doi：10.7499/j.issn.1008-8830.2503189

论著·临床研究

基于倾向性评分匹配法探究儿童重症肺炎无创正压通气失败的预测因素

王莎[1] 田玉娟[1] 王灵[1] 闫莉[1] 应林燕[2]

（1.重庆医科大学附属儿童医院呼吸科/国家儿童健康与疾病临床研究中心/儿童发育疾病研究教育部重点实验室/儿科学重庆市重点实验室，重庆 400014；
2.重庆医科大学附属妇女儿童医院儿内科/重庆市妇幼保健院儿内科，重庆 401147）

［摘要］**目的** 基于倾向性评分匹配法探究儿童重症肺炎无创正压通气（non-invasive positive pressure ventilation, NIPPV）失败的预测因素。**方法** 采用回顾性病例对照研究方法，选取2021年1月—2023年12月重庆医科大学附属儿童医院79例重症肺炎NIPPV失败患儿作为病例组，并抽取同期118例NIPPV成功患儿作为对照组。采用倾向性评分匹配法对两组的基线资料进行1∶1匹配。采用多因素logistic回归分析探究NIPPV失败的预测因素，并绘制受试者操作特征曲线评估部分因素的预测效能。**结果** 匹配后两组均包括77例患儿，基线资料比较差异均无统计学意义（$P>0.05$）。多因素logistic回归分析显示，NIPPV 12~24 h后呼吸频率（$OR=1.109$）和心率（$OR=1.064$），以及NIPPV前儿童早期预警评分（Pediatric Early Warning Score, PEWS）得分（$OR=2.809$）和肺部影像学显示肺实变（$OR=16.144$）是NIPPV失败的正向预测因素（均$P<0.05$），而NIPPV 12~24 h后脉搏血氧饱和度（pulse oxygen saturation, SpO_2）是NIPPV失败的负向预测因素（$OR=0.414$，$P<0.05$）。受试者操作特征曲线分析显示，NIPPV 12~24 h后SpO_2预测重症肺炎NIPPV失败的曲线下面积为0.906，灵敏度和特异度分别为70.1%和98.7%，最佳截断值为92%；NIPPV前PEWS得分预测重症肺炎NIPPV失败的曲线下面积为0.784，灵敏度和特异度分别为64.9%和84.4%，最佳截断值为3.5分。**结论** 重症肺炎患儿NIPPV治疗中应密切监测呼吸、心率、SpO_2等基础生命体征变化，并结合治疗前肺部影像学表现（肺实变面积）、PEWS得分进行NIPPV失败的风险分层。［中国当代儿科杂志，2026，28（5）：571-579］

［关键词］重症肺炎；倾向性评分匹配法；无创正压通气；预测因素；儿童

Exploring predictors of non-invasive positive pressure ventilation failure in children with severe pneumonia based on propensity score matching

WANG Sha, TIAN Yu-Juan, WANG Ling, YAN Li, YING Lin-Yan. Department of Pediatrics, Women and Children's Hospital of Chongqing Medical University/Department of Pediatrics, Chongqing Health Center for Women and Children, Chongqing 401147, China (Ying L-Y, Email: yinglinyan2013@163.com)

Abstract: Objective To investigate predictors of non-invasive positive pressure ventilation (NIPPV) failure in children with severe pneumonia using propensity score matching. **Methods** A retrospective case-control study included 79 children with severe pneumonia who experienced NIPPV failure at the Children's Hospital of Chongqing Medical University from January 2021 to December 2023 and 118 contemporaneous children who had successful NIPPV. Propensity score matching was used for 1∶1 matching on baseline variables. Multivariable logistic regression analysis was performed to identify predictors of NIPPV failure, and receiver operating characteristic (ROC) curves were used to evaluate the predictive performance of selected variables. **Results** After matching, 77 patients were included in each group, with no statistically significant differences in baseline characteristics ($P>0.05$). Multivariable logistic regression

［收稿日期］2025-03-28；［接受日期］2026-01-18
［基金项目］国家自然科学基金青年科学基金项目（81700017）。
［作者简介］王莎，女，硕士研究生。
［通信作者］应林燕，女，副主任医师。Email：yinglinyan2013@163.com。

showed that respiratory rate (*OR*=1.109) and heart rate (*OR*=1.064) at 12-24 hours after NIPPV, Pediatric Early Warning Score (PEWS) score before NIPPV (*OR*=2.809), and lung consolidation on chest imaging before NIPPV (*OR*=16.144) were positive predictors of NIPPV failure (all *P*<0.05). Pulse oxygen saturation (SpO_2) at 12-24 hours after NIPPV was a negative predictor of NIPPV failure (*OR*=0.414, *P*<0.05). ROC analysis showed that SpO_2 at 12-24 hours after NIPPV predicted NIPPV failure with an area under the curve (AUC) of 0.906, sensitivity of 70.1%, specificity of 98.7%, and an optimal cutoff of 92%. The PEWS score before NIPPV predicted NIPPV failure with an AUC of 0.784, sensitivity of 64.9%, specificity of 84.4%, and an optimal cutoff of 3.5 points. **Conclusions** In children with severe pneumonia receiving NIPPV, close monitoring of respiratory rate, heart rate, and SpO_2 is essential, and risk stratification for treatment failure should incorporate pre-treatment chest imaging findings (consolidation area) and PEWS score.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2026, 28(5): 571-579]

Key words: Severe pneumonia; Propensity score matching; Non-invasive positive pressure ventilation; Predictor; Child

