

# 儿童社区获得性肺炎肺内并发症危险因素研究进展

苏慧怡\*, 邓 昱#

重庆医科大学附属儿童医院呼吸科, 儿童少年健康与疾病国家临床医学研究中心, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 重庆市卫生健康委儿童重要器官发育与疾病重点实验室, 重庆

收稿日期: 2026年3月13日; 录用日期: 2026年4月6日; 发布日期: 2026年4月14日

## 摘 要

社区获得性肺炎(Community acquired pneumonia, CAP)是5岁以下儿童死亡的主要原因。儿童CAP患者可能合并发生肺内并发症如胸腔积液、脓胸、气胸、坏死性肺炎等。CAP合并并发症发生与疾病严重程度增加、临床病程延长、不良预后发生相关。本文主要通过对CAP肺内并发症的临床特征及危险因素进行文献综述, 旨在为预测CAP患儿肺内并发症发生、改善肺炎患者临床病程、提高患儿预后提供科学依据。

## 关键词

社区获得性肺炎, 并发症, 危险因素, 儿童

# Research Progress on Risk Factors for Pulmonary Complications of Community-Acquired Pneumonia in Children

Huiyi Su\*, Yu deng#

Department of Respiratory Medicine, Children's Hospital of Chongqing Medical University, National Clinical Research Center for Children and Adolescents' Health and Diseases, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, Chongqing Municipal Health Commission Key Laboratory of Children's Vital Organ Development and Diseases, Chongqing

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 苏慧怡, 邓昱. 儿童社区获得性肺炎肺内并发症危险因素研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 2973-2982. DOI: 10.12677/acm.2026.1641555

## Abstract

Community acquired pneumonia (CAP) is the main cause of death among children under 5 years old. Children with CAP often develop pulmonary complications such as pleural effusion, empyema, pneumothorax, and necrotizing pneumonia. The occurrence of CAP complications is associated with increased disease severity, prolonged clinical course and poor prognosis. This article mainly conducts a literature review on the clinical characteristics and risk factors of intrapulmonary complications of CAP, aiming to provide a scientific basis for predicting the occurrence of intrapulmonary complications in children with CAP, improving the clinical course of pneumonia patients, and enhancing the prognosis of children.

## Keywords

Community Acquired Pneumonia, Complications, Risk Factors, Children

Copyright © 2026 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. 引言

社区获得性肺炎(Community acquired pneumonia, CAP)是全球主要卫生健康问题之一,是造成5岁以下儿童住院及死亡的重要病因[1]。2021年,包括肺炎在内的下呼吸道感染(acute lower respiratory infection, ALRI)共造成约502,000例5岁以下儿童死亡[2]。据报道,约90%的ALRI相关死亡由重症肺炎引起[3]。已有研究证实合并肺内并发症的发生与肺炎严重程度增加、临床病程延长及不良预后相关[4]。因此,通过研究肺内并发症发生相关危险因素实现对肺炎并发症的早期识别及干预,有助于控制疾病进展、改善远期预后,降低肺炎病死率。

目前已有文献对肺炎相关肺内并发症的临床特征及危险因素进行了部分综述[4],但多集中于单一并发症危险因素研究,且研究人群多局限于特定病原体,缺乏对肺内并发症整体性的相关认识及相应危险因素系统性的证据总结与深入分析。因此,本研究旨在系统性地总结与阐述与肺炎不良后果相关的肺内并发症发生的危险因素,为肺炎的管理、精准干预及治疗提供科学依据,以改善肺炎不良预后。

## 2. 社区获得性肺炎肺内并发症

儿童社区获得性肺炎指南最新版中指出肺炎的肺内并发症包括胸腔积液、脓胸、脓气胸、肺脓肿、坏死性肺炎、急性呼吸窘迫综合征、塑形性支气管炎、肺不张、肺栓塞等[5]。由于不同肺内并发症发生率差异较大,本研究将着重对发生率较高的肺内并发症进行综述。

### 2.1. 肺炎旁胸腔积液

肺炎旁胸腔积液(Parapneumonic effusion, PPE)是肺炎的常见肺内并发症之一,是肺炎等肺部感染引起的胸腔内液体积聚[6]。临床上常将PPE分为三类[6]: 1) 单纯性肺炎旁胸腔积液,指通常由肺炎引起,感染尚未累及胸膜腔,可通过常规抗生素治愈,不遗留相关胸膜腔后遗症; 2) 复杂性肺炎旁胸腔积液,

即感染累及胸膜腔, 难以通过常规抗生素治愈, 需要胸膜引流; 3) 脓胸, 为胸腔积液的终末阶段。在儿科患者中, 国外报道肺炎链球菌为胸腔积液的主要病原体[7], 但国内研究中, 支原体感染引起的胸腔积液占主导地位, 这可能与近年来支原体感染率升高有关, 也与支原体感染的直接侵袭作用、连续或过度的免疫反应有关[8]。目前认为病毒感染引起的胸腔积液比例较低, 但在小年龄 PPE 患儿中病毒检出率相对较高[8]。肺炎合并胸腔积液已被多项研究证实与肺炎的不良预后相关, 包括肺炎严重程度增加、住院时间延长、对抗生素治疗反应欠佳、死亡率增加、遗留后遗症可能性更大等[9], 因此早期识别和治疗胸腔积液对肺炎的管理及预后有着积极意义。

