

ROX 指数对呼吸衰竭儿童高流量氧疗失败的预测价值

刘瑶¹ 赵劲懂² 范铭兴² 经乐³ 缪红军²

¹南京医科大学附属儿童医院药学部, 南京 210008; ²南京医科大学附属儿童医院急诊重症医学科, 南京 210008; ³东南大学医学院附属南京同仁医院儿科, 南京 2111102

通信作者: 缪红军, Email: jun848@126.com

【摘要】目的 探讨 ROX 指数及改良 ROX 指数对急性低氧性呼吸衰竭 (AHRF) 患儿经鼻高流量氧疗 (HFNC) 治疗效果的预测价值。**方法** 回顾性分析 2020 年 1 月至 2024 年 12 月南京医科大学附属儿童医院重症监护病房 (PICU) 收治的 130 例 AHRF 患儿临床资料, 其中 HFNC 治疗成功 99 例, 失败 31 例。比较两组患儿临床指标, 评估不同时间点 ROX 指数及其改良指标 (ROP, ROXH, ROPH) 对 HFNC 失败的预测效能, 并采用单因素及多因素 Logistic 回归分析影响因素。**结果** HFNC 失败组患儿入院时 PaCO₂ (37.2 mmHg vs. 34.1 mmHg, $P<0.05$) 及 PICU 住院时间 (21 d vs. 12 d, $P<0.01$) 显著高于成功组。治疗过程中, 成功组患儿氧合指标 (S/F 值、P/F 值) 及 ROX 相关指数 (ROX、ROP、ROXH、ROPH) 改善更显著 ($P<0.01$)。多因素分析显示, 治疗后 12 h 内吸入氧体积分数 (FiO₂) 及 ROPH 指数是 HFNC 治疗失败的独立预测因素 ($P<0.05$)。ROC 曲线分析显示, 不同 ROX 相关预测指数的 ROC 比较结果提示 P/F 值、ROP、ROXH 和 ROPH 指数在治疗前后差值和差值比均具有预测 HFNC 治疗成功的评估价值, ROPH 指数治疗前后差值比预测效能最佳 (AUC=0.836, 最佳截断值 0.053, 灵敏度 95.3%, 特异度 70%)。**结论** 改良 ROX 指数 (尤其是 ROPH 指数) 可有效预测 AHRF 患儿 HFNC 治疗成功率, 动态监测其变化有助于早期识别治疗失败风险。

【关键词】 急性低氧性呼吸衰竭; 儿童; 重症监护病房; 经鼻高流量氧疗; ROX 指数; ROP 指数; ROPH 指数; 氧合指标; 预测模型

基金项目: 国家自然科学基金 (82170733); 南京市卫生科技发展专项基金 (ZKX21044); 江苏省药学会恒瑞医院药学科科研基金 (H202338)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2025.06.007

Optimized ROX index can predict transitioning to mechanical ventilation in acute hypoxic respiratory failure pediatric patients on HFNC: A real-world study

Liu Yao¹, Zhao Shaodong², Fan Mingxing², Jing Le³, Miao Hongjun²

¹Department of Pharmacy, Children's Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210008, China;

²Department of Emergency Medicine/Critical Care, Children's Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210008, China; ³Department of Pediatric, Nanjing Tongren Hospital, Nanjing, 2111102, China

Corresponding author: Miao Hongjun, Email: jun848@126.com

【Abstract】Objective To evaluate the predictive value of the ROX index and its modified versions for assessing the therapeutic efficacy of high-flow nasal cannula oxygen therapy (HFNC) in pediatric patients with acute hypoxemic respiratory failure (AHRF). **Methods** This retrospective study analyzed clinical data from 130 AHRF children admitted to the Pediatric Intensive Care Unit (PICU) of Nanjing Medical University Affiliated Children's Hospital between January 2020 and December 2024. Patients were categorized into two groups: HFNC success ($n=99$) and HFNC failure ($n=31$). Clinical parameters were compared between

groups, and the predictive performance of the ROX index and its modified variants (ROP, ROXH, ROPH) at various time points was assessed. Univariate and multivariate logistic regression analyses were conducted to identify independent risk factors for HFNC failure. **Results** The HFNC failure group exhibited significantly higher baseline PaCO₂ levels (37.2 mmHg vs. 34.1 mmHg, $P < 0.05$) and prolonged PICU stays (21 days vs. 12 days, $P < 0.01$) compared to the success group. During treatment, the success group demonstrated marked improvements in oxygenation parameters (S/F ratio, P/F ratio) and ROX-derived indices (ROX, ROP, ROXH, ROPH) ($P < 0.01$). Multivariate analysis identified FiO₂ within 12 hours post-treatment and the ROPH index as independent predictors of HFNC failure ($P < 0.05$). ROC curve analysis revealed that the relative change in ROPH before and after treatment had the highest predictive accuracy (AUC=0.836, optimal cutoff=0.053, sensitivity=95.3%, specificity=70%) among all evaluated indices. **Conclusions** Modified ROX indices, particularly the ROPH index, serve as reliable predictors of HFNC outcomes in children with AHRF. Dynamic monitoring of these indices may enable early identification of patients at risk for treatment failure, facilitating timely clinical intervention.

