

· 论著 · 胸部 ·

儿童肺炎伴有气道黏液栓堵塞形成的临床特征及预测模型构建

熊彦* 邱秀容 杨莉 彭璐 肖柳烨 董莉琪

赣州市妇幼保健院(江西赣州 341000)

【摘要】目的 分析儿童肺炎伴有气道黏液栓堵塞形成的临床特征，并以此构建其气道黏液栓堵塞的预测模型。方法 回顾性纳入我院2023年1月至2024年1月期间收治的210例支原体肺炎儿童，根据肺炎儿童气道黏液栓堵塞情况，将其分为黏液栓堵塞组(70例)和未堵塞组(140例)。采用单因素和多因素logistic回归分析儿童肺炎伴有气道黏液栓堵塞形成的临床特征，并以此构建其气道黏液栓堵塞的预测模型，采用ROC曲线下面积(AUC)和校准曲线评估其预测模型的区分度和校准度。结果 本研究共纳入210例支原体肺炎儿童，其中有70例患儿并发气道黏液栓堵塞，气道黏液栓堵塞率为33.33%(70/210)。因素分析结果显示，肺不张、CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸以及血清C3均是支原体肺炎儿童发生气道黏液栓堵塞的独立影响因素($P<0.05$)；Hosmer - Lemeshow模型检验 $\chi^2=11.30$ ， $P=0.185$ ，拟合度较好；预测模型ROC的曲线下面积(AUC)为0.918(95%置信区间为0.859~0.987)，最大Youden指数为0.729，敏感度为0.815，特异度为0.914，提示预测模型对支原体肺炎儿童并发气道黏液栓堵塞有较好的预测价值；临床决策曲线显示预测模型的临床收益较好。结论 肺不张、CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸以及血清C3均是支原体肺炎儿童发生气道黏液栓堵塞的独立影响因素，基于此构建的支原体肺炎儿童气道黏液栓堵塞预测模型其预测效能良好，可以准确预测支原体肺炎患儿气道黏液栓堵塞风险，可为医务人员对患儿的管理提供策略。

【关键词】儿童；肺炎；气道黏液栓堵塞；临床特征；预测模型

【中图分类号】R563.1

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2025.8.025

Clinical Characteristics and Predictive Model Construction of Airway Mucus Plug Formation in Children with Pneumonia

XIONG Yan*, QIU Xiu-rong, YANG Li, PENG Lu, XIAO Liu-ye, DONG Li-qi.

Ganzhou Women and Children's Health Care Hospital, Ganzhou 341000, Jiangxi Province, China

Abstract: Objective To analyze the clinical characteristics of airway mucus plug blockage in children with pneumonia, and to construct a predictive model for airway mucus plug blockage based on this. **Methods** A retrospective study was conducted on 210 children with Mycoplasma pneumonia admitted to our hospital from January 2023 to January 2024. Based on the situation of airway mucus blockage in children with pneumonia, they were divided into a mucus blockage group (70 cases) and an unobstructed group (140 cases). We used univariate and multivariate logistic regression to analyze the clinical characteristics of airway mucus plug formation in children with pneumonia, and constructed a predictive model for airway mucus plug formation based on this. The discrimination and calibration of the predictive model were evaluated using the area under the ROC curve (AUC) and calibration curve. **Results** A total of 210 children with Mycoplasma pneumonia were included in this study, of which 70 cases had concurrent airway mucus plug blockage, with an airway mucus plug blockage rate of 33.33% (70/210). The results of factor analysis showed that atelectasis, CRP, LDH, D-dimer, serum sialic acid, and serum C3 were all independent influencing factors for the occurrence of airway mucus embolism in children with Mycoplasma pneumonia ($P<0.05$); Hosmer Lemeshow model validation $\chi^2=11.30$, $P=0.185$, with good fit; The area under the curve (AUC) of the predictive model ROC is 0.918 (95% confidence interval is 0.859~0.987), with a maximum Youden index of 0.729, sensitivity of 0.815, and specificity of 0.914, indicating that the predictive model has good predictive value for children with Mycoplasma pneumonia complicated by airway mucus embolism blockage; the clinical decision curve shows that the predictive model has good clinical benefits. **Conclusion** Atelectasis, CRP, LDH, D-dimer, serum sialic acid, and serum C3 are all independent influencing factors for the occurrence of airway mucus plug blockage in children with Mycoplasma pneumonia. Based on this, the constructed model for predicting airway mucus plug blockage in children with Mycoplasma pneumonia has good predictive performance and can accurately predict the risk of airway mucus plug blockage in children with Mycoplasma pneumonia. It can provide strategies for medical staff to manage children with Mycoplasma pneumonia.