## 2.2. 脓胸

脓胸(empyema), 是以胸膜腔内脓液积聚为特征的一类疾病, 是肺炎的局部并发症之一。现有研究发现, 脓胸与肺炎严重程度增加有关, 如引起住院时间延长、休克率及重症监护病房入住率增加等[10]。目前普遍认为肺炎并发脓胸的主要病原体为肺炎链球菌, 也有部分研究发现金黄色葡萄球菌、A 族链球菌是脓胸患者常见的病原体[11]。病毒性肺炎及支原体肺炎感染直接导致患儿发生脓胸的报道较少[10], 因此在细菌感染患者中需警惕脓胸的发生。研究发现脓胸与重症 CAP 入住 PICU 的儿童死亡率增加相关[12], 因此, 早期预测肺炎患者中脓胸的发生有助于指导治疗方案, 改善临床预后。

## 2.3. 坏死性肺炎

坏死性肺炎(Necrotizing Pneumonia, NP)是社区获得性肺炎的另一个严重并发症, 以肺实质损伤、肺组织坏死及液化为主要特征, 大约占住院肺炎患儿的 7%。国外研究中通常认为 NP 主要由肺炎链球菌、金黄色葡萄球菌等细菌性病原体引起; 在国内, 肺炎支原体为 NP 的主要病原体[13], 暂无病毒感染引发 NP 的报道。坏死性肺炎患儿容易合并发生多种并发症如脓胸、气胸, 且更容易发生呼吸衰竭、感染性休克、多器官功能障碍等严重后果[14], 探索坏死性肺炎的预测指标能够改善 NP 患儿预后。

## 2.4. 气胸

气胸(pneumothorax)为肺炎的相对罕见的并发症, 多发生于新生儿及需要机械通气的严重患者中[15]。自 2019 年新型冠状病毒肺炎爆发以来, 在新冠患者中观察到较为显著的气胸发病率, 为 0.56%至 4.2% [16]。肺炎合并气胸显著延长了肺炎患者机械通气时间及住院时间[17][18], 并增加了插管率及死亡率[19], 尽早识别气胸的发生有助于延缓肺炎危重患者的疾病进程, 减少疾病负担。

## 2.5. 急性呼吸窘迫综合征

急性呼吸窘迫综合征(Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS)是由多种原因诱发的以弥漫性肺部炎症和水肿为特征的临床综合征, 通常会导致急性呼吸衰竭[20]。脓毒血症是 ARDS 的最常见原因, 其中肺脓毒症(即肺炎)是最常见的病因。小儿 ARDS (PARDS)具备不同于成人的独特流行病学, 最新研究表明, PARDS 影响了约 3%的 PICU 患者, 其中 PARDS 引起的严重低氧血症患者的死亡率超过 30% [21]。合并 ARDS 将显著增加肺炎患儿死亡风险[22], 因此尽早识别与预警 ARDS 可显著降低肺炎患儿进展为危重症的风险。

## 2.6. 塑型性支气管炎

塑型性支气管炎(plastic bronchitis, PB)是一种少见的部分或完全性气道阻塞性疾病, 其特征是气管或支气管内形成树枝状管型异物。PB 多见于儿童, 其病因分为非感染性和感染性两类: 非感染性者常继发于先天性心脏病术后; 感染性者则多由各类病原体所致肺炎引起[23]。国内常见诱发 PB 的病原体包括肺

肺炎支原体、甲型流感病毒、腺病毒、博卡病毒等, 其中肺炎支原体感染患儿最常见[24]。PB起病急、进展快, 若不及时治疗可能遗留肺不张、闭塞性细支气管炎等后遗症, 严重者可出现呼吸衰竭甚至死亡, 提高PB的早期识别能力可降低不良预后发生率及死亡率。

## 2.7. 其他肺内并发症

除上述常见并发症外, 肺炎还可能导致其他肺内并发症如肺脓肿、肺大疱、肺栓塞的发生。肺脓肿(Lung abscess)是受累肺组织化脓性坏死后形成的界限清楚的厚壁空腔, 内含脓性物质, 其常见病原菌包括厌氧菌、金黄色葡萄球菌、肺炎链球菌等[25]。临床上肺脓肿发病率较低, 且绝大多数肺脓肿疗效较好, 多数不会遗留严重后遗症[26]。

肺大疱(Pulmonary bullae)指圆形或类圆形, 直径大于1 cm的含气薄壁空腔, 可由肺部感染导致。感染病原以细菌感染为主, 包括流感嗜血杆菌、金黄色葡萄球菌等, 部分患儿以病毒感染如呼吸道合胞病毒起病[27]。经治疗后大部分肺大疱可吸收或缩小, 小部分可长期存在。

肺栓塞(Pulmonary embolism)是以各种栓子阻塞肺动脉系统为发病原因的一组疾病, 常见栓子类型包括血栓、细菌栓塞、肿瘤栓塞、空气栓塞等。在儿科患者中, 支原体感染是肺栓塞的常见诱因。儿童肺栓塞的临床表现包括咯血、呼吸急促及胸痛等, 严重者可致死亡[28]。提高PE的早期识别率及诊断率可显著减少其不良预后的发生。

## 3. 肺炎肺内并发症发生的危险因素

### 3.1. 临床危险因素

#### 3.1.1. 发热时间

现有研究报道了多个可用于预测肺内并发症发生的临床指标, 其中最常提及的为发热时间。热程越长, 炎症反应越重, 肺内并发症发生风险越高[29]。有研究[30]指出, 发热天数 $\geq 10.5$ 天为肺炎支原体患儿发生坏死性肺炎的独立危险因素, 这可能与发热时间长, 体内炎症反应持续存在, 淋巴细胞过度浸润, 炎症因子持续释放有关。