肺炎是导致5岁以下儿童感染性疾病死亡的首要原因[1]，重症肺炎患儿常伴有严重的并发症和多器官功能紊乱，导致病死率显著升高。儿童重症肺炎呼吸支持治疗方式包括鼻导管或面罩吸氧、经鼻高流量氧疗、无创正压通气（non-invasive positive pressure ventilation, NIPPV）、有创机械通气（invasive mechanical ventilation, IMV）等。其中，NIPPV具有操作简便、创伤小、可接受度高等优点，在儿童呼吸系统疾病导致的急慢性呼吸衰竭治疗中具有重要地位。儿童NIPPV包括持续气道正压通气、双水平气道正压通气等模式，其通过提高气道内正压、增加功能残气量来改善氧合和肺的顺应性[2-3]，在儿童重症肺炎治疗中疗效确切。

研究显示，儿童重症肺炎NIPPV成功率为47%~93.2%[4-6]。NIPPV治疗无效者病情更危重，在接受气管插管时往往处于疾病进展阶段，会导致有创机械通气和住院时间延长、病死率增加等，是一类具有潜在不良预后的高风险人群[7-8]。因此早期识别出重症肺炎NIPPV失败的预测因素，并升级呼吸支持举措具有重要意义[8]。倾向性评分匹配（propensity score matching, PSM）是一种用于均衡非随机分组试验中选择偏倚的统计学方法[9]，可减少混杂因素的影响，使研究结果更接近随机对照试验的效果。基于此，本研究在PSM基础上探讨儿童重症肺炎NIPPV失败的预测因素，旨在为临床早期干预提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

采用回顾性病例对照研究方法，应用重庆医科大学附属儿童医院电子病历系统中病历借阅功能，检索2021年1月—2023年12月在重庆医科大学附属儿童医院呼吸科病房出院且诊断为“重症肺炎”患儿的临床资料，并根据NIPPV治疗是否有效分为成功组和失败组。

纳入标准：（1）年龄29 d至18岁；（2）符合《儿童社区获得性肺炎诊疗规范（2019年版）》中重症肺炎的诊断标准[10]；（3）研究资料完整。在上述基础上，成功组还需满足NIPPV治疗有效；失败组还需满足住院期间NIPPV治疗失败并接受气管插管。

排除标准：（1）非感染性肺部疾病；（2）合并肺结核；（3）外院NIPPV失败入院行气管插管；（4）采用初始鼻导管或面罩吸氧或经鼻高流量氧疗失败行气管插管；（5）自动签字出院。

1.2 方法

1.2.1 资料收集

收集NIPPV成功组和失败组患儿的一般资料，包括性别、年龄、是否早产、是否低出生体重、既往有无NIPPV病史、既往是否进行IMV、病程、NIPPV时长、IMV时长、住院抗生素使用时长、住院时间等。并对两组患儿NIPPV治疗前后的呼吸频率、心率、脉搏血氧饱和度（pulse oxygen saturation, SpO_2）、改良易感性–损伤–反应–器官功能障碍（Predisposition, Insult, Response, Organ dysfunction, PIRO）量表得分、儿童早期预警评分（Pediatric Early Warning Score, PEWS）得分、实验室指标（血常规、炎性指标、肝肾功能等）、影像学表现（肺实变、肺不张、胸膜病变等）、呼吸道病原学（病毒、细菌、肺炎支原体检出情况等）、合并基础疾病类型（支气管哮喘、支气管肺发育不良、全面发育迟缓等）等资料进行收集。

本研究已通过重庆医科大学附属儿童医院伦理委员会批准［2025年伦审临（研）批件第86号］。

1.2.2 PSM 匹配　本研究采用1∶1 PSM中的卡钳匹配法，以均衡NIPPV失败组与成功组患儿的基线资料。首先，以NIPPV失败与否为因变量（成功=0，失败=1），以性别、年龄、是否早产、是否低出生体重为自变量，构建多因素logistic回归模型，计算每例患儿的倾向评分（即NIPPV失败的预测概率）。随后，设定卡钳值为0.1，在成功组中为失败组患儿寻找倾向评分最接近的匹配对象。匹配时先将失败组患儿按随机顺序排列，依次选取第1例患儿，在成功组中查找倾向评分与该患儿相差不超过0.1的所有个体；若找到唯一匹配者则直接配对，若找到多个则选择倾向评分最接近者，若未找到则放弃该失败组样本。重复此过程直至所有失败组患儿完成匹配或无可匹配对象。卡钳匹配通过限制倾向评分的最大差异，强制选择更相似的个体，可有效避免组间差异过大的问题，相比最邻近匹配等方法能更好地减少协变量不平衡和混杂偏倚。

1.3 观察指标

通过PSM对NIPPV成功组与失败组中满足研究条件患儿的基线资料进行匹配前后的比较，并对匹配后两组患儿的临床资料进行单因素和多因素分析，探讨NIPPV失败的预测因素。

1.4 统计学分析

采用SPSS 27.0统计软件进行分析。符合正态分布的计量资料用均值±标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用两样本t检验；非正态分布的计量资料用中位数和四分位数间距［M（P_{25}，P_{75}）］表示，组间比较采用Wilcoxon秩和检验；计数资料用例数和百分率或构成比（%）表示，组间比较采用卡方检验或Fisher确切概率法。采用多因素logistic回归分析探究重症肺炎NIPPV失败的预测因素，计算比值比（odds ratio, *OR*）和95%置信区间（confidence interval, *CI*），并绘制受试者操作特征曲线（receiver operating characteristic curve, ROC曲线），计算灵敏度、特异度和曲线下面积（area under the curve, AUC）评估部分影响因素的预测效能。P<0.05表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 匹配前后基线资料的比较

