

可弯曲支气管镜对儿童重症肺炎支原体肺炎诊断及治疗的价值

胡国强^{1*}, 胡景伟^{2#}

¹内蒙古医科大学赤峰临床医学院, 内蒙古 赤峰

²赤峰市医院儿科, 内蒙古 赤峰

收稿日期: 2024年12月15日; 录用日期: 2025年1月8日; 发布日期: 2025年1月20日

摘要

肺炎支原体(*Mycoplasma pneumoniae*, MP)是儿童社区获得性肺炎(CAP)的重要致病微生物。尽管大多数肺炎支原体肺炎(MPP)患儿为自限性疾病, 但部分病情恶化者可发展为重症肺炎支原体肺炎(SMPP), 并可能出现严重并发症, 如塑形性支气管炎、闭塞性支气管炎等。随着2023年肺炎支原体感染的全球流行, SMPP病例显著增多, 常规内科治疗在应对SMPP方面疗效有限。可弯曲支气管镜凭借其诊疗双重功能, 在改善患儿预后中起到不可替代的作用。本文综述可弯曲支气管镜在SMPP诊断和治疗中的最新研究进展, 为临床实践提供参考。

关键词

支气管镜, 儿童, 重症肺炎支原体肺炎, 诊断, 治疗

The Value of Flexible Bronchoscopy in the Diagnosis and Treatment of Severe *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia in Children

Guoqiang Hu^{1*}, Jingwei Hu^{2#}

¹Chifeng Clinical Medical College, Inner Mongolia Medical University, Chifeng Inner Mongolia

²Department of Paediatrics, Chifeng Hospital, Chifeng Inner Mongolia

Received: Dec. 15th, 2024; accepted: Jan. 8th, 2025; published: Jan. 20th, 2025

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 胡国强, 胡景伟. 可弯曲支气管镜对儿童重症肺炎支原体肺炎诊断及治疗的价值[J]. 临床医学进展, 2025, 15(1): 960-967. DOI: 10.12677/acm.2025.151128

Abstract

Mycoplasma pneumoniae (MP) is an important causative organism of community-acquired pneumonia (CAP) in children. Although most children with Mycoplasma pneumoniae (MPP) have self-limiting disease, some children with worsening disease can progress to severe Mycoplasma pneumoniae (SMPP) and may develop serious complications such as plasmacytoid bronchitis and occlusive bronchitis. With the global epidemic of Mycoplasma pneumoniae infection in 2023, there is a significant increase in the number of SMPP cases, and conventional medical treatment has limited efficacy in dealing with SMPP. Flexible bronchoscopy (FB) has both diagnostic and therapeutic functions and plays an irreplaceable role in improving the prognosis of children. This article reviews recent advances in the use of flexible bronchoscopy for the diagnosis and treatment of SMPP, providing references for clinical practice.

Keywords

Bronchoscopy, Child, Severe Mycoplasma Pneumoniae, Diagnostic, Treat

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 背景

肺炎支原体(MP)是儿童社区获得性肺炎的一个重要致病微生物,在全球范围内,肺炎支原体感染每3~7年区域性爆发,可持续1~2年[1]。尽管大多数肺炎支原体肺炎(MPP)患儿具有自限性,但仍有一部分儿童的临床症状及影像学检查结果出现恶化,发展为重症肺炎支原体肺炎(SMPP)[2]。据报道自2023年来MPP在全球范围内呈现出流行趋势,感染率、住院率和重症病例数均有所增加[3]。SMPP是指MPP病情严重,符合重症社区获得性肺炎(CAP)判定标准的一种疾病状态[4]。由于MP对大环内酯类耐药,针对SMPP患儿的治疗,仅采用常规的内科治疗常难以获得满意的疗效。尽管静脉激素和丙种球蛋白在治疗SMPP患儿方面已被证实能有效控制发热和过度炎症反应,但药物治疗并不能有效清除患儿支气管内大量积聚的痰栓、坏死的黏膜阻塞以及塑型性痰栓阻塞,这些阻塞物仍然会对患儿的呼吸功能造成严重影响[5]-[7]。随着可弯曲支气管镜技术的应用与发展,其多样的检查手段以及治疗方式,在儿童SMPP良好的治疗效果[8]。

