

上海市儿童呼吸系统疾病空气质量健康指数的建立

张莉君^{1,2}, 许慧慧², 朱凤鸣³, 东春阳², 许东⁴, 沈先标⁵, 凌利民⁶, 许明佳⁷, 张标⁸,
陈健^{1,2}, 苏瑾²

1. 上海市疾病预防控制中心公共服务与健康安全评价所, 上海 200336
2. 上海市预防医学研究院, 上海 200336
3. 上海市健康医学院, 上海 201318
4. 上海市徐汇区疾病预防控制中心环境卫生科, 上海 200237
5. 上海市宝山区疾病预防控制中心环境卫生科, 上海 201901
6. 上海市虹口区疾病预防控制中心环境卫生科, 上海 200082
7. 上海市金山区疾病预防控制中心环境卫生科, 上海 201500
8. 上海市崇明区疾病预防控制中心环境卫生科, 上海 202150

摘要:

[背景] 空气质量健康指数(AQHI)将人群流行病学观察到的多个污染物健康效应指数化,能更好地反映空气污染与健康效应间广泛存在的线性无阈值关系。

[目的] 探索上海市儿童呼吸系统疾病 AQHI(AQHI_c)的建立方法并探讨其适用性。

[方法] 收集 2015—2019 年上海市徐汇、宝山、虹口、金山和崇明区 5 家综合医院儿科呼吸系统疾病日门诊人次,收集距离医院最近的 5 个空气质量监测点大气污染物(PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂和 O₃)监测资料、空气质量指数(AQI)和气象监测资料(温度、相对湿度、气压和风速),采用基于泊松分布的广义相加模型(GAM),分析大气污染与儿科呼吸系统疾病门诊人次之间的关联,依据 GAM 分析结果构建 AQHI_c。比较 AQHI_c、AQI 与徐汇、虹口和崇明区的 3 家医院儿科呼吸系统疾病门诊人次之间的关联性,评价 AQHI_c 的预测效果。

[结果] 大气污染物对儿科呼吸系统疾病门诊人次有不同程度的影响:PM_{2.5}、NO₂和 O₃ 效应在滞后当天(lag0)最显著,污染物质量浓度每升高 10 μg·m⁻³,超额就诊风险分别为 1.27%(95%CI: 0.88%~1.66%)、0.75%(95%CI: 0.40%~1.11%)和 3.61%(95%CI: 2.71%~4.51%);PM₁₀和 SO₂在滞后 3 d(lag3)效应最显著,污染物每升高 10 μg·m⁻³,超额就诊风险分别为 0.81%(95%CI: 0.51~1.12)和 5.64%(95%CI: 3.37%~7.96%)。除 PM₁₀+NO₂、SO₂+PM_{2.5}和 SO₂+NO₂外,其余污染物两两叠加,对健康影响均有意义(P<0.05)。依据单污染物和双污染物分析结果,选择 PM_{2.5}、NO₂、SO₂和 O₃ 建立 AQHI_c。比较结果显示,AQHI_c 每升高一个四分位数间距,儿童超额就诊风险高于 AQI 相应的指标值。

[结论] 上海市大气污染物对儿科呼吸系统疾病门诊人次有影响。依据儿童呼吸系统疾病就诊风险建立的 AQHI_c 能够较好地预测空气污染对儿童呼吸系统的健康影响。

关键词: 空气质量健康指数;空气污染;健康效应;呼吸系统疾病;日门诊人次

Construction of an air quality health index for pediatric respiratory diseases in Shanghai

ZHANG Lijun^{1,2}, XU Huihui², ZHU Fengming³, DONG Chunyang², XU Dong⁴, SHEN Xianbiao⁵, LING Limin⁶, XU Mingjia⁷, ZHANG Biao⁸, CHEN Jian^{1,2}, SU Jin² (1. Division of Public Health Service and Safety Assessment, Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China; 2. Shanghai Institutes of Preventive Medicine, Shanghai 200336, China; 3. Shanghai University of Medicine & Health Science, Shanghai 201318, China; 4. Environmental Health Department, Shanghai Xuhui District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200237, China; 5. Environmental Health Department, Shanghai Baoshan District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201901, China; 6. Environmental Health Department, Shanghai Hongkou District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200082, China; 7. Environmental Health Department, Shanghai Jinshan District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201500, China; 8. Environmental Health Department, Shanghai Chongming



DOI 10.11836/JEOM21417

基金项目

上海市科技创新行动计划-自然科学基金资助项目(19ZR1444300);国家空气污染对人体健康影响监测项目(无编号);国家环境保护新型污染物环境健康影响评价重点实验室项目(无编号)