共79例患儿被纳入NIPPV失败组，并随机选取了118例NIPPV成功患儿作为对照组。PSM匹配前，两组间性别、年龄及早产比例的比较差异无统计学意义（P>0.05），低出生体重比例的比较差异有统计学意义（P<0.05）。匹配后每组分别有77例患儿，且上述基线资料间的比较差异均无统计学意义（P>0.05）。见表1。

表1　NIPPV成功组与失败组PSM前后基线资料的比较

指标	匹配前				匹配后			
	失败组（n=79）	成功组（n=118）	χ^2/Z值	P值	失败组（n=77）	成功组（n=77）	χ^2/Z值	P值
性别 [n(%)]								
男	27(34.2)	41(34.7)	0.007	0.934	27(35.1)	28(36.4)	0.028	0.866
女	52(65.8)	77(65.3)			50(64.9)	49(63.6)		
年龄 [M(P_{25}, P_{75}), 月]	9.0(5.0, 26.0)	11.4(5.3, 26.0)	−0.052	0.958	9.0(5.0, 24.5)	11.8(5.5, 28.5)	−0.490	0.624
早产 [n(%)]	26(32.9)	27(22.9)	2.421	0.120	24(31.2)	24(31.2)	0.000	1.000
低出生体重 [n(%)]	25(31.6)	20(16.9)	5.799	0.016	23(29.9)	20(26.0)	0.290	0.590

2.2 匹配后治疗情况的比较

与NIPPV成功组相比，失败组NIPPV时间更短，抗生素使用时间及住院时间均显著延长，差异均有统计学意义（P<0.001）；NIPPV失败组IMV时间中位数为7 d。见表2。

2.3 NIPPV失败的单因素分析

单因素分析显示，与NIPPV成功组比较，失败组的病程较长，NIPPV前改良PIRO量表得分和PEWS得分均较高，NIPPV 12~24 h后呼吸频率和心率均较高（P<0.05）。失败组NIPPV前的淋巴细胞计数和NIPPV 12~24 h后的SpO_2均低于成功组（P<0.05）。NIPPV前影像学显示合并肺实变、肺不张、胸腔积液/胸膜病变的比例均较高（P<0.05）。其他观察指标在两组间差异无统计学意义（P>0.05）。见表3~5。

表2　NIPPV成功组与失败组匹配后治疗情况的比较　［M（P_{25}，P_{75}）］

指标	成功组 (n=77)	失败组 (n=77)	Z值	P值
NIPPV时间 (h)	71.0(54.3, 94.0)	17.0(5.8, 40.5)	−11.471	<0.001
IMV时间 (d)	0(0, 0)	7.0(6.0, 9.0)	7.600	<0.001
住院时间 (d)	8.0(7.0, 9.0)	16.0(13.0, 21.0)	10.050	<0.001
抗生素使用时间 (d)	6.0(4.0, 8.0)	14.0(11.0, 18.0)	9.384	<0.001

注：［NIPPV］无创正压通气；［IMV］有创机械通气。

表3　NIPPV成功组与失败组一般情况、临床评分、基础疾病及病原学的比较

指标	成功组 (n=77)	失败组 (n=77)	χ^2/Z值	P值
一般情况				
既往无创通气 [n(%)]	17(22)	17(22)	0.000	1.000
既往气管插管 [n(%)]	16(21)	17(22)	0.039	0.844
病程 [M(P_{25}, P_{75}), d]	5.0(3.5, 10.0)	6.0(4.0, 15.0)	−2.095	0.036
NIPPV前临床评分 [M(P_{25}, P_{75}), 分]				
改良PIRO量表得分	2.0(1.0, 3.0)	3.0(2.0, 4.0)	−5.939	<0.001
PEWS得分	3.0(2.0, 3.0)	4.0(3.0, 5.0)	−6.308	<0.001
基础疾病 [n(%)]	35(45)	44(57)	2.105	0.147
支气管哮喘	1(1)	4(5)	0.827	0.363
气道狭窄	4(5)	11(14)	2.659	0.103
气道软化	0(0)	5(6)	–	0.058*
支气管肺发育不良	9(12)	9(12)	0.000	1.000
先天性心脏病	22(29)	18(23)	0.540	0.462
全面发育迟缓	5(6)	3(4)	0.132	0.717
贫血	1(1)	3(4)	0.257	0.612
营养不良	4(5)	7(9)	0.392	0.531
癫痫	1(1)	2(3)	0.000	1.000
慢性肝肾疾病	1(1)	0(0)	–	1.000*
外科术后	1(1)	6(8)	2.395	0.122
免疫缺陷	0(0)	1(1)	–	1.000*
呼吸道病原 [n(%)]				
检出病毒	43(56)	53(69)	2.766	0.096
检出细菌	36(47)	42(55)	0.935	0.334
检出病毒和细菌	20(26)	30(39)	2.962	0.085
检出肺炎支原体	10(13)	14(18)	0.790	0.374
检出其他病原/未检出	13(17)	9(12)	0.848	0.357