上世纪60年代,日本胸外科医生池田茂人(Shigeto Ikeda)开发了第一台软式纤维支气管镜[9],从而彻底改变了肺医学的发展。可弯曲支气管镜在儿童肺炎应用中,能直观观察支气管内部,采集肺泡灌洗液(BALF)进行病原学检查和生物标志物分析,并通过肺泡灌洗(BAL)、刷检、活检钳、激光治疗、冷冻治疗等方式清理气道内痰栓、异物、分泌物,及局部给药治疗,有效减轻病情、缩短病程[10]。本文结合国内外最新的研究成果,分别对可弯曲支气管镜在SMPP中的诊断和治疗作用进行阐述。

2. SMPP的发病机制与气道病理变化

2.1. 发病机制

SMPP的发生涉及复杂的病理机制,包括MP直接损伤气道上皮、过度炎症反应及免疫紊乱。MP通

过顶端附着器黏附于上皮细胞, 分泌毒素导致细胞损伤, 同时引发以 T 细胞为主的免疫细胞释放大量炎症介质, 进一步加剧气道损害[11]。此外, 体液免疫的参与也发挥着至关重要的作用。研究发现 SMPP 患儿血清中 IgA、IgG、IgM 水平较高于普通 MPP 患儿及健康儿童, 且在较长的恢复期内, 这些免疫球蛋白的水平仍然保持较高状态, 反映出 SMPP 患儿的 B 淋巴细胞处于过度活跃和增殖状态, 从而导致免疫球蛋白的过量合成[12]。XU 等[13]研究结果显示与无黏液栓的 MPP 儿童相比, 有黏液栓的 MPP 儿童气道中 MP 的丰度较高。针对 187 名肺炎儿童的下呼吸道菌群的分析表明 SMPP 患儿 MP 丰度与并发症和临床指标呈正相关[14]。董庆华等[15]报道了 MPP 患儿中过度激活的 NETs 可能与 SMPP 的发生及 SMPP 的局部肺损伤有关。惠秦等[16]研究发现磷脂低于 1.79 mmol/L 时, SMPP 风险增加, 心脏易受损, 发热持久。低于 1.685 mmol/L 时, 可能伴病毒感染。综上所述, SMPP 的发生涉及 MP 的直接损伤、过度炎症反应及免疫紊乱、气道微生物群落的变化磷脂水平的降低以及混合感染等多种机制。其中体液免疫的过度活跃和 MP 在气道中的高丰度是关键因素, 同时过度激活的 NETs 和低磷脂水平也与 SMPP 的发生及局部肺损伤有关。因此这些发现为我们理解和治疗 SMPP 提供了新的视角和思路。

2.2. 气道病理变化

2.2.1. 气道阻塞

黏液-纤毛清除系统是呼吸道的重要防御机制之一, 它由黏液、纤毛和各种分泌腺组成, 能够有效地将异物、病原体等通过黏液排出体外。然而, MP 感染后利用 P1 蛋白逃避纤毛运动和巨噬细胞的吞噬, 破坏纤毛系统, 受感染的细胞可能会全部或部分脱落, 导致呼吸道粘液分泌物增多[11]。据报道 MPP 伴发气道阻塞的患儿与单纯 MPP 患儿在免疫机制上存在着显著差异, 表明免疫应答反应在促进气道阻塞形成中的关键作用[17]。Th1 细胞介导的细胞免疫、巨噬细胞驱动的固有免疫应答, 以及细胞因子 TNF- α 所触发的炎症反应, 共同构成了 MPP 患儿气道黏液过度分泌的主要机制[18]。研究表明 BALT 中 MP 丰度、菌群比例与粘液栓密切相关, 这表明菌群失衡也可能是气道阻塞的原因之一[13]。综上所述, 气道阻塞的形成是一个多因素、多机制共同作用的结果。黏液-纤毛清除系统的破坏、免疫机制的异常、气道黏液分泌的过度以及菌群失衡等因素相互交织, 共同推动了气道阻塞的形成和发展。因此结合可弯曲支气管镜的应用, 我们可以更直观地观察和分析这些病理变化。可弯曲支气管镜不仅能够直接观察呼吸道黏膜的形态和结构变化, 如纤毛系统的受损情况、黏液分泌物的增多以及粘液栓的形成, 还能通过采样进行微生物检测和免疫指标分析。这有助于我们更准确地评估 MP 感染对黏液-纤毛清除系统的影响, 以及免疫应答和菌群失衡在气道阻塞形成中的作用。因此, 可弯曲支气管镜在 SMPP 及其并发症的诊断和治疗中具有重要的临床价值。