【 Keywords 】 Acute hypoxemic respiratory failure; Children; Pediatric intensive care unit; High-flow nasal cannula oxygen therapy; ROX index; ROP index; ROXH index; ROPH index; Oxygenation indices; Predictive model

Funding Program: National Natural Science Founding of China(82170733), Nanjing Health Technology Development Project (ZKX21044), Heng-Rui Hospital Medical Project of the Jiangsu Pharmaceutical Association (H202338)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2025.06.007

急性低氧性呼吸衰竭 (acute hypoxic respiratory failure, AHRF) 是儿科常见的危重症, 其临床特征为进行性低氧血症和呼吸窘迫^[1], 是导致儿童重症监护病房 (pediatric intensive care unit, PICU) 高病死率的主要原因之一^[2]。呼吸支持是治疗 AHRF 患儿的核心手段, 常用的呼吸支持方法包括鼻导管吸氧、面罩吸氧、经鼻高流量氧疗 (high-flow nasal cannula, HFNC)、无创正压通气以及有创机械通气。作为一种介于传统氧疗和无创正压通气之间的新型氧疗方式, HFNC 具有较好的舒适性和耐受性, 并在临床中得到了广泛应用。研究表明, HFNC 可以在不增加 CO₂ 潴留的情况下有效降低呼吸频率, 改善患者的呼吸窘迫状况并增加氧合^[3-4]。然而, 也有研究指出, 由于 HFNC 改善了患者氧合状态, 掩盖呼吸窘迫的严重性, 从而延误了气管插管的最佳时机, 并导致机械通气时间延长、再次脱机拔管成功率降低, 甚至增加住院病死率^[5-6]。因此, 如何准确判断气管插管的时机对于 AHRF 患儿至关重要。目前的研究显示, ROX 指数能够及时、简便、实时地评估 HFNC 治疗 COVID-19 患者的疗效^[7]。心率 (heart rate, HR)、呼吸频率 (respiratory rate, RR)、动脉氧分压 / 吸入氧体积分数 (PaO₂/FiO₂, P/F) 等常见临床变量也是儿童 HFNC 失败的影响因素, 有研究显示与单纯 ROX 指数相比,

包含 HR 的改良 ROX 指数能更好的预测 HFNC 的结果^[8-9]; 而某研究则提示 P/F 较经皮氧饱和度 / 吸入氧体积分数 (SpO₂/FiO₂, S/F) 预测 HFNC 患者的预后更有效^[10]。然而, 目前 AHRF 患儿能否使用 ROX 指数或其他改良 ROX 指数预测 HFNC 治疗的成功尚有争议^[11], 也缺乏评估呼吸支持程度的相关研究。本研究旨在评估 ROX 指数及其相关改良指数在 AHRF 患儿 HFNC 治疗成功中的预测价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为回顾性研究, 选取 2020 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日南京医科大学附属儿童医院 PICU 收治的 AHRF 接受 HFNC 治疗的患者为研究对象。病例纳入标准: (1) 符合呼吸衰竭诊断标准 $P/F \leq 300$ mmHg; (2) 病程中使用 HFNC 治疗的患儿。排除标准: (1) 入 PICU 后 24 h 内死亡; (2) 需要立即气管插管或无插管程序; (3) 因诊断或治疗程序 (电子支气管镜检查、手术) 而选择插管; (4) 在 HFNC 不耐受时接受了非 HFNC 其他方式无创通气。分组: (1) 治疗成功组: 经 HFNC 治疗后病情好转, 降级为鼻导管吸氧并转出 PICU 或好转出院的患儿; (2) 治疗失败组: 在治疗过程中,

出现病情进展, 升级为气管插管或死亡的患儿。本研究经南京医科大学附属儿童医院伦理委员会批准(批件号 20204024-1), 本研究为回顾性分析, 免除签署知情同意书。

1.2 方法

通过电子病历系统检索出应用 HFNC 治疗的患儿资料, 回顾性分析。收集纳入样本的人口学和临床特征, 包括性别, 年龄, 体重, 小儿危重病例评分 (pediatric clinical illness score, PCIS), 血乳酸水平 (lactate, Lac); 收集 PICU 滞留时间, 入院时、入院第 2 天、HFNC 使用前、使用 12 h 内及停用 HFNC 前的 RR、HR、SpO₂、FiO₂、动脉 pH 值、PaO₂、PaCO₂, 并计算相应 S/F、P/F、ROX 指数、ROP 指数、ROXH 指数、ROPH 指数。其中: ROX 指数 = (SpO₂/FiO₂)/RR; ROP 指数 = (PaO₂/FiO₂)/RR; ROXH 指数 = ROX × 100/RR; ROPH 指数 = ROP × 100/RR。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 22.0 统计学软件进行数据分析。正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用独立样本 *t* 检验; 非正态分布数据用中位数 (四分位数间距) 即 *M* (*P*₂₅, *P*₇₅) 描述,

