

文章编号:1671-7554(2025)02-0095-09

DOI:10.6040/j.issn.1671-7554.0.2024.0176

合肥市空气 O₃ 对儿童呼吸系统疾病 急诊就诊量的影响

肖长春,余林玲,鄢德瑞,朱昱

(合肥市疾病预防控制中心环境卫生科,安徽 合肥 230091)

摘要:目的 探讨合肥市空气 O₃ 暴露对儿童呼吸系统疾病急诊就诊量影响。方法 收集合肥市某儿童医院 2017 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日逐日儿童急诊就诊资料、空气污染物监测资料和气象资料。基于分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)评估不同质量浓度 O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊量的影响,模型中调整气象因素、时间趋势和星期几等变量。结果 研究期间共纳入因儿童呼吸系统疾病急诊就诊 153 995 人次,儿童呼吸系统疾病急诊就诊量随 O₃ 质量浓度上升而增加。相对于 60 μg/m³, O₃ 质量浓度在 P₂₅、P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 时儿童呼吸系统疾病急诊就诊量单日滞后效应相对危险度(relative risk, RR)及 95% 置信区间(confidence interval, CI)分别为 1.004(1.000~1.008)、1.031(1.016~1.045)、1.062(1.037~1.087)和 1.084(1.053~1.115),累积滞后效应 RR(95% CI)分别为 1.009(1.001~1.013)、1.082(1.046~1.119)、1.185(1.112~1.263)和 1.244(1.159~1.336)。O₃ 质量浓度对男孩和女孩呼吸系统疾病急诊就诊量的影响差异无统计学意义。不同疾病中,P₂₅至 P₉₅ 浓度范围 O₃ 对急性上呼吸道感染、急性下呼吸道感染及肺炎急诊就诊量影响的单日滞后效应 RR 分别为 1.006~1.072、1.006~1.058 和 1.005~1.060,累积滞后效应 RR 分别为 1.009~1.223、1.003~1.359 和 1.017~1.450。结论 合肥市空气 O₃ 质量浓度升高可能会增加儿童呼吸系统疾病发病风险。

关键词:臭氧;儿童;呼吸系统疾病;急诊;分布滞后非线性模型

中图分类号:R122

文献标志码:A

Effects of ozone on emergency room visits of respiratory diseases among children in Hefei City

XIAO Changchun, YU Linling, YAN Derui, ZHU Yu

(Department of Environmental Health, Hefei Center for Disease Control and Prevention, Hefei 230091, Anhui, China)

Abstract: Objective To explore the effect of O₃ exposure on emergency room visits for children with respiratory diseases in Hefei City. **Methods** Day-by-day data on children's emergency department visits, air pollutant monitoring data and meteorological data were collected from January 1 2017 to December 31 2019 at a children's hospital in Hefei City. The effects of different concentrations of O₃ on children's emergency department visits for respiratory diseases were evaluated based on a distributed lag non-linear model (DLNM), in which the variables such as meteorological factors, temporal trends, and days of the week were adjusted. **Results** A total of 153,995 emergency room visits for childhood respiratory diseases were included in the study period, and the number of emergency room visits for childhood respiratory diseases increased with the increase of O₃ concentration. Relative to 60 μg/m³, the RR(95% CI) values of single-day lag effects of O₃ concentrations at P₂₅, P₅₀, P₇₅ and P₉₅ on emergency room visits of children were 1.004(1.000-1.008), 1.031(1.016-1.045), 1.062(1.037-1.087) and 1.084(1.053-1.115), respectively, and the RR(95% CI) values of cumulative lag effects were 1.009(1.001-1.013), 1.082(1.046-1.119), 1.185(1.112-1.263) and

收稿日期:2024-02-23

基金项目:环境健康风险评估试点项目

通信作者:朱昱。E-mail:1061693360@qq.com

1.244 (1.159-1.336), respectively. Effects of O_3 on emergency room visits for respiratory diseases between boys and girls had no statistically significant different. Among different diseases, the *RR* values of single-day lag effects of O_3 at concentrations range of P_{25} to P_{95} on the number of emergency room visits for acute upper respiratory infection, acute lower respiratory infection and pneumonia were 1.006-1.072, 1.006-1.058 and 1.005-1.060, and the *RR* values of cumulative lag effects were 1.009-1.223, 1.003-1.359 and 1.017-1.450, respectively. **Conclusion** Elevated O_3 concentrations in Hefei City may increase the risk of respiratory diseases in children.

Key words: Ozone; Children; Respiratory diseases; Emergency room visit; Distributed lag non-linear model

空气污染对人群健康影响较大,近10年来我国空气污染治理取得了良好效果,如颗粒物(particulate matter, PM)、 SO_2 、 NO_2 和CO等污染物质量浓度有所下降,然而 O_3 质量浓度却逐渐升高^[1]。空气中 O_3 是一种二次污染物,具有氧化性强和水溶性低的特点,可到达人体肺远端,引起呼吸系统氧化损伤及炎症反应^[2]。既往大量研究显示,短期 O_3 暴露与呼吸系统疾病发病率及死亡率增加有关^[3-5],然而这些研究主要集中在西方国家及国内经济发达地区,另外不同城市或地区的 O_3 污染性质和程度不同,人口特征也有差异,各地区 O_3 与人群呼吸系统健康之间的关系可能也会有所不同^[6]。合肥市近十几年来发展迅速,人口大量汇集, O_3 污染对合肥市居民呼吸系统健康造成的损害不容忽视,但合肥市此类研究还相对缺乏且不够深入,因此有必要在合肥市深入研究 O_3 对居民呼吸系统健康的影响。