2.2.2. 塑形性支气管炎

塑形性支气管炎(PB)是 SMPP 并发症之一, 是气道阻塞加重的表现, 未及时清除的痰栓在炎症作用下形成坚固模具状结构, 导致通气障碍加重[19]。然而, SMPP 并发 PB 的发病机制尚未完全阐明。据程序等[20]报道肺炎后形成的塑形物的病理检查结果为炎性渗出坏死组织, 嗜酸性粒细胞浸润为主, 属于 I 型炎症管型。研究发现患有 PB 的 MPP 儿童的 BALF 中 MUC5AC、MUC5B 和 layilin 的表达很高, 随着 CARDS 毒素浓度的增加, IL-6、TNF- α 和 IL-1 β 等炎症因子的水平也呈现上升趋势[21]。研究指出, 咳嗽持续时间、支气管镜检查前的发热、肺外并发症、胸腔积液以及乳酸脱氢酶(LDH)水平是影响难治性 MPP (RMPP)进展为塑形性支气管炎的独立风险因素[22]。一项针对 MPP 患儿气道损伤因素的研究中发现 MPP 并发 PB 组 BALF 中 YKL-40 水平显著高于黏液分泌和黏膜充血/水肿组($P < 0.05$), 且粘液分泌和塑料支气管炎组呼吸短促患儿比例显著高于黏膜充血/水肿亚组($P < 0.05$), 血清 C 反应蛋白和乳酸脱氢酶水平显

著高于黏膜充血/水肿亚组($P < 0.05$) [23]。综上所述可弯曲支气管镜检查为评估和优化 MPP 并发 PB 的诊疗策略提供了重要手段。对于 SMPP 患儿早期行可弯曲支气管镜评估气道情况, 及时识别并处理痰栓, 防止其进展为 PB。对于已经发展为 PB 的患儿, 进行综合治疗措施, 包括气道清理、抗炎治疗以及必要的支持治疗等, 以改善患者的通气状况并降低并发症的风险。

2.2.3. 闭塞性细支气管炎

闭塞性细支气管炎(Bronchiolitis obliterans, 简称 BO)是一种罕见的慢性气道炎症性疾病, 其特点在于病变主要累及直径小于 2 毫米的小气道[24]。该疾病的病理基础是气道经历反复炎症与损伤后, 引发过度的纤维增生反应, 这一病理过程导致终末细支气管与呼吸性细支气管的管腔出现部分或完全性阻塞, 主要由炎症细胞和纤维组织的增生所致[25]。一项针对 67 例儿童感染后 BO 的临床特征与随访研究发现急性期感染主要为腺病毒(41/67, 61.2%), 其次是 MP (29/67, 43.3%), 混合感染 39 例, 肺部 CT 表现出马赛克征(67/67, 100.0%), 空气滞留(27/67, 40.3%) [26]。急性期均吸氧治疗, 31 例(46.3%)呼吸机支持治疗, 11 例(16.4%)体外膜肺氧合(Extracorporeal Membrane Oxygenation, ECMO)治疗。综上所述, BO 是一种严重的慢性气道炎症性疾病, 其治疗需要综合考虑患者的具体情况和病理类型。可弯曲支气管镜在 BO 的诊疗过程中发挥着不可替代的作用。因此, 对于疑似 BO 的患者, 应尽早进行支气管镜检查以明确诊断, 并根据检查结果制定个性化的治疗方案, 以提高患者的治疗效果和生活质量。

3. 可弯曲支气管镜在 SMPP 诊断中的价值

3.1. 气道病变的直观评估

在电子支气管镜下, SMPP 患儿的支气管黏膜会出现一系列特征性的形态学改变。张立霞[27]等研究发现普通 MPP 患儿的气道阻塞主要以非黏液栓痰为主, 包括稀薄黏液痰、絮状痰和淡黄色脓痰等, 这些痰液相对容易被吸引清除。相比之下, 重症组的气道阻塞则主要以黏液栓痰为主, 甚至形成难以清除的塑形痰栓, 常需钳夹等介入手段处理。在灌洗液外观方面, 普通组稍显浑浊, 而重症组则多呈现明显浑浊或伴有絮状物附着于管壁。杨红等[28]在研究中发现, SMPP 患儿在电子支气管镜下的形态学表现包括粘膜粗糙肿胀、粘膜糜烂、纵行皱褶、炎性狭窄、分泌物增多以及管腔闭塞等改变。这一观察结果与先前张琪等[29]的研究结果相一致。李丹丹等[30]报道了不同年龄段 SMPP 患儿在电子支气管镜下的特征表现存在显著差异。儿童组多表现为黏膜糜烂坏死、结节性突起、黏液栓阻塞以及支气管塑形形成; 而婴幼儿组则常见絮状分泌物。WANG 等[31]研究报道较普通 MPP 患儿, SMPP 患儿痰栓的患病率更高, 这可能与 SMPP 患儿肺部炎症的严重程度、持续时间以及免疫炎症反应等因素有关。目前, PB 的诊断主要依赖于支气管镜检查[19]。因此, 对于 MPP 患儿通过可弯曲支气管镜下气管形态学改变来鉴别是否发生了 SMPP 及并发症。

