

doi: 10.7499/j.issn.1008-8830.2305113

论著·临床研究

存在肺实变的肺炎支原体肺炎患儿行支气管肺泡灌洗术的预测模型构建

王淑叶^{1,2} 张文波^{1,2} 万瑜²

(1.蚌埠医学院, 安徽蚌埠 233000; 2.南京医科大学附属常州第二人民医院儿科, 江苏常州 213000)

[摘要] **目的** 分析存在肺实变的肺炎支原体肺炎 (*Mycoplasma pneumoniae pneumonia*, MPP) 患儿行支气管肺泡灌洗术 (bronchoalveolar lavage, BAL) 的危险因素, 构建肺实变MPP患儿行BAL的预测模型。**方法** 回顾性分析2019年8月—2022年9月在南京医科大学附属常州第二人民医院儿科住院的202例MPP患儿的临床资料, 根据是否行BAL, 分为BAL组 (100例) 和非BAL组 (102例)。采用多因素logistic回归分析寻找存在肺实变的MPP患儿行BAL的危险因素, 采用Rstudio (R4.2.3) 软件制作预测模型, 采用受试者操作特征曲线 (receiver operator characteristic curve, ROC曲线)、C-指数和校准曲线评价模型的预测效能。**结果** 多因素logistic回归分析显示, 发热时间长、C反应蛋白高、D-二聚体高、合并胸腔积液与存在肺实变的MPP患儿行BAL密切相关 ($P<0.05$)。基于多因素logistic回归分析结果建立列线图预测模型, ROC曲线分析显示, 训练集的曲线下面积为0.915 (95%CI: 0.827~0.938), 灵敏度和特异度分别为0.826和0.875; 验证集的曲线下面积为0.983 (95%CI: 0.912~0.996), 灵敏度和特异度分别为0.879和1.000。Bootstrap校正后的C-指数为0.952 (95%CI: 0.901~0.986), 校准曲线显示模型预测概率与实际发生概率之间的一致性较好。**结论** 该研究制定的预测模型可根据患儿发热时间、C反应蛋白、D-二聚体、胸腔积液评估存在肺实变的MPP患儿行BAL的概率, 且预测效能良好。

[中国当代儿科杂志, 2023, 25 (10): 1052-1058]

[关键词] 肺炎支原体肺炎; 肺实变; 支气管肺泡灌洗术; 危险因素; 预测模型; 儿童

Construction of a predictive model for performing bronchoalveolar lavage in children with *Mycoplasma pneumoniae pneumonia* and pulmonary consolidation

WANG Shu-Ye, ZHANG Wen-Bo, WAN Yu. Bengbu Medical College, Bengbu, Anhui 233000, China; Department of Pediatrics, Changzhou No. 2 People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Changzhou, Jiangsu 213000, China (Zhang W-B, Email: zwb@stu.njmu.edu.cn)

Abstract: Objective To investigate the risk factors for performing bronchoalveolar lavage (BAL) in children with *Mycoplasma pneumoniae pneumonia* (MPP) and pulmonary consolidation, and to construct a predictive model for performing BAL in these children. **Methods** A retrospective analysis was performed for the clinical data of 202 children with MPP who were hospitalized in the Department of Pediatrics, Changzhou No. 2 People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, from August 2019 to September 2022. According to whether BAL was performed, they were divided into BAL group with 100 children and non-BAL group with 102 children. A multivariate logistic regression analysis was used to identify the risk factors for performing BAL in MPP children with pulmonary consolidation. Rstudio software (R4.2.3) was used to establish a predictive model for performing BAL, and the receiver operator characteristic (ROC) curve, C-index, and calibration curve were used to assess the predictive performance of the model. **Results** The multivariate logistic regression analysis demonstrated that the fever duration, C-reactive protein levels, D-dimer levels, and presence of pleural effusion were risk factors for performing BAL in MPP children with pulmonary consolidation ($P<0.05$). A nomogram predictive model was established based on the results of the multivariate logistic