#### 3.1.2. 年龄

年龄也是肺炎肺内并发症发生的重要危险因素之一。研究证实年龄越大, 发生胸腔积液的风险越高, 尤其对于年龄 $> 4$ 岁的腺病毒肺炎患儿应高度警惕胸腔积液发生[31], 而在支原体肺炎患儿中, 年龄 $\geq 83.5$ 月龄是发生坏死性肺炎的独立危险因素[30], 其可能的原因为婴幼儿免疫系统尚未成熟, 抗体生成、细胞免疫及炎症调控能力相对不足, 受病原体刺激后免疫应答水平较低; 而年龄较大儿童免疫功能更趋完善, 针对肺炎支原体等病原体的固有免疫与适应性免疫应答更为充分, 感染后易出现过度激活的炎症反应与免疫病理损伤, 从而增加肺组织坏死、液化等并发症的发生风险。

#### 3.1.3. 体征

部分体征可能为肺内并发症的发现提供线索。多个研究证实在肺炎病程中发生呼吸困难是进展为脓胸或坏死性肺炎、PB的早期预测因素[30] [32] [33]。此外, 胸膜炎刺激可产生胸部疼痛, 因此胸痛可能为肺内并发症累及胸膜的直接征象[34]。

#### 3.1.4. 诊断与治疗

延迟就医与并发症发生密切相关, 尤其在资源及受教育程度受限的发展中国家, 延迟就医行为与重症肺炎并发症的发生呈强相关, 且随延误时间延长风险增加。Yadav等人[35]研究发现, 58.6%肺炎患儿存在延迟就医行为, 其中94.6%的延迟就诊者在入院时或住院期间发展为胸腔积液、ARDS等并发症, 每

延迟一天病情恶化概率显著升高。

在药物使用上, 已有多项研究证实布洛芬或对乙酰氨基酚等非甾体类抗炎药物的使用量与肺内并发症的发生显著相关[36][37], 当布洛芬累积剂量超过 78.3 mg/kg 时, 肺炎的局部并发症(脓胸、胸腔积液、坏死性肺炎等)发生风险增加 2.5 倍[37]。作用机制可能为非甾体类抗炎药物通过诱导细胞因子增加、抑制白细胞体外杀菌能力从而导致病原体炎症反应增加, 间接促进感染扩散及脓胸发展[36]。

此外, Muhammad 等人[38]的研究表明 CPAP、有创通气等正压通气治疗使患者发生气胸风险增加 6 倍以上, 可能与呼吸机正压通气可能导致肺泡过度膨胀, 增加肺泡破裂风险有关。

### 3.1.5. 其他临床因素

徐等人[39]的研究表明, 在重症腺病毒肺炎患者中, 婴幼儿喘息、营养不良及免疫功能低下为发生气胸的独立危险因素, 这可能由于反复喘息导致肺泡含气量多、肺泡壁变薄, 从而加大肺泡破裂风险。营养不良及免疫功能损害可能通过影响细胞免疫功能, 对呼吸功能产生负面影响导致气胸发生风险增加。

## 4. 实验室危险因素

### 4.1. 实验室指标

#### 4.1.1. 炎症反应指标

包括外周血白细胞(white blood cell, WBC)、C 反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、乳酸脱氢酶(Lactate dehydrogenase, LDH)在内的多个炎症反应指标与肺内并发症发生密切相关[32][40], 表明肺内并发症的发生与更严重的炎症反应有关[17]。CRP 作为急性时相反应蛋白, 可反映机体系统性炎症强度, 其水平升高提示感染诱发全身炎症反应亢进, 进而加重肺组织炎症浸润与损伤; 外周血白细胞及中性粒细胞比例升高则反映固有免疫细胞过度激活, 可通过释放炎症介质、氧自由基等加重肺组织破坏, 为肺内并发症发生提供病理基础。研究表明, 外周血总白细胞计数(Total Leukocyte Count, TLC) > 10,000/uL、CRP > 20 mg/dL 提示患儿感染程度重, 脓胸、胸腔积液发生风险增高[36]。当患儿外周血总白细胞计数 >  $12.3 \times 10^9/L$  (OR = 6.412)、中性粒细胞比 > 73.9% (OR = 6.081)时, 应警惕坏死性肺炎发生[40]。

LDH 广泛存在于细胞质内, 其水平升高直接反映细胞膜完整性受损与细胞坏死, 可作为肺实质细胞损伤、液化坏死的重要生物学标志。支原体肺炎患儿中, NP 发生风险随着 LDH 的升高而增加, 尤其是当 LDH > 393.0 U/L 时 NP 发生风险显著提高[41]。

降钙素原(procalcitonin, PCT)为感染及炎症的高度敏感指标, 尤其对细菌性感染具有特异性, 有助于帮助肺炎患儿预测脓胸等严重并发症[42]。在预测重症肺炎发展为 ARDS 的研究中, PCT 表现出最优的预测效能(AUC = 0.983), 可作为早期识别 ARDS 的“警报器”[43]。