组间差异采用 Mann-Whitney *U* 检验 (*z* 值表示); 计数资料采用率 (%) 表示, 采用 χ^2 检验进行组间比较。多因素分析采用二元 Logistics 回归分析。ROC 曲线使用 R studio 12.0 软件进行分析和数据处理, 计算每个参数的特异度、灵敏度和约登指数。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患儿入院临床指标和出院转归组间差异比较

最终纳入样本 130 例, 其中 HFNC 治疗成功 99 例, 占 76.15%; HFNC 治疗失败 31 例, 占 23.84%。2 组患者的年龄、性别、体质量及入院生理指标、实验室检查指标均差异无统计学意义 (*P* < 0.05)。失败组的入院动脉血 pH 值中位数为 7.40, 而成功组为 7.43, 差异有统计学意义, PaCO₂ 则显著高于成功组。在治疗转归方面, 失败组的 PICU 滞留时间为 21d, 约为成功组的 1.8 倍 (*P* < 0.01)。结果见表 1。

2.2 患儿 HFNC 治疗过程分析

在 HFNC 治疗前呼吸相关生理参数的组间比较结果中, 仅失败组的 PaCO₂ 高于成功组 (*P* = 0.055), 两组的 pH、SpO₂、PaO₂、HR、RR 和

表 1 入院临床指标和治疗转归组间差异比较

Table 1 Comparison of baseline data and clinical outcome of pediatric patients with HFNC therapy success group and the failure group

指标	总体 (<i>n</i> = 130)	成功组 (<i>n</i> = 99)	失败组 (<i>n</i> = 31)	检验值	<i>P</i> 值
男 (<i>n</i> ,%)	71 (54.62%)	53 (53.54%)	18 (58.06%)	0.20	0.658
月龄 (m)	49.0 (22.6, 101.8)	50.0 (23.0, 100.5)	48.0 (21.5, 107.5)	-0.71	0.479
体质量 (kg)	15.3 (11.4, 25.9)	15.0 (11.5, 25.0)	19.0 (10.9, 26.9)	-0.51	0.609
入院时生理指标					
HR (次/min)	139.24 ± 28.29	140.79 ± 27.50	134.29 ± 30.60	1.12	0.266
RR (次/min)	36 (28, 45)	37 (28, 44)	33 (27, 47)	-0.51	0.613
SBP (mmHg)	111 (105, 121)	111 (105, 120)	112 (104, 122)	-0.05	0.959
PCIS 评分	92 (88, 96)	92 (87, 96)	96 (89, 96)	-1.23	0.220
入院时实验室检查指标					
Na (mmol/L)	145.81 ± 111.35	148.97 ± 127.57	135.72 ± 3.34	0.58	0.565
K (mmol/L)	4.20 (3.78, 4.54)	4.22 (3.79, 4.56)	4.00 (3.65, 4.38)	-1.16	0.247
CCr (μmol/L)	25.0 (20.0, 32.0)	25.0 (21.0, 31.8)	25.0 (19.0, 39.2)	-0.41	0.684
BUN (mmol/L)	3.44 (2.42, 4.40)	3.50 (2.59, 4.40)	3.00 (2.19, 4.20)	-0.92	0.356
Hb (g/L)	120 (107, 131)	121 (110, 132)	118.0 (96, 131)	-0.95	0.340
入院时血气分析					
动脉血 pH	7.43 (7.38, 7.47)	7.43 (7.39, 7.47)	7.40 (7.37, 7.44)	-2.32	0.021
PaO ₂ (mmHg)	68.6 (57.4, 84.2)	68.7 (57, 80.4)	68.4 (59.7, 92.9)	6.705	0.367
PaCO ₂ (mmHg)	34.7 (31.3, 39.7)	34.1 (30.6, 38.4)	37.2 (33.3, 43.2)	7.302	0.025
Lac (mmol/L)	1.125 (0.90, 1.49)	1.30 (0.99, 1.77)	0.94 (0.80, 1.07)	-0.506	0.613
临床转归					
PICU 滞留时间 (d)	13 (9, 19)	12 (9, 16)	21 (14, 27)	-3.99	<.001
临床结局 / 好转 (<i>n</i> ,%)	121 (93.08)	94 (94.95)	27 (87.10)	1.20	0.272

注: SBP: 收缩压; PCIS 评分: 小儿病情危重程度评分; CCr: 血肌酐; BUN: 尿素氮; Hb: 血红蛋白; Lac: 乳酸。a 正态分布的计量资料, 组间比较采用独立样本 *t* 检验; 非正态分布数据组间差异用 Mann-Whitney *U* 检验 (*z* 值表示); 计数资料比较采用 χ^2 检验; *P* < 0.05 认为差异有统计学意义。

