·论著·一次研究·

天门市儿童及青少年社区获得性肺炎就诊风险与空气污染物的关联及滞后效应研究

王宏勇[1,2]，宋江勤[1,3]，廖红明[4]

1. 武汉科技大学职业危害识别与控制湖北省重点实验室（武汉 430065）
2. 天门市第一人民医院/武汉科技大学附属天门医院儿科（湖北天门 431700）
3. 天门市第一人民医院/武汉科技大学附属天门医院检验科（湖北天门 431700）
4. 天门市第一人民医院/武汉科技大学附属天门医院耳鼻咽喉头颈外科（湖北天门 431700）

【摘要】目的 探讨空气污染物暴露与儿童及青少年社区获得性肺炎（CAP）就诊风险之间的关联，并分析其滞后效应及季节性特征。**方法** 收集2021至2024年天门市第一人民医院儿童及青少年CAP患者的临床资料，获取同期空气污染物与气象因素资料，采用描述性分析和Spearman秩相关分析评估环境因素与就诊人数的关系；构建广义相加模型分析单污染物及多污染物在最佳滞后时间下的滞后效应，并结合分布滞后非线性模型（DLNM）探讨污染物的滞后–暴露–反应关系。**结果** 共纳入7 939例患者，月均就诊人数呈明显季节性变化，冬春季高发，以≤2岁儿童及男性患儿为主。Spearman秩相关分析显示，温度（r=0.291）、湿度（r=0.149）及CO（r=0.106）与每日就诊人数呈弱正相关（P < 0.001），O_3与每日就诊人数呈弱负相关（r=−0.058，P=0.032）。单污染物模型显示，CO［RR=26.508，95%CI（5.096，137.897）］、SO_2［RR=1.361，95%CI（1.125，1.648）］及PM_{10}［RR=1.016，95%CI（1.008，1.023）］与CAP就诊风险升高显著相关（P < 0.01）。多污染物模型中，PM_{10}与CAP就诊风险升高呈相对稳定的正向关联，CO与CAP就诊风险升高亦呈正向关联，但结果稳定性有限。DLNM结果提示，PM_{10}在滞后2~5 d风险关联增强，并在中晚滞后阶段呈现较高的风险关联强度，而CO滞后效应相对平缓。**结论** 大气污染物暴露与儿童及青少年CAP就诊风险增加存在关联，其中PM_{10}表现出相对稳定的滞后效应，提示空气污染可能参与儿童呼吸系统疾病的发生发展。

【关键词】社区获得性肺炎；儿童；青少年；空气污染；滞后效应；暴露－反应关系
【中图分类号】R725.6　　**【文献标识码】**A

Association between air pollutants and the risk of medical visits for community-acquired pneumonia among children and adolescents in Tianmen: a time-series analysis of lagged effects

WANG Hongyong[1,2], SONG Jiangqin[1,3], LIAO Hongming[4]

1. Hubei Provincial Key Laboratory of Occupational Hazard Identification and Control, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, China
2. Department of Pediatrics, Tianmen Hospital Affiliated to Wuhan University of Science and Technology/ The First People's Hospital of Tianmen, Tianmen 431700, Hubei Province, China
3. Department of Clinical Laboratory, Tianmen Hospital Affiliated to Wuhan University of Science and

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202604090
基金项目：职业危害识别与控制湖北省重点实验室联合基金项目（JF2024-Y19）
通信作者：宋江勤，副主任技师，Email：mainx@163.com

Technology/The First People's Hospital of Tianmen, Tianmen 431700, Hubei Province, China
4. Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Tianmen Hospital Affiliated to Wuhan University of Science and Technology/The First People's Hospital of Tianmen, Tianmen 431700, Hubei Province, China
Corresponding author: SONG Jiangqin, Email: mainx@163.com