[收稿日期] 2023-05-26; [接受日期] 2023-08-30

[基金项目] 常州市卫生健康委科技项目 (QN202028)。

[作者简介] 王淑叶, 女, 硕士研究生, 住院医师。

[通信作者] 张文波, 女, 副主任医师。Email: zwb@stu.njmu.edu.cn。

regression analysis. In the training set, this model had an area under the ROC curve of 0.915 (95%CI: 0.827-0.938), with a sensitivity of 0.826 and a specificity of 0.875, while in the validation set, it had an area under the ROC curve of 0.983 (95%CI: 0.912-0.996), with a sensitivity of 0.879 and a specificity of 1.000. The Bootstrap-corrected C-index was 0.952 (95%CI: 0.901-0.986), and the calibration curve demonstrated good consistency between the predicted probability of the model and the actual probability of occurrence. **Conclusions** The predictive model established in this study can be used to assess the likelihood of performing BAL in MPP children with pulmonary consolidation, based on factors such as fever duration, C-reactive protein levels, D-dimer levels, and the presence of pleural effusion. Additionally, the model demonstrates good predictive performance. [Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2023, 25(10): 1052-1058]

Key words: *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia; Pulmonary consolidation; Bronchoalveolar lavage; Risk factor; Predictive model; Child

肺炎支原体 (*Mycoplasma pneumoniae*, MP) 是引起社区获得性肺炎 (community-acquired pneumonia, CAP) 常见的病原体之一, 占儿童和青少年 CAP 的 10%~40%, 在肺炎支原体肺炎 (*Mycoplasma pneumoniae* pneumonia, MPP) 流行期间其发病率更高^[1]。MPP 急性期可出现不同程度的气道黏膜损伤, 严重时可导致气道黏膜栓塞、炎症性狭窄甚至阻塞, 超过 30% 的难治性 MPP 有支气管黏液栓 (bronchial mucus plugs, BMPs) 形成^[2]。BMPs 的形成可能与炎症因子、氧化剂和免疫反应有关^[3], 如果不及时清除, 会导致支气管扩张、心律不齐、阻塞性支气管炎, 甚至急性呼吸衰竭, 严重危及生命^[4]。《儿童肺炎支原体肺炎诊治指南 (2023 年版)》指出, 怀疑有黏液栓堵塞和塑型性支气管炎的 MPP 患儿应尽早进行支气管肺泡灌洗术 (bronchoalveolar lavage, BAL), 以减少并发症和后遗症的发生^[5]。目前临床中往往只采用影像学来判断 MPP 患儿是否行 BAL, 肺不张是支气管镜检查干预的一个强有力指标, 但许多存在 BMPs 的 MPP 患儿影像学表现为肺实变, 没有明显肺不张征象。因此, 使用一些关键的临床变量预测存在肺实变的 MPP 患儿是否行 BAL 尤其重要。本研究旨在使用多种简单的指标来开发一种模型, 用于早期识别存在肺实变的 MPP 患儿是否需行 BAL。现报告如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性选择 2019 年 8 月—2022 年 9 月在南京医科大学附属常州第二人民医院儿科住院的 202 例 MPP 患儿为研究对象。根据是否进行 BAL, 分为非 BAL 组 (102 例) 和 BAL 组 (100 例)。纳入标准: (1) 符合《儿童肺炎支原体肺炎诊治指南 (2023 年版)》中的诊断标准^[5]; (2) 影像学提示

肺实变; (3) 年龄 1~14 岁。排除标准: (1) 先天性心脏病、染色体疾病、代谢性疾病、免疫缺陷疾病、血液肿瘤疾病、支气管肺发育不良、神经系统发育不良和癫痫等; (2) 对大环内酯类药物过敏; (3) 既往有新生儿呼吸窘迫综合征、细菌性脑炎或其他严重传染病; (4) 临床资料不完整。本研究已获南京医科大学附属常州第二人民医院医学伦理委员会批准 ([2023] KY016-01), 并豁免知情同意。

1.2 治疗方法

确诊 MPP 后即予阿奇霉素 10 mg/(kg·d) 或红霉素 15 mg/(kg·d) 抗感染治疗, 第 1 个疗程静脉滴注 7 d, 3~4 d 后开始第 2 个疗程, 静脉滴注或口服 3 d。

1.3 BAL

对大环内酯类抗生素治疗 ≥ 7 d, 仍有发热、肺部体征改善不明显、有明显气道阻塞, 肺实变范围扩大、肺不张或塑型性支气管炎风险的患儿进行 BAL, 术前完善检验检查, 排除手术禁忌证, 患儿家长签署知情同意书。按《中国儿科可弯曲支气管镜术指南 (2018 年版)》^[6] 标准在全身麻醉下进行 BAL。