作者简介

并列第一作者。
张莉君(1979—),女,硕士,主任医师;
E-mail: zhanglijun@scdc.sh.cn
许慧慧(1968—),女,硕士,主任医师;
E-mail: xuhuihui@scdc.sh.cn

通信作者

陈健, E-mail: chenjian_3@scdc.sh.cn
苏瑾, E-mail: sujin@scdc.sh.cn

伦理审批

已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2021-09-12
录用日期 2022-03-24

文章编号 2095-9982(2022)07-0730-07

中图分类号 R179

文献标志码 A

补充材料

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21417

引用

张莉君, 许慧慧, 朱凤鸣, 等. 上海市儿童呼吸系统疾病空气质量健康指数的建立 [J]. 环境与职业医学, 2022, 39(7): 730-736.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21417

Funding

This study was funded.

Correspondence to

CHEN Jian, E-mail: chenjian_3@scdc.sh.cn
SU Jin, E-mail: sujin@scdc.sh.cn

Ethics approval

Obtained
Competing interests None declared
Received 2021-09-12
Accepted 2022-03-24

Supplemental material

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21417

To cite

ZHANG Lijun, XU Huihui, ZHU Fengming, et al. Construction of an air quality health index for pediatric respiratory diseases in Shanghai [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(7): 730-736.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21417

District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 202150, China)

Abstract:

[Background] Air quality health index (AQHI) has been widely used to quantify the health effects of multiple pollutants observed in population-based epidemiological studies, and can better reflect the widespread linear non-threshold between air pollution and health effects.

[Objective] To explore an AQHI for pediatric respiratory diseases (AQHI_r) in Shanghai and evaluate its feasibility.

[Methods] The daily numbers of hospital outpatient visits for pediatric respiratory diseases from 2015 to 2019 were obtained from five general hospitals in Xuhui, Baoshan, Hongkou, Jinshan, and Chongming Districts of Shanghai. Monitoring data on air pollutants (PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, and O₃), air quality index (AQI), and meteorological variables (temperature, relative humidity, air pressure, and wind speed) were collected from five air quality monitoring sites nearest to selected hospitals. Time-series analysis using generalized additive model (GAM) was conducted to estimate the associations between respiratory-related pediatric outpatient visits and the concentrations of air pollutants. The sum of excess risk (ER) of hospital outpatient visits was used to construct AQHI_r. To assess the predictive power of AQHI_r, the associations of AQHI_r and AQI with the number of pediatric respiratory outpatient visits in three hospitals in Xuhui, Hongkou, and Chongming districts were compared.

[Results] Air pollutants had various effects on respiratory diseases outpatient visits. PM_{2.5}, NO₂, and O₃ had most significant impacts on lag0 day and the associated ERs of hospital outpatient visits for each 10 µg·m⁻³ increase in pollutant concentration were 1.27% (95%CI: 0.88%-1.66%), 0.75% (95%CI: 0.40%-1.11%), and 0.36% (95%CI: 0.10%-0.62%), respectively. PM₁₀ and SO₂ had most significant impacts on lag3 day and the associated ERs of hospital outpatient visits for each 10 µg·m⁻³ increase in pollutant concentration were 0.81% (95%CI: 0.51%-1.12%) and 5.64% (95%CI: 3.37%-7.96%), respectively. There were significant effects of combinations of two pollutants among PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, and O₃ except for PM₁₀+NO₂, SO₂+PM_{2.5}, and SO₂+NO₂ ($P < 0.05$). According to the results of single-pollutant and two-pollutant models, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, and O₃ were selected to construct AQHI_r. The comparison showed that for every interquartile range increase in AQHI_r, the ER for pediatric outpatient visits was higher than that for the value corresponding to AQI.

[Conclusion] Air pollutants in Shanghai have an impact on the number of pediatric respiratory outpatient visits. The AQHI_r based on and outpatient visits for pediatric respiratory diseases can be a sensitive index to predict the effects of air pollution on children's respiratory health.

Keywords: air quality health index; air pollution; health effect; respiratory disease; outpatient visit

空气污染是受到广泛关注的全球性公共卫生问题^[1-2]。我国因经济发展和城市化进程的加速,空气污染问题也受到政府和公众的广泛关注^[3-4]。儿童、老年人及患有呼吸系统或心血管系统疾病等的人群是大气污染的敏感人群^[5],常因空气污染出现多种直接或间接的不良健康效应^[6]。我国目前采用空气质量指数 (air quality index, AQI) 来预报和反映大气污染状况, AQI 以现行的空气质量标准限值为基础,采用分段线性函数将每日或某时的大气污染物转换为指数形式,并以指数分级来代表污染程度。AQI 以分指数最高的污染物水平反映空气质量,不能反映多个大气污染物对健康的联合影响^[7]。为了全面准确地了解和预测空气污染程度及其健康影响,2013 年加拿大 Stieb 等^[8]提出了空气质量健康指数 (air quality health index, AQHI) 指标。AQHI 将人群流行病学观察到的多个污染物健康效应指数化,能更好地反映空气污染与其健康效应间广泛存在的线性无阈值关系。