注：*Fisher确切概率法。［NIPPV］无创正压通气；［PIRO］易感性-损伤-反应-器官功能障碍；［PEWS］儿童早期预警评分。

表 4　NIPPV 成功组与失败组基础生命体征及实验室指标的比较

指标	成功组 (n=77)	失败组 (n=77)	t/Z值	P值
基础生命体征				
NIPPV 前 RR [$M(P_{25}, P_{75})$, 次/min]	52(46, 58)	51(42, 62)	−0.022	0.983
NIPPV 12~24 h 后 RR [$M(P_{25}, P_{75})$, 次/min]	48(40, 53)	58(50, 69)	−6.143	<0.001
NIPPV 前 HR ($\bar{x} \pm s$, 次/min)	146 ± 17	148 ± 24	0.715	0.476
NIPPV 12~24 h 后 HR ($\bar{x} \pm s$, 次/min)	136 ± 15	154 ± 25	5.613	<0.001
NIPPV 前 SpO_2 [$M(P_{25}, P_{75})$, %]	94(91, 96)	94(90, 96)	−0.659	0.510
NIPPV 12~24 h 后 SpO_2 [$M(P_{25}, P_{75})$, %]	97(96, 98)	90(87, 95)	−8.756	<0.001
NIPPV 前实验室指标				
血常规				
RBC [$M(P_{25}, P_{75})$, $\times 10^{12}$/L]	4.31(3.94, 4.64)	4.39(3.80, 4.65)	−0.287	0.774
Hb [$M(P_{25}, P_{75})$, g/L]	114(106, 123)	113(102, 123)	−0.273	0.785
PLT ($\bar{x} \pm s$, $\times 10^9$/L)	404 ± 125	367 ± 136	−1.767	0.079
WBC [$M(P_{25}, P_{75})$, $\times 10^9$/L]	10.18(7.16, 13.26)	9.59(6.22, 12.72)	−1.115	0.265
NEU [$M(P_{25}, P_{75})$, $\times 10^9$/L]	5.7(2.5, 9.0)	5.3(3.0, 8.6)	−0.027	0.978
LYM [$M(P_{25}, P_{75})$, $\times 10^9$/L]	3.11(2.00, 5.03)	2.40(1.49, 4.01)	−2.118	0.034
NEU/LYM [$M(P_{25}, P_{75})$]	2.05(0.61, 3.75)	2.02(1.07, 3.84)	−1.122	0.262
炎性指标				
CRP [$M(P_{25}, P_{75})$, mg/L]	8.0(2.6, 12.5)	9.0(6.7, 26.5)	−1.604	0.109
PCT [$M(P_{25}, P_{75})$, ng/mL]	0.10(0.07, 0.27)	0.13(0.09, 0.55)	−1.494	0.135
凝血功能				
Fib [$M(P_{25}, P_{75})$, g/L]	3.12(2.38, 4.21)	2.92(2.08, 4.05)	−1.191	0.234
D-Dim [$M(P_{25}, P_{75})$, mg/L]	0.5(0.3, 1.0)	0.5(0.3, 1.4)	−0.459	0.646
肝肾功能				
ALT [$M(P_{25}, P_{75})$, U/L]	24(17, 35)	25(18, 34)	−0.168	0.866
AST [$M(P_{25}, P_{75})$, U/L]	42(34, 51)	39(31, 45)	−1.371	0.170
LDH [$M(P_{25}, P_{75})$, U/L]	303(272, 352)	333(275, 388)	−1.827	0.068
UREA [$M(P_{25}, P_{75})$, mmol/L]	2.80(1.95, 3.55)	2.93(2.29, 3.70)	−1.072	0.284
CREA [$M(P_{25}, P_{75})$, mmol/L]	21(19, 27)	22(19, 28)	−0.449	0.653
心肌标志物				
TnIH [$M(P_{25}, P_{75})$, μg/L]	0.01(0, 0.01)	0.01(0, 0.03)	−1.234	0.217
Mb [$M(P_{25}, P_{75})$, μg/L]	19.42(12.68, 25.88)	17.22(9.47, 26.06)	−0.750	0.453
CKMB [$M(P_{25}, P_{75})$, μg/L]	2.27(1.05, 4.53)	2.64(1.44, 5.31)	−0.985	0.325
BNP [$M(P_{25}, P_{75})$, pg/mL]	17.26(7.70, 43.60)	29.76(8.60, 66.67)	−1.856	0.064
动脉血气值				
PaO_2 [$M(P_{25}, P_{75})$, mmHg]	73(61, 93)	73(59, 88)	−0.672	0.501
$PaCO_2$ ($\bar{x} \pm s$, mmHg)	39 ± 9	41 ± 9	1.914	0.057
BE [$M(P_{25}, P_{75})$, mmol/L]	−1.50(−5.05, 0.30)	−2.00(−4.65, −0.73)	−0.629	0.529
Lac [$M(P_{25}, P_{75})$, mmol/L]	1.90(1.40, 2.60)	1.60(0.95, 2.55)	−1.777	0.076

注：［RR］呼吸频率；［HR］心率；［SpO_2］脉搏血氧饱和度；［RBC］红细胞；［Hb］血红蛋白；［PLT］血小板；［WBC］白细胞；［NEU］中性粒细胞；［LYM］淋巴细胞；［NEU/LYM］中性粒细胞计数与淋巴细胞计数比值；［CRP］C 反应蛋白；［PCT］降钙素原；［Fib］纤维蛋白原；［D-Dim］D-二聚体；［ALT］谷丙转氨酶；［AST］谷草转氨酶；［LDH］乳酸脱氢酶；［UREA］尿素；［CREA］肌酐；［TnIH］肌钙蛋白 I；［Mb］肌红蛋白；［CKMB］肌酸激酶同工酶；［BNP］脑钠肽；［PaO_2］动脉血氧分压；［$PaCO_2$］动脉血二氧化碳分压；［BE］碱剩余；［Lac］乳酸。