1.4 资料收集

收集患儿的人口学特征 (年龄、性别、发病季节、体重指数)、发热时间、肺外并发症、实验室检查 [白细胞 (white blood cell, WBC) 计数、中性粒细胞百分比、淋巴细胞百分比、C 反应蛋白 (C reactive protein, CRP)、乳酸脱氢酶 (lactate dehydrogenase, LDH)、免疫球蛋白 (immunoglobulin, Ig)、谷丙转氨酶 (alanine aminotransferase, ALT)、红细胞沉降率 (erythrocyte sedimentation rate, ESR)、降钙素原 (procalcitonin, PCT)、白蛋白 (albumin, Alb)、血肌酐 (serum creatinine, Scr)、血尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN)、D-二聚体 (D-dimer, D-D)、纤维蛋白原

(fibrinogen, FIB) 等]、影像学检查(胸腔积液、肺不张、肺实变范围)、支气管镜下异常(支气管黏膜糜烂、黏液栓形成、支气管狭窄)、治疗(大环内酯类抗生素、糖皮质激素)等。

1.5 统计学分析

运用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据处理。符合非正态分布的计量资料用中位数(四分位数间距) [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$] 表示, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料用例数和百分率(%) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验。多因素 logistic 回归筛选出 BAL 的危险因素, 并导入 Rstudio (R4.2.3)

软件构建预测模型; 绘制受试者操作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线) 评估模型的区分度; 采用 Bootstrap 重抽样法进行内部验证, 制作模型校准曲线并计算 C-指数以评估模型的校准度。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患儿基线资料比较

两组患儿年龄、性别构成、体重指数、发病季节比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 1。

表 1 两组患儿基线资料比较

项目	非 BAL 组 (n=102)	BAL 组 (n=100)	χ^2/Z 值	P 值
性别(男/女, 例)	48/54	39/61	1.34	0.247
年龄 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, 岁]	6.0(4.7, 8.0)	7.0(5.0, 9.0)	-1.16	0.248
体重指数 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, kg/m ²]	15.3(14.3, 17.3)	15.4(13.8, 17.2)	-0.39	0.699
发病季节 [例(%)]				
春	17(16.7)	19(19.0)		
夏	12(11.8)	19(19.0)	4.98	0.289
秋	39(38.2)	31(31.0)		
冬	34(33.3)	31(31.0)		

注: [BAL] 支气管肺泡灌洗术。

2.2 两组患儿临床症状和体征比较

与非 BAL 组相比, BAL 组患儿发热、喘息发生率更高, 且发热时间、大环内酯类抗生素治疗

时间、糖皮质激素治疗时间更长 ($P < 0.05$)。两组患儿糖皮质激素使用率、鼻部症状、缺氧及肺部体征比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 2。

表 2 两组患儿临床症状和体征比较

项目	非 BAL 组 (n=102)	BAL 组 (n=100)	χ^2/Z 值	P 值
发热 [例(%)]	87(85.3)	100(100.0)	13.82	<0.001
发热时间 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, d]	4(3, 6)	7(6, 9)	-8.77	<0.001
大环内酯类抗生素治疗时间 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, d]	7(6, 8)	10(7, 12)	-6.45	<0.001
使用糖皮质激素治疗 [例(%)]	84(82.4)	87(87.0)	0.52	0.471
糖皮质激素治疗时间 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, d]	4(3, 5)	7(5, 11)	-6.35	<0.001
鼻部症状 [例(%)]	31(30.4)	42(42.0)	2.95	0.086
喘息 [例(%)]	31(30.4)	14(14.0)	7.84	0.005
缺氧 [例(%)]	9(8.8)	6(6.0)	0.59	0.444
肺部体征(啰音/呼吸音改变) [例(%)]	45(44.1)	52(52.0)	1.26	0.262

注: [BAL] 支气管肺泡灌洗术。

2.3 两组患儿实验室检查结果比较

BAL 组患儿血清中性粒细胞百分比、中性粒细胞与淋巴细胞比值、CRP、LDH、PCT、D-D、

ESR 水平高于非 BAL 组, 而淋巴细胞百分比、Alb 水平低于非 BAL 组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 3。

表 3 两组患儿实验室检查结果比较 [P₅₀ (P₂₅, P₇₅)]