3.2. 肺泡灌洗(BAL)在病原学诊断中的作用

MP 能够直接黏附并侵袭支气管上皮细胞, 因此, 在病变部位进行的 BALF 或利用毛刷刷检采集的样本, 相较于血液、咽拭子等其他检验方法, 能够更直接、准确地检测出 MP [32]。研究表明[33], 在肺炎患儿的 BALF(支气管肺泡灌洗液)中, 宏基因组下一代测序(mNGS)和纳米孔靶向测序(NTS)在病原微生物检测方面的性能相当, 且均显著优于常规微生物检测(CMT)。此外, 一项单中心研究[7]关于 MPP 混合感染的研究揭示, SMPP 组的总体混合感染率(13.3%)高于 MPP 组(7.1%), 提示混合感染可能是 SMPP 的一个重要原因。HUANG 等[34]通过 NGS 分析患儿的 BALF, 发现肺微生物组失衡与 MPP 的严重程度密切相关。MP 对大环内酯类抗生素的耐药性会导致 MPP 患儿的病情迁延不愈或加重, 因此, 通过患儿的

BAL 进行临床耐药监测, 以选择合理的抗菌药物进行治疗显得尤为重要[35]。YAN 等[36], 对 MPP 患儿 BALF 分析发现 M3-5-6-2 型 MP 的患儿有更高的风险进展为 SMPP 并发生胸腔积液。因此我们可通过可弯曲支气管镜下取 SMPP 患儿 BALF 进行分析确定致病病原及耐药程度进行综合治疗, 避免发生并发症。

3.3. SMPP 患儿 BALF 中生物标志物的监测

炎症标志物对肺炎的评价严重程度有重要作用, 临床上血清学检查是主要手段, 相比血清标志物支气管 BALF 作为检测标本能够直观体现肺部疾病的进展情况。有报道称 SMPP 患儿 BALF 的巨噬细胞百分比和中性粒细胞比例较普通 MPP 患儿明显增高[37]。赵青等[38]研究发现 RMPP 患儿的 BALF 中的乳酸水平较普通型 MPP 更高。马莹莹等[39]发现病情较重患儿 BALF 中 CARDSTX、TNF- α 、SAA 表达水平高于普通型 MPP。SMPP 患儿急性期 BALF 中 IL-1 β 、IL-2、IL-4、IL-6、IFN- γ 、IL-4/IFN- γ 及 MP-DNA 载量呈显著升高趋势[40], 这一发现与杨丽微等[37]研究结果相似。SP-A、SP-D 和 TLR2 可能在 MPP 的发病机制中起到重要作用, MPP 患儿血清与 BALF 中的 TLR2 水平呈正相关, 监测 MPP 患儿血清 TLR2 水平变化可为临床诊断肺部炎症提供依据[41]。WANG 等描述检测 BALF 中高氧化蛋白可预测 SMPP 和 RMPP [42]。综上所述, 对于 MPP 患儿及时通过电子支气管镜采取 BALF 进行细胞因子水平变化有利于发现和预测 SMPP 的发生。