表 2 HFNC 治疗成功组和治疗失败组的 ROX 相关指数组间比较
Table 2 Comparison of ROX related indexes Between the HFNC Treatment Success Group and the Failure Group

指标	成功组	失败组	Z 值	P 值
Administration				
S/F 值	334.48 (324.14, 337.93)	329.31 (302.59, 337.93)	-0.75	0.453
P/F 值	235.17 (196.40, 264.57)	225.34 (188.04, 284.38)	-0.05	0.962
ROX 指数	8.51 (7.13, 11.33)	8.44 (6.24, 11.68)	-0.39	0.698
ROP 指数	6.51 (4.77, 8.16)	6.19 (4.38, 8.24)	-0.02	0.987
ROXH 指数	6.29 (4.98, 8.99)	6.01 (3.92, 9.70)	-0.22	0.825
ROPH 指数	4.53 (3.42, 7.01)	4.13 (3.15, 7.00)	-0.14	0.892
HFNC 0 h				
S/F 值	327.59 (262.34, 337.93)	313.51 (250.00, 333.62)	-1.12	0.265
P/F 值	212.87 (173.68, 255.33)	216.78 (184.91, 249.30)	-0.17	0.867
ROX 指数	8.15 (6.84, 10.57)	8.27 (6.55, 11.48)	-0.08	0.935
ROP 指数	6.06 (4.23, 7.71)	6.23 (4.34, 8.70)	-0.55	0.585
ROXH 指数	6.23 (4.74, 8.14)	6.47 (4.65, 9.56)	-0.37	0.710
ROPH 指数	4.37 (3.27, 6.31)	5.04 (3.22, 7.11)	-0.69	0.490
HFNC 12 h				
S/F 值	200.00 (194.00, 250.00)	192.00 (153.75, 228.42)	-2.75	0.006
P/F 值	221.08 (189.05, 264.22)	160.33 (125.42, 233.00)	-4.05	<.001
ROX 指数	8.00 (6.10, 9.05)	5.88 (4.69, 7.80)	-3.08	0.002
ROP 指数	8.10 (6.43, 10.19)	5.00 (3.49, 7.79)	-3.99	<.001
ROXH 指数	6.91 (5.67, 8.59)	4.89 (3.23, 6.22)	-3.71	<.001
ROPH 指数	7.08 (5.42, 10.40)	3.99 (2.81, 5.56)	-4.52	<.001
下 HFNC 前				
S/F 值	246.25 (200.00, 253.95)	187.85 (160.00, 223.31)	-4.28	<.001
P/F 值	269.15 (214.83, 332.70)	162.75 (129.78, 205.00)	-5.51	<.001
ROX 指数	9.18 (7.60, 12.50)	5.93 (4.69, 8.17)	-4.58	<.001
ROP 指数	10.37 (8.04, 14.64)	5.51 (3.48, 8.50)	-5.02	<.001
ROXH 指数	9.04 (6.64, 13.18)	4.77 (3.23, 7.73)	-4.83	<.001
ROPH 指数	10.08 (6.92, 15.61)	3.92 (2.83, 6.58)	-5.27	<.001

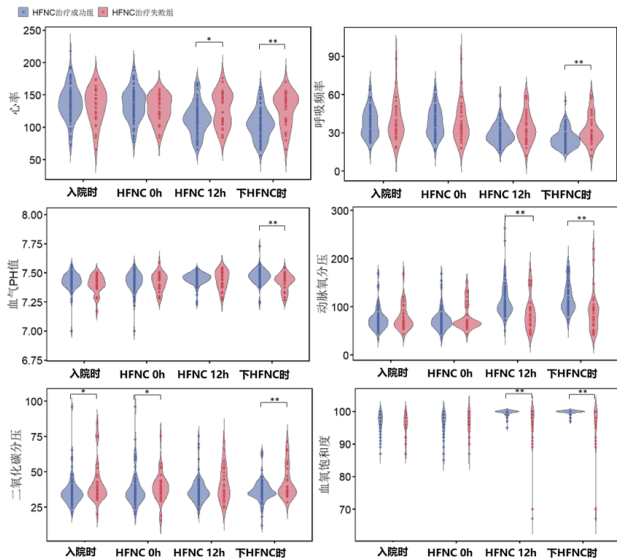


图 1 HFNC 治疗成功组和治疗失败组的呼吸相关生理参数比较
Fig 1 Comparison of respiratory-related physiological parameters between the hfnc treatment success group and the failure group

SpO₂ 均差异无统计学意义；治疗后（12 h 内）的 HR、PaO₂、SpO₂ 差异有统计学意义，见图 1。两组治疗过程中 ROX 相关指数的组间对比，成功组的 S/F 值、P/F 值，ROX、ROP、ROXH 和 ROPH 指数均显著性优于失败组，见表 2。

