患者 28 d Kaplan-Meier 生存曲线

表 2 高流量氧疗失败影响因素的 logistic 单因素及多因素回归分析结果

项目	单因素分析		多因素分析	
	OR(95%CI)	P	OR(95%CI)	P
年龄	0.98(0.98,0.99)	0.008	0.98(0.97,0.99)	<0.001
血小板	0.99(0.99,0.99)	0.030		
乳酸	0.16(0.04,0.65)	0.011		
氧合指数	0.99(0.99,0.99)	0.011		

续表 2 高流量氧疗失败影响因素的 logistic 单因素及多因素回归分析结果

项目	单因素分析		多因素分析	
	OR(95%CI)	P	OR(95%CI)	P
凝血酶原时间	1.01(1.00,1.03)	0.013		
国际化标准比值	1.18(1.13,1.35)	0.014		
碳酸氢盐	0.96(0.94,0.99)	0.005		
心率	1.01(1.00,1.01)	0.002		
呼吸频率	1.04(1.02,1.06)	<0.001	1.08(1.04,1.11)	<0.001
SpO ₂	0.92(0.88,0.96)	<0.001		
FiO ₂	1.00(1.00,1.01)	0.008	1.04(1.03,1.05)	<0.001
GCS-运动	0.69(0.65,0.74)	<0.001		
GCS-语言	0.59(0.55,0.64)	<0.001	0.63(0.56,0.70)	<0.001
GCS-睁眼	0.52(0.46,0.58)	<0.001	0.81(0.68,0.98)	0.031

2.3 列线图模型的建立与验证

根据 logistic 回归分析结果,应用 STATA 软件构建预测重症患者高流量氧疗治疗失败的列线图模型,见图 3。

为了评估该模型对重症患者高流量氧疗失败预测的效能,绘制了 ROC 曲线及 DCA,结果发现,新模型 ROC 曲线下面积为 0.827。SOFA 评分及 SAPS II 预测重症患者高流量氧疗失败的 AUC 分别为 0.664、0.568,DCA 显示该模型下患者获益明显,见图 4、表 3。表明将年龄、吸氧浓度、呼吸频率、GCS 评分纳入模型对于预测高流量氧疗失败的临床效能较好。