在整个人群中,儿童是一个需要特殊关注的群体。由于处于生长发育阶段,儿童单位体质量肺表面积、通气率、暴露于室外空气的频率等诸多方面与成人都有较大的差异,从而造成儿童呼吸系统受 O_3 的影响可能比成人更大^[7]。因此,本研究拟建立时间序列分析模型,定量评估合肥市空气 O_3 质量浓度变化对儿童呼吸系统疾病急诊就诊量产生的影响,为合肥市空气污染防治策略的制定、调整及保护儿童健康提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

2017年1月1日至2019年12月31日儿童呼吸系统疾病急诊资料来源于合肥市某综合性三级甲等儿童专科医院,该院地处合肥市中心地带,交通便利,医疗水平较高。收集的就诊资料包括性别、年龄、家庭住址、疾病诊断和《国际疾病分类》第十版

编码(The International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision, ICD-10)等信息。按年龄筛选,0~14岁为儿童;按ICD-10编码筛选,J00-J99为呼吸系统疾病,其中ICD-10编码J00~J06为急性上呼吸道感染,J12~J18为肺炎,J20~J22为急性下呼吸道感染。同期逐日空气污染物数据来源于合肥市环保局,由合肥市10个环保国控监测站点所监测数据求均值获得,包括 O_3 、细颗粒物(fine particulate matter, $PM_{2.5}$)、可吸入颗粒物(inhalable particulate matter, PM_{10})、 SO_2 、 NO_2 和CO;同期逐日气温资料来源于合肥市气象监测站。

1.2 方法

1.2.1 分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)建立

采用基于广义线性模型的DLNM评估 O_3 质量浓度对儿童呼吸系统疾病急诊的影响,模型中调整时间、气温和星期几等变量。本研究根据既往文献选择自由度(degree of freedom, *df*)^[8],主模型建立如公式(1)所示。

$$\text{Log}[E(Y_t)] = \alpha + cb.O_3 + cb.temp + ns(\text{time}, df \times \text{year}) + as.factor(\text{dow}) \quad (1)$$

式中: $E(Y_t)$ 为第 t 日的呼吸系统疾病急诊就诊量期望值; α 为截距; $cb.O_3$ 为 O_3 质量浓度交叉基; $cb.temp$ 为气温交叉基; ns 为自然立方样条函数; $time$ 为时间变量, df 为7; $as.factor$ 为分类变量转换函数; dow 为星期几变量。

参考既往研究中空气污染物对健康指标影响的滞后时间长度^[9],本研究设定最大滞后天数为7d,设置 O_3 对急诊就诊影响的最低效应值时的浓度为参考浓度,本研究中最底效应值时的 O_3 质量浓度为 $60.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$,分别估计不同百分位数下 O_3 质量浓度相对于参考浓度时对儿童呼吸系统疾病急诊就诊影响的滞后效应(单日滞后效应和累积滞后效应),以相对危险度(relative risk, *RR*)及95%置信区间

(confidence interval, *CI*) 表示,同时分性别和疾病进行亚组分析。

1.2.2 敏感性分析及交互效应

本研究通过在主模型中加入其他污染物 (PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 和 CO) 建立双污染物模型及调整时间变量自由度 (5~9) 来检验模型稳定性,同时通过在模型中引入 O₃ 与其他污染物的交互项来分析 O₃ 与其他污染物之间的交互效应。

1.3 统计学处理

采用 R 4.3.1 软件进行统计分析,数据以 $\bar{x}\pm s$ 、 P_5 、 P_{25} 、 P_{50} 、 P_{75} 和 P_{95} 来表示,采用 DLNM 模型分析 O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊的影响,模型分析结果以 *RR* (95% *CI*) 表示,采用 Z 检验比较两组之间 *RR* 值的差异。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

表1 儿童呼吸系统疾病急诊就诊量、空气污染物及气象因素的基本情况

Table 1 Basic information on emergency room visits for respiratory diseases in children, air pollutants and meteorological factors

变量	$\bar{x}\pm s$	P_5	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{95}
急诊就诊/(人次/d)	141±40	90	113	133	160	218
男/(人次/d)	81±24	51	65	78	94	126
女/(人次/d)	59±19	35	46	56	68	95
急性上呼吸道感染/(人次/d)	79±24	47	62	76	92	124
急性下呼吸道感染/(人次/d)	30±13	13	21	27	36	53
肺炎(人次/d)	17±9	7	10	15	23	35
O ₃ 质量浓度/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	102.0±47.8	33.1	63.8	97.3	134.8	191.1
PM _{2.5} 质量浓度/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	49.1±30.8	15.4	27.2	41.1	61.4	109.6
PM ₁₀ 质量浓度/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	73.5±37.2	24.5	47.2	68.1	93.0	137.6
SO ₂ 质量浓度/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8.5±4.5	3.0	5.0	8.0	10.7	17.2
NO ₂ 质量浓度/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	43.6±19.6	19.2	28.3	38.7	55.6	80.8
CO 质量浓度/(mg/m^3)	0.8 ± 0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.4
气温/°C	16.9±9.5	1.8	8.6	17.4	24.7	30.7