HFNC 治疗过程中 ROX 相关指数前后对比情况如图 2 所示，失败组在 HFNC 治疗后（12 h 内）的 S/F 值、P/F 值、ROX 和 ROXH 指数均显示显著性进展（ $P < 0.05$ ），而 ROP 和 ROPH 指数提示未有显著改善；成功组在 HFNC 治疗后 ROP 和 ROPH 指数则呈现显著性升高（ $P < 0.01$ ）。

2.3 HFNC 治疗失败的影响因素分析

单因素 Logistics 回归分析发现，HFNC 治疗后（12 h 内）的心率、呼吸频率、氧分压、吸入氧体积分数、S/F 值、P/F 值、ROX、ROP、ROXH 和 ROPH 指数均与治疗失败显著相关（ $P < 0.05$ ）。进一步选取以上参数进行多因素 Logistics 回归分析，结果提示 HFNC 治疗后（12 h 内）的 FiO₂ 和 ROPH 指数是 HFNC 治疗失败的独立影响因素。见表 3。

2.4 不同 ROX 相关预测指数的 ROC 比较

以 HFNC 治疗成功为阳性观察组，分别以入院时、HFNC 前和 HFNC 治疗 12 h 内的 S/F 值、P/F 值、ROX 指数、ROP 指数、ROXH 指数和 ROPH 指数，以及各预测参数的在治疗前后的差值和差值比纳入 ROC 曲线分析。结果显示，HFNC

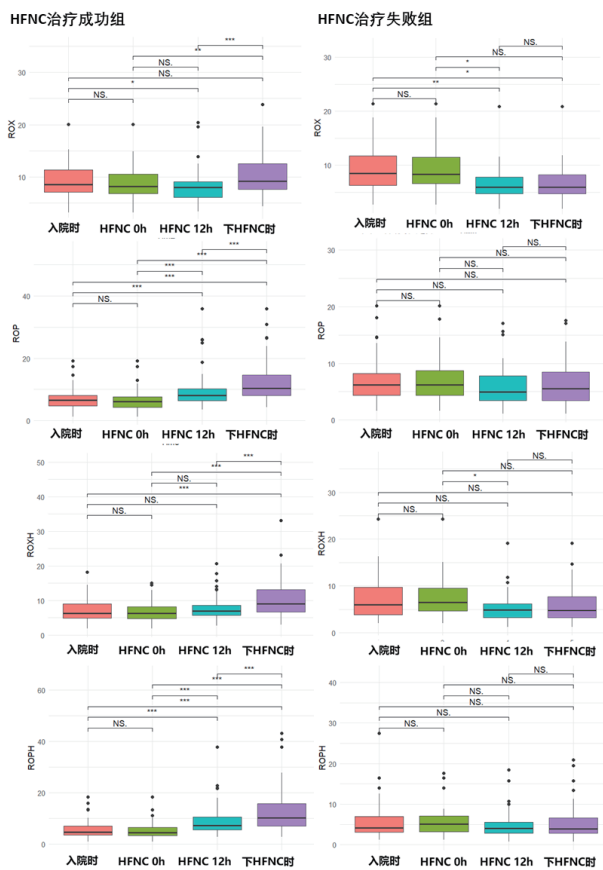


图2 HFNC 治疗成功组和治疗失败组的 ROX 指数及各改良指数随时间变化趋势

Fig 2 Trends over time in the rox index and modified indices between the hfnc treatment success group and the failure group

表 3 单因素及多因素 Logistics 回归分析结果
Table 3 Results of binomial and multinomial Logistic regression analysis