【Abstract】Objective To investigate the association between air pollutant exposure and outpatient visit risk for community-acquired pneumonia (CAP) among children and adolescents, and to further evaluate its lagged effects and seasonal characteristics. Methods Clinical data from children and adolescents diagnosed with CAP at the First People's Hospital of Tianmen between 2021 and 2024 were collected, along with concurrent air pollutant and meteorological data. Descriptive statistics and Spearman correlation analysis were employed to evaluate the relationships among environmental variables and their associations with daily hospital visits. Generalized additive models were constructed to estimate the lagged effects of both single- and multi-pollutant models at optimal lag days. Distributed lag non-linear models (DLNM) were utilized to explore the lag-exposure-response relationship of pollutant. Results A total of 7,939 patients were included. The monthly average number of visits showed obvious seasonal variation, with high incidence in winter and spring, mainly in children aged ⩽ 2 years and male patients. Spearman correlation analysis showed that temperature (r=0.291), humidity (r=0.149), and CO (r=0.106) were weakly positively correlated with daily CAP visits (P < 0.001), whereas O_3 showed a weak negative correlation (r= − 0.058, P=0.032). Single-pollutant models showed that CO [RR=26.508,95%CI (5.096,137.897)], SO_2 [RR=1.361, 95%CI (1.125, 1.648)] and PM_{10} [RR=1.016, 95%CI (1.008, 1.023)] were significantly associated with increased CAP outpatient risk. In multi-pollutant models, PM_{10} maintained a relatively stable positive association with CAP visits, whereas the association for CO was less robust. DLNM analysis revealed that the association between PM_{10} exposure and CAP visits increased at lag 2-5 days, with stronger associations during the mid-to-late lag period, while CO showed a relatively weak lagged effect. Conclusion Exposure to ambient air pollutants was associated with an increased risk of CAP-related outpatient visits among children and adolescents. Among the pollutants examined, PM_{10} demonstrated a relatively stable lagged effect, suggesting that air pollution may contribute to the development and progression of pediatric respiratory diseases.

【Keywords】Community-acquired pneumonia; Children; Adolescents; Air pollution; Lagged effect; Exposure-response relationship

社区获得性肺炎（community-acquired pneumonia，CAP）是儿童及青少年中常见的急性呼吸系统疾病，全球每年约130万5岁以下儿童因CAP死亡，严重增加家庭及公共卫生负担[1]。CAP可由细菌、病毒和非典型病原体引起，病毒和肺炎支原体是其主要致病因素，超过50%病例可检测出病毒感染，约10%~40%病例与肺炎支原体相关[2]。儿童呼吸系统及免疫功能尚未发育完善，相较于成年人，空气污染暴露对其健康的危害更为显著，易感程度更高[3]。随着城市化和工业化进程推进，细颗粒物（$PM_{2.5}$）、可吸入颗粒物（PM_{10}）、二氧化氮（NO_2）、二氧化硫（SO_2）及臭氧（O_3）等大气污染物广泛存在，可通过损伤呼吸道黏膜、诱导炎症反应等机制增加呼吸系统疾病风险。既往研究证实空气污染与儿童呼吸系统疾病密切相关，但不同地区污染特征、气象条件及医疗资源差异可能导致健康效应存在明显异质性[4-5]。中小城市日均就诊量较低、环境监测覆盖有限及高质量流行病学研究不足，空气污染与儿童肺部疾病关联的循证证据较为缺乏。基于此，本研究以天门市儿童及青少年CAP患者为研究对象，探讨该病的流行特征及其与大气污染物暴露的关联性，为中小城市儿童呼吸系统疾病防控提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性收集2021年1月1日至2024年12月31

日于湖北省天门市第一人民医院就诊的CAP患者临床资料。纳入标准：①年龄0～18岁；②符合《儿童社区获得性肺炎管理指南（2024修订）》诊断标准[6]；③出院诊断ICD-10编码为J19.900（肺炎）、J98.414（肺部感染）及J22x00（急性下呼吸道感染）。排除标准：①关键人口学或诊断资料缺失；②合并先天性心脏病、免疫缺陷、慢性肺疾病等严重基础疾病；③合并其他呼吸道疾病。天门市第一人民医院为天门市主要综合性医疗机构，就诊人群覆盖范围较广，能够在一定程度上反映当地CAP患者整体就诊趋势。本研究获天门市第一人民医院伦理委员会审批（批号：20250323）。

1.2 资料收集

通过电子病历系统收集患者临床数据，包括年龄、性别、就诊日期、临床诊断等。环境监测数据来自湖北省生态环境厅官方网站（http://sthjt.hubei.gov.cn/hjsj/），涵盖$PM_{2.5}$、PM_{10}、O_3、SO_2、NO_2、CO及空气质量指数（air quality index，AQI），以日均值形式获取，并与病例就诊日期进行匹配。气象数据来源于美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration，NOAA，https://www.ncei.noaa.gov/maps-and-geospatial-products/），选取天门市对应监测站点（纬度30.33°、经度112.18°，站点代码57476099999），提取平均气温、平均湿度及平均风速等指标。