#### 4.1.2. D-二聚体

D-二聚体是反应机体纤溶状态的特异性标志物之一, 其水平升高反映体内凝血 - 纤溶系统激活、局部微血栓形成与微循环障碍, 是预测肺炎患儿肺内并发症的重要生物学标志。肺炎支原体感染时可引发强烈炎症反应, 导致血管内皮损伤、凝血系统过度激活、抗凝功能下降, 进而在肺内细小血管内形成广泛微血栓, 阻塞肺局部微循环, 造成肺组织缺血、缺氧, 加重炎症介导的组织损伤, 最终导致肺实质细胞坏死、液化, 形成坏死性肺炎。因此, D-二聚体升高本质上反映了感染 - 炎症 - 内皮损伤 - 微血栓 - 缺血坏死的病理生理链条启动, 可作为坏死性肺炎发生风险的早期预警指标, 当 D-二聚体  $\geq 1.36 \text{ mg/L}$  时其预测价值可达到最大[40]。此外, D-二聚体预测其他肺内并发症同样具有良好的预测能力, 当 D-二聚体 > 1.05 ng/mL 时对预测重症肺炎合并 PE 的敏感度和特异度分别为 84.4%、93.2% [44], D-二聚体 > 3000 ng/mL 的肺炎患者则较普通肺炎患者有更高的气胸发病风险[45]。

### 4.1.3. 免疫因子

白细胞介素-6(Interleukin-6, IL-6)为介导免疫激活的关键介质, Vasconcellos 等人[46]通过多变量分析发现 IL-6 升高与胸腔积液发生独立相关。在灌洗液中 IL-6 水平能够更直观地反应出肺组织的炎症状态, 可用作支原体肺炎患儿发生 PB 的风险预测因子[47]。在预警 ARDS 发生时, IL-6 同样展现出了良好的预测效能[43], 反映了过度炎症反应在肺内并发症发生中的重要作用。

### 4.1.4. 新型生物标志物

circ\_0054633 是一种环状 RNA, 是新型生物标志物的一种, 可参与调节炎症、细胞凋亡和耐药性等过程。最新研究表明, 血清 circ\_0054633 水平是重症肺炎患儿发生急性肺损伤及 ARDS 的独立预测因子, 其临界值为 3.955 (AUC = 0.892) [48], 其作用机制可能为通过激活 NF- $\kappa$ B 通路来加剧全身炎症, 促进促炎细胞因子(例如 IL-17 A、TNF- $\alpha$ )的释放[49]。

### 4.1.5. 肝素结合蛋白

肝素结合蛋白(Heparin-binding protein, HBP)是一种多功能促炎性介质蛋白, 在重症细菌感染、脓毒血症及脓毒症休克中起关键作用。HBP 可作为评估肺炎患儿病情严重程度及预后的重要生物标志物[50]。研究表明, 血清中 HBP 水平升高为学龄前期肺炎患儿预后不良的独立危险预测因素, 联合白细胞分化抗原共同预测预后不良的效能将有效提升, 这可能与血管内皮激活及免疫功能抑制共同作用有关[51]。

### 4.1.6. 病原微生物耐药性

现有研究表明, 大环内酯耐药支原体感染可因菌株清除失败、气道持续定植而显著增加胸腔积液、坏死性肺炎等肺内并发症风险[52]。但另有研究[53]提示, 耐药基因突变本身无法独立预测难治性肺炎或不良结局, 并发症的发生为耐药背景及宿主免疫失衡、黏液栓形成等多因素共同作用的结果。因此, 早期识别耐药支原体感染、及早进行个体化干预有助于降低并发症发生率。

### 4.1.7. 其他实验室指标

除上述实验室指标外, 其他实验室指标在预测肺内并发症风险方面也具有重要价值。在肺大部病变的支原体肺炎患儿中, IFN- $\gamma$  值可作为生物标志物预测发生坏死性肺炎的概率, 当 IFN- $\gamma$  < 7.25 pg/ml 时, 坏死性肺炎发生几率更高[54]。Zhang 等人[30]的研究发现谷丙转氨酶  $\geq$  15.25 U/L, IgM  $\geq$  1.46 g/L, 补体 C3  $\geq$  1.47 g/L, 纤维蛋白原  $\geq$  3.93 g/L、细菌混合感染等均为支原体肺炎患儿发生坏死性肺炎的独立危险因素, 其机制可能与炎症系统活化、纤溶系统激活、肝脏组织对病原体间接免疫反应有关。

单一实验室指标对肺内并发症的预测作用有限, 已有研究提示联合多项指标有望提升风险预测的准确性。有研究[31]发现联合  $\alpha$ 1-酸性糖蛋白( $\alpha$ 1-AG)、LDH 及白蛋白比值(LDH/ALB)、24 小时 PCT 清除率(24hPCTc)三项指标可用于协同预测重症支原体肺炎患儿发生胸腔积液的风险, AUC 可高达 0.912。Elmeazawy 等人[29]的研究首次提出全身免疫炎症指数和全身炎症反应指数与 D-二聚体联合预测坏死性肺炎具有良好的敏感性和特异性。在腺病毒肺炎患儿中有研究[50]观察到 HBP、TNF- $\alpha$ 、IL-6 及 CRP 同步升高, 同时伴血小板计数(PLT)显著下降, 提示机体处于过度全身炎症伴微循环障碍状态。上述五项指标构建的复合模型对“重症化”与“预后不良”的预测 AUC 分别达 0.945 和 0.940, 显著优于单指标评估, 可作为早期识别高危病例的可靠工具。

## 4.2. 影像学危险因素

### 4.2.1. 病灶部位及范围

影像学指标也可以用于预测肺内并发症的发生。其中, 病灶部位与累及范围常为肺内并发症的发生提供早期线索, 当肺实变累及  $\geq$  2/3 叶时, 需警惕 PB 的形成[33]。多叶肺炎可预测脓胸发生[32], Negri 等