Keywords: Children; Pneumonia; Airway Mucus Plug Blockage; Clinical Features; Prediction Model

肺炎是儿童常见的疾病，位列儿童死因的前5位。支原体肺炎又称肺炎支原体肺炎(mycoplasmal pneumonia, MP)，MP是由肺炎支原体引起的下呼吸道感染，主要表现为咳嗽、发热，易在人群密集的环境中发生，可通过飞沫和直接接触传播^[1]。MP是一种儿童常见的非典型肺炎，属于社区获得性肺炎，好发于学龄期或是学龄前期儿童^[2]。多数MP儿童预后较好，但近年来难治性MP以及重症MP的患儿病例报道增多，不仅增加了医疗负担，同时对患儿的身心健康造成了严重影响^[3]。路素

坤^[4]等研究发现，难治性MP以及重症MP的形成可能与气道内黏液栓有重要关系，部分气道内黏液栓堵塞MP患儿可发展为塑性性支气管炎，严重危及患儿生命。目前，国内较少有关于MP患儿并发气道黏液栓堵塞风险独立影响因素的相关报道，同时缺少相应的预警模型模型辅助临床预测，因此本研究以2023年1月至2024年1月期间在我院接受治疗的支原体肺炎儿童210例为研究对象，分析其并发气道黏液栓堵塞风险的独立影响因素，并构建其风险预测模型，现报道如下。

【第一作者】熊彦，女，主管护师，主要研究方向：儿科重症护理。E-mail: xiongyan5116@163.com

【通讯作者】熊彦

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性纳入我院2023年1月至2024年1月期间接受治疗的210例MP儿童。

纳入标准：年龄为1岁~14岁；临床资料及实验室检查资料完整者；符合2023年版《儿童肺炎支原体肺炎诊疗指南》^[5]中MP的相关诊断；通过其症状体征及影像学特征诊断为MP者。排除标准：病程迁延，入院时病程大于2周者；伴有细菌、病毒等感染者；伴有支气管扩张者；伴有纤毛不动综合征者；伴有先天性免疫缺陷病以及血液病者。

1.2 诊断标准及分组 根据2018年版《中国儿科可弯曲支气管镜技术指南》^[6]以及《支气管黏液栓塞的影像诊断与鉴别》^[7]中气道黏液栓堵塞相关诊断标准，将发生气道黏液栓堵塞的MP儿童纳入堵塞组，未发生气道黏液栓堵塞的患儿纳入未堵塞组。

1.3 资料收集 通过本院电子病历信息系统采集MP儿童临床资料及病理资料，包括年龄、性别、热程、临床诊断、临床症状、入院前病程、住院时长、住院费用、实验室检查结果[白细胞(WBC)、C-反应蛋白(CRP)、乳酸脱氢酶(LDH)、血清唾液酸、血清C3等]以及影像学检查结果等。

1.4 统计学方法 采用SPSS 21.0和RStudio软件进行统计分析。使用SPSS 21.0软件进行统计学分析，计量资料采用($\bar{x} \pm s$)描述，组间比较采用两样本均数t检验；计数资料采用[例(%)]表示，组间比较采用卡方检验。采用Logistic回归分析MP儿童并发气道黏液栓堵塞的影响因素，以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义；采用RStudio软件绘制风险预测模型，以及患者

工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线、校准曲线、临床决策曲线评价模型的预测效能。

2 结果

2.1 MP儿童并发气道黏液栓堵塞情况 本研究共纳入210例MP儿童，其中70例MP儿童并发气道黏液栓堵塞，其气道黏液栓堵塞发生率为33.33%(70/210)。将并发气道黏液栓堵塞的70例MP儿童纳入堵塞组，未发生道黏液栓堵塞的140例MP儿童纳入未堵塞组。

2.2 患儿并发气道黏液栓堵塞的单因素分析 单因素分析结果显示，两组患者的热程、肺不张、CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸以及血清C3水平均与MP儿童并发气道黏液栓堵塞风险有关($P<0.05$)，其他资料无显著差异($P>0.05$)。详见表1。