为了进一步验证该模型,本研究采用 Bootstrap 法进行重复抽样进行内部验证,结果发现该模型的区分度及校准度均较好,见图 5。

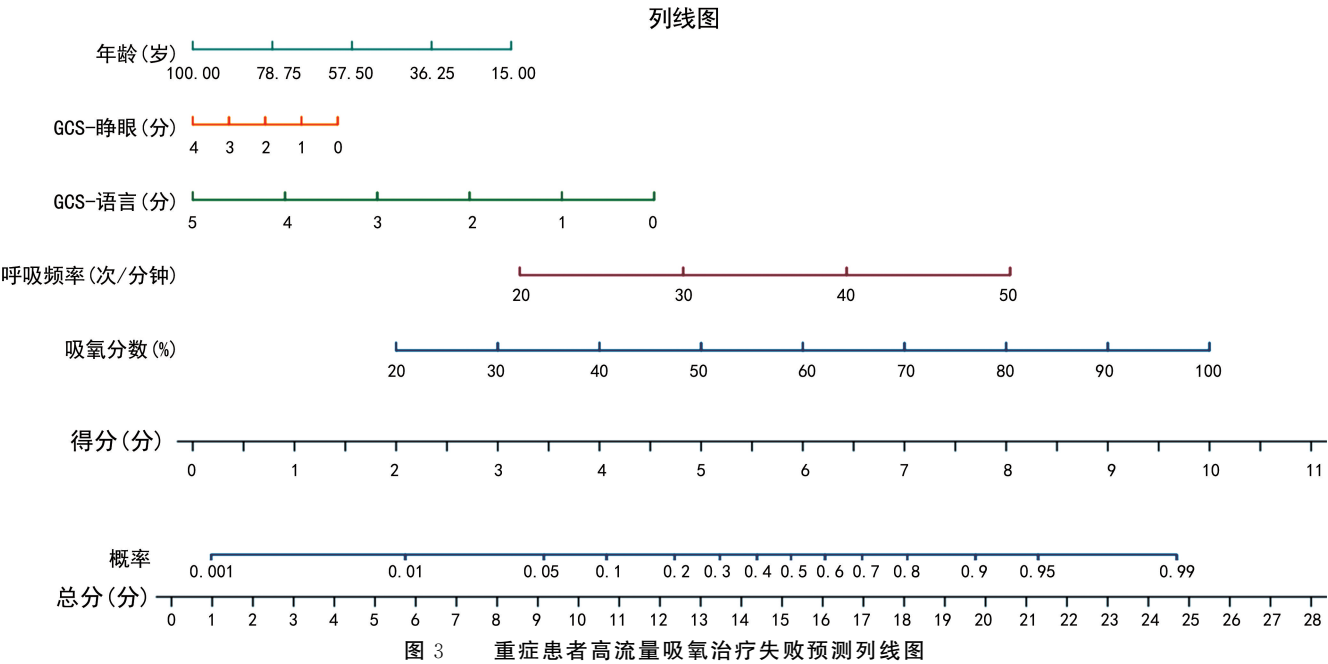
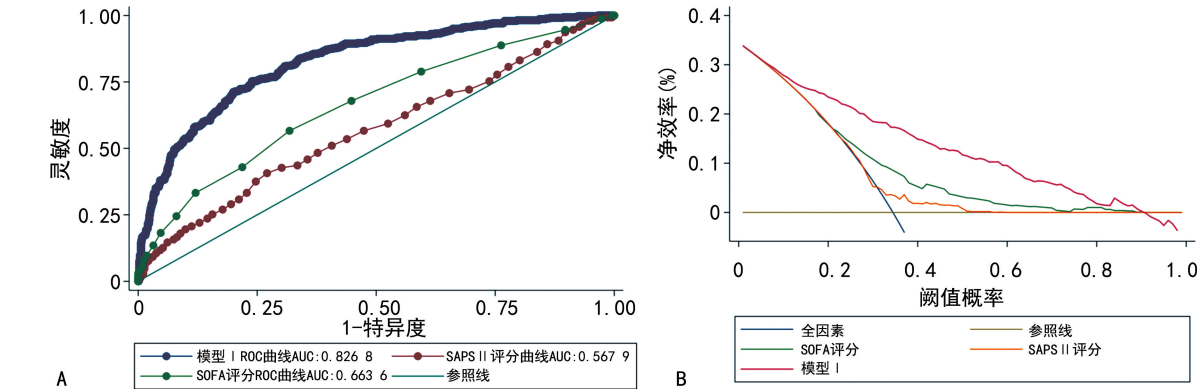


图 3 重症患者高流量吸氧治疗失败预测列线图



A:不同模型的 AUC 曲线;B:不同模型的 DCA。

图 4 重症患者高流量吸氧治疗失败预测模型预测效能

临床应用示例:假设 1 例患者入 ICU 后接受高流量氧疗 2 h,GCS-睁眼评分=1 分,GCS-语言评分=1 分,呼吸频率=35 次/分钟,吸氧分数=70%,代入模型计算,总分=0.4+1.1+3.6+5.7+7.0=17.8

(分),列线图上对应总分=0.78 分,即该患者有 78% 的风险发生高流量氧疗失败。

表 3 不同参数对高流量氧疗失败预测的曲线下面积

项目	AUC	95%CI
SAPS II 评分	0.568	0.534~0.601
SOFA 评分	0.664	0.632~0.695
模型 I	0.827	0.803~0.850

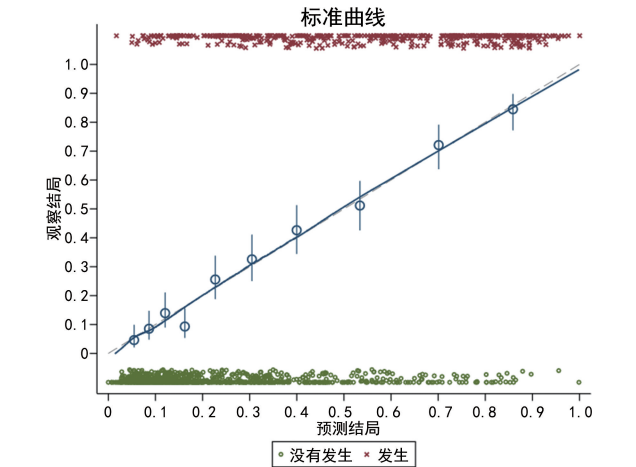


图 5 重症患者高流量吸氧治疗失败预测模型的校准曲线

3 讨 论

高流量氧疗在急性呼吸衰竭的重症患者中具有 一定优势:(1)其加温系统可以改善纤毛系统功能并 促进患者排痰^[16];(2)其形成的高流量氧气可以产生 低水平的气道正压、降低患者的呼吸频率及吸气阻力 并提供恒定的氧浓度以改善患者氧合^[17-19];(3)高流 量氧疗过程中保留患者自主咳嗽能力,可降低误吸的 风险^[20];(4)高流量氧疗可降低呼吸机相关性肺炎、气 压伤或继发性感染等并发症的风险^[21]。