4. 电子支气管镜在 SMPP 治疗中的应用

4.1. 痰栓和阻塞物清除

MP 感染后气道上皮细胞及气道黏膜被其直接和间接作用损伤, 引起气流受限、气道高反应性, 产生肺通气功能障碍[43]。可弯曲支气管镜通过吸引器、钳夹等工具有效清除气道内痰栓和坏死组织, 显著改善患儿通气功能, 缓解呼吸困难。多项研究证实, 经支气管镜治疗肺炎清除痰栓可缩短住院时间和有效降低并发症的发生率[8][9]。一项 SMPP 儿童中可弯曲支气管镜疗效的观察性研究发现退热时间、肺部啰音消失时间、住院时间均较对照组短, 且术前比较, 术后 2 周两组血氧饱和度、血氧分压、二氧化碳分压均显著改善[44]。有研究报道经对塑形性支气管炎患儿行电子支气管镜下治疗后, 61 例治疗效果明显, 17 例治疗效果一般, 2 例治疗无效, 治疗总有效率为 97.50% [45]。因此通过支气管镜能够清除气道内粘液、痰栓以及坏死组织显著改善患儿同期功能。

4.2. 支气管肺泡灌洗(TBAL)

早期实施 TBAL (入院 24 小时内) 可有效改善肺部实变, 促进病灶吸收。通过灌洗去除炎性分泌物和病原体, 显著缩短症状持续时间并降低治疗失败率。Wu X [13] 等人的研究成果表明, 早期实施治疗性 TBAL, 即在患者入院后的 24 小时之内进行, 对重症肺炎患者的治疗具有显著获益, 与晚期, 即入院 24 小时后进行 TBAL 治疗的患者相比, 早期治疗组的患者不仅住院时间更短, 而且在微生物培养(MP)序列号的减少上也更为显著。研究结果显示, 早期应用患儿治疗后肺部实变吸收面积更大, 同时临床症状消失时间以及住院时间更短, 由此可见早期进行软式支气管镜肺泡灌洗更有利于提高 MPP 合并支气管黏液栓患儿的治疗效果[46]。黄蓉[47]等研究结果显示血清白细胞介素-4、肿瘤坏死因子- α 、C 反应蛋白水平的降低幅度均大于晚期组。早期实施 TBAL 可显著改善 SMPP 患儿的症状, 促进病灶吸收, 降低治疗失败率, 并提高治疗效果。

4.3. 局部药物治疗

经支气管镜局部注药(如糖皮质激素、抗生素)可增强药物浓度, 减少全身不良反应, 对耐药或难治性

感染尤为适用。辛静等[48]发现在支气管扩张伴感染患者中采用 TBAL 同时予乙酰半胱氨酸可以有效缓解临床症状,减轻患者炎症反应,改善血气指标。陈俊先等[49]一项前瞻性研究发现乙酰半胱氨酸、布地奈德、纤维支气管镜下肺泡灌洗联合治疗重症肺炎后观察组患者氧分压、血氧饱和度和氧合指数均高于对照组,动脉血二氧化碳分压、超敏 C-反应蛋白、白细胞、肿瘤坏死因子- α 和白介素-6 则明显降低,临床症状明显缓解。

4.4. 综合技术应用

近年来 SMPP 病例增多,并发症叶频发,同时根据结合激光、激光治疗等手段,针对复杂病例进行个体化综合治疗,可进一步提高疗效。王跃[50]等同激光对过度动态气道塌陷患者治疗后,所有患者咳嗽、咳痰、气短和呼吸困难等临床症状均得到改善。何成[51]等在肉芽组织清除术中,采用电子支气管镜下冷冻技术辅助治疗,取得了较好的效果。

5. 展望与总结

近年来, SMPP 其复杂的病理机制和临床表现的多样性备受关注。可弯曲支气管镜凭借其精准诊断与治疗双重能力,为 SMPP 的管理提供了全新路径。通过该技术,临床医生能够直观地观察气道病变,及时清除痰栓并改善通气,同时通过支气管肺泡灌洗采集标本,实现病原学和炎症标志物的精准检测。诊断上,它不仅能观察支气管黏膜变化,还能通过采样分析评估 MP 感染影响及气道阻塞原因,监测生物标志物,了解炎症进展。治疗上,支气管镜有效清除气道痰栓,改善通气,通过支气管肺泡灌洗去除病原体,缩短病程,降低治疗失败率。局部注药技术更增强了药物疗效,减少了不良反应,对难治性感染尤为有效。

然而,可弯曲支气管镜技术的应用仍然面临一些挑战。其使用需要高水平的操作技术和医疗资源支持,患者承担高昂的治疗费用,此外,支气管镜操作对儿童患者存在潜在的风险,诸如气道损伤或术后并发症,仍需通过更加规范的操作流程与设备改进来加以解决。