1.3 关键变量

本研究主要结局变量为每日儿童及青少年CAP门诊人数；暴露变量包括每日各项空气污染物浓度及AQI。为控制潜在的混杂偏倚，将气象因素与时间趋势作为潜在混杂变量进行界定与控制，其中，气象变量包括日均温度、湿度及风速；时间变量包括季节因素（按春季3~5月、夏季6~8月、秋季9~11月、冬季12~次年2月划分）、星期效应及节假日效应；人口学协变量涵盖性别及年龄分组（0~2岁、3~4岁、5~9岁、10~18岁）[7]。

1.4 统计学分析

采用R 4.2.2和SPSS 22.0软件进行数据分析。对就诊数据、空气污染物及气象因素进行描述性统计分析，计算均值、标准差、最小值、最大值及四分位数（P_{25}，P_{50}，P_{75}）。数据预处理包括时间序列对齐与缺失值处理，对空气污染物及气象数据和每日门诊就诊记录进行时间匹配。采用Spearman秩相关分析评估空气污染物与每日就诊人数之间的相关性，并利用广义方差膨胀因子（generalized variance inflation factor，GVIF）检验多重共线性，校正GVIF＜5提示不存在明显多重共线性。采用广义相加模型（generalized additive model，GAM）结合分布滞后非线性模型（distributed lag non-linear model，DLNM），评估空气污染物在滞后0~7 d范围内对CAP就诊风险的滞后及非线性效应，考虑每日CAP就诊人数属于计数资料，模型采用基于Poisson分布的对数连接函数[8]，并通过二维基函数描述暴露维度与滞后维度的非线性关系[9]。效应量以相对危险度（relative risk，RR）及其95%置信区间（confidence interval，CI）表示。所有统计检验均为双侧检验，$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

2021—2024年空气污染物数据分别缺失7、3、2和1 d；气象数据分别缺失17、7、18和23 d。经缺失环境数据处理后，共获得完整分析天数1 383 d，最终纳入7 939例儿童及青少年CAP患者，日均就诊人数为5.7例，范围0~29.0例，提示日间波动较明显。$PM_{2.5}$和PM_{10}平均浓度分别为35.7、71.7 μg/m³，且峰值分别达200.0、480.0 μg/m³，提示空气污染物总体处于中等水平，但时间变异性较大；O_3浓度亦呈较大波动。相比之下，SO_2、NO_2及CO浓度较低且相对稳定。AQI平均为75.0，但最大值达375.0，表明部分时段空气污染水平显著升高。气象因素方面，平均气温为18.5 ℃，平均风速为4.1 m/s，平均相对湿度为50.8%，见表1。

2.2 CAP就诊人数分布特征

2021—2024年儿童及青少年CAP就诊人数呈明显时间及人群分布特征。年度分布显示，2021年病例数最高（3 237例，40.8%），2023年次之（2 018例，25.4%），2024年（1 431例，18.0%）及2022年（1 253例，15.8%）相对较低；月度变化呈现一致的季节性特征，整体表现为冬春季高发、夏季相对较低；性别分布中，男性（4 681例，59.0%）占比高于女性（3 258例，41.0%）；年龄

分布以0~2岁为主（2 815例，35.5%），其次为3~4岁（2 215例，27.9%）和5~9岁（2 128例，26.8%），10~18岁最少（781例，9.8%），见图1和附件表1。

表1 天门市儿童及青少年CAP就诊人数、空气污染物与气象因素特征

Table 1. Characteristics of CAP visits, air pollutant and meteorological factors among children and adolescents in Tianmen

变量	平均数	标准差	最小值	最大值	P_{25}	P_{50}	P_{75}
空气污染物							
$PM_{2.5}$（μg/m^3）	35.7	27.4	3.0	200.0	17.0	28.0	46.0
PM_{10}（μg/m^3）	71.7	50.0	2.0	480.0	36.0	58.0	96.0
O_3（μg/m^3）	102.0	36.1	11.0	232.0	76.0	98.0	128.0
SO_2（μg/m^3）	7.3	1.9	6.0	30.0	6.0	7.0	8.0
NO_2（μg/m^3）	16.5	10.4	2.0	68.0	9.0	14.0	21.0
CO（mg/m^3）	0.7	0.2	0.1	1.8	0.6	0.7	0.9
AQI	75.0	33.2	17.0	375.0	52.0	70.0	91.0
气象因素							
温度（℃）	18.5	9.3	−2.3	35.2	10.4	19.0	26.9
风速（m/s）	4.1	1.9	1.1	11.7	2.7	3.6	5.3
湿度（%）	50.8	10.3	19.4	71.2	44.3	50.7	58.4
就诊人数（例）	5.7	4.7	0.0	29.0	2.0	4.0	8.0