2.2 O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊的影响

2.2.1 暴露-滞后-反应关系

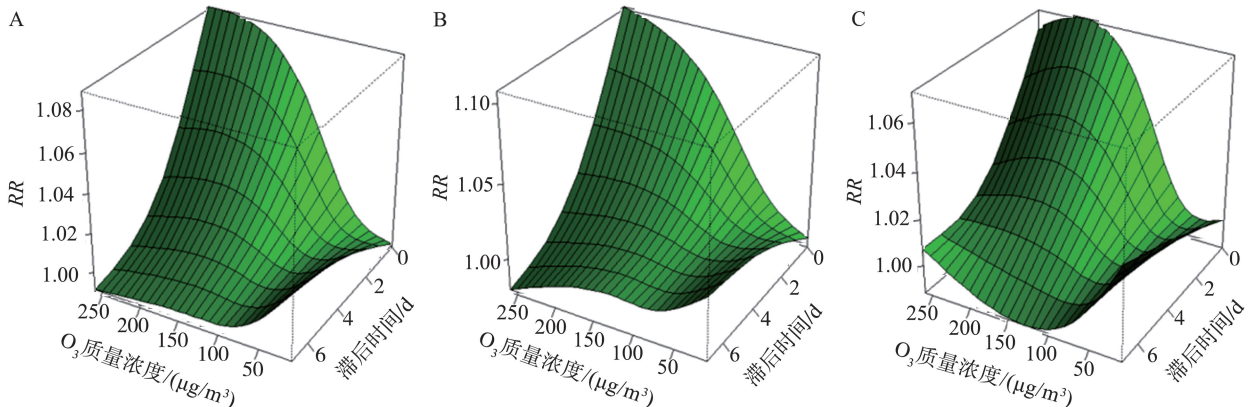
O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊总量、不同性别和疾病急诊就诊量的影响均表现为非线性

2 结果

2.1 基本情况

2017—2019 年期间,合肥市某儿童医院儿童呼吸系统疾病急诊就诊量为 153 995 人次,日均 141 人次。其中男孩 89 145 人次,日均 81 人次,占 57.9%;女孩 64 850 人次,日均 59 人次,占 42.1%。急性上呼吸道感染、急性下呼吸道感染和肺炎急诊就诊量日均分别为 79 人次(占 56.0%)、30 人次(占 21.3%)和 17 人次(占 12.1%)。研究期间 O₃ 质量浓度范围 4.7~263.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 平均质量浓度 102.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 超标 145 d, 超标率为 13.2% (浓度 $\geq 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 气温均值为 16.9 °C。见表 1。

关系,儿童呼吸系统疾病急诊就诊总量、男孩、女孩和急性上呼吸道感染受 O₃ 影响效应出现快,急性下呼吸道感染和肺炎则略有滞后。见图 1。



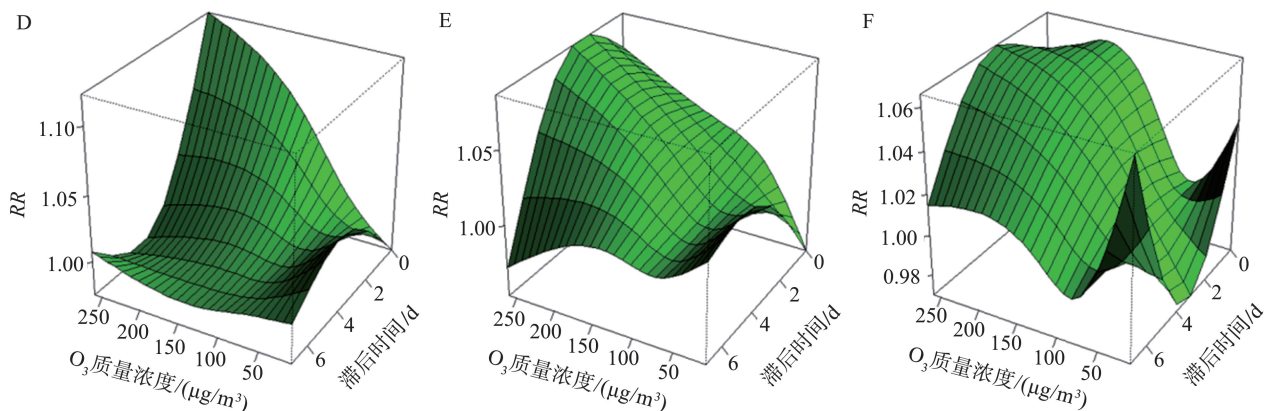


图1 合肥市空气中O₃质量浓度对儿童呼吸系统疾病急诊就诊量影响的暴露-滞后-效应图

A: 就诊总量; B: 男孩就诊量; C: 女孩就诊量; D: 急性上呼吸道感染就诊量; E: 急性下呼吸道感染就诊量; F: 肺炎就诊量。

Figure 1 Exposure-lag effect plots of the effect of O₃ concentration on emergency room visits for respiratory diseases in children in Hefei City

A: Total emergency room visits; B: Emergency room visits for boys; C: Emergency room visits for girls; D: Emergency room visits for acute upper respiratory infections; E: Emergency room visits for acute lower respiratory infection; F: Emergency room visits for pneumonia.

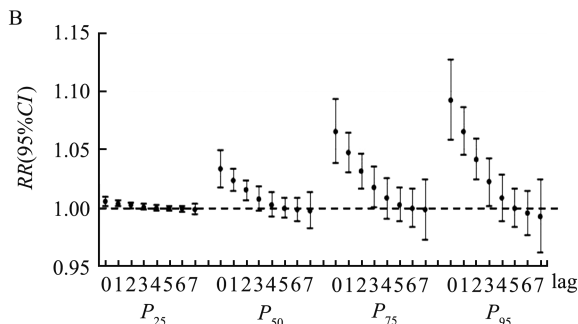
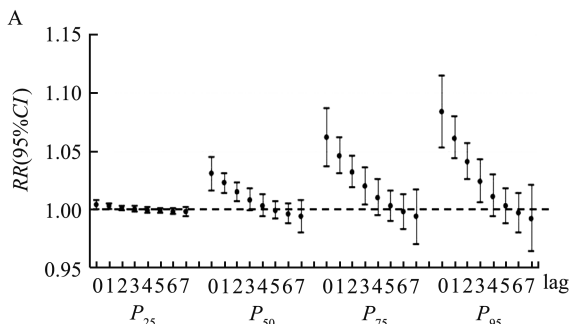
2.2.2 单日滞后效应