2.3 患儿并发气道黏液栓堵塞的多因素分析 根据MP儿童并发气道黏液栓堵塞情况(未堵塞=0，堵塞=1)作为本次研究的因变量，以差异有意义的单因素变量为自变量，做MP儿童并发气道黏液栓堵塞风险的多因素Logistic回归分析，赋值方法详见表2。多因素分析结果显示，肺不张(95%CI=1.032~7.357， $P<0.05$)、CRP>29.54mg/L(95%CI=1.065~1.236， $P<0.05$)、LDH>283.97U/L(95%CI=1.033~1.019， $P<0.05$)、D-二聚体>0.46mg/L(95%CI=39.766~2901.339， $P<0.05$)、血清唾液酸>81.23mg/L(95%CI=1.040~1.134， $P<0.05$)以及血清C3>1.22g/L(95%CI=2.450~86.001， $P<0.05$)均是MP儿童并发气道黏液栓堵塞风险的独立影响因素($P<0.05$)。详见表3。

表1 患儿并发气道黏液栓堵塞的单因素分析

影响因素	堵塞组(n=70)	未堵塞组(n=140)	统计值	P值
年龄(岁)	6.34±2.12	5.79±1.89	t=1.908	0.058
性别			$\chi^2=1.670$	0.196
	男 46(65.71)	79(56.43)		
	女 24(34.29)	61(43.57)		
病程(天)	10.76±3.26	10.12±3.11	t=1.383	0.168
热程(天)	7.34±2.27	6.13±2.02	t=3.925	<0.001
发热(例)			$\chi^2=1.010$	0.315
	是 55(78.57)	101(72.14)		
	否 15(21.43)	39(27.86)		
累及肺叶(个)			$\chi^2=3.248$	0.072
	≥2 27(38.57)	37(26.43)		
	<2 43(61.43)	103(73.57)		
肺不张(例)			$\chi^2=16.015$	<0.001
	是 48(68.57)	55(39.29)		
	否 22(31.43)	85(60.71)		
WBC($\times 10^9/L$)	10.34±3.26	9.46±3.01	t=1.942	0.054
CRP(mg/L)	33.54±7.43	25.81±6.53	t=7.718	<0.001
LDH(U/L)	303.22±73.93	265.14±58.30	t=4.070	0.001
D-二聚体(mg/L)	0.55±0.16	0.39±0.13	t=7.770	<0.001
血清唾液酸(mg/L)	89.13±13.58	76.52±10.19	t=7.539	<0.001
血清C3(g/L)	1.44±0.33	1.21±0.24	t=5.752	<0.001
住院时间(天)	10.03±2.16	9.29±3.01	t=1.833	0.068
住院费用(千元)	9.03±3.01	8.49±2.71	t=1.311	0.191

2.4 构建患儿并发气道黏液栓堵塞的预测模型 将肺不张、CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸以及血清C3导入Rstudio 4.2.1软件, 构建患儿并发气道黏液栓堵塞的预测模型, 见图1。预测模型的临床适用性评价结果表明, 列线图预测模型具有较高的临床价值, 见图2。在 ROC曲线下积(AUC)为0.918(95%置信区间为0.859~0.987), 最大Youden指数为0.729, 敏感度为0.815, 特异度为0.914, 对患者发生并发症风险有较好的预测价值, 见图3。采用Hosmer-Lemeshow检验构建的列线图的拟合程度, 最终模型H-L检验 $\chi^2=11.30$, $P=0.185$, 拟合度良好, 详情见图4。

表2 变量赋值方式

预测变量	赋值方式
热程	原值输入
肺不张	否=0; 是=1
CRP	原值输入
LDH	原值输入
D-二聚体	原值输入
血清唾液酸	原值输入
血清C3	原值输入

表3 患儿并发气道黏液栓堵塞的多因素分析

因素	β	S.E.	Wals	P	OR	95%CI
热程	0.247	0.129	3.684	0.055	1.281	0.995~1.648
肺不张	1.013	0.501	4.089	0.043	2.755	1.032~7.357
CRP	0.137	0.038	13.007	0.000	1.147	1.065~1.236
LDH	0.011	0.004	8.013	0.005	1.011	1.033~1.019
D-二聚体	7.280	1.835	15.373	0.000	450.413	39.766~2901.339
血清唾液酸	0.082	0.022	13.765	0.000	1.086	1.040~1.134
血清C3	2.675	0.908	8.686	0.003	14.516	2.450~86.001