人的研究还证实了多叶肺炎、肺实变及肺部受累范围  $\geq 75\%$  是发生气胸及纵隔气肿的高危因素[19], 这可能与炎症累及范围广、炎症因子大量释放、胸膜防御机制受损有关。因此早期识别肺部病变广、受累重的患者, 积极预防, 可减小进一步发展为肺内并发症的风险。

#### 4.2.2. 支气管镜检查

行支气管镜检查时, 如发现支气管肺泡灌洗液米汤样浑浊(OR = 11.832)提示坏死性肺炎风险高[34]; 若支气管镜下受累 $\geq 2$ 个肺叶, 可能是 PB 复发的高危因素(OR = 3.376) [55]。Lin 等人[56]证实, 在肺炎相关肺实变患儿中, 支气管镜灌洗液(BALF)中 IL-4 及 IFN- $\gamma$  升高、IL-2R 升高分别是发生多节段实变和肺不张的独立危险因素, 可作为早期识别并发症的高危指标。

#### 4.2.3. 其他影像学因素

此外, 合并肺不张、胸腔积液为发生 NP 的独立危险因素, 在 PB 患者中也有类似发现[55]。在肺大部病变的支原体肺炎患儿中, 坏死性肺炎患者病变部分 CT 值远低于非 NP 患者, 临界值为 36.43 [54]。

目前通过影像学预测肺内并发症发生的相关研究数量相对较少, 需进一步探索影像学表现与肺内并发症发生相关性, 从而提高肺内并发症的早期识别与预测能力。

### 4.3. 联合预测指标

综上所述, 目前已提出多个临床、实验室及影像学指标用于预测肺内并发症的发生, 但大多数研究多局限于单一模态, 预测效能较低, 准确度不足。若将临床特征、实验室参数与影像征象深度融合, 可实现肺内并发症的多模态预测, 从而提高预测性能, 实现并发症的早期、精准预警。

Meganathan 等人开发了用于预测 2~59 年龄段复杂性肺炎的 KGMU-CPE 评分[36], 该研究通过 Logistic 回归筛选出 6 项指标(布洛芬服用史、其他感染灶、低白蛋白、CRP  $> 20$  mg/dL、Hb  $< 10$  g/dL、外周血总白细胞计数 TLC  $> 10,000/uL$ )用于联合预测复杂性肺炎的发生, 但该研究样本量较少, 且缺乏外部验证, 临床应用受限。Wang 等人研究了重症肺炎并发 ARDS 的人群, 发现使用肺部超声评分联合血清可溶性单核巨噬细胞血红蛋白清道夫受体(sCD163)表达可显著提升 ARDS 的预测效能, AUC 值达到 0.778 [57]。但总体而言, 在儿科人群, 尚缺乏经过验证的肺内并发症多模态预测方法。

## 5. 总结与展望

综上所述, 肺内并发症的发生与肺炎严重程度增加、死亡率增加、后遗症发生率增加等不良预后密切相关, 并显著影响了疾病进程, 增加了诊治难度, 因此探索肺内并发症的危险因素、构建预测模型能为早期预测与识别并发症的发生提供实用的临床工具。

目前研究提出的与肺炎肺内并发症发生有关的危险因素已包含临床、实验室指标及影像学指标等多个方面。但现有研究仍存在以下局限与不足: 1) 多为单一临床或实验室研究, 缺少多维度联合研究。2) 针对发病率较低的罕见并发症, 缺少相关的临床研究。3) 已有研究样本量较少, 且多为单中心研究, 可能会导致选择偏倚及统计效能不足。4) 目前研究多为回顾性研究, 因果推断能力受限。5) 现有证据主要来源于成人或全人群研究, 专门针对儿童群体的高质量研究显著不足, 这可能导致结论在儿科群体中的外推性受限。因此未来突破局限性的研究应能找到同时预测多种并发症的独立风险预测因子, 开发肺内并发症整体预测模型。进行更多高质量的儿童队列研究, 实现儿童 CAP 肺内并发症的早期识别、精准干预, 从而提高肺炎的诊治效率、改善肺炎患儿预后。