O₃ 在 P₂₅、P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下对儿童呼吸系统疾病急诊就诊总量的影响均在 lag0 时最大, RR(95% CI) 分别为 1.004(1.000~1.008)、1.031(1.016~1.045)、1.062(1.037~1.087) 和 1.084(1.053~1.115), 且效应随着滞后时间呈现出下降趋势, 分别在 lag0~lag1、lag0~lag2、lag0~lag3 和 lag0~lag3 有统计学意义。

分性别分析发现, 不同质量浓度 O₃ 对男孩和女孩的影响均在 lag0 时最大, 效应随着滞后时间而下降。O₃ 在 P₂₅、P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下, 男孩 lag0 时效应 RR(95% CI) 分别为 1.005(1.001~1.009)、1.033(1.017~1.049)、1.065(1.038~1.093) 和 1.092(1.058~1.127), O₃ 各质量浓度下效应主要在 lag0~lag3 有统计学意义; O₃ 在 P₂₅ 质量浓度时对女孩效应无统计学意义 [lag0 时 RR(95% CI) 为 1.003(0.998~1.008)], P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下, 女孩效应 lag0 时 RR(95% CI) 分别为 1.028(1.010~1.045)、1.057(1.027~1.088) 和 1.072(1.035~1.109), 且效应也主要在 lag0~lag3 有统计学意义, O₃ 在每个质量

浓度下男孩与女孩最大效应之间差异均无统计学意义(P均>0.05)。

分疾病分析发现, O₃ 在 P₂₅、P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下, 对急性上呼吸道感染就诊量的影响均在 lag0 时最大, RR(95% CI) 分别为 1.006(1.001~1.011)、1.035(1.018~1.053)、1.069(1.040~1.099) 和 1.072(1.035~1.109), 且效应均随着滞后时间而下降。P₂₅ 和 P₅₀ 质量浓度下, O₃ 对急性下呼吸道感染就诊量的影响均在 lag0 时最大, RR(95% CI) 分别为 1.006(0.998~1.013) 和 1.020(0.992~1.049), 效应也随滞后时间而下降; P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下, 效应随滞后时间先上升后下降, 分别在 lag2 和 lag3 时最大, RR(95% CI) 分别为 1.034(1.007~1.062) 和 1.058(1.020~1.098)。P₂₅、P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下, O₃ 对肺炎就诊量影响均表现出随滞后时间先上升而后下降的趋势, 最大效应分别出现在 lag3、lag3、lag1 和 lag2, RR(95% CI) 分别为 1.005(1.000~1.010)、1.025(1.006~1.044)、1.048(1.017~1.080) 和 1.060(1.027~1.094); O₃ 在每个质量浓度下, 不同疾病的最大效应值之间差异均无统计学意义(P均>0.05)。见图2。



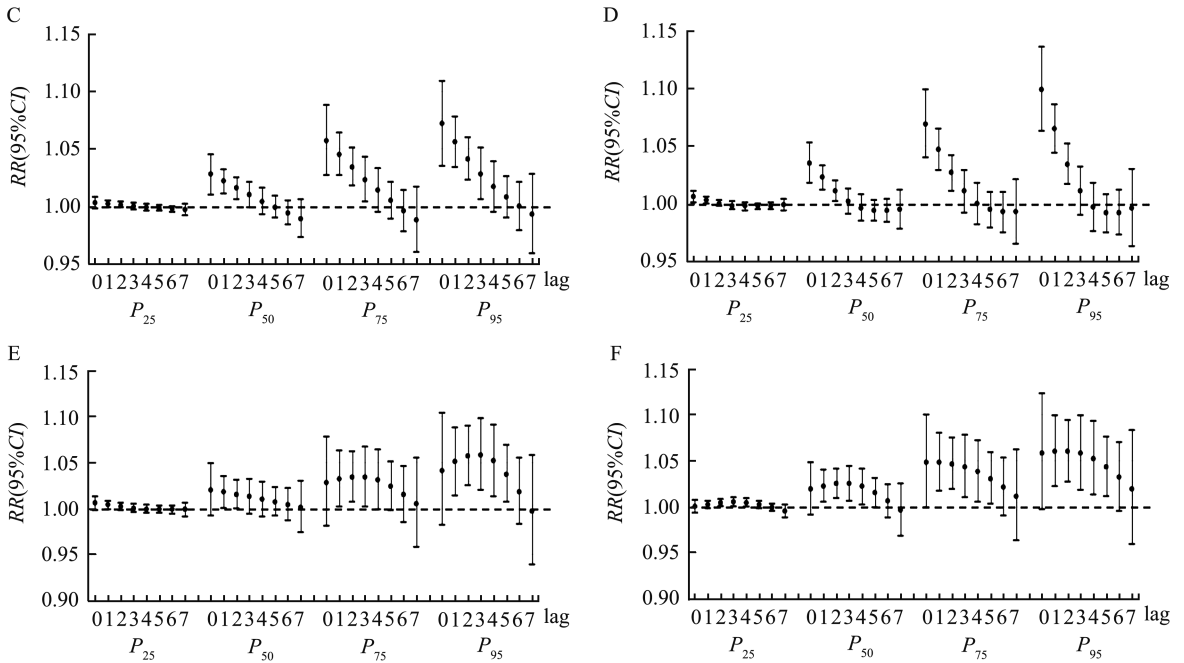


图2 合肥市空气中不同质量浓度 O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊量影响的单日滞后效应

A: 就诊总量; B: 男孩就诊量; C: 女孩就诊量; D: 急性上呼吸道感染就诊量; E: 急性下呼吸道感染就诊量; F: 肺炎就诊量。

Figure 2 Single-day lag effects of different airborne concentrations of O₃ on emergency room visits for respiratory diseases in children in Hefei City

A: Total emergency room visits; B: Emergency room visits for boys; C: Emergency room visits for girls; D: Emergency room visits for acute upper respiratory infections; E: Emergency room visits for acute lower respiratory infection; F: Emergency room visits for pneumonia.