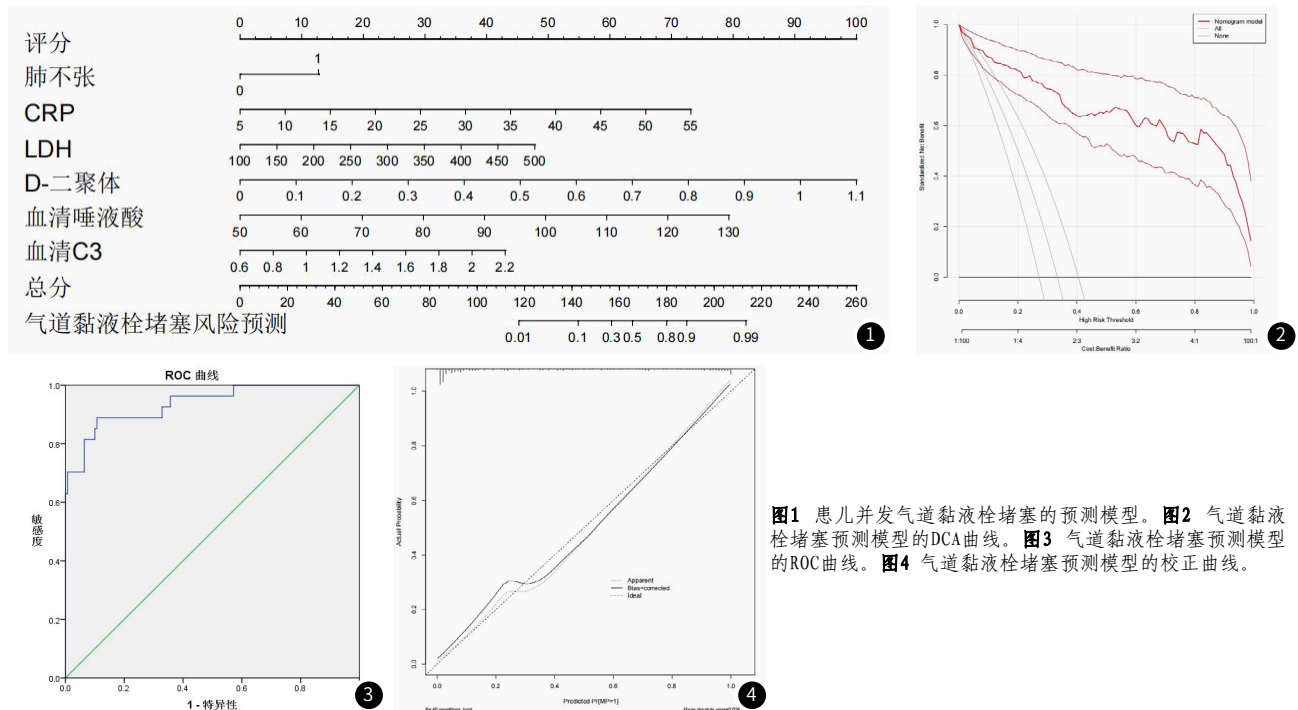


图1 患儿并发气道黏液栓堵塞的预测模型。图2 气道黏液栓堵塞预测模型的DCA曲线。图3 气道黏液栓堵塞预测模型的ROC曲线。图4 气道黏液栓堵塞预测模型的校正曲线。

3 讨论

气道黏液栓堵塞多数是支气管内的分泌物增多, 且出现分泌物排出困难, 导致支气管堵塞, 干扰正常的呼吸。气道黏液栓堵塞可引起呼吸困难、咳嗽、喘息、胸闷等症状, 甚至导致氧气供应不足, 引发发绀、呼吸衰竭等危险情况^[8]。路素坤^[4]等研究发现, 气道黏液栓堵塞可能是造成难治性MP、迁延性MP或重症MP的重要原因之一。MP儿童并发气道黏液栓堵塞主要确诊依据是电子支气管镜检查或是纤维支气管镜检查, 偶尔也有MP儿童自行咳出黏液栓^[9]。支原体肺炎患者并发气