指标	非BAL组 (n=102)	BAL组 (n=100)	Z值	P值
WBC 计数 (×10 ⁹ /L)	7.03(5.61, 8.90)	7.39(5.78, 10.22)	-1.08	0.281
中性粒细胞百分比 (%)	57.57(50.90, 67.02)	63.73(55.14, 71.88)	-2.91	0.004
淋巴细胞百分比 (%)	32.90(25.25, 39.42)	26.86(19.54, 34.01)	-2.89	0.004
NLR	1.77(1.36, 2.70)	2.36(1.65, 3.74)	-2.86	0.004
PLT 计数 (×10 ⁹ /L)	281.00(214.70, 334.25)	243.00(203.25, 329.00)	-1.42	0.157
CRP (mg/L)	7.95(4.65, 14.26)	24.73(12.21, 41.44)	-6.54	<0.001
LDH (U/L)	313.90(256.85, 388.70)	354.14(285.20, 457.15)	-2.65	0.008
ALT (U/L)	12.00(10.08, 15.40)	13.70(10.00, 19.15)	-1.83	0.067
PCT (ng/mL)	0.02(0.10, 0.85)	0.11(0.05, 0.27)	-6.22	<0.001
D-D (mg/L)	0.40(0.27, 0.56)	0.99(0.68, 1.96)	-8.53	<0.001
FIB (g/L)	3.85(3.30, 4.48)	3.69(3.02, 4.51)	-1.12	0.263
Alb (g/L)	43.70(42.50, 45.73)	41.95(40.12, 44.07)	-4.96	<0.001
IgA (mg/L)	1.24(0.89, 1.50)	1.13(0.84, 1.78)	-0.59	0.554
IgG (mg/L)	8.91(7.29, 9.97)	8.51(7.14, 10.35)	-0.46	0.646
IgM (mg/L)	1.26(0.97, 1.64)	1.11(0.84, 1.57)	-1.70	0.090
Scr (μmol/L)	30.15(26.17, 35.67)	32.10(27.50, 39.17)	-1.77	0.076
BUN (mmol/L)	3.55(2.90, 4.12)	3.40(2.72, 4.20)	-1.09	0.275
ESR (mm/h)	24.00(17.00, 32.50)	31.50(20.00, 42.75)	-3.23	0.001

注: [BAL] 支气管肺泡灌洗术; [WBC] 白细胞; [NLR] 中性粒细胞与淋巴细胞比值; [PLT] 血小板; [CRP] C反应蛋白; [LDH] 乳酸脱氢酶; [ALT] 谷丙转氨酶; [PCT] 降钙素原; [D-D] D-二聚体; [FIB] 纤维蛋白原; [Alb] 白蛋白; [Ig] 免疫球蛋白; [Scr] 血肌酐; [BUN] 血尿素氮; [ESR] 红细胞沉降率。

2.4 两组患儿影像学结果比较

两组患儿影像学均存在肺实变, 单个肺叶和多个肺叶实变比例差异无统计学意义 (P>0.05)。BAL组患儿胸腔积液、肺不张、支气管狭窄的发生率高于非BAL组 (P<0.05)。见表4。

2.5 BAL组支气管镜下表现

BAL组所有患儿支气管镜下均见病变部位黏膜充血, 其中38例 (38.0%) 见BMPs形成, 17例 (17.0%) 存在支气管狭窄, 9例 (9.0%) 出现黏膜糜烂, 36例 (36.0%) 支气管内有大量黄脓痰积聚。

2.6 存在肺实变的MPP患儿行BAL的影响因素分析

以分组情况为因变量 (BAL组=1, 非BAL组=

0), 将表2~4中P<0.05的变量进行多因素logistic回归分析, 结果表明, 发热时间长、CRP高、D-D高、合并胸腔积液与存在肺实变的MPP患儿行BAL密切相关 (P<0.05), 见表5。

表 4 两组患儿影像学结果比较 [例 (%)]

影像学结果	非BAL组 (n=102)	BAL组 (n=100)	χ ² 值	P值
单个肺叶实变	54(52.9)	47(47.0)	1.60	0.260
多个肺叶实变	48(47.1)	53(53.0)	0.71	0.398
胸腔积液	12(11.8)	28(28.0)	8.38	0.004
肺不张	23(22.5)	38(38.0)	5.72	0.017
支气管狭窄	8(7.8)	19(19.0)	4.51	0.034