未来可开发基于 AI 的影像识别技术,辅助医生实现更准确的诊断和分级,推动支气管镜技术的改良与进步。此外通过 BALF 深入探索支原体耐药机制,明确核心基因突变及通路,并研发新型抗支原体药物,特别是针对耐药菌株的精准治疗药物。

综上所述,可弯曲支气管镜技术为 SMPP 的精准诊断与个性化治疗提供了新的思路,其应用前景广阔。通过多方努力,未来 SMPP 的诊治效率和覆盖范围将进一步提升,为更多患儿带来康复的希望。

基金项目

内蒙古自然科学基金项目(2021MS8130)。

参考文献

- [1] Yan, C., Xue, G., Zhao, H., Feng, Y., Cui, J. and Yuan, J. (2024) Current Status of Mycoplasma Pneumoniae Infection in China. *World Journal of Pediatrics*, **20**, 1-4. <https://doi.org/10.1007/s12519-023-00783-x>
- [2] Khoury, T., Svir, S., Rmeileh, A.A., Nubani, A., Abutbul, A., Hoss, S., *et al.* (2016) Increased Rates of Intensive Care Unit Admission in Patients with Mycoplasma Pneumoniae: A Retrospective Study. *Clinical Microbiology and Infection*, **22**, 711-714. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2016.05.028>
- [3] Zhang, X., He, W., Gui, Y., Lu, Q., Yin, Y., Zhang, J., *et al.* (2024) Current Mycoplasma Pneumoniae Epidemic among Children in Shanghai: Unusual Pneumonia Caused by Usual Pathogen. *World Journal of Pediatrics*, **20**, 5-10. <https://doi.org/10.1007/s12519-023-00793-9>
- [4] 赵顺英, 钱素云, 陈志敏, 等. 儿童肺炎支原体肺炎诊疗指南(2023 年版) [J]. 新发传染病电子杂志, 2024, 9(1): 73-79.