2.2.3 累积滞后效应

O₃ 在 P₂₅、P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 浓度下对儿童呼吸系统疾病急诊就诊总量的累积滞后效应均表现出随滞后时间先上升后下降的趋势,最大效应分别出现在 lag03、lag04、lag05 和 lag05, RR(95%CI) 分别为 1.009(1.001~1.013)、1.082(1.046~1.119)、1.185(1.112~1.263) 和 1.244(1.159~1.336)。

分性别分析发现,不同质量浓度 O₃ 对男孩和女孩就诊量的累积滞后效应均随滞后时间先上升而后下降。O₃ 在 P₂₅、P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下,男孩就诊量分别在 lag03、lag04、lag05 和 lag04 效应最大,RR(95%CI) 分别为 1.010(1.002~1.019)、1.083(1.043~1.124)、1.181(1.100~1.268) 和 1.247(1.161~1.340);女孩就诊量分别在 lag03、lag04、lag05 和 lag05 效应最大,RR(95%CI) 分别为 1.007(0.997~1.016)、1.081(1.038~1.127)、1.191(1.102~1.288) 和 1.241(1.138~1.353)。O₃ 在每个质量浓度下,男孩与女孩就诊量最大效应之间差异均无统计学意义(P 均>0.05)。

分疾病分析发现,O₃ 在 P₂₅ 质量浓度下对急性上呼吸道感染就诊量的累积滞后效应在 lag01 时

最大[RR(95%CI) 为 1.009(1.001~1.016)],效应随滞后时间而下降;P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下,效应均随滞后时间先上升而后下降,且均在 lag03 时最大,RR(95%CI) 分别为 1.072(1.035~1.111)、1.160(1.093~1.232) 和 1.223(1.144~1.309)。O₃ 在 P₂₅ 质量浓度下,对急性下呼吸道感染就诊量累积滞后效应随滞后时间先上升而后下降,lag03 时最大[RR(95%CI) 为 1.003(0.998~1.008)];P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下,效应则随滞后时间而上升,在 lag06 或 lag07 时效应最大,RR(95%CI) 分别为 1.092(1.000~1.191)、1.223(1.052~1.421) 和 1.359(1.164~1.587)。O₃ 在 P₂₅ 质量浓度下,对肺炎就诊量的累积滞后效应随滞后时间先上升而后下降,lag05 时最大[RR(95%CI) 为 1.017(0.999~1.035)];P₅₀、P₇₅ 和 P₉₅ 质量浓度下,效应则随滞后时间而上升,在 lag06 或 lag07 时效应最大,RR(95%CI) 分别为 1.141(1.051~1.239)、1.325(1.133~1.549) 和 1.450(1.218~1.728)。O₃ 在每个质量浓度下,不同疾病最大效应值之间差异均无统计学意义(P 均>0.05)。见图 3。

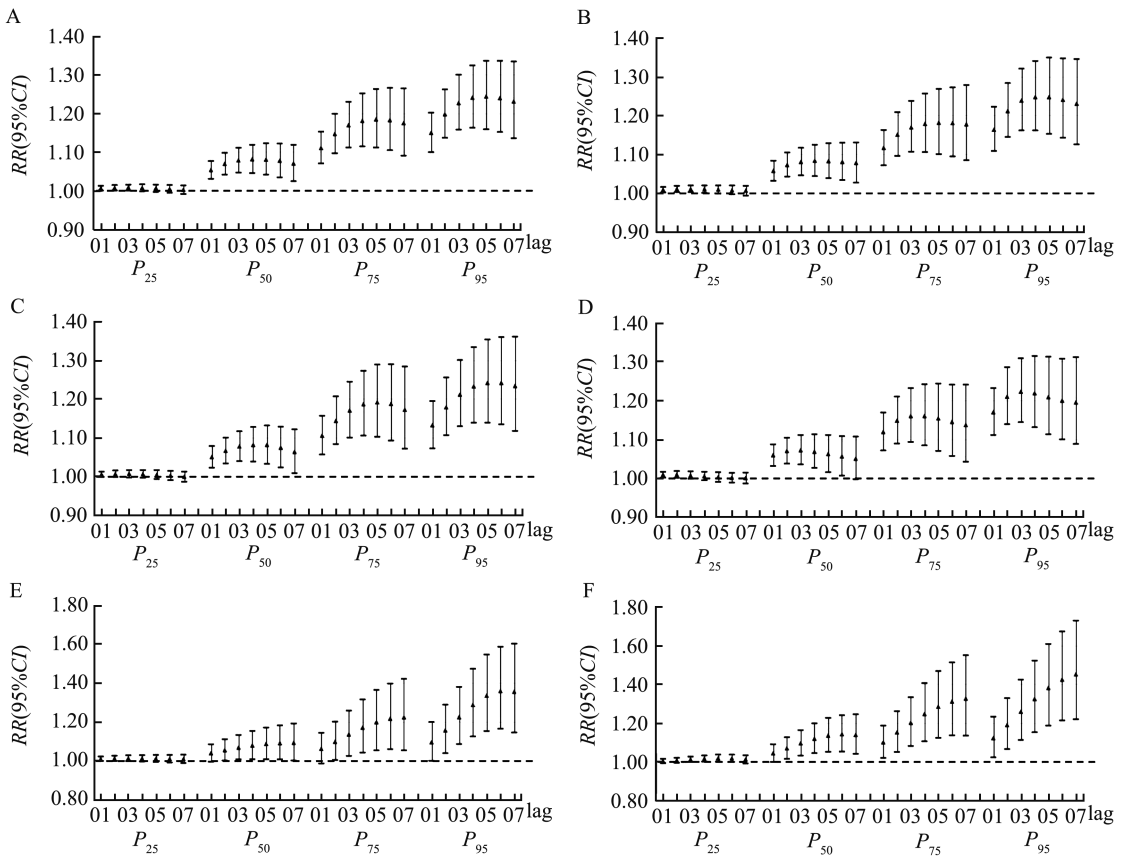


图3 合肥市空气中不同质量浓度 O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊量影响的累积滞后效应
 A: 就诊总量; B: 男孩就诊量; C: 女孩就诊量; D: 急性上呼吸道感染就诊量; E: 急性下呼吸道感染就诊量; F: 肺炎就诊量。
 Figure 3 Cumulative lag effects of different concentrations of O₃ on emergency room visits for respiratory diseases in children in Hefei City