注: [BAL] 支气管肺泡灌洗术。

表 5 存在肺实变的MPP患儿需行BAL的多因素logistic回归分析

变量	赋值	回归系数	标准误	Waldχ ²	P	OR(95%CI)
发热时间 (d)	连续型变量	0.69	0.15	21.96	<0.001	1.99(1.49~2.66)
CRP (mg/L)	连续型变量	0.06	0.02	9.30	0.013	1.06(1.02~1.11)
D-D (mg/L)	连续型变量	2.12	0.49	18.94	<0.001	8.35(3.21~21.72)
胸腔积液	无=0, 有=1	1.34	0.60	5.05	0.025	3.82(1.19~12.30)
常量		-7.46	1.15	42.17	<0.001	

注: [CRP] C反应蛋白; [D-D] D-二聚体。

2.7 预测模型的构建和评价

根据多因素 logistic 分析筛选出的变量构建预测模型 (图 1)。根据列线图, 得出每个预测指标对应的分值, 将各项得分相加得到总分, 与总分相对应的预测概率为肺炎 MPP 患儿行 BAL 的概率。例如, 1 例 MPP 患儿, 发热 8 d, CRP 30 mg/L, D-D 1.0 mg/L, 无胸腔积液, 则该患儿总分为 $10+5+5+0=20$ 分, 其行 BAL 的风险约为 0.95。ROC 曲线分析结果显示, 训练集的曲线下面积 (area under the curve, AUC) 为 0.915 (95%CI: 0.827~

0.938), 灵敏度和特异度分别为 0.826 和 0.875, 验证集的 AUC 为 0.983 (95%CI: 0.912~0.996), 灵敏度和特异度分别为 0.879 和 1.000, 表明模型区分度良好 (图 2)。采用 Bootstrap 重抽样法对模型进行内部验证, 结果显示校准后的 C-指数为 0.952 (95%CI: 0.901~0.986), 绘制的训练集 (图 3) 和验证集 (图 4) 的校准曲线表明模型预测概率与实际发生概率之间的一致性良好, 具有较高的预测准确性。

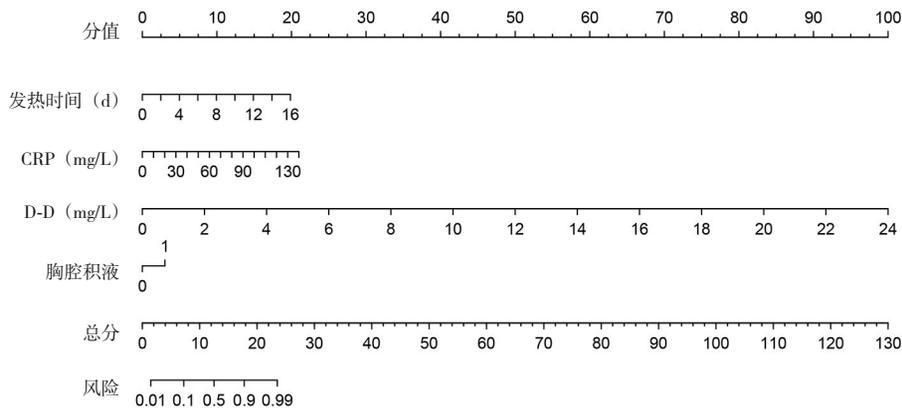


图 1 患儿行 BAL 的列线图预测模型 根据变量进行赋值, 胸腔积液 (无=0分, 有=1分), 发热时间、CRP、D-D 均为实测值, 分别对应分值横轴上的具体分数, 将各变量得分相加, 得到总分, 即可得出存在肺炎 MPP 患儿行 BAL 的概率。

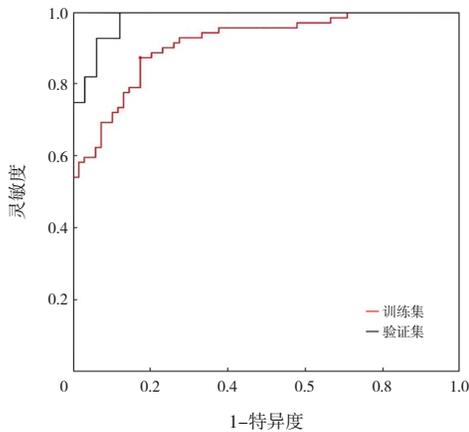


图 2 预测模型的 ROC 曲线 训练集和验证集中列线图模型预测存在肺炎 MPP 患儿行 BAL 的 AUC 分别为 0.915、0.983, 提示模型区分度良好。