- [5] 郭艳红, 马爱婷. 丙种球蛋白、注射用甲泼尼龙琥珀酸钠冲击联合头孢曲松钠治疗小儿重症肺炎的效果[J]. 临床医学研究与实践, 2020, 5(25): 110-112.
- [6] 王亚玲. 丙种球蛋白对重症支原体肺炎患儿炎症反应、用药安全性的影响[J]. 黑龙江医药科学, 2024, 47(4): 148-149.
- [7] Lu, J., Zhang, J., Wang, G., Zhang, X. and Li, Z. (2023) Effects of Bronchoalveolar Lavage on *Mycoplasma Pneumoniae pneumoniae*: A Propensity Score Matched-Cohort Study. *Frontiers in Pediatrics*, **10**, Article No. 1066640. <https://doi.org/10.3389/fped.2022.1066640>
- [8] 王丽萍, 陈守平, 黄玉瑛, 等. 软式支气管镜在儿童呼吸系统疾病中的应用[J]. 中国当代儿科杂志, 2017, 19(11): 1174-1179.
- [9] Ikeda, S., Yanai, N. and Ishikawa, S. (1968) Flexible Bronchofiberscope. *The Keio Journal of Medicine*, **17**, 1-16. <https://doi.org/10.2302/kjm.17.1>
- [10] 凌耀政. 支气管镜诊疗术对大叶性肺炎治疗作用的研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [11] Izumikawa, K. (2016) Clinical Features of Severe or Fatal *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *Frontiers in Microbiology*, **7**, Article No. 800. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00800>
- [12] 吴振起, 齐兆东, 张天宇, 等. 高载量肺炎支原体感染小鼠重症肺炎模型的建立和评价[J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(1): 9-12, 259.
- [13] Xu, X., Wu, L., Sheng, Y., Liu, J., Xu, Z., Kong, W., *et al.* (2020) Airway Microbiota in Children with Bronchial Mucus Plugs Caused by *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *Respiratory Medicine*, **170**, Article No. 105902. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2020.105902>
- [14] Wang, Y., Yu, X., Liu, F., Tian, X., Quan, S., Jiao, A., *et al.* (2023) Respiratory Microbiota Imbalance in Children with *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *Emerging Microbes & Infections*, **12**, Article No. 2202272. <https://doi.org/10.1080/22221751.2023.2202272>
- [15] 董庆华, 尹建运, 苏杭, 等. 中性粒细胞胞外诱捕网在儿童重症肺炎支原体肺炎中的意义[J]. 新医学, 2024, 55(7): 520-526.
- [16] 惠秦. 磷脂对儿童重症肺炎支原体肺炎的预测价值及代谢组学研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京协和医学院, 2021.
- [17] 陈艳, 姚欢迎, 林健楠, 等. 儿童肺炎支原体肺炎伴气道阻塞的免疫机制研究进展[J]. 中国当代医药, 2023, 30(25): 23-26.
- [18] 路素坤. 肺炎支原体致儿童肺炎伴气道阻塞的原因分析及牛乳铁蛋白对 MALP-2 致急性肺损伤的作用与机制研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2020.
- [19] 王文磊, 李芳. 纤维支气管镜在儿童塑形性支气管炎诊治中的价值研究[J]. 重庆医学, 2016, 45(32): 4490-4492.
- [20] 程序. 儿童塑形性支气管炎的临床特点及影响因素[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2019.
- [21] Ma, Y., Gu, Y., Zhang, X., Gu, W., Wang, T., Sun, H., *et al.* (2022) High Expression of MUC5AC, MUC5B, and Layilin Plays an Essential Role in Prediction in the Development of Plastic Bronchitis Caused by MPP. *Frontiers in Microbiology*, **13**, Article No. 911228. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.911228>
- [22] Zhang, H., Yang, J., Zhao, W., Zhou, J., He, S., Shang, Y., *et al.* (2023) Clinical Features and Risk Factors of Plastic Bronchitis Caused by Refractory *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia in Children: A Practical Nomogram Prediction Model. *European Journal of Pediatrics*, **182**, 1239-1249. <https://doi.org/10.1007/s00431-022-04761-9>
- [23] Huang, L.L., Li, R.H., Li, J., Chen, H.J. and Peng, S.M. (2019) Association of YKL-40 in Bronchoalveolar Lavage Fluid with Airway Damage in Children with *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*, **21**, 1188-1192.
- [24] 刘初, 代继宏, 耿刚, 等. 闭塞性支气管炎与闭塞性细支气管炎临床特征对比分析[J]. 中国实用儿科杂志, 2023, 38(6): 470-476.
- [25] 刘霞, 李渠北. 儿童感染后闭塞性细支气管炎诊疗进展[J]. 儿科药学杂志, 2022, 28(6): 63-65.
- [26] 颀雅苹, 曾强, 陶建平, 等. 67 例儿童感染后闭塞性细支气管炎的临床特征与随访研究[J]. 临床肺科杂志, 2023, 28(5): 689-693.
- [27] 张立霞, 朱峰, 李传景, 等. 重症肺炎支原体肺炎患儿 CRP、LDH 等实验室指标的预警价值及支气管镜下特点[J]. 中华全科医学, 2024, 22(7): 1098-1101, 1107.
- [28] 杨红, 和石圣, 龚卉, 等. 电子支气管镜治疗儿童重症支原体肺炎对气道粘膜状态、免疫功能和炎症指标的影响[J]. 中外医学研究, 2024, 22(21): 57-61.