指标	单因素分析结果		多因素分析结果	
	OR (CI)	P 值	OR (CI)	P 值
年龄	1.00 (0.99 ~ 1.01)	0.933		
体重	0.99 (0.96 ~ 1.02)	0.492		
入院 PCIS 评分	1.00 (0.94 ~ 1.06)	0.974		
BUN	0.94 (0.75 ~ 1.17)	0.560		
Hb	1.00 (0.98 ~ 1.02)	0.761		
HR- HFNC 前	0.99 (0.97 ~ 1.00)	0.142		
RR- HFNC 前	1.00 (0.97 ~ 1.03)	0.925		
PH- HFNC 前	0.39 (0.00 ~ 59.66)	0.714		
PaO ₂ - HFNC 前	1.01 (0.99 ~ 1.02)	0.438		
PaCO ₂ - HFNC 前	1.01 (0.98 ~ 1.05)	0.453		
FiO ₂ - HFNC 前	1.02 (0.97 ~ 1.06)	0.506		
SpO ₂ - HFNC 前	0.94 (0.82 ~ 1.06)	0.310		
S/F 值- HFNC 前	1.00 (0.99 ~ 1.00)	0.534		
P/F 值- HFNC 前	1.00 (1.00 ~ 1.01)	0.554		
ROX- HFNC 前	1.03 (0.92 ~ 1.16)	0.585		
ROP- HFNC 前	1.06 (0.95 ~ 1.20)	0.298		
ROXH- HFNC 前	1.07 (0.95 ~ 1.20)	0.264		
ROPH- HFNC 前	1.09 (0.96 ~ 1.23)	0.189		
HR- HFNC12 h	1.02 (1.01 ~ 1.04)	0.007	1.05 (0.99 ~ 1.11)	0.123
RR- HFNC12 h	1.05 (1.01 ~ 1.10)	0.025	1.02 (0.89 ~ 1.17)	0.772
PH- HFNC12 h	0.10 (0.00 ~ 90.09)	0.505		
PaO ₂ - HFNC12 h	0.97 (0.95 ~ 0.99)	0.002	0.99 (0.92 ~ 1.06)	0.801
PaCO ₂ - HFNC12 h	1.04 (1.00 ~ 1.08)	0.065		
FiO ₂ - HFNC12 h	1.05 (1.01 ~ 1.09)	0.023	1.11 (0.91 ~ 1.34)	0.305
SpO ₂ - HFNC12 h	0.49 (0.35 ~ 0.70)	<0.01	0.48 (0.30 ~ 0.78)	0.003
S/F 值- HFNC12 h	0.99 (0.98 ~ 0.99)	0.021	1.01 (0.96 ~ 1.06)	0.782
P/F 值- HFNC12 h	0.99 (0.98 ~ 0.99)	0.002	1.01 (0.98 ~ 1.04)	0.545
ROX- HFNC12 h	0.81 (0.67 ~ 0.98)	0.026	1.06 (0.12 ~ 9.17)	0.957
ROP- HFNC12 h	0.78 (0.66 ~ 0.92)	0.003	0.71 (0.17 ~ 2.91)	0.633
ROXH- HFNC12 h	0.78 (0.65 ~ 0.94)	0.008	1.33 (0.15 ~ 11.38)	0.796
ROPH- HFNC12 h	0.77 (0.66 ~ 0.91)	0.002	1.17 (0.32 ~ 4.31)	0.049

注：OR: Odds Ratio, CI: Confidence Interval

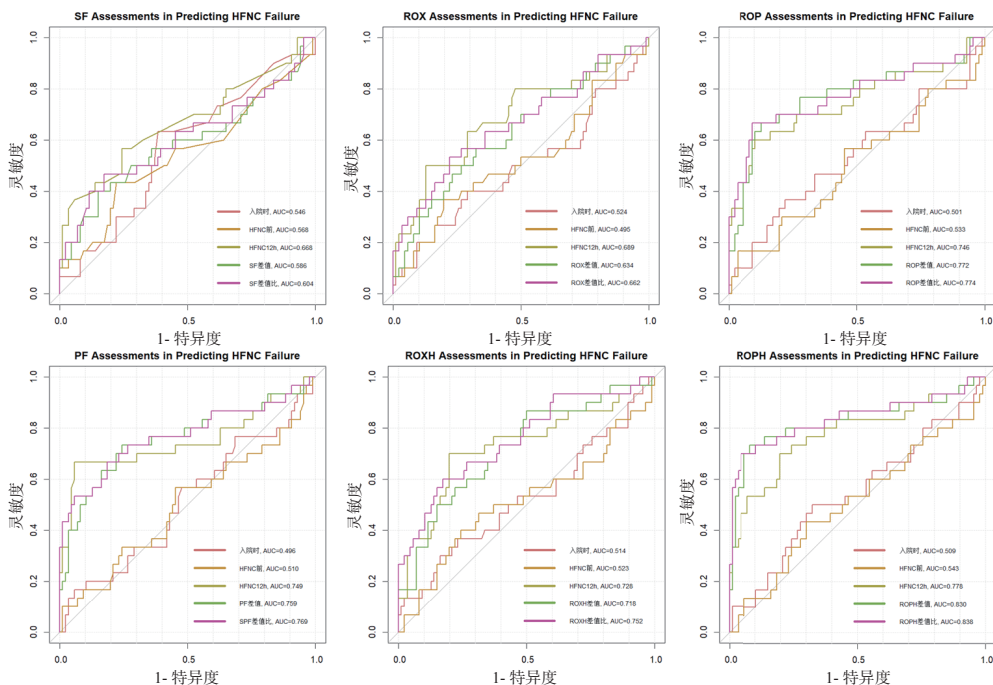


图 4 不同指数预测 HFNC 治疗失败的 ROC 曲线图

Fig 4 ROC curves of different indices for predicting the failure of hfnc therapy

治疗后的 P/F 值、ROP、ROXH 和 ROPH 指数, P/F 值、ROP、ROXH 和 ROPH 指数在治疗前后差值和差值比的 AUC 均大于 0.7, 具有预测 HFNC 治疗成功的评估价值 (图 4); 其中 ROPH 差值比的 AUC 最高, 为 0.836 (图 4), 最佳截断值为 0.053, 灵敏度 0.953, 特异度为 0.7。