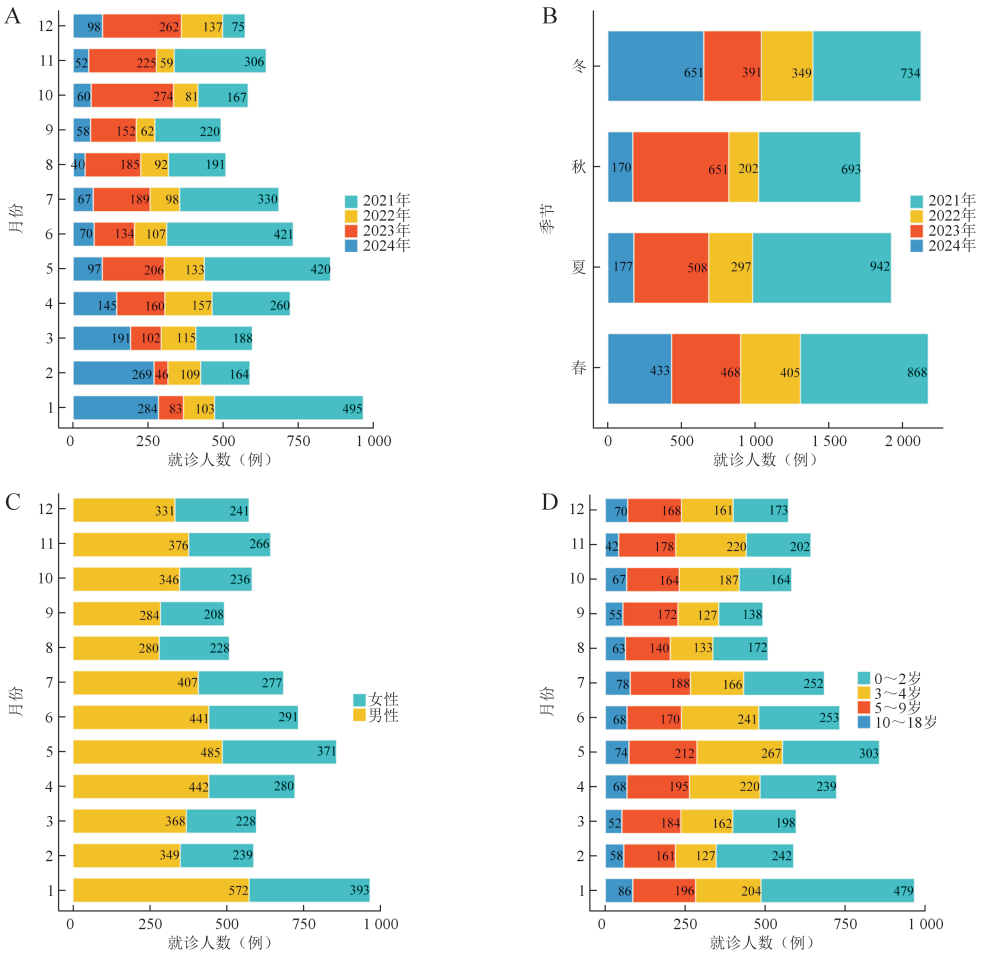

图1 2021–2024年儿童及青少年CAP患者就诊分布情况

Figure 1. Distribution of outpatient visits for CAP among children and adolescents from 2021 to 2024

注：A.年份分布；B.季节分布；C.性别分布；D.年龄分布。

2.3 环境因素与CAP就诊人数相关性分析

Spearman秩相关性分析显示，各环境因素与儿童及青少年CAP每日就诊人数之间整体呈弱相关。其中，温度（r=0.291，P < 0.001）、湿度（r=0.149，P < 0.001）及CO（r=0.106，P < 0.001）与每日就诊人数呈弱正相关；O_3与每日就诊人数呈弱负相关（r=−0.058，P=0.032）。$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、NO_2、AQI及风速与每日就诊人数之间的相关性均无统计学意义（P > 0.05），见表2及附件图1。