表5　成功组与失败组NIPPV前肺部影像学表现的比较　[*n* (%)]

指标	成功组 (*n*=77)	失败组 (*n*=77)	χ^2值	*P*值
肺实变#	22(29)	53(69)	24.978	<0.001
肺不张	5(6)	28(36)	20.402	<0.001
支气管扩张	1(1)	1(1)	0.000	1.000
气管或支气管狭窄	0(0)	4(5)		0.120*
支气管发育异常	2(3)	4(5)	0.173	0.677
胸腔积液/胸膜病变	2(3)	9(12)	4.797	0.029
气胸	0(0)	1(1)		1.000*
纵隔气肿/积液	0(0)	4(5)		0.120*
肺间质改变	6(8)	6(8)	0.000	1.000

注：#肺实变指实变累及≥2个肺叶或超过单侧肺叶的2/3面积。*Fisher确切概率法。

2.4　NIPPV失败的多因素logistic回归分析

将单因素分析中具有统计学意义的变量作为自变量，NIPPV疗效作为因变量（成功=0，失败=1），进行多因素logistic回归分析。结果显示，NIPPV 12~24 h后呼吸频率（*OR*=1.109）和心率（*OR*=1.064），以及NIPPV前PEWS得分（*OR*=2.809）、肺部影像学显示肺实变（*OR*=16.144）是NIPPV失败的正向预测因素（均*P*<0.05）；NIPPV 12~24 h后SpO_2是NIPPV失败的负向预测因素（*OR*=0.414，*P*<0.05）。见表6。

2.5　部分因素预测NIPPV失败的风险分析

将NIPPV前PEWS得分和NIPPV 12~24 h后SpO_2作为检验变量，NIPPV疗效作为状态变量，绘制ROC曲线。结果显示，NIPPV 12~24 h后SpO_2预测NIPPV失败的AUC为0.906，灵敏度为70.1%，特异度为98.7%，最佳截断值为92%；NIPPV前PEWS得分预测NIPPV失败的AUC为0.784，灵敏度为64.9%，特异度为84.4%，最佳截断值为3.5分。见图1、图2和表7。

表6　NIPPV失败的多因素logistic回归分析

变量	*B*	*SE*	Waldχ^2	*P*	*OR*	95%*CI*
病程 (d)	0.044	0.043	1.052	0.305	1.045	0.960~1.137
NIPPV12~24 h后RR (次/min)	0.109	0.059	3.393	0.014	1.109	1.021~1.205
NIPPV12~24 h后HR (次/min)	0.062	0.029	4.611	0.032	1.064	1.005~1.127
NIPPV12~24 h后SpO_2 (%)	−0.882	0.219	16.268	<0.001	0.414	0.270~0.635
NIPPV前LYM ($\times 10^9$/L)	−0.457	0.238	3.702	0.054	0.633	0.397~1.009
NIPPV前肺实变	2.782	1.122	6.151	0.013	16.144	1.792~145.428
NIPPV前肺不张	0.276	1.263	0.048	0.827	1.318	0.111~15.668
NIPPV前胸腔积液/胸膜病变	−1.119	2.226	0.253	0.615	0.326	0.004~25.623
NIPPV前改良PIRO量表得分 (分)	0.428	0.490	0.764	0.382	1.534	0.588~4.007
NIPPV前PEWS得分 (分)	1.033	0.475	4.721	0.030	2.809	1.106~7.133
常量	65.976	19.648	11.275	<0.001		

注：［NIPPV］无创正压通气；［RR］呼吸频率；［HR］心率；［SpO_2］脉搏血氧饱和度；［LYM］淋巴细胞；［PIRO］易感性-损伤-反应-器官功能障碍；［PEWS］儿童早期预警评分。肺实变、肺不张、胸腔积液/胸膜病变为二分类变量，其余变量为连续变量。

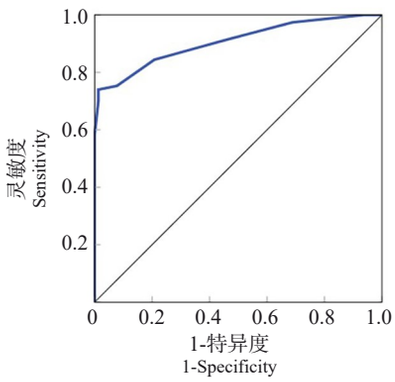


图 1　NIPPV 12~24 h 后 SpO_2 预测 NIPPV 失败的 ROC 曲线

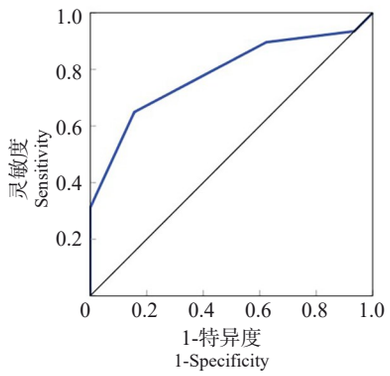


图 2　NIPPV 前 PEWS 得分预测 NIPPV 失败的 ROC 曲线

表 7　部分变量预测 NIPPV 失败的价值

变量	截断值	灵敏度 (%)	特异度 (%)	正确诊断指数	AUC	95%*CI*	*P*
NIPPV 12~24 h 后 SpO_2	92%	70.1	98.7	0.688	0.906	0.858~0.954	<0.001
NIPPV 前 PEWS 得分	3.5 分	64.9	84.4	0.493	0.784	0.710~0.858	<0.001