为探索和建立上海市儿童呼吸系统疾病 AQHI (AQHI_r),本研究收集上海市 5 家综合医院儿科呼吸系统疾病日门诊人次及大气污染物监测资料和气象

监测资料,采用广义相加模型 (generalized additive model, GAM) 分析大气污染对儿科呼吸系统疾病门诊人次数的影响,探索儿童呼吸系统疾病 AQHI (AQHI_r) 的构建方法,并与 AQI 比较预测效果。

1 材料与方法

1.1 资料来源

依据上海市城区、郊区地理位置特点,选取上海市徐汇、虹口、宝山、金山、崇明区的 5 家设独立儿科门诊的综合医院 (二级医院 2 家和三级医院 3 家,医院就诊患儿主要来自本地),通过医院信息系统获取医院 2015 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日儿科呼吸系统疾病日门诊人次。就诊疾病包括国际疾病分类第十版 (International Classification of Disease 10th Revision, ICD-10) 中的呼吸系统疾病和症状 J00—J99、R04—R07 和 R09.0—R09.3。从上海市生态环境局分别收集距离 5 家医院最近的 5 个空气质量监测点同期大气污染物监测日均质量浓度 (后称浓度),包括细颗粒物 (fine particulate matter with median aerodynamic diameter ≤ 2.5 µm, PM_{2.5})、可吸入颗粒物 (particulate

matter with median aerodynamic diameter $\leq 10\ \mu\text{m}$, PM_{10})、二氧化氮(nitrogen dioxide, NO_2)、二氧化硫(sulfur dioxide, SO_2)、臭氧(ozone, O_3)和全市 AQI 。从上海市气象局收集同期气象监测数据,指标包括日平均温度、相对湿度、气压和风速。本研究已获得上海市疾病预防控制中心伦理审查委员会批准(编号 2019-19)。

1.2 分析方法

1.2.1 描述性分析及关联性分析 就诊人次、大气污染物监测数据和气象指标监测数据采用均数($\bar{x}$)、标准差(s)、最小值(Min)、第 25 百分位数(P_{25})、中位数(M)、 P_{75} 、最大值(Max)描述。采用 Spearman 相关分析大气污染物与气象指标之间的相关性。

1.2.2 时间序列分析 儿科呼吸系统疾病就诊属于小概率事件,实际分布近似泊松分布。因此,本研究采用拟合泊松回归的时间序列半参数 GAM,研究空气污染对呼吸系统疾病日门诊人次数的影响,并按不同季节建立模型。基础模型为:

$$\lg E(Y_t) = \beta X_t + s(V_{\text{time}}, \nu) + s(V_{\text{temp}}, \nu) + s(V_{\text{hum}}, \nu) + s(V_{\text{ws}}, \nu) + s(V_{\text{bp}}, \nu) + V_{\text{dow}} + V_{\text{holiday}} + V_{\text{season}} + \alpha \quad (1)$$

(1) 式中: Y_t 为第 t 日 5 家医院儿科呼吸系统疾病就诊人次数的和, $E(Y_t)$ 为第 t 日呼吸系统疾病就诊人次数的期望值, β 为回归系数, X_t 为第 t 日大气污染物浓度, s 为平滑样条函数, ν 为自由度, V_{time} 为时间趋势, V_{temp} 为温度, V_{hum} 为湿度, V_{ws} 为风速, V_{bp} 为气压, V_{dow} 为星期几效应, V_{holiday} 为法定国假日效应, V_{season} 为季节效应, α 为截距。每日空气污染物浓度和气象指标结果为 5 个监测点逐日监测结果的平均值。

依据文献报道,大气污染对门诊人次数的影响主要关注当天(lag0)—滞后 3 d(lag3)^[9],因此在上述模型的基础上,依次将 lag0—lag3 的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 的日均浓度分别引入模型,确定污染物对呼吸系统疾病就诊人次数的影响。模型的建立由 R4.0.3 软件中的 mgcv 软件包完成,通过计算不同自由度下的滞后 30 阶的模型偏自相关系数绝对值之和及广义交叉验证(generalized cross validation, GCV)值分析模型敏感性^[10-11],本研究长期趋势自由度为 4·年⁻¹,温度、湿度、气压和风速的自由度分别为 6、3、3、3。根据 GAM 模型得到暴露-反应关系系数 β ,计算当大气污染物浓度改变 $10\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,儿童呼吸系统疾病日就诊人次数的相对危险度(relative risk, RR),同时计算其 95%置信区