2.4 大气污染物与CAP就诊风险的关联性分析

2.4.1 单污染物与多污染物模型在最佳滞后时间下的效应比较

在单污染物模型中，CO与CAP就诊风险升高呈现最高的效应估计值［RR=26.508，95%CI（5.096，137.897），P < 0.001］，其次为SO_2［RR=1.361，95%CI（1.125，1.648），P=0.002］和PM_{10}［RR=1.016，95%CI（1.008，1.023），P < 0.001］，但CO 95%CI范围较宽，提示其效应存在不稳定性；在多污染物模型中同时纳入PM_{10}、SO_2及CO，各污染物效应减弱，其中PM_{10}［RR=1.010，95%CI（1.001，1.019），P=0.027］与CO［RR=8.464，95%CI（1.409，50.850），P=0.020］仍和CAP就诊风险升高相关，见表3及附件图2。各污染物GVIF值均接近1，提示模型不存在明显多重共线性，见附件表2。

2.4.2 分布滞后模型

PM_{10}与CO均呈现一定滞后关联特征，但其暴露−滞后模式存在差异。PM_{10}暴露后风险升高主要集中于滞后2～5 d，并在中高暴露水平及中晚滞后阶段表现出较高的关联强度，提示PM_{10}对CAP就诊风险可能存在一定的滞后累积效应，随着时间进一步延长，其关联强度逐渐减弱并趋于稳定。相比之下，CO滞后效应较为平缓，RR整体呈轻度升高趋势，但未观察到明确的峰值滞后窗口，其暴露−滞后关联模式相对平缓，见图2。

表2 环境因素与每日就诊人数的Spearman相关性分析

Table 2. Spearman correlation between environmental factors and daily visits

变量	相关系数（r）	P值
$PM_{2.5}$（μg/m³）	−0.001	0.973
PM_{10}（μg/m³）	0.045	0.093
O_3（μg/m³）	−0.058	0.032
SO_2（μg/m³）	−0.001	0.974
NO_2（μg/m³）	−0.042	0.116
CO（mg/m³）	0.106	< 0.001
AQI	−0.034	0.212
温度（℃）	0.291	< 0.001
风速（m/s）	−0.010	0.700
湿度（%）	0.149	< 0.001

表3 单污染物模型与多污染物模型在最佳滞后时间下的效应比较

Table 3. Comparison of the effects of single−pollutant and multi−pollutant models at the optimal lag periods

污染物	最佳滞后时间（d）	单污染物模型		多污染物模型	
		RR值（95%CI）	P值	RR值（95%CI）	P值
$PM_{2.5}$（μg/m³）	2	1.014（1.000，1.029）	0.057	−	
PM_{10}（μg/m³）	2	1.016（1.008，1.023）	< 0.001	1.010（1.001，1.019）	0.027
SO_2（μg/m³）	2	1.361（1.125，1.648）	0.002	1.166（0.946，1.438）	0.151
NO_2（μg/m³）	7	1.028（0.991，1.067）	0.139	−	
O_3（μg/m³）	3	0.990（0.979，1.001）	0.081	−	
CO（mg/m³）	2	26.508（5.096，137.897）	< 0.001	8.464（1.409，50.850）	0.020