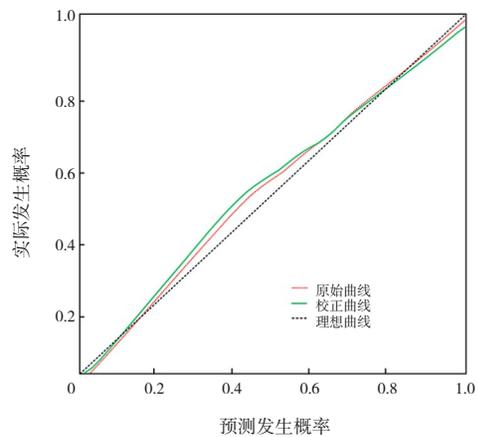


图 3 训练集模型的校准曲线 “理想曲线” 代表最优的预测效能, “原始曲线” 为列线图模型拟合出的预测概率曲线, “校正曲线” 为校正过度拟合后的预测概率曲线, 代表列线图模型的预测效能, 与 “理想曲线” 越接近则模型的预测效能越好。

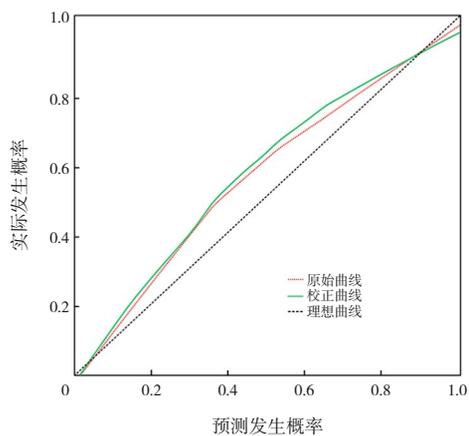


图 4 验证集模型的校准曲线 “理想曲线”代表最优的预测效能，“原始曲线”为列线图模型拟合出的预测概率曲线，“校正曲线”为校正过度拟合后的预测概率曲线，代表列线图模型的预测效能，与“理想曲线”越接近则模型的预测效能越好。

3 讨论

据流行病学统计，MP 感染引起的肺实变逐渐在儿童肺实变肺炎中占主导地位^[7]，MP 感染可导致机体免疫功能紊乱，强烈的细胞免疫反应导致纤毛功能严重受损^[8]，严重影响纤毛对呼吸道黏液的清除，造成支气管黏液堵塞，促进肺实变及肺不张的发生发展^[9]。有报道称 5 岁以上的患儿更易发生支气管黏液阻塞^[9-10]，本研究中发生肺实变的 MPP 患儿年龄中位数为 6~7 岁，这可能与较年长儿的免疫系统相对较年轻儿童更成熟，对 MP 感染更容易产生过度炎症反应有关。发生肺实变的 MPP 患儿治疗不及时会导致临床预后不良，严重影响患儿健康。目前，BAL 治疗肺实变的疗效已得到广泛认可^[11-12]，且儿童支气管镜介入技术相对安全，甚至可用于新生儿。BAL 可以稀释并排出大量黏稠痰液，显著降低肺炎患儿的炎症反应、改善血气指标和预后，同时可以观察气道解剖结构、检测致病菌，协助诊治肺部疾病^[13]。本研究结果显示，发热时间长、CRP 高、D-D 高、合并胸腔积液是存在肺实变的 MPP 患儿行 BAL 的危险因素，与以往研究^[7, 10-11, 13]一致。

本研究单因素分析显示，BAL 组患儿中性粒细胞百分比、LDH、Alb、ESR、中性粒细胞与淋巴细胞比值、PCT 水平显著高于非 BAL 组，但多因素 logistic 回归分析结果显示这些指标与 MPP 患儿是否行 BAL 无显著相关性，因此不纳入列线图预测模型。在现有的预测工具中，列线图的优势在于具有较高的准确性和良好的区分能力，且更方

便、直观。本研究分析结果显示，训练集的 AUC 为 0.915 (95%CI: 0.827~0.938)，灵敏度和特异度分别为 0.826 和 0.875，验证集的 AUC 为 0.983 (95%CI: 0.912~0.996)，灵敏度和特异度分别为 0.879 和 1.000，说明该模型具有较好的区分度。校准曲线提示模型预测结果与实际结果的一致性良好，校准后的 C-指数达 0.952 (95%CI: 0.901~0.986)，说明该模型具有较好的校准度。