间(95% confidence interval, 95%CI),计算公式分别为: $RR = \exp(\beta \cdot \rho)$, $95\%CI = \exp[(\beta \pm 1.96S_b) \cdot \rho]$, 式中 β 为暴露-反应系数, ρ 为污染物浓度, S_b 为标准误。

1.2.3 AQHI_r 的构建 以空气污染物的零浓度为基准,依据 β 计算空气污染物造成的呼吸系统疾病超额就诊风险。 $ER_{it} = 100 \times [\exp(\beta \cdot \rho_{it}) - 1]$ 。式中: ER_{it} 为污染物 i 在第 t 天所导致的呼吸系统疾病超额就诊风险, ρ_{it} 为污染物 i 在第 t 天的日均浓度。将不同空气污染物所导致的呼吸系统疾病超额就诊风险(ER_{it})相加,得到与空气质量相关的单日呼吸系统疾病超额就诊风险(ER_t)。将 ER_t 乘以 10 再除以研究期间最大的 ER_{it} ,得到范围为 0~10 的 ER_t ,即 AQHI。为方便计算和信息发布, AQHI 四舍五入取整数。计算方法见公式(2)。

$$I_{\text{AQHI}} = 10 \times \left(\sum_{i=1}^n ER_{it} \right) / ER_{it(\max)} \quad (2)$$

依据(2)式,计算获得的上海市儿童呼吸系统疾病 AQHI(AQHI_r),参考加拿大的分级标准^[8],设置 AQHI_r 指数等级和各风险等级下儿童可采取的活动提示。

1.2.4 AQHI_r、AQI 预测效果比较 为考察 AQHI_r 和 AQI 对上海市儿童呼吸系统疾病就诊人次数的预测效果,分析两种指数每增加一个四分位距时引发的超额就诊风险。以 2015—2019 年徐汇、虹口和崇明区的 3 家医院的门诊人次数为观察效应,将研究期间全年及冷(11—4 月)、暖(5—10 月)两季^[8]的 AQHI_r、AQI 数值分别纳入时间序列分析模型,以四分位距作为计量尺度,检验 AQHI_r 和 AQI 的预测能力。

2 结果

2.1 描述性统计

2015 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日上海市 5 家医院儿童呼吸系统疾病门诊人次及附近空气污染物、气象因素的描述性统计见表 1。研究期间共观察 1826 d,总门诊人次数为 1625 115,日均门诊人次数为 889.99; $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 和 O_3 的日平均浓度分别为 40.47、55.17、9.94、36.43、116.04 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;日平均气温、相对湿度、气压和风速分别为 17.36 $^{\circ}\text{C}$ 、76.33%、1 016.19 kPa 和 1.84 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

2.2 大气污染物及气象指标相关性分析

大气污染物与气象因素之间的相关性分析表明: PM_{10} 与 $\text{PM}_{2.5}$ 高度正相关,相关系数 $r=0.873(P<0.01)$;温度、相对湿度和风速与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2 呈负相关, O_3 与温度呈正相关(均 $P<0.01$)。见表 2。

表 1 2015—2019 年上海市 5 家医院儿童呼吸系统疾病门诊人次及附近空气污染物、气象因素的描述性统计 ($n=1\ 826$)

Table 1 Descriptive statistics of air pollutants, meteorological factors, and pediatric outpatient visits due to respiratory diseases in 5 hospitals from 2015 to 2019, Shanghai ($n=1\ 826$)

参数(Parameter)	均数($\bar{x}$)	标准差(S)	最小值(Min)	P_{25}	M	P_{75}	最大值(Max)
呼吸系统疾病门诊人次(Outpatient visits for respiratory diseases)	889.99	291.76	278.00	673.00	848.00	1 033.25	2 350.00
空气污染物浓度(Air pollutant concentrations) ^a /($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)							
PM _{2.5}	40.47	27.73	4.40	20.80	32.80	52.20	231.00
PM ₁₀	55.17	31.77	8.60	32.60	46.30	69.20	250.00
SO ₂	9.94	5.21	3.80	6.70	8.40	11.60	63.80
NO ₂	36.43	16.41	4.80	24.80	33.60	44.90	130.80
O ₃	116.04	46.45	8.80	84.90	106.80	138.10	327.60
气象因素(Meteorological factors)							
温度(Temperature)/°C	17.36	8.54	-5.82	9.83	18.24	24.15	34.10
相对湿度(Relative humidity)/%	76.33	11.60	30.20	69.00	77.40	85.00	99.18
气压(Atmospheric pressure)/kPa	1 016.19	9.06	989.49	1 008.48	1 016.18	1 023.22	1 039.58
风速(Wind speed)/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1.84	0.68	0.40	1.40	1.80	2.20	6.70