道内黏液栓的病因是支原体感染会引起呼吸道炎症反应, 刺激黏液腺细胞分泌更多的黏液, 而过多的黏液在气道内积聚, 导致黏液栓的形成^[10]。本研究共纳入210例MP儿童, 入院后均采用电子支气管镜检查其气道黏液栓堵塞情况, 其中70例MP儿童并发气道黏液栓堵塞, 其气道黏液栓堵塞发生率为33.33%(70/210)。通过因素分析结果显示, 肺不张、CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸以及血清C3均是支原体肺炎儿童发生气道黏液栓堵塞的独立影响因素($P<0.05$), 提示伴有肺不张、CRP>29.54mg/L、LDH>283.97U/L、D-二聚体>0.46

mg/L、血清唾液酸>81.23 mg/L以及血清C3>1.22 g/L的MP儿童是发生气道黏液栓堵塞的高危人群。

肺不张通常是由于肺部某些部位的气体不能完全充入,导致该部位肺泡内气体量减少或肺泡塌陷,从而使肺组织不能完全展开,导致受影响区域肺部功能减退,影响氧气和二氧化碳的气体交换,增加MP儿童发生气道黏液栓堵塞的风险^[11]。因此,医护人员应对于发生肺不张的儿童给予重视,及时对其进行干预治疗和管理,以减少气道黏液栓堵塞的风险,维持正常的呼吸功能和氧气供应。高水平的CRP可反映机体对感染或组织破坏的免疫反应,在气道黏液栓堵塞时,机体会试图清除黏液栓以恢复气道通畅,该过程会引发炎症反应,导致CRP水平升高^[12]。LDH是一种广泛分布于细胞内的糖酵解酶,主要参与细胞代谢过程中的乳酸产生和代谢,研究发现,肺组织严重损伤可引起血清LDH升高^[13]。D-二聚体是一种血液中的蛋白质,通常用作衡量体内血栓形成的指标。D二聚体增高提示机体处于高凝状态,导致病变部位微血栓增加,造成组织细胞及微血管坏死,黏液腺分泌增加及纤维上皮细胞坏死脱落可增加气道黏液栓风险^[12,14]。Xu^[15]等学者研究发现,伴呼吸道黏液栓塞症的MP儿童韦荣氏菌丰度明显增高,且韦荣氏菌可活化体液免疫,并可通过分泌IL-10等多种细胞因子,活化补体系统,促进C3分泌,造成气道黏膜充血、水肿、分泌物增多,引发气道黏液栓的发生。因此,在支原体肺炎儿童治疗过程中,医护人员要注意观察患儿的实验室检查指标的变化,对于高水平的CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸及血清C3的患儿,应该给予高度重视,根据患儿的具体症状和实验室检查结果,给予相应的干预措施,例如在医生的指导下合理使用抗炎、抗感染、抗凝等药物治疗,控制病情发展;继续监测实验室检查指标的变化,评估治疗效果和病情进展;保持患儿的生命体征稳定,密切观察病情变化,及时调整治疗方案。研究发现,CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸以及血清C3水平与支原体肺炎儿童发生气道黏液栓堵塞风险相关,伴有高水平的CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸及血清C3的肺不张MP儿童是发生气道黏液栓堵塞的高危人群^[16-17],与本研究结论相符。

列线图模型作为一种新型预测方法,基于多因素Logistic回归分析,将多个预测变量整合,通过带有刻度的线段来判断风险得分,该模型的主要组成部分包括预测变量、相应的变量得分以及预测事件发生风险的概率,列线图模型表示了各预测变量间的相互关系,对于预测结果的读取方便简单,预测事件可具体到每位患者,对患者进行风险评估,结果具有准确性和针对性^[18]。本研究基于列线图构建儿童肺炎伴有气道黏液栓堵塞形成的预测模型,其ROC曲线下积(AUC)为0.918(95%置信区间为0.859~0.987),最大Youden指数为0.729,敏感度为0.815,特异度为0.914,提示该基于列线图构建儿童肺炎伴有气道黏液栓堵塞形成的预测模型对MP儿童发生气道黏液栓堵塞风险有较好的预测价值。采用Hosmer - Lemeshow检验构建的列线图的拟合程度,最终模型H-L检验 $\chi^2=11.30$, $P=0.185$,提示该预测模型校准曲线的理论值和实际值有较好的一致性,基于列线图构建的儿童肺炎伴有气道黏液栓堵塞形