A: Total emergency room visits; B: Emergency room visits for boys; C: Emergency room visits for girls; D: Emergency room visits for acute upper respiratory infections; E: Emergency room visits for acute lower respiratory infection; F: Emergency room visits for pneumonia.

2.3 敏感性分析及交互效应

在主模型中依次加入其他空气污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 和 CO, 以及改变时间变量自由度 (df:5~9), O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊总量的单日滞后效应和累积滞后效应与主模型相比均变化不大, 说明本研究中模型稳定性较好, 见表 2。

在主模型中加入 O₃ 与其他空气污染物的交互

项, O₃ 与 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 和 CO 的交互效应 RR(95% CI) 分别为 1.000 (1.000~1.000)、1.000 (1.000~1.000)、1.000 (0.999~1.001)、1.000 (1.000~1.000) 和 1.000 (0.990~1.011), 说明本研究中其他空气污染物与 O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊量未产生明显交互影响。

表2 不同模型和自由度下 O₃ 质量浓度在 P₉₅ 时对儿童呼吸系统疾病急诊就诊总量的影响

Table 2 Effect of O₃ concentration at P₉₅ on the total number of emergency department visits for respiratory diseases in children under different models and degrees of freedom

滞后时间	模型	RR(95%CI)	滞后时间	模型	RR(95%CI)
lag0	主模型	1.084(1.053~1.115)	lag05	主模型	1.244(1.159~1.336)
	+PM _{2.5}	1.080(1.049~1.112)		+PM _{2.5}	1.240(1.154~1.331)
	+PM ₁₀	1.057(1.025~1.090)		+PM ₁₀	1.208(1.124~1.298)
	+SO ₂	1.063(1.032~1.096)		+SO ₂	1.206(1.121~1.297)
	+NO ₂	1.064(1.032~1.096)		+NO ₂	1.209(1.124~1.300)
	+CO	1.080(1.049~1.111)		+CO	1.241(1.156~1.333)
	df=5	1.090(1.059~1.121)		df=5	1.267(1.182~1.359)
	df=6	1.086(1.056~1.117)		df=6	1.263(1.180~1.352)
	df=8	1.081(1.052~1.112)		df=8	1.222(1.140~1.309)
	df=9	1.089(1.059~1.120)		df=9	1.258(1.172~1.350)

3 讨论

合肥市作为新一线城市,近 10 年来空气 O₃ 污染逐渐加重^[10],本研究中合肥市 O₃ 质量浓度均值为 102.0 μg/m³,与同时期上海、北京、郑州、宁波和石家庄等地相近^[11-15],在全国范围内处于较高水平,这与既往研究中发现长三角地区 O₃ 污染较重的结果相一致^[16],提示合肥市空气中 O₃ 污染现状及对健康影响应引起重视。

氧化应激可能是空气污染物影响人类健康的主要途径之一。空气污染物具有氧化活性,使其与上皮细胞和巨噬细胞相互作用时产生活性氧,导致系统性炎症反应和氧化损伤。既往研究发现,O₃ 暴露与呼出气一氧化氮分数(fractional exhaled nitric oxide, FeNO)显著相关^[17-18]。FeNO 水平主要受气道上皮细胞中的诱导性一氧化氮合酶影响。该合酶可以被促炎细胞因子、活性氧化物或合酶基因的低甲基化激活,而这些因素可能由外源氧化物的吸入引起^[19]。FeNO 水平升高对应着更高的炎症反应水平,而炎症反应在呼吸系统疾病的发展中起着重要作用。过量吸入 O₃ 可能会导致氧化与抗氧化失衡,从而引起氧化应激并激活炎症细胞因子的释放,导致呼吸道上皮细胞氧化应激损伤和炎症反应^[20-21]。这些机制与本研究中观察到的 O₃ 暴露与急诊就诊之间的关联一致。

本研究基于 DLNM 定量评估 O₃ 不同质量浓度对合肥市儿童呼吸系统疾病急诊就诊的风险,结果显示,O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊的影响随着 O₃ 质量浓度的上升而增大,且为非线性,这一结果与既往研究是一致的,如美国^[22]、澳大利亚^[23]等经济发达国家和我国东北^[24]、上海^[11]等地区或城市的研究均表明了空气 O₃ 对儿童呼吸系统疾病的不良影响,其中美国 5 城市 O₃ 对急性呼吸系统疾病急诊就诊影响的研究还显示了 O₃ 对儿童呼吸系统疾病的暴露-反应关系曲线为非线性,而且与成人有所不同^[22]。本研究中 O₃ 质量浓度从 P₂₅(63.8 μg/m³)上升至 P₇₅(134.8 μg/m³),儿童呼吸系统疾病急诊就诊风险单日滞后效应 RR 由 1.004 增至 1.062,累积滞后效应 RR 由 1.009 增至 1.185。关于美国的研究中,O₃ 质量浓度上升 20 μg/m³,儿童呼吸系统疾病急诊就诊风险 RR 为 1.017^[25];在广州及深圳的研究中,O₃ 浓度每上升 10 μg/m³,儿童呼吸系统疾病急诊就诊风险增加 0.7%~0.8%^[26];关于兰州的研究,O₃ 质量浓度上升 31 μg/m³,儿童呼吸系统疾病急诊就