## 基金项目

重庆市中青年医学高端人才; 重庆医科大学未来医学青年创新团队支持计划; 重庆市自然科学基金

(CSTB2025NSCQ-GPX0369)。

## 参考文献

- [1] Feng, Q., Wang, J., Wang, X., Tian, J., Zhang, L., Dilmurat, D., *et al.* (2025) Clinical Epidemiological Characteristics of Hospitalized Pediatric Viral Community-Acquired Pneumonia in China. *Journal of Infection*, **90**, Article ID: 106450. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2025.106450>
- [2] Bender, R.G., Sirota, S.B., Swetschinski, L.R., Dominguez, R.V., Novotney, A., Wool, E.E., *et al.* (2024) Global, Regional, and National Incidence and Mortality Burden of Non-Covid-19 Lower Respiratory Infections and Aetiologies, 1990-2021: A Systematic Analysis from the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Infectious Diseases*, **24**, 974-1002. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(24\)00176-2](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(24)00176-2)
- [3] Teferi, M., Addisu, E., Wodajo, S., Muche, A., Endawekie, A., Adane, B., *et al.* (2024) Time to Recovery from Severe Community-Acquired Pneumonia and Its Predictors among 6 to 59 Months of Age Children Admitted to South Wollo Zone Public Hospitals, North East Ethiopia: A Prospective Follow-Up Study. *Pneumonia*, **16**, Article No. 14. <https://doi.org/10.1186/s41479-024-00135-x>
- [4] de Benedictis, F.M., Kerem, E., Chang, A.B., Colin, A.A., Zar, H.J. and Bush, A. (2020) Complicated Pneumonia in Children. *The Lancet*, **396**, 786-798. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)31550-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)31550-6)
- [5] 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.
- [6] Addala, D.N., Bedawi, E.O. and Rahman, N.M. (2021) Parapneumonic Effusion and Empyema. *Clinics in Chest Medicine*, **42**, 637-647. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2021.08.001>
- [7] Gomes-Silva, J., Pinho, M.D., Friães, A., Ramirez, M., Melo-Cristino, J., Silva-Costa, C., *et al.* (2024) Pneumococci Remain the Main Cause of Complicated Pediatric Pneumonia in the Post-Pandemic Era Despite Extensive Pneumococcal Vaccine Use. *Pneumonia*, **16**, Article No. 26. <https://doi.org/10.1186/s41479-024-00151-x>
- [8] 张新星, 季伟, 顾文婧, 等. 住院患儿肺炎合并胸腔积液病原学特点分析[J]. 儿科药学杂志, 2020, 26(12): 14-18.
- [9] Ho, S., Zhou, Y., Ho, S., Hu, Y., Yen, T., Huang, K.A., *et al.* (2025) Clinical Characteristics and Severity Predictors of Pediatric Adenovirus Infections. *Journal of Medical Virology*, **97**, e70248. <https://doi.org/10.1002/jmv.70248>
- [10] Buonsenso, D., Cusenza, F., Passadore, L., Bonanno, F., Calanca, C., Mariani, F., *et al.* (2024) Parapneumonic Empyema in Children: A Scoping Review of the Literature. *Italian Journal of Pediatrics*, **50**, Article No. 136. <https://doi.org/10.1186/s13052-024-01701-1>
- [11] Rix-Trott, K., Byrnes, C.A., Gilchrist, C.A., Matsas, R., Walls, T., Voss, L., *et al.* (2021) Surveillance of Pediatric Parapneumonic Effusion/Empyema in New Zealand. *Pediatric Pulmonology*, **56**, 2949-2957. <https://doi.org/10.1002/ppul.25564>
- [12] Zeeshan, A., Abbas, Q., Siddiqui, A., Khalid, F. and Jehan, F. (2021) Critical Illness Related to Community Acquired Pneumonia, Its Epidemiology and Outcomes in a Pediatric Intensive Care Unit of Pakistan. *Pediatric Pulmonology*, **56**, 3916-3923. <https://doi.org/10.1002/ppul.25668>
- [13] Kapania, E.M. and Cavallazzi, R. (2024) Necrotizing Pneumonia: A Practical Guide for the Clinician. *Pathogens*, **13**, Article 984. <https://doi.org/10.3390/pathogens13110984>
- [14] Ness-Cochinwala, M., Kobaitri, K. and Totapally, B.R. (2021) Characteristics and Outcomes of Children with Necrotizing Pneumonia. *Pediatric Critical Care Medicine*, **22**, e640-e643. <https://doi.org/10.1097/pcc.0000000000002793>
- [15] Joshi, A., Kumar, M., Rebekah, G. and Santhanam, S. (2022) Etiology, Clinical Profile and Outcome of Neonatal Pneumothorax in Tertiary Care Center in South India: 13 Years Experience. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, **35**, 520-524. <https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1727880>
- [16] Lorente-González, M., Terán-Tinedo, J.R., Zevallos-Villegas, A., Laorden, D., Mariscal-Aguilar, P., Suárez-Ortiz, M., *et al.* (2023) Severe SARS-CoV-2 Pneumonia and Pneumomediastinum/pneumothorax: A Prospective Observational Study in an Intermediate Respiratory Care Unit. *Journal of Intensive Care Medicine*, **38**, 1023-1041. <https://doi.org/10.1177/08850666231180165>
- [17] Taha, M., Elahi, M., Wahby, K. and Samavati, L. (2022) Incidence and Risk Factors of COVID-19 Associated Pneumothorax. *PLOS ONE*, **17**, e0271964. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271964>
- [18] Chopra, A., Al-Tarbsheh, A.H., Shah, N.J., Yaqoob, H., Hu, K., Feustel, P.J., *et al.* (2021) Pneumothorax in Critically Ill Patients with COVID-19 Infection: Incidence, Clinical Characteristics and Outcomes in a Case Control Multicenter Study. *Respiratory Medicine*, **184**, Article ID: 106464. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2021.106464>
- [19] Negri, S., Mazzuca, E., Lococo, F., Mondoni, M., Covino, M., Kuzmych, K., *et al.* (2024) Pneumomediastinum in COVID-19: Risk Factors and Outcomes from a Multicentre Case-Control Study. *Respiratory Medicine*, **230**, Article ID:

107684. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2024.107684>
- [20] Bos, L.D.J. and Ware, L.B. (2022) Acute Respiratory Distress Syndrome: Causes, Pathophysiology, and Phenotypes. *The Lancet*, **400**, 1145-1156. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(22\)01485-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)01485-4)
- [21] Khemani, R.G., Smith, L., Lopez-Fernandez, Y.M., Kwok, J., Morzov, R., Klein, M.J., *et al.* (2019) Paediatric Acute Respiratory Distress Syndrome Incidence and Epidemiology (PARDIE): An International, Observational Study. *The Lancet Respiratory Medicine*, **7**, 115-128. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(18\)30344-8](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(18)30344-8)
- [22] Chen, H., Zhang, L., Nie, X., Wang, L., Kang, L., Zhang, Y., *et al.* (2025) Epidemiology and Mortality Risk of Severe Viral Pneumonia during the Pre-Pandemic, COVID-19 Pandemic and Post-Pandemic Era: A Retrospective Study of Hospitalized Children in Shenzhen, China between 2017 and 2023. *Journal of Epidemiology and Global Health*, **15**, Article No. 53. <https://doi.org/10.1007/s44197-025-00398-7>
- [23] Patel, N., Patel, M., Inja, R., *et al.* (2021) Plastic Bronchitis in Adult and Pediatric Patients: A Review of Its Presentation, Diagnosis, and Treatment. *Missouri Medicine*, **118**, 363-373.
- [24] Huang, F., Gu, W., Diwu, J., Zhang, X., He, Y., Zhang, Y., *et al.* (2023) Etiology and Clinical Features of Infection-Associated Plastic Bronchitis in Children. *BMC Infectious Diseases*, **23**, Article No. 588. <https://doi.org/10.1186/s12879-023-08529-w>
- [25] Feki, W., Ketata, W., Bahloul, N., Ayadi, H., Yangui, I. and Kammoun, S. (2019) Abcès du poumon : diagnostic et prise en charge. *Revue des Maladies Respiratoires*, **36**, 707-719. <https://doi.org/10.1016/j.rmr.2018.07.010>
- [26] Yousef, L., Yousef, A. and Al-Shamrani, A. (2022) Lung Abscess Case Series and Review of the Literature. *Children*, **9**, Article 1047. <https://doi.org/10.3390/children9071047>
- [27] 杜鑫珂, 舒畅, 谭静, 等. 儿童肺大疱 163 例临床分析及病因探讨[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2020, 35(23): 1799-1802.
- [28] Wang, C., Li, L., Xiao, G., Chen, Y., Wang, Y., Chen, Z., *et al.* (2024) Characteristics and Outcomes of *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia Associated with Pulmonary Embolism and Necrotizing Pneumonia in Children. *Infection and Drug Resistance*, **17**, 1961-1969. <https://doi.org/10.2147/idr.s459626>
- [29] Elmeazawy, R., Ayoub, D., Morad, L.M. and EL-Moazen, A.M.F. (2024) Role of Systemic Immune-Inflammatory Index and Systemic Inflammatory Response Index in Predicting the Diagnosis of Necrotizing Pneumonia in Children. *BMC Pediatrics*, **24**, Article No. 496. <https://doi.org/10.1186/s12887-024-04818-8>
- [30] Zhang, X., Sun, R., Jia, W., Li, P. and Song, C. (2024) Clinical Characteristics of Lung Consolidation with *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia and Risk Factors for *Mycoplasma pneumoniae* Necrotizing Pneumonia in Children. *Infectious Diseases and Therapy*, **13**, 329-343. <https://doi.org/10.1007/s40121-023-00914-x>
- [31] 袁超, 祁莹祥. 儿童重症肺炎支原体肺炎并发胸腔积液的危险因素及预测标志物分析[J]. 热带医学杂志, 2024, 24(7): 998-1002, 1007, 1067.
- [32] Bravo Jover, R.M., Gil-Guillen, V.F., Pérez Barba, C., Quesada, J.A., García López, M., García Soriano, I., *et al.* (2025) Factors Associated with Complicated Parapneumonic Pleural Effusion/Empyema in Patients with Community-Acquired Pneumonia: The EMPIR Study. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article 1739. <https://doi.org/10.3390/jcm14051739>
- [33] Mu, S., Zhai, J., Guo, Y., Huang, B. and Zou, Y. (2025) Prediction of Risk Factors of Plastic Bronchitis in Children with Severe *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia. *BioMedical Engineering OnLine*, **24**, Article No. 75. <https://doi.org/10.1186/s12938-025-01410-8>
- [34] 王志龙, 韩志英, 王薇. 儿童肺炎支原体坏死性肺炎危险因素分析[J]. 中国临床新医学, 2023, 16(5): 500-505.
- [35] Yadav, K. and Awasthi, S. (2023) Care-Seeking Behavior of Families of North Indian Children Suffering from Who-Defined Severe Community-Acquired Pneumonia: A Hospital-Based Prospective Study. *Cureus*, **15**, e41953. <https://doi.org/10.7759/cureus.41953>
- [36] Meganathan, P. and Awasthi, S. (2018) Predicting Complicated Parapneumonic Effusion in Community Acquired Pneumonia: Hospital Based Case-Control Study. *The Indian Journal of Pediatrics*, **86**, 140-147. <https://doi.org/10.1007/s12098-018-2769-y>
- [37] Krenke, K., Krawiec, M., Kraj, G., Peradzynska, J., Krauze, A. and Kulus, M. (2018) Risk Factors for Local Complications in Children with Community-Acquired Pneumonia. *The Clinical Respiratory Journal*, **12**, 253-261. <https://doi.org/10.1111/crj.12524>
- [38] Muhammad, A.I., Mehta, M., Shaw, M., Hussain, N., Joseph, S. and Vancheeswaran, R. (2022) Incidence and Clinical Features of Pneumomediastinum and Pneumothorax in COVID-19 Pneumonia. *Journal of Intensive Care Medicine*, **37**, 1015-1018. <https://doi.org/10.1177/08850666221091441>
- [39] 徐灵均, 林洁, 徐南平. 小儿重症腺病毒肺炎并发气胸的危险因素分析[J]. 江苏医药, 2020, 46(1): 34-37.
- [40] Zheng, B., Zhao, J. and Cao, L. (2020) The Clinical Characteristics and Risk Factors for Necrotizing Pneumonia Caused by *Mycoplasma pneumoniae* in Children. *BMC Infectious Diseases*, **20**, Article No. 391.