[注 (Note)]*: $n=1\ 825$ 。

表 2 2015—2019 年上海市 5 家医院附近监测点大气污染物与气象因素指标之间的相关性

Table 2 Correlations between air pollutants and meteorological factors in monitoring spots near 5 hospitals from 2015 to 2019, Shanghai

参数 Parameter	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	O ₃	温度 Temperature	相对湿度 Relative humidity	气压 Atmospheric pressure	风速 Wind speed
PM _{2.5}	1	0.873**	0.624**	0.689**	0.215**	-0.285**	-0.204**	0.180**	-0.342**
PM ₁₀		1	0.688**	0.649**	0.266**	-0.275**	-0.472**	0.240**	-0.250**
SO ₂			1	0.390**	0.065**	-0.343**	-0.475**	0.338**	-0.171**
NO ₂				1	-0.250	-0.445**	-0.162**	0.382**	-0.546**
O ₃					1	0.468**	-0.300**	-0.439**	-0.120**
温度(Temperature)						1	0.196**	-0.886**	0.005
相对湿度(Relative humidity)							1	-0.320**	-0.059*
气压(Atmospheric pressure)								1	-0.064**
风速(Wind speed)									1

[注 (Note)]*: $P<0.05$, **: $P<0.01$ 。

2.3 时间序列分析

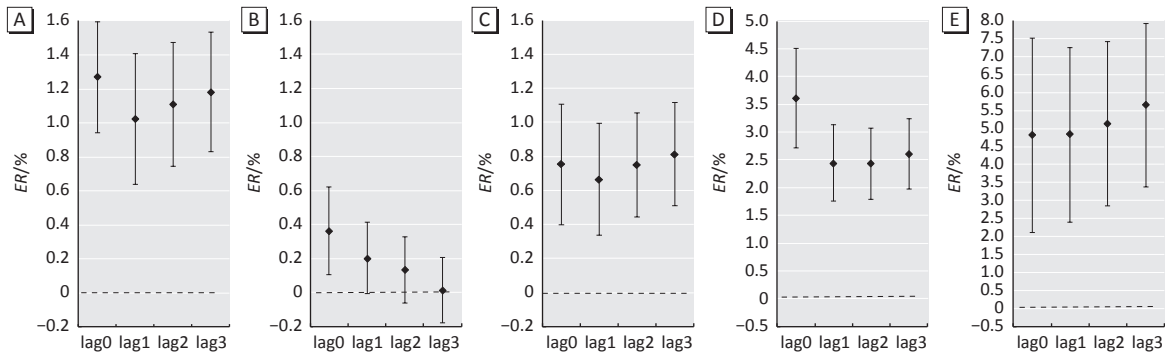
2.3.1 单污染物模型 研究结果显示,不同时间大气污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 和 O₃ 对儿童呼吸系统疾病门诊人次有不同程度的影响,见图 1。PM_{2.5}、NO₂ 和 O₃ 均在 lag0 时,对呼吸系统疾病日就诊人次影响最大,超额就诊风险分别为 1.27%(95%CI: 0.88%~1.66%)、3.61%(95%CI: 2.71%~4.51%)和 0.36%(95%CI: 0.10%~0.62%); PM₁₀ 和 SO₂ 在 lag3 时对呼吸系统疾病日就诊人次影响最大,超额就诊风险分别为 0.81%(95%CI: 0.51%~1.12%)和 5.64%(95%CI: 3.37%~7.96%),以上结果均有统计学意义($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

2.3.2 双污染物模型 为进一步分析大气污染物间的联合效应,选 lag0 开展双污染物模型分析,因 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 呈高度正相关($r=0.873$),双污染物模型中未纳入分析。模型分析结果显示,PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂ 和 O₃ 两两共存时,出现不同程度的健康效应,除 PM₁₀+NO₂、SO₂+PM_{2.5} 和 SO₂+NO₂ 时双污染物模型无意义,其他污染物两两叠加时,健康效应均有统计学意义($P<0.05$)。见图 2。