诊风险 RR 为 1.016^[27];关于上海的研究,O₃ 质量浓度每上升 10 μg/m³,儿童呼吸系统疾病急诊就诊风险增加 0.588%^[11]。不同地区研究结果之间的差异也提示,各地区都有必要对当地空气 O₃ 污染进行人群(尤其儿童)健康风险评估。

本研究中,性别分析结果显示,O₃ 对男孩与女孩呼吸系统疾病急诊就诊的影响差别不大,但既往诸多 O₃ 对儿童呼吸系统疾病影响的研究中性别之间的差异并不一致。我国广州及深圳 O₃ 对儿童呼吸系统疾病急诊就诊影响的研究中,性别间差异不大^[26];土耳其布尔萨及我国武汉对 O₃ 与儿童呼吸系统疾病住院之间关系的研究和澳大利亚对 O₃ 与儿童哮喘急诊之间关联的研究结果均显示,O₃ 男孩的影响比女孩大^[28-30];我国东北地区对 O₃ 与儿童支气管炎症状之间关联的研究中,O₃ 对女孩支气管炎症状的影响更大^[24]。研究之间性别差异不一致可能与研究地区 O₃ 污染特征、人群特征、健康指标及疾病种类的不同等原因有关,还需更多研究进行深入探讨。本研究中,疾病种类分析结果显示,O₃ 对儿童急性上呼吸道感染、急性下呼吸道感染及肺炎的发生均存在影响,这与既往研究中结果相一致,如澳大利亚的一项研究结果显示 O₃ 暴露增加了儿童急性上呼吸道感染急诊就诊风险^[31],我国北京和武汉的研究显示 O₃ 对儿童肺炎和下呼吸道感染有显著影响^[29,32]。

本研究为合肥市空气 O₃ 污染对儿童健康危害提供了又一佐证,但本研究也存在一定的局限性,首先,本研究实质为生态学研究,可能存在生态学谬误;其次,研究中 O₃ 质量浓度为监测点数据,与儿童实际暴露水平之间存在一定的差距;最后,本研究中样本量有限,代表性可能不足。

综上所述,合肥市 O₃ 质量浓度的升高可能增加了儿童呼吸系统疾病的急诊就诊风险,需引起对 O₃ 污染的重视。

参考文献:

- [1] He C, Wu Q, Li B, et al. Surface ozone pollution in China: trends, exposure risks, and drivers[J]. *Front Public Health*, 2023, 11: 1131753. doi: 10.3389/fpubh.2023.1131753.
- [2] Zhang JJ, Wei YJ, Fang ZF. Ozone pollution: a major health hazard worldwide[J]. *Front Immunol*, 2019, 10: 2518. doi: 10.3389/fimmu.2019.02518.
- [3] Niewiadomska E, Kowalska M, Niewiadomski A, et al. Assessment of risk hospitalization due to acute respiratory-