注：［NIPPV］无创正压通气；［SpO_2］脉搏血氧饱和度；［PEWS］儿童早期预警评分；［AUC］曲线下面积。

3　讨论

重症肺炎治疗策略中，除液体管理、营养支持、病原治疗外，呼吸支持是不可或缺的重要治疗方式。支气管黏膜充血水肿导致管腔狭窄、肺泡腔内炎性渗出物填充等病理改变共同影响重症肺炎患儿的肺通气和换气功能。NIPPV 作为常用的辅助呼吸支持技术之一，被广泛应用于儿童重症肺炎的治疗中[2-3]。但临床实践中并非所有患儿都能从 NIPPV 治疗中获益。既往研究指出，部分 NIPPV 失败者可能出现 IMV 时间延长、插管并发症及病死率增加等不良情况。本研究也发现 NIPPV 失败组患儿的抗生素使用时间及住院时间均有显著延长，这一结果也侧面反映出失败组患儿的病情更为危重，且并发症的发生率及不良预后的风险更高，对医疗资源的消耗也会显著增加。因此，早期识别出重症肺炎患儿 NIPPV 失败的可能因素，并采取有效的干预措施具有重要的临床意义。

本研究利用呼吸频率、心率、SpO_2这 3 项床旁易获取的生理参数的动态监测来评估 NIPPV 对重症肺炎患儿的临床干预效果，结果显示，成功组 NIPPV 12~24 h 后气促、心动过速有改善，SpO_2显著上升。多因素分析显示，NIPPV 12~24 h 后呼吸频率每增加 1 次/min，治疗失败风险增加约 10.9%（*OR*=1.109，*P*=0.014）；心率每增加 1 次/min，失败风险增加约 6.4%（*OR*=1.064，*P*=0.032）；而 SpO_2 每提高 1%，NIPPV 失败风险降低约 58.6%（*OR*=0.414，*P*<0.001）。且 ROC 曲线分析显示 NIPPV 12~24 h 后 SpO_2可作为预测重症肺炎患儿 NIPPV 失败的有效指标，具有较高的 AUC（0.906）和特异度（98.7%），最佳截断值为 92%。成功组患儿经 NIPPV 干预后上述指标得到了同步改善，表明呼吸频率、心率、SpO_2作为实时、动态的床旁无创监测指标，能够灵敏地反映 NIPPV 治疗中呼吸力学的改善及循环代偿的缓解，这些参数的变化趋势与既有文献报道的研究结论[8, 11-12]相吻合，具有重要的临床疗效评估价值。同时，本研究将 NIPPV 12~24 h 后 SpO_2≤92% 作为重症肺炎患儿 NIPPV 治疗后是否需进一步干预的预警指标，其临床价值可从以下方面得到验证：重症肺炎患儿早期气促、发绀等呼吸衰竭表现常滞后于 SpO_2和动脉血氧分压（partial pressure of arterial oxygen, PaO_2）的下降[13]，SpO_2联合临床症状与体征能使儿童低氧血症的识别率提高 20%~30%[14]。同时 PaO_2与 SpO_2间存在高度正相关关系[15]，这为无创监测提供了理论基础。多项临床指南也将这一阈值作为推荐，如《儿童社区获得性肺炎管理指南（2024 修订）》[1]和《儿童社区获得性肺炎诊疗规范（2019 年版）》[10]均明确将 SpO_2<92% 作为重症肺炎诊断的标准之一；一项关于儿童急性呼吸窘迫综合征诊断与管理的国际指南建议轻中度患者 SpO_2维持在 92%~97%[16]。这说明 SpO_2≤92% 作为干预触发点具有重要的临床价值。值得注意的是，由于血红蛋白缓冲系统具有调节作用，当酸碱平衡紊乱

时，SpO_2反映组织的氧合状态变化较PaO_2变化时间滞后20~30 min，这种滞后效应在2~3 h的监测周期中表现得尤为明显[15]。因此，当重症肺炎患儿经NIPPV治疗后若SpO_2≤92%，提示治疗效果不佳，低氧血症未能得到有效纠正，建议此时对患儿进行动脉血气分析，全面评估氧合状态和通气功能，评估是否升级为IMV，以避免延误最佳救治时机。

多种评估工具已被应用于儿童肺炎严重程度的分层评估[17]。本研究探讨了改良PIRO量表得分和PEWS得分评估重症肺炎患儿NIPPV疗效的预测价值，结果显示，PEWS得分每增加1分，NIPPV失败风险将增加1.809倍。该评分从意识状态、心血管系统、呼吸系统3个维度进行评分，每个维度赋值0~3分。但不同研究对其临界值的设定有所不同。多项研究提出2.5分可作为区分轻度和重症肺炎的分界点，4.5分对死亡风险的预测具有一定价值[18-20]。本研究发现，将3.5分作为最佳截断值来预测无创通气失败的效能良好（AUC=0.784），虽然灵敏度为64.9%，但特异度为84.4%，仍能有效识别出高风险患儿。这一结果与林俊宏等[21]的研究结果相符，其指出，呼吸系统疾病住院患儿若PEWS评分>3.5分，提示为潜在危重患者，应加强监护，甚至转入儿童重症监护室。由此可见，PEWS评分不仅能客观评估肺炎的严重程度，更重要的是能为临床医师选择呼吸支持方式提供决策依据。