2.4 AQHI 构建

根据以上研究结果,选择最佳滞后日的暴露-反应回归关系 β 及当日污染物浓度 ρ 构建 AQHI _{ρ} 。尽管

PM₁₀ 的健康影响也较显著,但在本研究期间,PM_{2.5}/PM₁₀ 占比达 73.4%,若 AQHI 再纳入 PM₁₀ 会重复计入健康影响。结合文献,纳入单污染物模型中有意义且双污染物模型中效应显著的污染物,故选择 PM_{2.5}、NO₂、SO₂、O₃ 构建 AQHI_r, 运算式为: $I_{AQHI_r} = 10/135.45 \times 100 \times [\exp(0.001\ 260\ 7\rho_{PM_{2.5}}) - 1 + \exp(0.005\ 485\rho_{SO_2}) - 1 + \exp(0.003\ 545\ 7\rho_{NO_2}) - 1 + \exp(0.000\ 501\ 5\rho_{O_3}) - 1]$ 。上海市儿童呼吸系统疾病 AQHI_r 和上海市日 AQI 频数图见补充材料图 S1。参考加拿大和我国广州、天津的分级标准,设置 AQHI_r 各风险等级下儿童可采取的活动提示。见表 3。



[注(Notes)] A: PM_{2.5}; B: O₃; C: PM₁₀; D: NO₂; E: SO₂。
图 1 2015—2019 年上海市空气污染所致 5 家医院儿童呼吸系统疾病日就诊人次数的超额就诊风险
Figure 1 The excess risks of selected air pollutants on daily outpatient visits for pediatric respiratory diseases in 5 hospitals from 2015 to 2019, Shanghai

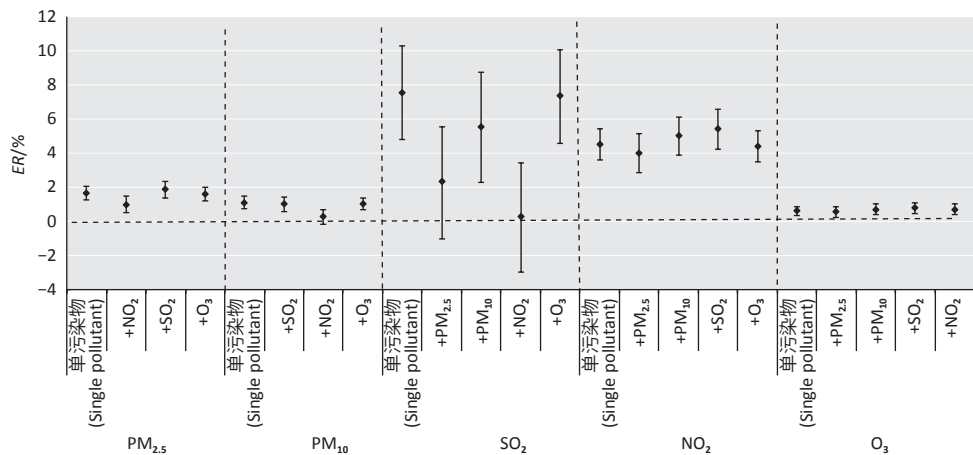


图 2 2015—2019 年上海大气污染所致儿童呼吸系统疾病日超额就诊风险的双污染物模型
Figure 2 Two-pollutant model of air pollutants on outpatient visits for pediatric respiratory diseases in 5 hospitals from 2015 to 2019, Shanghai

表 3 上海市儿童呼吸系统疾病 AQHI (AQHI_r) 分级及儿童健康活动提示

Table 3 AQHI for pediatric respiratory diseases (AQHI _r) levels and suggestions for children's activities		
AQHI _r	风险等级(Level of health risk)	儿童健康提示(Suggestions for children)
0~<3	低风险(Low health risk)	可正常参加户外活动(No action required)
3~<4	中风险(Moderate health risk)	减少室外活动(Reduce outdoor physical activities)
4~<6	对儿童健康不利(Unhealthy for children)	减少室外活动,如必须活动,应采取防护措施(Reduce outdoor physical activities as far as possible and acquire protective measures)
6~<9	高风险(High risk)	应关闭门窗,避免室外活动(Avoid outdoor activities and relocate to indoor facilities with doors and windows close)
9~10	极高风险(Serious risk)	应关闭门窗,停止室外活动(Stop outdoor activities and relocate to indoor facilities with doors and windows close)

2.5 AQHI_r、AQI 预测效果比较

AQHI_r 和 AQI 的预测效果比较结果显示: 不论是全年,还是冷季或暖季,AQHI_r 值每升高一个四分位数间距,儿童超额就诊风险高于 AQI 的相应指标值;但 AQHI_r 和 AQI 两个指数模型的 GCV 值与 R² 值非常接近。结果见表 4。

表 4 AQHI_r、AQI 对上海市儿科呼吸系统疾病超额就诊风险的预测比较

Table 4 Comparisons of the associations of AQHI_r and AQI with pediatric respiratory disease outpatient visits in Shanghai