成的预测模型拟合较优。临床决策曲线结果显示,基于列线图构建的儿童肺炎伴有气道黏液栓堵塞形成的预测模型对MP儿童发生气道黏液栓堵塞进行预测的净收益较高。

综上所述,肺不张、CRP、LDH、D-二聚体、血清唾液酸以及血清C3均是支原体肺炎儿童发生气道黏液栓堵塞的独立影响因素,基于列线图构建的儿童肺炎伴有气道黏液栓堵塞形成的预测模型其预测效能良好,可以准确预测MP儿童发生气道黏液栓堵塞风险。临床医护人员可参照该模型对MP儿童发生气道黏液栓堵塞风险进行评估,尽早识别并对其采取干预措施,降低MP儿童气道黏液栓堵塞的发生。但本研究亦存在一定缺陷,例如目前我们的研究仅限于单中心,样本数量少,缺乏代表性和可信度,因此还需要进一步开展多中心研究,扩大样本量,对该MP儿童发生气道黏液栓堵塞预测模型进一步考证。

参考文献

- [1] 陈志敏, 求伟玲. 儿童肺炎支原体肺炎治疗进展[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2021, 36(16): 1214-1217.
- [2] An T T, Ku C T, Che K K, et al. Rational stepwise approach for Mycoplasma pneumoniae pneumonia in children[J]. Journal of Microbiology, Immunology and Infection, 2020, 54(4).
- [3] 林婧, 田丽英. 小儿难治性支原体肺炎院内感染的病原菌特征及发生危险因素分析[J]. 山西医药杂志, 2021, 50(23): 3243-3246.
- [4] 路素坤, 刘建华, 帅金凤, 等. 支气管黏液栓形成对儿童肺炎支原体肺炎的影响[J]. 河北医药, 2018, 40(15): 2359-2361.
- [5] 儿童肺炎支原体肺炎诊疗指南(2023年版)[J]. 中国实用乡村医生杂志, 2023, 30(02): 2-8.
- [6] 中国儿科学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.
- [7] 方瑞, 陶雪敏, 赵绍宏. 支气管黏液栓塞的影像诊断与鉴别[J]. 中华放射学杂志, 2019(5): 435-440.
- [8] C. Tran, E. Haider, C. Boylan, et al. Association Between CT Mucus Plugging and Airway Wall Thickness in COPD and Asthma[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2021, 203(9).
- [9] 曹芳, 方进识, 华山, 等. 电子纤维支气管镜保留灌注乙酰半胱氨酸及布地奈德治疗儿童难治性支原体肺炎的临床效果观察[J]. 中国医药, 2020, 15(3): 369-373.
- [10] 阳池娇, 陈进喜, 林业辉, 等. 肺炎支原体肺炎患儿血清及肺泡灌洗液MIF水平与气道黏液栓的关系探讨[J]. 医学信息, 2022, 35(17): 82-84.
- [11] 张贵福. 纤维支气管镜治疗小儿支原体肺炎合并肺不张的效果观察[J]. 中国社区医师, 2023, 39(11): 31-33.
- [12] 熊英, 覃雨菡, 陈丽阳. 支原体肺炎合并气道黏液栓堵塞儿童D-二聚体、CRP、PCT水平及临床意义[J]. 湖南师范大学学报(医学版), 2021, 18(1): 131-134.
- [13] 张丽君, 安淑华, 王艳艳, 等. 大环内酯类耐药肺炎支原体肺炎伴肺实变患儿的临床特征[J]. 临床误诊误治, 2021, 34(4): 54-58.
- [14] 贺艺璇, 张春峰, 吴润晖, 等. D-二聚体在肺炎支原体肺炎患儿病情及预后判断中的应用[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2019(22): 1702-1706.
- [15] Xu X, Wu L, Sheng Y, et al. Airway microbiota in children with bronchial mucus plugs caused by Mycoplasma pneumoniae pneumonia[J]. Respiratory Medicine, 2020, 170 (prepublish).
- [16] 石苗苗, 王玉, 杨泽玉, 等. 儿童肺炎支原体肺炎合并气道黏液栓的临床特点及危险因素分析[J]. 新疆医科大学学报, 2020, 43(9): 1213-1217.
- [17] 李桂涛, 毛国顺, 赵永, 等. 儿童肺炎支原体肺炎并发黏液栓的高危因素[J]. 临床肺科杂志, 2022, 27(5): 696-700.
- [18] 狄亚妮, 杨靖倩, 吕玉敏, 等. 腹膜透析相关性腹膜炎发生的影响因素及列线图预测模型建立[J]. 临床肾脏病杂志, 2023, 23(7): 569-574.

(收稿日期: 2024-05-04)

(校对编辑: 韩敏求、江丽华)