- incidents related to ozone exposure in Silesian Voivodeship (Poland) [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(10): 3591. doi:10.3390/ijerph17103591.
- [4] Marchetti P, Miotti J, Locatelli F, et al. Long-term residential exposure to air pollution and risk of chronic respiratory diseases in Italy: the BIGEPI study [J]. *Sci Total Environ*, 2023, 884: 163802. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.163802.
- [5] Lin G, Wang ZQ, Zhang XX, et al. Comparison of the association between different ozone indicators and daily respiratory hospitalization in Guangzhou, China [J]. *Front Public Health*, 2023, 11: 1060714. doi:10.3389/fpubh.2023.1060714.
- [6] Chen C, Li TT, Sun QH, et al. Short-term exposure to ozone and cause-specific mortality risks and thresholds in China: evidence from nationally representative data, 2013-2018 [J]. *Environ Int*, 2023, 171: 107666. doi:10.1016/j.envint.2022.107666.
- [7] Atkinson CE, Kesic MJ, Hernandez ML. Ozone in the development of pediatric asthma and atopic disease [J]. *Immunol Allergy Clin North Am*, 2022, 42(4): 701-713.
- [8] 肖长春,唐静,李玉荣,等.合肥市空气污染与某儿童医院肺炎门诊量关系的时间序列分析 [J]. *山东大学学报(医学版)*, 2018, 56(11): 76-82.
XIAO Changchun, TANG Jing, LI Yurong, et al. Relationship between air pollutants and outpatient visits due to pneumonia in a children's hospital in Hefei City: a time series analysis [J]. *Journal of Shangdong University (Health Sciences)*, 2018, 56(11): 76-82.
- [9] 朱昱,余林玲,肖长春.合肥市空气NO₂浓度对儿童结膜炎就诊的影响 [J]. *现代预防医学*, 2023, 50(17): 3118-3122, 3132.
ZHU Yu, YU Linling, XIAO Changchun. Effect of air NO₂ concentration on conjunctivitis in children in Hefei [J]. *Modern Preventive Medicine*, 2023, 50(17): 3118-3122, 3132.
- [10] 何立环,周密,朱余,等.2001—2020年合肥市空气质量变化趋势研究 [J]. *中国环境监测*, 2022, 38(4): 65-73.
HE Lihuan, ZHOU Mi, ZHU Yu, et al. Study on the change characteristics of air quality in Hefei from 2001 to 2020 [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2022, 38(4): 65-73.
- [11] 张靖伟,许明佳,丁佳妮,等.上海市某郊区大气臭氧与居民呼吸系统日门诊量的关系 [J]. *上海预防医学*, 2023, 35(6): 580-584.
ZHANG Jingwei, XU Mingjia, DING Jiani, et al. Association between ozone pollution and daily outpatient visits for respiratory system in a district of Shanghai [J]. *Shanghai Journal of Preventive Medicine*, 2023, 35(6): 580-584.
- [12] Fu YW, Zhang WL, Li Y, et al. Association and interaction of O₃ and NO₂ with emergency room visits for respiratory diseases in Beijing, China: a time-series study [J]. *BMC Public Health*, 2022, 22(1): 2265. doi:10.1186/s12889-022-14473-2.
- [13] 朱仁成,王亚男,王丹,等.城市空气污染对儿童呼吸道疾病就诊率的影响:以郑州市为例 [J]. *环境科学研究*, 2023, 36(11): 2099-2107.
ZHU Rencheng, WANG Yanan, WANG Dan, et al. Impact of urban air pollution on incidence of respiratory disease in children: a case study of Zhengzhou City [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2023, 36(11): 2099-2107.
- [14] 李丹,黄富林,雷红,等.宁波市气象因素和空气污染物对居民循环系统疾病死亡影响的分布滞后非线性模型分析 [J]. *环境卫生学杂志*, 2022, 12(12): 889-896.
LI Dan, HUANG Fulin, LEI Hong, et al. Distributed lag non-linear model analysis on influence of meteorological factors and air pollutants on death from circulatory system diseases in Ningbo, China [J]. *Journal of Environmental Hygiene*, 2022, 12(12): 889-896.
- [15] 曲玥,曾芳婷,陈凤格,等.石家庄市儿童呼吸系统疾病空气质量健康指数的构建 [J]. *环境卫生学杂志*, 2023, 13(1): 37-44.
QU Yue, ZENG Fangting, CHEN Fengge, et al. Construction of an air quality health index for pediatric respiratory disease in Shijiazhuang, China [J]. *Journal of Environmental Hygiene*, 2023, 13(1): 37-44.
- [16] Zheng DY, Huang XJ, Guo YH. Spatiotemporal variation of ozone pollution and health effects in China [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2022, 29(38): 57808-57822.
- [17] Guo HB. Comparisons of combined oxidant capacity and redox-weighted oxidant capacity in their association with increasing levels of FeNO [J]. *Chemosphere*, 2018, 211: 584-590. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.07.191.
- [18] Yang CY, Li HC, Chen RJ, et al. Combined atmospheric oxidant capacity and increased levels of exhaled nitric oxide [J]. *Environ Res Lett*, 2016, 11(7): 074014. doi:10.1088/1748-9326/11/7/074014.
- [19] Chen RJ, Qiao LP, Li HC, et al. Fine particulate matter constituents, nitric oxide synthase DNA methylation and exhaled nitric oxide [J]. *Environ Sci Technol*, 2015, 49(19): 11859-11865.
- [20] Petit PC, Fine DH, Vásquez GB, et al. The pathophysiology of nitrogen dioxide during inhaled nitric oxide therapy [J]. *ASAIO J*, 2017, 63(1): 7-13.
- [21] Gamon LF, Wille U. Oxidative damage of biomolecules by the environmental pollutants NO₂ and NO₃ [J]. *Acc Chem Res*, 2016, 49(10): 2136-2145.

- [22] Barry V, Klein M, Winquist A, et al. Characterization of the concentration-response curve for ambient ozone and acute respiratory morbidity in 5 US cities[J]. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2019, 29(2): 267-277.
- [23] Cheng J, Tong SL, Su H, et al. Association between sub-daily exposure to ambient air pollution and risk of asthma exacerbations in Australian children[J]. *Environ Res*, 2022, 212(Pt D): 113556. doi:10.1016/j.envres.2022.113556.
- [24] Zhou PE, Qian ZM, McMillin SE, et al. Relationships between long-term ozone exposure and allergic rhinitis and bronchitic symptoms in Chinese children[J]. *Toxics*, 2021, 9(9): 221. doi:10.3390/toxics9090221.
- [25] Strosnider HM, Chang HH, Darrow LA, et al. Age-specific associations of ozone and fine particulate matter with respiratory emergency department visits in the United States[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(7): 882-890.
- [26] Ren JH, Zhu LF, Li YC, et al. Intraday exposure to ambient ozone and emergency department visits among children: a case-crossover study in Southern China[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2023, 30(30): 74853-74861.
- [27] Ma YX, Shen JH, Zhang YF, et al. Short-term effect of ambient ozone pollution on respiratory diseases in Western China [J]. *Environ Geochem Health*, 2022, 44(11): 4129-4140.
- [28] Ünal E, Özdemir A, Khanjani N, et al. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in Bursa, Turkey: a time series study [J]. *Int J Environ Health Res*, 2022, 32(12): 2767-2780.
- [29] Huang ZH, Liu XY, Zhao T, et al. Short-term effects of air pollution on respiratory diseases among young children in Wuhan city, China[J]. *World J Pediatr*, 2022, 18(5): 333-342.
- [30] Cheng J, Tong SL, Su H, et al. Association between sub-daily exposure to ambient air pollution and risk of asthma exacerbations in Australian children[J]. *Environ Res*, 2022, 212(Pt D): 113556. doi:10.1016/j.envres.2022.113556.
- [31] Cheng J, Su H, Xu ZW. Intraday effects of outdoor air pollution on acute upper and lower respiratory infections in Australian children[J]. *Environ Pollut*, 2021, 268: 115698. doi:10.1016/j.envpol.2020.115698.
- [32] Fu Y, Zhang W, Li Y, et al. Association and interaction of O₃ and NO₂ with emergency room visits for respiratory diseases in Beijing, China: a time-series study[J]. *BMC Public Health*, 2022, 22(1): 2265. doi: 10.1186/s12889-022-14473-2.

(编辑:相峰)