指标(Variable)	AQHI _r			AQI		
	超额就诊风险ER(95%CI)/% Excess risk of respiratory outpatient visits (95%CI)/%	GCV	R ²	超额就诊风险ER(95%CI)/% Excess risk of respiratory outpatient visits (95%CI)/%	GCV	R ²
全年(Whole year)						
lag0	15.83(11.54~20.28)	14.876	0.666	4.62(3.30~5.94)	14.951	0.666
lag1	10.94(7.50~14.49)	15.009	0.664	3.40(2.22~4.58)	15.083	0.664
lag2	10.07(6.85~13.38)	14.972	0.665	2.86(1.74~3.98)	15.090	0.663
lag3	10.45(7.27~13.73)	14.293	0.666	2.59(1.49~3.70)	15.108	0.663
暖季(Warm period)						
lag0	6.04(4.02~8.10)	11.176	0.542	3.66(1.69~5.67)	11.454	0.534
lag1	3.26(1.65~4.89)	11.412	0.535	2.13(0.50~3.79)	11.536	0.531
lag2	1.57(0.11~3.05)	11.559	0.530	0.64(-0.84~2.16)	11.606	0.528
lag3	1.19(-0.24~2.63)	11.582	0.529	-0.62(-2.07~0.85)	11.599	0.529
冷季(Cold period)						
lag0	12.71(9.79~15.72)	35.941	0.283	11.63(8.95~14.37)	35.963	0.289
lag1	9.87(7.47~12.34)	36.205	0.281	9.81(7.42~12.25)	36.210	0.283
lag2	8.89(6.61~11.22)	36.127	0.284	8.89(6.56~11.26)	36.216	0.284
lag3	8.63(6.38~10.92)	35.833	0.291	8.60(6.31~10.94)	35.932	0.290

[注] GCV: 广义交叉验证; 暖季表示 5—10 月, 冷季代表 11 月—次年 4 月。

[Note] GCV: Generalized cross validation; Warm period is defined as May to October; Cold period is defined as November to April.

3 讨论

儿童的呼吸系统发育尚未完善^[12], 雾霾及低质量空气会增加儿童上呼吸道感染门诊就诊及初级卫生保健咨询的负担^[13], 大量研究发现大气污染物浓度升高与儿童呼吸系统疾病的门诊量明显关联^[14-15]。本研究显示, 大气污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 和 O₃ 与上海地区儿童呼吸系统疾病就诊人次明显相关, 所以呼吸系统疾病就诊人次是反映空气污染对儿童健康影响的敏感指标, 可以用于建立针对儿童呼吸系统疾病的 AQHI(AQHI_r)。本研究利用时间序列模型, 引入季节因素和法定国假日因素, 利用时间序列分析建立的污染物与就诊人次之间的暴露-反应关系, 建立了上海市儿童呼吸系统疾病 AQHI(AQHI_r), 并提出针对性的健康活动提示。

加拿大、瑞典等国都已构建了区域性 AQHI 模型^[8, 16]。我国香港、广州、上海、西安、北京、沈阳等城市均针对区域人口死亡率建立了 AQHI^[7, 9, 17-18], 但这些研究运用的健康指标都是人口死亡率, 且对象均为全人群。2019 年乔明利等^[19]报道儿童 AQHI 的建立方法。张敏等^[20]在建立天津市 AQHI 时, 将儿童呼吸系统疾病就诊率作为 AQHI 效果评估的一项内容。上海虽然有陈仁杰等^[7]报道了 AQHI 的建立, 但并非针对敏感人

群(尤其儿童)。AQHI 的分级和健康提示, 国内外学者结论有所不同。Stieb^[8]的分级办法为 4 级, 即低风险、中风险、高风险和极高风险。Li 等^[21]在建立广州地区 AQHI 时, 将 AQHI 分为 5 级, 即低风险、中风险、对敏感人群有害、高风险和极高风险。张敏等^[20]认为天津的空气污染较为严重, 将天津 AQHI 分为 4 级, 分别为低风险(0~3)、中度风险(4~6)、高风险(7~8)和极高风险(9~10+)。依据上海市环境生态保护局报道, 上海近年来空气质量持续好转, 2020 年空气质量达优比例为 87.2%, PM_{2.5} 的年均浓度降低至 32 μg·m⁻³^[22]。如果依照张敏等的分级, AQHI 在 4~6 跨度太大, 可能掩盖对儿童健康造成影响的污染区段。本研究中儿童 AQHI_r 的分级依然借鉴 Li 的办法分为 5 级, 并依据 AQHI_r 的等级不同, 提出了正常室外活动(0~<3)、减少室外活动(3~<4)、采取个人防护(4~<6)、避免室外活动(6~<9)和禁止室外活动(9~10)的健康提示。为了验证 AQHI_r 的适用性, 本研究将 AQHI_r 与 AQI 与部分区儿童门诊人次数的关联性进行比较, 结果显示 AQHI_r 在预测的呼吸系统疾病日就诊人次时, 超额就诊风险较 AQI 更高, 且 GCV 值和 R² 值与 AQI 的结果非常接近, 所以认为 AQHI_r 预测效果满意, 这一结论与以往 AQHI 的研究结果结论一致^[8-9, 20]。