有研究证实，发热时间、CRP 水平、胸腔积液是 MPP 患儿形成 BMPs 的危险因素^[4, 9]，热程、CRP 和 D-D 水平、胸腔积液可作为评估 MPP 病情严重程度的指标^[14-16]。Bi 等^[15]将发热时间、CRP、胸腔积液纳入难治性 MPP 早期预测模型，结果显示，回顾性队列中 ROC 曲线的 AUC 为 0.899，灵敏度和特异度分别为 74.0% 和 88.3%，符合率为 86.6%；前瞻性队列中 ROC 曲线的 AUC 为 0.875，灵敏度和特异度分别为 78.3% 和 86.2%，符合率为 85.4%。本研究发现，发热时间、CRP、D-D、胸腔积液也可作为 MPP 患儿行 BAL 的危险因素。CRP、D-D 是评估机体炎症状态的常用指标^[17-18]，CRP 是反映机体炎症反应的重要生物标志物，在健康人血液中含量很低，当机体发生急性感染、急性心肌梗死、创伤时，体内 CRP 水平会在短时间内升高^[19]。MP 感染也可激活机体纤溶系统，使 D-D 水平升高，这可能与 MPP 使肺组织缺血、缺氧，造成组织细胞酸中毒，损害血管内皮，激活凝血系统使微血栓形成，进一步促进纤溶系统发挥作用有关。持续发热会导致过度免疫炎症反应，强烈的肺部炎症反应导致黏膜糜烂发生率增高，同时气道分泌物增多易形成 BMPs，促进肺实变发展，肺实变压迫毛细血管，使局部肺组织有效血药浓度欠佳，且儿童抗菌药物使用受限，这些因素均会导致 MP 感染的大叶性肺炎患儿行多次 BAL 的风险增加^[7, 20]。本研究基于上述危险因素建立列线图来评估存在肺实变的 MPP 患儿行 BAL 的风险，且内部验证表明该模型具有较好的预测性能，Xu 等^[10]也认为列线图模型可作为评估 MPP 患儿选择柔性支气管镜治疗必要性的工具，但并未开展进一步的研究证实。

列线图将复杂的回归方程可视化，简单直观，且临床指标相对简单，易于获得，更有利于在临床工作中应用。本研究利用 R 软件建立列线图预测模型，经内部验证模型的区分度和校准度均较好，说明该列线图模型对存在肺实变的 MPP 患儿是否需早期行 BAL 具有良好的预测能力。本研究也有

一定局限性,如样本量有限、单中心回顾性病例分析,可能导致选择偏倚,影响结果的稳定性。

综上所述,本研究制定的列线图预测模型可根据发热时间、CRP、D-D、胸腔积液评估存在肺实变的MPP患儿行BAL的概率,且模型预测效能良好,有助于临床上对MPP患儿是否行BAL进行早期评估。