注：多污染物模型校正了温度、湿度和星期效应。

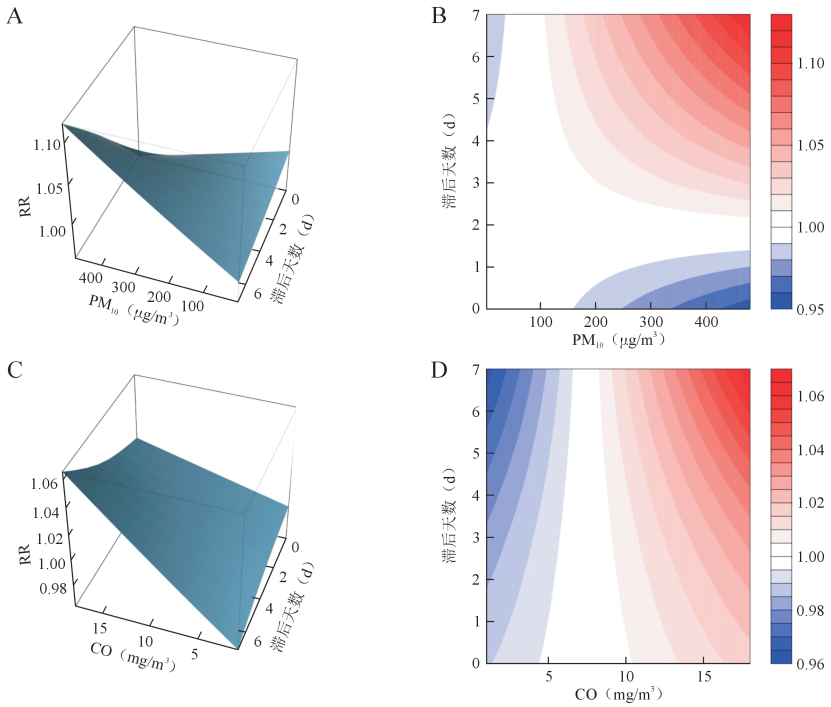

图2 PM_{10}和CO与CAP风险的三维滞后暴露响应曲面图及滞后暴露响应曲面

Figure 2. Three-dimensional lag-exposure-response surface plots and exposure-response surfaces of PM_{10} and CO for CAP risk

注：A.PM_{10}滞后暴露响应曲面图；B.PM_{10}滞后暴露响应曲面；C.CO滞后暴露响应曲面图；D.CO滞后暴露响应曲面。

3 讨论

CAP是发生于社区环境中的常见呼吸系统感染性疾病，主要由细菌、病毒或其他微生物感染所致，在儿童、老年人及免疫功能低下人群中具有较高的发病率和疾病负担。婴幼儿免疫系统尚未完全成熟，B细胞抗体应答能力较弱、树突细胞及T细胞功能发育不完善，对外界环境防御能力相对不足，易受到环境因素影响[10]。随着城市化与工业化进程不断推进，空气污染已成为影响儿童呼吸系统健康的重要因素之一，与CAP等疾病密切相关。目前我国空气污染健康效应研究多集中于北京、广州等大型城市，而中小城市儿童及青少年人群相关证据相对有限。相较于大型城市以机动车尾气及复合型光化学污染为主的暴露特征，中小城市空气污染可能更多受区域工业排放及颗粒物累积影响[11]，本研究结果可为中小城市儿童及青少年空气污染健康风险评估提供补充证据。本研究结果显示，儿童及青少年CAP就诊风险与PM_{10}及CO暴露呈正相关，其中PM_{10}在单污染物及多污染物模型中效应较稳定，并表现出滞后2~5 d的滞后效应，提示其可能存在累积性及延迟性健康影响；CO在多污染物模型中仍保持正向关联，但其95%CI较宽，提示结果稳定性有限，可能受极端污染日、样本波动及污染物共线性影响，且空气污染可能存在共同来源及复合暴露特征。

本研究结果显示，CAP就诊量呈显著季节性波动，冬春季及初夏高发，与当地气候条件及病原体季节性流行规律密切相关：冬春季低温及湿度变化有利于呼吸道病毒传播，而初夏温湿度升高及人员流动增加亦可能促进肺炎支原体等病原扩散[12-13]。从区域污染特征来看，天门市作为中小城市，其空气污染呈现“低背景浓度-高波动峰值”的模式，即$PM_{2.5}$年均水平相对较低（35.7 μg/m³），但PM_{10}峰值可达480 μg/m³，提示污染暴露更多以短期高强度事件为主，而非长期稳定暴露。这种暴露结构可能对儿童呼吸系统产生不同于大城市的影响机制：短时高浓度污染更易诱发急性气道上皮损伤、氧化应激反应及气道高反应性增强，从而在短时间内触发感染，易感性升高[14]；相比之下，武汉、北京等大城市以持续性高$PM_{2.5}$暴露为特征，更倾向于通过慢性低度炎症、免疫调节失衡及黏膜防御功能减弱等机制