尽管高流量氧疗优势明显,当其成功避免气管插 管时,临床结果改善。但若失败后再行气管插管,死 亡率会明显增加^[14]。本研究发现,高流量氧疗失败患 者的死亡率为 36.62%,明显高于成功组,这与既往研 究一致^[13,22]。因此,如何评估及预测重症患者的高流 量氧疗效果以避免延迟必要的插管是 ICU 临床医生 每天面临的主要问题之一。积极寻找可以方便地在 床旁使用的临床变量,以帮助决定及时插管具有重要的 临床意义。

在需要插管的患者中尽早识别并及时插管有利 于改善其预后。但目前关于此方面的研究较少。目 前研究较多的为 ROX 指数($SpO_2/FiO_2 \times$ 呼吸频率 的比值)对高流量氧疗失败的预测。有研究显示其对 高流量氧疗失败的 AUC 为 0.7~0.8^[13,22-23]。此外, 在存在免疫抑制状态的患者中,SOFA 评分可作为高 流量氧疗失败的预测因素^[24]。一项利用 MIMIC-IV 数据库的研究发现在呼吸衰竭合并轻度高碳酸血症

患者中,ROX 指数的预测插管的价值有限(AUC 为 0.589)^[25]。本研究发现 SOFA 评分用于重症患者高 流量氧疗失败时的 AUC 为 0.664。通过多因素 lo- gistic 回归分析发现在进行高流量氧疗治疗的重症患 者中,呼吸频率、吸氧浓度、GCS 评分是其失败的独立 影响因素。GCS 影响高流量氧疗结局可能的原因为 其评分越低,患者意识水平越差,自主排痰能力减弱, 肺泡通气不足,呼吸肌负荷和氧耗量增加,最终导致 高流量氧疗失败。将这些简单易得的参数绘制列线 图对高流量氧疗失败的 AUC 为 0.8268。内部验证 区分度及校准度均较好,且临床易于推广。

本研究同样具有一定局限性:(1)本研究为基于 公开数据库的回顾性研究,成功组和失败组每日接受 高流量氧疗的时长和具体参数无法提取,可能存在一 定程度的选择偏倚;(2)本研究中的实验室指标为高 流量氧疗后的第 1 次记录结果,未进行动态分析;(3) 本研究由于样本量的关系,仅进行了内部验证而未进 行外部验证。因此,仍需要后续进行大样本量的研究 来证实。

综上所述,高流量氧疗失败的重症患者短期死亡 率高,住院死亡率、住 ICU 死亡率更高,患者预后较 差,临床早期识别和干预非常重要。年龄、呼吸频率、 FiO_2 、GCS-语言、GCS-睁眼是高流量氧疗失败的独立 影响因素,以这些因素为基础建立的模型可用于高流 量氧疗失败的预测,这一结果有待更多前瞻性临床研 究来验证。

参考文献

[1] HERNANDEZ G,ROCA O,COLINAS L. High-flow nasal cannula support therapy: new insights and improving performance[J]. Crit Care,2017,21 (1):62.

[2] SPICUZZA L,SCHISANO M. High-flow nasal cannula oxygen therapy as an emerging option for respiratory failure: the present and the future [J]. Ther Adv Chronic Dis, 2020, 11: 2040622320920106.

[3] NISHIMURA M. High-flow nasal cannula oxygen therapy devices[J]. Respir Care,2019,64(6):735-742.

[4] ROCHWERG B,EINAV S,CHAUDHURI D, et al. The role for high flow nasal cannula as a respiratory support strategy in adults:a clinical practice guideline [J]. Intensive Care Med, 2020,46(12):2226-2237.