3 讨论

急性低氧性呼吸衰竭是儿童重症监护病房的常见呼吸系统疾病^[12], 具有较高的病死率。近年来, 越来越多的研究证实 HFNC 在急性呼吸衰竭^[13], 尤其是 I 型呼吸衰竭患者治疗中的疗效^[14-15]。本研究共纳入患儿 130 例, 其中失败组 31 例, HFNC 治疗失败率为 23.8%, 略低于前期成人研究数据^[16-17]。除血气 pH 值和二氧化碳分压外, 两组在年龄、呼吸频率、心率、动脉氧分压、PCIS 评分等入院指标间均差异无统计学意义。

HFNC 可以维持相对恒定的氧体积分数和较高的气体流量, 而其中高流量气体可在气道内形成一定的呼气末正压, 更有效改善氧合、降低呼吸频率、改善呼吸窘迫症状; 但同时也可能掩盖呼吸窘迫情况, 延误有创呼吸支持的最佳治疗时机并导致机械通气时间延长、病死率升高等不良后果。在本研究中, HFNC 失败组的 PICU 滞留时间显著高于成功组 (病死率也略高于成功组但无差异有统计学意义), 基本与既往研究一致^[16]。因此, 如何评估重症呼吸衰竭患儿的高流量氧疗疗效, 如何找到床旁可及的评估参数用于需要插管患儿的尽早识别具有重要临床意义。

既往研究显示, SpO₂、PaO₂、FiO₂、RR 等参数是考虑 HFNC 转为有创呼吸治疗的重要参考指标; 在成人呼吸衰竭患者的 HFNC 治疗临床研究中, ROX 及其改良指数被证实可用于预测多种原因导致的呼吸衰竭患者的预后和识别需要插管患者^[7,16,18-19]。对治疗前后各参数进行对比可见, HFNC 治疗失败组的患儿 ROX 指数呈进行性进展, 而成功组患儿的 ROP 和 ROPH 指数均有明显改善; 单因素和多因素 Logistics 回归分析, 治疗后的 SpO₂ 和 ROPH 指数为气管插管的独立影响因素。本研究结果也证实改良 ROX 指数对儿童呼吸衰竭患者的 HFNC 治疗的评估及预测具有一定临床意义。

本研究基于不同时间点的 S/F 值, P/F 值, ROX 指数、ROP 指数、ROXH 指数和 ROPH 指数

在 HFNC 治疗前后变化差值和差值比, 采用 ROC 曲线评估对 HFNC 治疗成功的预测效能。结果显示, HFNC 治疗后的 P/F 值、ROP、ROXH 和 ROPH 指数及动态变化率显示出对呼吸衰竭患儿 HFNC 治疗失败较好的预测效力。本研究提示, P/F 值较 S/F 值对呼吸衰竭患儿 HFNC 治疗失败的预测效力能高, ROX、ROP 和 ROPH 指数显示较 S/F 值和 P/F 值更好的预测能力。这与前期成人急性呼吸衰竭患者预后的研究结果类似^[20], 动脉氧分压较血氧饱和度更能反应患儿的实际氧合情况及微小变化, 对于 HFNC 治疗的急性呼吸衰竭患儿, 定期监测动脉氧分压水平是必要的。此外, 由于是真实世界研究, 本研究中有相当比例患儿在治疗过程中的 SpO₂ 高于 97%, 而当 SpO₂ 高于 97% 时, 处于氧合血红蛋白解离曲线的平坦部分, PaO₂ 的变化并不会显著影响 SpO₂, 故此时 S/F 值不能很好的反映患儿气体交换水平^[1]。在改良的 ROX 相关指标中, ROPH 指数的治疗前后差值比的预测效能最高, 一方面这提示对于儿童患者的心率变化范围较成人更广, 心率应作为是否进行气管插管的重要评估指标; 另一方面也表明, 12 h 内 ROX 相关指数的动态变化情况更优于单一时间点的预测能力, 对指数动态变化进行评估有利于早期识别需要插管的急性呼吸衰竭儿童。

本研究存在一定局限性, 首先数据样本量较小, 且来源为单中心; 此外为回顾性研究, 未能选取多个时间点进行分析, 且治疗后 12 h 内各指标由于监测时间差异存在一定程度的偏倚。研究结果还有待更多前瞻性、多中心、大样本的临床研究来验证。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 刘瑶: 文章撰写、研究设计、数据分析; 赵劭懂、范铭兴: 参与文章部分设计; 经乐: 数据采集; 缪红军: 研究质量、风险控制, 指导论文撰写

参 考 文 献

- [1] Emeriaud G, López-Fernández YM, Iyer NP, et al. Executive summary of the second international guidelines for the diagnosis and management of pediatric acute respiratory distress syndrome (PALICC-2)[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2023, 24(2): 143-168. DOI: 10.1097/PCC.0000000000003147.
- [2] Khemani RG, Smith L, Lopez-Fernandez YM, et al. Paediatric acute