肺实变作为肺部炎性渗出物填充肺泡导致肺内出现片状渗出性影像学特征，其病变范围与肺部感染严重程度呈显著正相关[22-23]。同时，在重症肺炎早期识别中，肺实变范围具有重要的预警价值[1, 10]。本研究探讨了肺实变范围与NIPPV疗效间的关联性，结果显示，当胸部影像学显示实变累及≥2个肺叶或超过单侧肺叶面积的2/3时，NIPPV失败的风险会显著升高（*OR*=16.144，95%*CI*：1.792~145.428），被证实是影响NIPPV成功率的关键影像学指标。从病理机制上分析，当肺泡腔内大量炎性物质填充时会导致肺容积缩小，以及通气血流比例严重失衡，这种较大范围的实变会严重削弱NIPPV的基础疗效。基于此，建议重症肺炎NIPPV治疗患儿在临床条件允许的情况下，尽早完成胸部影像学检查评估，这有助于早期识别出治疗失败的高风险患儿，也为评估后续是否行支气管镜检查和灌洗治疗提供客观依据。

免疫调节失衡是重症肺炎的病理生理机制之一[24]。刘晓萍等[25]指出，淋巴细胞数量与肺部感染严重程度呈显著负相关，其机制可能与重症感染导致免疫失调、淋巴细胞储备过度消耗等有关[26]。本研究也发现，NIPPV失败组在干预前淋巴细胞绝对计数低于成功组，但多因素回归分析显示其并不是预测重症肺炎IMV需求的影响因素。本研究显示两组患儿在基础疾病分布上无显著差异。然而，在使用NIPPV治疗的重症肺炎患儿中，合并基础疾病者约占一半（失败组57%，成功组45%），这表明基础疾病可能加重患儿的呼吸道负担，导致无创通气治疗的需求增加。既往研究还指出，混合感染引起的炎症反应和临床症状比单一感染更严重[27-28]，可能导致患儿呼吸机使用比例显著升高[29]，但本研究尚未观察到两组间在这些指标上存在显著差异。部分研究还指出，$PaCO_2$、吸入氧浓度（fraction of inspired oxygen, FiO_2）、PaO_2/FiO_2、SpO_2/FiO_2、呼吸频率–氧合指数等也可作为预测NIPPV失败的指标[6, 30]，未来可通过扩大样本量、开展前瞻性研究等进一步验证上述指标的预测价值。

综上所述，临床实践中我们应采取多维度动态评估的方式来监测重症肺炎患儿NIPPV的疗效，包括实时生命体征监测，重点关注呼吸频率、心率、SpO_2等基础生命体征的变化，并结合治疗前胸部影像学表现（肺实变范围）和PEWS得分进行风险分层。当NIPPV治疗12~24 h后SpO_2≤92%或治疗前PEWS得分≥3.5分时，提示NIPPV失败的风险会显著增高。基础疾病、混合感染、淋巴细胞计数等指标能否作为潜在预测因素，与NIPPV疗效间是否具有一定的相关性，仍需扩大样本量或开展前瞻性研究进一步验证。对于NIPPV失败的高风险患儿来说，加强动脉血气监测同样重要，目的在于早期发现二氧化碳潴留或低氧血症等病情恶化的趋势。结合以上多参数综合评估，早期识别出重症肺炎患儿NIPPV治疗失败的风险，从而指导临床干预和治疗调整。本研究为单中心回顾性分析，受样本量限制可能出现研究结果的异质性，且部分关键变量（如无创呼吸机参数、呼吸指数等）由于数据记录缺失未能纳入分析。后续可通过扩大样本量及开展多中心、前瞻性研究进一步验证现有结论。

作者贡献声明：王莎负责数据收集、统计分析、文章撰写；田玉娟负责文章撰写；王灵负责文章撰写；闫莉和应林燕负责指导写作、修改、审阅。

利益冲突声明：所有作者均声明无利益冲突。

［参 考 文 献］

[1] 中华医学会儿科学分会呼吸学组, 中华儿科杂志编辑委员会, 中

国医药教育协会儿科专业委员会. 儿童社区获得性肺炎管理指南（2024修订）[J]. 中华儿科杂志, 2024, 62(10): 920-930. PMID: 39327958. DOI: 10.3760/cma.j.cn112140-20240728-00523.

[2] 中华医学会儿科学分会急救学组, 中华医学会急诊医学分会儿科学组, 中国医师协会儿童重症医师分会. 儿童无创持续气道正压通气临床应用专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2016, 54(9): 649-652. PMID: 27596077. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2016.09.004.

[3] 中华医学会儿科学分会急救学组, 中华医学会急诊医学分会儿科学组, 中国医师协会儿童重症医师分会. 儿童双水平气道正压通气临床应用专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2017, 55(5): 324-328. PMID: 28482380. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2017.05.003.

[4] 王新宇. 鼻罩式无创通气治疗婴幼儿重症社区获得性肺炎失败的危险因素研究[D]. 沈阳: 中国医科大学, 2023.

[5] 方杏香, 陆丹琼, 王颖, 等. CPAP辅助治疗重症肺炎合并呼吸衰竭患儿预后影响因素分析及对策[J]. 中国妇幼保健, 2021, 36(23): 5522-5525. DOI: 10.19829/j.zgfybj.issn.1001-4411.2021.23.048.

[6] 刘珺, 王荃, 钱素云, 等. 经鼻持续气道正压通气治疗5岁以下儿童社区获得性肺炎: 多中心临床研究[J]. 中华儿科杂志, 2017, 55(5): 329-333. PMID: 28482381. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2017.05.004.