产生累积性损伤[15]。因此，中小城市与大城市在污染健康效应上可能分别体现为“急性触发型风险”与“慢性累积型风险”的差异模式，该差异可解释本研究中 PM_{10} 及 CO 等波动性污染物与 CAP 就诊的显著关联。PM_{10} 及 CO 污染来源可能与本地农业活动（如秸秆焚烧）、季节性扬尘及局地交通排放等因素相关，使 PM_{10} 及 CO 成为更具代表性的风险污染物。在人群分布方面，0~2 岁婴幼儿发病人数最多，可能与气道狭窄及免疫发育不完善有关[14]；3~6 岁次之，与集体暴露增加相关；随着年龄增加，CAP 病例构成比逐渐下降，可能与年龄增长后呼吸系统成熟及免疫功能增强有关，男性略高于女性，尤以婴幼儿期明显，可能与免疫应答及解剖差异有关[15]。

空气污染与儿童 CAP 的关系正由相关性观察逐步深化为机制性认知。现有证据表明，CO 与颗粒物分别代表系统性低氧负荷与局部炎症刺激，通过低氧损伤、氧化应激及免疫失衡等多重途径参与 CAP 的发生与进展[16]。其中，CO 通过形成碳氧血红蛋白降低携氧能力，并影响线粒体呼吸功能，引起组织缺氧和氧化应激反应，低氧状态及氧化应激可能进一步影响气道上皮屏障功能和局部免疫稳态，从而增加呼吸道感染易感性[17]。颗粒物作为混合污染物，可在呼吸道沉积并持续诱导局部炎症与氧化应激反应，破坏上皮屏障并扰乱肺部免疫稳态[18]。其中 PM_{10} 表现出一定滞后效应（滞后 2~5 d），提示其影响具有累积与延迟特征。儿童群体免疫储备下降可能增强对环境暴露的敏感性，使相同污染水平更易触发呼吸道感染并放大污染物健康效应，从而解释不同流行阶段或年份间效应差异。在多污染物模型中，CO 仍显示风险增加趋势，但由于 95%CI 较宽，其独立效应估计存在较大不确定性，可能与极端污染日影响、多污染物共线性及暴露尺度差异有关，因此更应强调其风险增加的方向性而非绝对效应强度。既往研究证实颗粒物暴露与儿童肺炎住院风险增加呈正相关[19]，交通相关空气污染与呼吸系统不良结局相关[20]，共同支持空气污染在儿童 CAP 发生与进展中的重要作用。

本研究存在一定局限性：①研究时间跨度覆盖 2021—2024 年公共卫生防控政策调整阶段，防控期间病原暴露减少导致易感人群累积增加，从而改变基础发病水平，并可能与空气污染暴露产生潜在交互作用；②空气污染暴露采用日均监测数据，难以完全反映个体真实暴露水平，可能存在一定测量误差及生态学偏倚；③本研究为单中心研究，可能存在一定选择性就诊偏倚；④在多污染物模型中，部分污染物（如 SO_2）效应减弱或消失，可能与污染物间高度相关及共线性有关，其独立效应仍需进一步验证。

综上，PM_{10} 短期暴露与儿童及青少年 CAP 就诊风险升高相关，并呈现较稳定的 2~5 d 滞后关联。建议医疗机构针对空气质量预警，提前开展针对性的呼吸道疾病诊疗与防护。

附件见《医学新知》官网附录（https://yxxz.whuznhmedj.com/futureApi/storage/appendix/20260409O.pdf）

伦理声明：本研究获天门市第一人民医院伦理委员会审批（批号：20250323）

作者贡献：研究设计、数据分析与采集、论文撰写：王宏勇、廖红明；论文审定与基金支持：宋江勤

利益冲突声明：无

数据获取：本研究中使用和（或）分析的数据可联系通信作者获取

致谢：本研究得到天门市第一人民医院耳鼻咽喉头颈外科及相关科室的大力支持，特别感谢所有参与数据收集和整理的医护人员，感谢所有参与本研究的患者及家属

参考文献

1 王爽, 王雪峰, 李娜, 等. 1788 例社区获得性肺炎非细菌性病原体分布特征分析[J]. 中国当代儿科杂志, 2023, 25(6): 633-638. [Wang S, Wang XF, Li N, et al. Distribution of non-bacterial pathogens in 1788 children with community-acquired pneumonia[J]. Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2023, 25(6): 633-638.]

2 Hao OM, Wang XF, Liu JP, et al. Etiology of community-acquired pneumonia in 1500 hospitalized children[J]. J Med Virol, 2018, 90(3): 421-428.