- respiratory distress syndrome incidence and epidemiology (PARDIE): an international, observational study[J]. *Lancet Respir Med*, 2019, 7(2): 115-128. DOI: 10.1016/S2213-2600(18)30344-8.
- [3] Ricard JD, Roca O, Lemiale V, et al. Use of nasal high flow oxygen during acute respiratory failure[J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(12): 2238-2247. DOI: 10.1007/s00134-020-06228-7.
- [4] 俞隼, 叶宏伟, 温顺, 等. 高流量氧疗在中度急性呼吸衰竭患者中的应用价值 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2022, 31(9): 1236-1242. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2022.09.014.
- [5] Niles DE, Duval-Arnould J, Skellett S, et al. Characterization of pediatric in-hospital cardiopulmonary resuscitation quality metrics across an international resuscitation collaborative[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2018, 19(5): 421-432. DOI: 10.1097/PCC.0000000000001520.
- [6] ten Brink F, Duke T, Evans J. High-flow nasal prong oxygen therapy or nasopharyngeal continuous positive airway pressure for children with moderate-to-severe respiratory distress?[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2013, 14(7): e326-31. DOI: 10.1097/PCC.0b013e31828a894d.
- [7] 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. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.05.022.
- [8] Ruangsomboon O, Jirathanavichai S, Phanprasert N, et al. Ratio of oxygen saturation to inspired oxygen, ROX index, modified ROX index to predict high flow Cannula success in COVID-19 patients: multicenter validation study[J]. *West J Emerg Med*, 2023, 24(3): 511-521. DOI: 10.5811/westjem.58311.
- [9] 笪伟 何, 王晓波, 徐爱晖, 等. ROX 指数对新型冠状病毒肺炎患者经鼻高流量湿化氧疗疗效的评估价值 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2021, 30(5): 588-592. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2021.05.014.
- [10] Liu TT, Zhao QY, Du B. Effects of high-flow oxygen therapy on patients with hypoxemia after extubation and predictors of reintubation: a retrospective study based on the MIMIC- IV database[J]. *BMC Pulm Med*, 2021, 21(1): 160. DOI: 10.1186/s12890-021-01526-2.
- [11] Zhen JH, Yan J, Cao BB, et al. The value of ROX index in predicting the outcome of high flow nasal Cannula: a systematic review and meta-analysis[J]. *Respir Res*, 2022, 23(1): 33. DOI: 10.1186/s12931-022-01951-9.
- [12] Rambaud-Althaus C, Althaus F, Genton B, et al. Clinical features for diagnosis of pneumonia in children younger than 5 years: a systematic review and meta-analysis[J]. *Lancet Infect Dis*, 2015, 15(4): 439-450. DOI: 10.1016/S1473-3099(15)70017-4.
- [13] Franklin D, Babl FE, George S, et al. Effect of early high-flow nasal oxygen vs standard oxygen therapy on length of hospital stay in hospitalized children with acute hypoxemic respiratory failure: the PARIS-2 randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2023, 329(3): 224-234. DOI: 10.1001/jama.2022.21805.
- [14] Oczkowski S, Ergan B, Bos L, et al. ERS clinical practice guidelines: high-flow nasal Cannula in acute respiratory failure[J]. *Eur Respir J*, 2022, 59(4): 2101574. DOI: 10.1183/13993003.01574-2021.
- [15] 宋建奇, 房颖, 吕维, 等. ROX 指数在经鼻高流量湿化氧疗治疗 I 型呼吸衰竭中的应用价值 [J]. *新乡医学院学报*, 2021, 38(7): 671-675. DOI: 10.7683/xxyxyxb.2021.07.015.
- [16] 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. DOI: 10.1164/rccm.201803-0589OC.
- [17] de Carvalho VCP, da Silva Guimarães BL, Fujihara MTF, et al. Daily ROX index can predict transitioning to mechanical ventilation within the next 24 h in COVID-19 patients on HFNC[J]. *Am J Emerg Med*, 2023, 73: 160-165. DOI: 10.1016/j.ajem.2023.08.045.
- [18] Chen DY, Heunks L, Pan C, et al. A novel index to predict the failure of high-flow nasal Cannula in patients with acute hypoxemic respiratory failure: a pilot study[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2022, 206(7): 910-913. DOI: 10.1164/rccm.202203-0561LE.
- [19] Yau CE, Lee DYX, Vasudevan A, et al. Performance of the ROX index in predicting high flow nasal Cannula failure in COVID-19 patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Crit Care*, 2023, 27(1): 320. DOI: 10.1186/s13054-023-04567-7.
- [20] Rice TW, Wheeler AP, Bernard GR, et al. Comparison of the SpO₂/FIO₂ ratio and the PaO₂/FIO₂ ratio in patients with acute lung injury or ARDS[J]. *Chest*, 2007, 132(2): 410-417. DOI: 10.1378/chest.07-0617.

(收稿日期: 2024-12-15)

(本文编辑: 何小军)