利益冲突声明:所有作者声明无利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] Zhao J, Ji X, Wang Y, et al. Clinical role of serum interleukin-17a in the prediction of refractory *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia in children[J]. Infect Drug Resist, 2020, 13: 835-843. PMID: 32210598. PMCID: PMC7076716. DOI: 10.2147/IDR.S240034.
- [2] Huang L, Huang X, Jiang W, et al. Independent predictors for longer radiographic resolution in patients with refractory *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia: a prospective cohort study[J]. BMJ Open, 2018, 8(12): e023719. PMID: 30567824. PMCID: PMC6303577. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-023719.
- [3] Dunican EM, Elicker BM, Gierada DS, et al. Mucus plugs in patients with asthma linked to eosinophilia and airflow obstruction[J]. J Clin Invest, 2018, 128(3): 997-1009. PMID: 29400693. PMCID: PMC5824874. DOI: 10.1172/JCI95693.
- [4] Zhang J, Wang T, Li R, et al. Prediction of risk factors of bronchial mucus plugs in children with *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia[J]. BMC Infect Dis, 2021, 21(1): 67. PMID: 33441105. PMCID: PMC7805118. DOI: 10.1186/s12879-021-05765-w.
- [5] 赵顺英, 陈志敏, 刘瀚旻, 等. 国家卫生健康委员会《儿童肺炎支原体肺炎诊治指南(2023年版)》重点解读[J]. 临床儿科杂志, 2023, 41(3): 224-228. DOI: 10.12372/jcp.2023.22e0475.
- [6] 国家卫生健康委员会人才交流服务中心儿科呼吸内镜诊疗技术专家组, 中国医师协会儿科医师分会内镜专业委员会, 中国医师协会内镜医师分会儿科呼吸内镜专业委员会, 等. 中国儿科可弯曲支气管镜术指南(2018年版)[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2018, 33(13): 983-989. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2018.13.006.
- [7] 张悦鸣, 张雯. 影响儿童大叶性肺炎支气管镜下治疗次数的危险因素分析[J]. 临床肺科杂志, 2021, 26(1): 70-73. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6663.2021.01.016.
- [8] Jiang Z, Li S, Zhu C, et al. *Mycoplasma pneumoniae* Infections: Pathogenesis and Vaccine Development [J]. Pathogens, 2021, 10(2). DOI:10.3390/pathogens10020119.
- [9] Xu Q, Zhang L, Hao C, et al. Prediction of bronchial mucus plugs formation in patients with refractory *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia[J]. J Trop Pediatr, 2017, 63(2): 148-154. PMID: 27686558. DOI: 10.1093/tropej/fmw064.
- [10] Xu X, Li H, Sheng Y, et al. Nomogram for prediction of bronchial mucus plugs in children with *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 4579. PMID: 32165709. PMCID: PMC7067858. DOI: 10.1038/s41598-020-61348-w.
- [11] 国家卫生健康委员会人才交流服务中心儿科呼吸内镜诊疗技术项目专家组, 中国医师协会儿科医师分会内镜专业委员会, 中国医师协会内镜医师分会儿科呼吸内镜专业委员会, 等. 中国儿童难治性肺炎呼吸内镜介入诊疗专家共识[J]. 中国实用儿科杂志, 2019, 34(6): 449-457. DOI: 10.19538/j.ek2019060601.
- [12] Wongsurakiat P, Chitwarakorn N. Severe community-acquired pneumonia in general medical wards: outcomes and impact of initial antibiotic selection[J]. BMC Pulm Med, 2019, 19(1): 179. PMID: 31619219. PMCID: PMC6794881. DOI: 10.1186/s12890-019-0944-1.
- [13] 石泽亚, 秦月兰, 祝益民, 等. 纤维支气管镜肺泡灌洗联合振动排痰治疗重症肺炎机械通气患者的效果观察: 一项286例患者前瞻性随机对照研究[J]. 中华危重病急救医学, 2017, 29(1): 66-70. PMID: 28459407. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.01.014.
- [14] 顾海燕, 王全, 赵德育. D二聚体与肺炎支原体肺炎严重程度相关性分析[J]. 中国实用儿科杂志, 2016, 31(9): 694-697. DOI: 10.7504/ek2016090615.
- [15] Bi Y, Zhu Y, Ma X, et al. Development of a scale for early prediction of refractory *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia in hospitalized children[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 6595. PMID: 33758243. PMCID: PMC7987979. DOI: 10.1038/s41598-021-86086-5.
- [16] Jin X, Zhu Y, Zhang Y, et al. Assessment of levels of D-dimer and interferon- γ in pediatric patients with *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia and its clinical implication[J]. Exp Ther Med, 2018, 16(6): 5025-5030. PMID: 30546408. PMCID: PMC6256836. DOI: 10.3892/etm.2018.6873.
- [17] Masters IB, Isles AF, Grimwood K. Necrotizing pneumonia: an emerging problem in children?[J]. Pneumonia (Nathan), 2017, 9: 11. PMID: 28770121. PMCID: PMC5525269. DOI: 10.1186/s41479-017-0035-0.
- [18] Cui N, Zhang H, Chen Z, et al. Prognostic significance of PCT and CRP evaluation for adult ICU patients with sepsis and septic shock: retrospective analysis of 59 cases[J]. J Int Med Res, 2019, 47(4): 1573-1579. PMID: 30656987. PMCID: PMC6460616. DOI: 10.1177/0300060518822404.
- [19] Tang JH, Gao DP, Zou PF. Comparison of serum PCT and CRP levels in patients infected by different pathogenic microorganisms: a systematic review and meta-analysis[J]. Braz J Med Biol Res, 2018, 51(7): e6783. PMID: 29846409. PMCID: PMC5995041. DOI: 10.1590/1414-431x20176783.
- [20] Sproston NR, Ashworth JJ. Role of C-reactive protein at sites of inflammation and infection[J]. Front Immunol, 2018, 9: 754. PMID: 29706967. PMCID: PMC5908901. DOI: 10.3389/fimmu.2018.00754.

(本文编辑:王颖)

(版权所有©2023中国当代儿科杂志)