- <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05110-7>
- [41] Yanhong, R., Shuai, Z., Dan, C. and Xiaomin, S. (2024) Predictive Value of Lactate Dehydrogenase for *Mycoplasma pneumoniae* Necrotizing Pneumonia in Children Based on Decision Curve Analysis and Dose-Response Analysis. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 9803. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60359-1>
- [42] Omaggio, L., Franzetti, L., Caiazza, R., Coppola, C., Valentino, M.S. and Giacomet, V. (2024) Utility of C-Reactive Protein and Procalcitonin in Community-Acquired Pneumonia in Children: A Narrative Review. *Current Medical Research and Opinion*, **40**, 2191-2200. <https://doi.org/10.1080/03007995.2024.2425383>
- [43] 刘秀莉. 降钙素原及 C-反应蛋白、肿瘤坏死因子- $\alpha$ 、白介素-6 动态监测对小儿重症肺炎病情评估及并发呼吸窘迫综合征的预测价值分析[J]. 临床医药文献电子杂志, 2020, 7(34): 17, 19.
- [44] 韦春慧, 黄伟. 儿童重症肺炎合并胸腔积液的危险因素分析[J]. 系统医学, 2023, 8(1): 15-19.
- [45] Reis, A.E., Emami, N., Chand, S., Ogundipe, F., Belkin, D.L., Ye, K., et al. (2022) Epidemiology, Risk Factors and Outcomes of Pneumomediastinum in Patients with Coronavirus Disease 2019: A Case-Control Study. *Journal of Intensive Care Medicine*, **37**, 12-20. <https://doi.org/10.1177/08850666211040417>
- [46] Vasconcellos, A.G., Clarêncio, J., Andrade, D., Araújo-Neto, C.A., Barral, A. and Nascimento-Carvalho, C.M. (2020) Systemic Cytokines/Chemokines Associated to Radiographic Abnormalities in Pneumonia in Children. *Cytokine*, **135**, Article ID: 155191. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2020.155191>
- [47] Wang, P., Duan, R., Wang, Q. and Xiao, D. (2025) Bronchoalveolar Lavage Cytokine Profile and Clinical Features as Risk Predictors of Plastic Bronchitis in Children with *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia. *Italian Journal of Pediatrics*, **51**, Article No. 175. <https://doi.org/10.1186/s13052-025-02041-4>
- [48] Mu, S., Zou, Y., Guo, Y., et al. (2024) [Early Diagnostic and Prognosis Prediction of Circ\_0054633 for Acute Lung Injury/Acute Respiratory Distress Syndrome in Children with Severe Pneumonia]. *Chinese Critical Care Medicine*, **36**, 957-961.
- [49] Yang, C., Yang, W., He, Z., Guo, J., Yang, X. and Li, H. (2021) Quietness of Circular RNA Circ\_0054633 Alleviates the Inflammation and Proliferation in Lipopolysaccharides-Induced Acute Lung Injury Model through NF- $\kappa$ B Signaling Pathway. *Gene*, **766**, Article ID: 145153. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2020.145153>
- [50] Wang, G., Liu, J., Yu, X. and Cao, S. (2025) The Value of Combined Examination of Serum Serum Heparin Binding Protein, Tumor Necrosis Factor Alpha, Interleukin-6, Platelet Count, and C-Reactive Protein in Evaluating the Condition and Prognosis of Children with Adenovirus Pneumonia. *Frontiers in Pediatrics*, **13**, Article 1620206. <https://doi.org/10.3389/fped.2025.1620206>
- [51] 陈飞飞, 朱峰, 王宗燕. 肝素结合蛋白白细胞分化抗原 6 项与学龄前期小儿肺炎病情严重程度和预后的关系及临床价值[J]. 河北医学, 2025, 31(11): 1884-1891.
- [52] Yang, S., Liu, X., Han, Y., Wang, H., Mei, Y., Wang, H., et al. (2025) Clinical Characteristics and Associated Factors of Macrolide-Resistant *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, **44**, 1505-1522. <https://doi.org/10.1007/s10096-025-05101-z>
- [53] Zhan, X., Deng, L., Wang, Z., Zhang, J., Wang, M. and Li, S. (2022) Correlation between *Mycoplasma pneumoniae* Drug Resistance and Clinical Characteristics in Bronchoalveolar Lavage Fluid of Children with Refractory *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia. *Italian Journal of Pediatrics*, **48**, Article No. 190. <https://doi.org/10.1186/s13052-022-01376-6>
- [54] Zhou, Y., Hu, M., Ye, B., Chen, Z. and Zhang, Y. (2020) Early Prediction of Necrotizing Pneumonia from *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia with Large Pulmonary Lesions in Children. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 19061. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76083-5>
- [55] Tian, X.Y., Zhang, G.L., Wang, C.J., et al. (2023) [Clinical Characteristics of Plastic Bronchitis and Risk Factors for Recurrence in Children]. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*, **25**, 626-632.
- [56] Lin, J., Chen, J., Yuan, S., Tang, M., Yang, G., Zhang, H., et al. (2025) Local and Systemic Cytokine Profiles in Children with Pneumonia-Associated Lung Consolidation. *Frontiers in Immunology*, **16**, Article 1546730. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1546730>
- [57] 王冰冰, 莫李媚. 肺部超声联合血清 sCD163 对小儿重症肺炎并发急性呼吸窘迫综合征的诊断价值[J]. 中国现代医学杂志, 2024, 34(6): 20-24.