[5] GRIECO D L,MAGGIORE S M,ROCA O,et

- al. Non-invasive ventilatory support and high-flow nasal oxygen as first-line treatment of acute hypoxemic respiratory failure and ARDS [J]. *Intensive Care Med*, 2021, 47(8): 851-866.
- [6] LARI F. High flow oxygen therapy with nasal cannula: use and applications in respiratory failure in internal medicine [J]. *Recenti Prog Med*, 2021, 112(5): 378-386.
- [7] FRAT J P, THILLE A W, MERCAT A, et al. High-flow oxygen through nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure [J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(23): 2185-2196.
- [8] FRAT J P, RAGOT S, GIRAULT C, et al. Effect of non-invasive oxygenation strategies in immunocompromised patients with severe acute respiratory failure: a post-hoc analysis of a randomised trial [J]. *Lancet Respir Med*, 2016, 4(8): 646-652.
- [9] DEMOULE A, GIROU E, RICHARD J C, et al. Benefits and risks of success or failure of noninvasive ventilation [J]. *Intensive Care Med*, 2006, 32(11): 1756-1765.
- [10] XU D Y, DAI B, TAN W, et al. Effectiveness of the use of a high-flow nasal cannula to treat COVID-19 patients and risk factors for failure: a meta-analysis [J]. *Ther Adv Respir Dis*, 2022, 16: 17534666221091931.
- [11] FERRER S, SANCHEZ J, BOCIGAS I, et al. ROX index as predictor of high flow nasal cannula therapy success in acute respiratory failure due to SARS-CoV-2 [J]. *Respir Med*, 2021, 189: 106638.
- [12] GOH K J, CHAI H Z, ONG T H, et al. Early prediction of high flow nasal cannula therapy outcomes using a modified ROX index incorporating heart rate [J]. *J Intensive Care*, 2020, 8: 41.
- [13] ROCA O, CARALT B, MESSIKA J, et al. An index combining respiratory rate and oxygenation to predict outcome of nasal high-flow therapy [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(11): 1368-1376.
- [14] KANG B J, KOH Y, LIM C M, et al. Failure of high-flow nasal cannula therapy may delay intubation and increase mortality [J]. *Intensive Care Med*, 2015, 41(4): 623-632.
- [15] JOHNSON A B L, POLLARD T, HORNG S, et al. MIMIC-IV (version 0.4) [EB/OL]. <https://physionet.org/content/mimiciv/0.4/>.
- [16] KOGA Y, KANEDA K, FUJII N, et al. Comparison of high-flow nasal cannula oxygen therapy and non-invasive ventilation as first-line therapy in respiratory failure: a multicenter retrospective study [J]. *Acute Med Surg*, 2020, 7(1): e461.
- [17] LONG B, LIANG S Y, LENTZ S. High flow nasal cannula for adult acute hypoxemic respiratory failure in the ED setting [J]. *Am J Emerg Med*, 2021, 49: 352-359.
- [18] CRIMI C, PIERUCCI P, RENDA T, et al. High-flow nasal cannula and COVID-19: a clinical review [J]. *Respir Care*, 2022, 67(2): 227-240.
- [19] ARTACHO R R, ARTACHO J B, CABALLERO G F, et al. Predictors of success of high-flow nasal cannula in the treatment of acute hypoxemic respiratory failure [J]. *Med Intensiva (Engl Ed)*, 2021, 45(2): 80-87.
- [20] GRENSEMANN J, SIMON M, WACHS C, et al. High-flow oxygen therapy-chances and risks [J]. *Pneumologie (Berl)*, 2022, 19(1): 21-26.
- [21] GOLMOHAMAD A, JOHNSTON R, HAY K, et al. Safety and efficacy of high-flow nasal cannula therapy in acute hypercapnic respiratory failure: a retrospective audit [J]. *Intern Med J*, 2022, 52(2): 259-264.
- [22] CHANDEL A, PATOLIA S, BROWN A W, et al. High-flow nasal cannula therapy in COVID-19: using the ROX index to predict success [J]. *Respir Care*, 2021, 66(6): 909-919.
- [23] ROCA O, MESSIKA J, CARALT B, et al. Predicting success of high-flow nasal cannula in pneumonia patients with hypoxemic respiratory failure: the utility of the ROX index [J]. *J Crit Care*, 2016, 35: 200-205.
- [24] KIM W Y, SUNG H, HONG S B, et al. Predictors of high flow nasal cannula failure in immunocompromised patients with acute respiratory failure due to non-HIV pneumocystis pneumonia [J]. *J Thorac Dis*, 2017, 9(9): 3013-3022.
- [25] SU L, ZHAO Q, LIU T, et al. Efficacy of high-flow nasal cannula oxygen therapy in patients with mild hypercapnia [J]. *Lung*, 2021, 199(5): 447-456.