- [29] 张琪, 许崇玉, 毕良学. 支气管镜在早期识别重症肺炎支原体肺炎中的价值[J]. 临床肺科杂志, 2019, 24(4): 684-687.
- [30] 李丹丹, 刘新锋, 马铮, 等. 肺泡灌洗液在病毒混合感染儿童重症肺炎支原体肺炎中的诊断价值[J]. 中国消毒学杂志, 2022, 39(8): 606-609.
- [31] Wang, L., Xie, Q., Xu, S., Li, H., Zhang, L., Ai, J., *et al.* (2022) The Role of Flexible Bronchoscopy in Children with *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *Pediatric Research*, **93**, 198-206. <https://doi.org/10.1038/s41390-021-01874-z>
- [32] 郭亚琳, 杨玉霞, 董芃芃. 下呼吸道感染患儿支气管肺泡灌洗液的病原学研究[J]. 中国当代儿科杂志, 2019, 21(2): 144-149.
- [33] Lin, Q., Yao, Y., Li, X., Zhang, S., Guo, H., Ma, X., *et al.* (2023) The Application of Nanopore Targeted Sequencing for Pathogen Diagnosis in Bronchoalveolar Lavage Fluid of Patients with Pneumonia: A Prospective Multicenter Study. *Infectious Diseases*, **56**, 128-137. <https://doi.org/10.1080/23744235.2023.2276785>
- [34] Huang, X., Luo, Y., Wang, J., Zhang, X., Chen, L., Wu, R., *et al.* (2024) Integrative Study of Pulmonary Microbiome, Transcriptome and Clinical Outcomes in *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia. *Respiratory Research*, **25**, Article No. 35. <https://doi.org/10.1186/s12931-024-02687-4>
- [35] 胡祖霞, 杨中桥. 肺炎支原体药物敏感性和难治性肺炎支原体肺炎患儿发病的关系分析[J]. 中国医学工程, 2023, 31(7): 64-68.
- [36] Yan, C., Xue, G., Zhao, H., Feng, Y., Li, S., Cui, J., *et al.* (2019) Molecular and Clinical Characteristics of Severe *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia in Children. *Pediatric Pulmonology*, **54**, 1012-1021. <https://doi.org/10.1002/ppul.24327>
- [37] 杨丽微, 仇有喜, 杨松. 支气管肺泡灌洗液中细胞分类及炎症因子水平与 MPP 合并气道黏液栓患儿预后的关联性分析[J]. 中国临床新医学, 2023, 16(10): 1065-1070.
- [38] 赵青, 许银辉, 贾建伟. 急性肺炎支原体肺炎患儿支气管肺泡灌洗液中乳酸水平及意义[J]. 检验医学与临床, 2024, 21(19): 2824-2829.
- [39] 马莹莹, 彭韶, 储卫红, 等. 儿童难治性肺炎支原体肺炎血清和肺泡灌洗液中 CARDS TX、TNF- α 、SAA 的表达水平及意义[J]. 河南医学研究, 2023, 32(20): 3685-3689.
- [40] 王洁, 王丹丹, 张薇, 等. 儿童重症肺炎支原体肺炎支气管肺泡灌洗液中炎症细胞因子变化及临床意义分析[J]. 中国实用医药, 2022, 17(16): 1-5.
- [41] 徐素玲, 李政, 张成. 肺炎支原体肺炎患儿血清和支气管肺泡灌洗液中肺表面活性蛋白 A、肺表面活性蛋白 D 和 Toll 样受体 2 水平变化及临床意义[J]. 新乡医学院学报, 2018, 35(7): 605-607, 611.
- [42] Wang, M., Ren, R., Xu, Y., Wang, T., Liang, X. and Li, S. (2024) Oxidative Stress in the Alveolar Lavage Fluid of Children with *mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *Pediatric Pulmonology*, **59**, 2772-2782. <https://doi.org/10.1002/ppul.27120>
- [43] 李静, 刘长山, 王雪艳, 等. 儿童肺炎支原体肺炎肺功能改变及临床意义的探讨[J]. 天津医科大学学报, 2018, 24(3): 229-231.
- [44] 巴荷霞, 李静, 余永生, 等. 可弯曲支气管镜术对小儿重症支原体肺炎的治疗作用[J]. 中南医学科学杂志, 2024, 52(4): 635-637.
- [45] 赵越真, 郑敬阳, 赖辉添. 电子支气管镜下治疗儿童塑型性支气管炎疗效[J]. 中国城乡企业卫生, 2024, 39(9): 121-123.
- [46] 储芳芳, 梁磊, 许崇玉. 早期应用软式支气管镜治疗对小儿肺炎支原体肺炎合并支气管黏液栓的疗效[J]. 临床和实验医学杂志, 2023, 22(4): 410-414.
- [47] 黄蓉, 刘玉玲. 不同支气管镜支气管肺泡灌洗时机治疗难治性肺炎支原体肺炎患儿的临床效果[J]. 内科, 2022, 17(5): 514-518.
- [48] 辛静, 彭建萍, 万文利. 支气管镜肺泡灌洗乙酰半胱氨酸治疗支气管扩张伴感染的临床疗效观察[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2024, 8(18): 17-19.
- [49] 陈俊先, 林民豪, 吴桂清, 等. 乙酰半胱氨酸、布地奈德、纤维支气管镜下肺泡灌洗三者联合治疗重症肺炎的应用研究[J]. 中国医药科学, 2023, 13(16): 17-20.
- [50] 王跃, 高永平, 荆蕾, 等. 激光治疗过度动态气道塌陷的疗效分析(附 13 例报告) [J]. 中国内镜杂志, 2024, 30(3): 73-80.
- [51] 何成, 廖冬菊, 刘阳, 等. 冷冻在电子支气管镜下肉芽组织清除术中的疗效观察[J]. 中国内镜杂志, 2024, 30(7): 1-8.