3 Lee JT. Review of epidemiological studies on air pollution and health effects in children[J]. Clin Exp Pediatr, 2021, 64(1): 3-11.

4 Aithal SS, Sachdeva I, Kurmi OP. Air quality and respiratory health in children[J]. Breathe (Sheff), 2023, 19(2): 230040.

5 Liu L, Wang B, Qian N, et al. Association between ambient $PM_{2.5}$ and outpatient visits of children's respiratory diseases in a megacity in Central China[J]. Front Public Health, 2022, 10: 952662.

6 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. [The Subspecialty Group of Respiratory, the Society of Pediatrics, Chinese Medical Association; the Editorial Board, Chinese Journal of Pediatrics; China Medicine Education Association Committee on Pediatrics Guidelines for the management of community-acquired pneumonia in children (2024 revision)[J]. Chinese Journal of Pediatrics, 2024, 62(10): 920-930.]

7 Jain S, Williams DJ, Arnold SR, et al. Community-acquired pneumonia requiring hospitalization among US children[J]. N Engl J Med, 2015, 372(9): 835-845.
8 Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models[J]. Stat Med, 2010, 29(21): 2224-2234.
9 Gasparrini A. Modeling exposure-lag-response associations with distributed lag non-linear models[J]. Stat Med, 2014, 33(5): 881-899.
10 Heinonen S, Rodriguez-Fernandez R, Diaz A, et al. Infant immune response to respiratory viral infections[J]. Immunol Allergy Clin North Am, 2019, 39(3): 361-376.
11 Yin M, Yan D, Lu Y, et al. Analysis of spatiotemporal variation characteristics of atmospheric quality in China′s city clusters from 2015 to 2023 and their socio-economic driving forces[J]. J Environ Manage, 2025, 392: 126791.
12 Xie LY, Wang T, Yu T, et al. Seasonality of respiratory syncytial virus infection in children hospitalized with acute lower respiratory tract infections in Hunan, China, 2013-2022[J]. Virol J, 2024, 21(1): 62.
13 Qiu W, Ding J, Zhang H, et al. Mycoplasma pneumoniae detections in children with lower respiratory infection before and during the COVID-19 pandemic: a large sample study in China from 2019 to 2022[J]. BMC Infect Dis, 2024, 24(1): 549.
14 Lu X, Li R, Yan X. Airway hyperresponsiveness development and the toxicity of $PM_{2.5}$[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2021, 28(6): 6374-6391.
15 Wu S, Ni Y, Li H, et al. Short-term exposure to high ambient air pollution increases airway inflammation and respiratory symptoms in chronic obstructive pulmonary disease patients in Beijing, China[J]. Environ Int, 2016, 94: 76-82.
16 Ghazaly MMH, Abu Faddan NH, Raafat DM, et al. Acute viral bronchiolitis as a cause of pediatric acute respiratory distress syndrome[J]. Eur J Pediatr, 2021, 180(4): 1229-1234.
17 Bauer I, Pannen BH. Bench-to-bedside review: carbon monoxide--from mitochondrial poisoning to therapeutic use[J]. Crit Care, 2009, 13(4): 220-220.
18 Xing YF, Xu YH, Shi MH, et al. The impact of $PM_{2.5}$ on the human respiratory system[J]. J Thorac Dis, 2016, 8(1): e69-74.
19 Nascimento AP, Santos JM, Mill JG, et al. Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of SO_2, PM_{10} and chemical elements in fine particles[J]. Environ Res, 2020,188: 109619.
20 Nhung NTT, Amini H, Schindler C, et al. Short-term association between ambient air pollution and pneumonia in children: a systematic review and Meta-analysis of time-series and case-crossover studies[J]. Environ Pollut, 2017, 230: 1000-1008.

收稿日期：2026 年 04 月 18 日 修回日期：2026 年 06 月 03 日
本文编辑：杨室淞 曹 越

引用本文：王宏勇, 宋江勤, 廖红明. 天门市儿童及青少年社区获得性肺炎就诊风险与空气污染物的关联及滞后效应研究[J]. 医学新知, 2026, 36(8): 861-868. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202604090.
Wang HY, Song JQ, Liao HM. Association between air pollutants and the risk of medical visits for community-acquired pneumonia among children and adolescents in Tianmen: a time-series analysis of lagged effects[J]. Yixue Xinzhi Zazhi, 2026, 36(8): 861-868. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202604090.