[7] 符跃强, 许峰. 儿童无创通气的局限性及气管插管介入时机选择[J]. 中国实用儿科杂志, 2022, 37(2): 110-113. DOI: 10.19538/j.ek2022020607.

[8] 曾健生, 钱素云. 规范儿童无创正压通气的临床应用[J]. 中华儿科杂志, 2016, 54(9): 641-643. PMID: 27596074. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2016.09.001.

[9] Langworthy B, Wu Y, Wang M. An overview of propensity score matching methods for clustered data[J]. Stat Methods Med Res, 2023, 32(4): 641-655. PMID: 36426585. PMCID: PMC10119899. DOI: 10.1177/09622802221133556.

[10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家中医药局. 儿童社区获得性肺炎诊疗规范（2019年版）[J]. 中华临床感染病杂志, 2019, 12(1): 6-13. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-2397.2019.01.002.

[11] 曾健生, 钱素云. 无创通气在儿童呼吸衰竭中的应用: 如何把握时机[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2017, 40(9): 645-648. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2017.09.003.

[12] Chawla RK, Yadav V, Banerjee S, et al. Predictors of success and failure of non-invasive ventilation use in type-2 respiratory failure[J]. Indian J Tuberc, 2021, 68(1): 20-24. PMID: 33641846. DOI: 10.1016/j.ijtb.2020.10.002.

[13] 潘纯, 张伟, 夏家安, 等. 新型冠状病毒肺炎的无创呼吸功能支持: 适可而止[J]. 中华内科杂志, 2020, 59(9): 666-670. DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20200219-00099.

[14] 郑跃杰, 申阿东, 徐保平, 等. 儿童脉搏血氧饱和度监测临床应用专家共识[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2022, 37(23): 1761-1772. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20220831-01019.

[15] 徐楚天, 徐向天, 张玉华, 等. 动脉氧分压与脉搏血氧饱和度相关性研究及临床应用[J]. 中国医学装备, 2019, 16(3): 83-87. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2019.03.023.

[16] 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. PMID: 36661420. PMCID: PMC9848214. DOI:10.1097/PCC.0000000000003147

[17] 王莎, 应林燕. 儿童社区获得性肺炎严重程度判断及评估方式的研究进展[J]. 现代临床医学, 2024, 50(5): 385-388. DOI: 10.11851/j.issn.1673-1557.2024.05.019.

[18] Skaletzky SM, Raszynski A, Totapally BR. Validation of a modified pediatric early warning system score: a retrospective case-control study[J]. Clin Pediatr (Phila), 2012, 51(5): 431-435. PMID: 22157421. DOI: 10.1177/0009922811430342.

[19] Corfield AR, Silcock D, Clerihew L, et al. Paediatric early warning scores are predictors of adverse outcome in the pre-hospital setting: a national cohort study[J]. Resuscitation, 2018, 133: 153-159. PMID: 30336232. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2018.10.010.

[20] 李小林. 儿童早期预警评分（PEWS）与小儿危重病例评分（PCIS）在小儿肺炎病情评估中的价值[D]. 南充: 川北医学院, 2021.

[21] 林俊宏, 谢志伟, 何春卉, 等. 儿童早期预警评分对住院呼吸系统疾病患儿病情判断的有效性[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2016, 31(16): 1235-1237. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2016.16.010.

[22] 杨晓梅, 沈怡, 余红辉, 等. 儿童社区获得性肺炎合并肺实变临床特征分析[J]. 中国医师杂志, 2024, 26(1): 135-138. DOI: 10.3760/cma.j.cn431274-20230303-00290.

[23] Urbankowska E, Krenke K, Drobczyński Ł, et al. Lung ultrasound in the diagnosis and monitoring of community acquired pneumonia in children[J]. Respir Med, 2015, 109(9): 1207-1212. PMID: 26138897. DOI: 10.1016/j.rmed.2015.06.011.

[24] Ruuskanen O, Lahti E, Jennings LC, et al. Viral pneumonia[J]. Lancet, 2011, 377(9773): 1264-1275. PMID: 21435708. PMCID: PMC7138033. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)61459-6.

[25] 刘晓萍, 黄义双, 黄卫东, 等. 儿童社区获得性肺炎进展为重症肺炎的风险预测[J]. 兰州大学学报（医学版）, 2022, 48(5): 67-71. DOI: 10.13885/j.issn.1000-2812.2022.05.012.

[26] Chen N, Zhou M, Dong X, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study[J]. Lancet, 2020, 395 (10223): 507-513. PMID: 32007143. PMCID: PMC7135076. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30211-7.

[27] Lim WS, Woodhead M, British Thoracic Society. British Thoracic Society adult community acquired pneumonia audit 2009/10[J]. Thorax, 2011, 66(6): 548-549. PMID: 21502103. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2011-200081.

[28] 马玉兰, 卢春玉, 成芳芳, 等. 165例住院儿童甲型流感病毒肺炎及混合感染的临床特征[J]. 临床肺科杂志, 2023, 28(5): 703-707. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6663.2023.05.012.

[29] 王盈红, 曹小彩, 宋文涛, 等. 细菌和病毒混合感染对儿童社区获得性肺炎的影响[J]. 临床儿科杂志, 2016, 34(5): 342-347. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3606.2016.05.006.

[30] 朱玲, 柏振江. 氧疗的方式及升级的时机[J]. 中国小儿急救医学, 2023, 30(4): 247-251. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2023.04.002.

（本文编辑：邓芳明）

（©《中国当代儿科杂志》编辑部，开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议）
（© Editorial Office of *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*. OA under CC BY-NC-ND 4.0 license）