由于本研究采用的数据为上海市5个环境监测点大气污染物浓度平均监测结果和部分医院的日就诊人次,未对年龄、性别等个体因素进行全面分析,所以可能存在研究结果不全面和样本量不足等问题。在今后的研究中,有必要纳入更多的人群数据和更大范围的污染物数据,开展更全面的研究。但本研究提出的AQHI,建立思路,对上海市建立和推行儿童等敏感人群的AQHI提供了参考。该指数的建立和应用,能为及时应对因空气污染引发的儿科门急诊量激增提供预警,从而促进城市医疗资源的合理配置;也可以帮助政府建立空气污染健康风险早期预警体系,降低因空气污染而产生疾病负担,并可指导儿童及其家长做好个人防护,防范大气污染的健康威胁。

参考文献

- [1] SANTIBÁÑEZ-ANDRADE M, CHIRINO YI, GONZÁLEZ-RAMÍREZ I, et al. Deciphering the code between air pollution and disease: the effect of particulate matter on cancer hallmarks[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(1): 136.
- [2] SCHRAUFNAGEL DE, BALMES JR, COWL CT, et al. Air pollution and noncommunicable diseases: a review by the forum of international respiratory societies' environmental committee, part 2: air pollution and organ systems[J]. *Chest*, 2019, 155(2): 417-426.
- [3] NIU Y, CHEN R, KAN H. Air pollution, disease burden, and health economic loss in China[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2017, 1017: 233-242.
- [4] DONG D, XU X, XU W, et al. The relationship between the actual level of air pollution and residents' concern about air pollution: evidence from Shanghai, China[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(23): 4784.
- [5] BENTAYEB M, SIMONI M, BAIZ N, et al. Adverse respiratory effects of outdoor air pollution in the elderly[J]. *Int J Tuberc Lung Dis*, 2012, 16(9): 1149-1161.
- [6] POPE III CA, BURNETT RT, THUN MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. *JAMA*, 2002, 287(9): 1132-1141.
- [7] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 上海市空气质量健康指数的构建及其应用[J]. *中华预防医学杂志*, 2012, 46(5): 443-446.
CHEN RJ, CHEN BH, KAN HD. The establishment and application of Shanghai air quality health index[J]. *Chin J Prev Med*, 2012, 46(5): 443-446.
- [8] STIEB DM, BURNETT RT, SMITH-DOIRON M, et al. A new multipollutant, no-threshold air quality health index based on short-term associations observed in daily time-series analyses[J]. *J Air Waste Manag Assoc*, 2008, 58(3): 435-450.
- [9] DU X, CHEN R, MENG X, et al. The establishment of national air quality health index in China[J]. *Environ Int*, 2020, 138: 105594.
- [10] MA Y, ZHANG H, ZHAO Y, et al. Short-term effects of air pollution on daily hospital admissions for cardiovascular diseases in western China[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2017, 24(16): 14071-14079.
- [11] PENG RD, DOMINICI F, LOUIS TA. Model choice in time series studies of air pollution and mortality[J]. *J R Stat Soc Ser A (Stat Soc)*, 2006, 169(2): 179-203.
- [12] ZHANG Z, CHAI P, WANG J, et al. Association of particulate matter air pollution and hospital visits for respiratory diseases: a time-series study from China[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2019, 26(12): 12280-12287.
- [13] ZHU L, GE X, CHEN Y, et al. Short-term effects of ambient air pollution and childhood lower respiratory diseases[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 4414.
- [14] DALY I. Canada's air quality health index (AQHI)[EB/OL]. [2021-09-01]. <https://cdc.confex.com/cdc/nphic13/webprogram/Paper32929.html>.
- [15] TOMÁŠKOVÁ H, TOMÁŠEK I, ŠLACHTOVÁ H, et al. PM10 air pollution and acute hospital admissions for cardiovascular and respiratory causes in Ostrava[J]. *Cent Eur J Public Health*, 2016, 24 Suppl: S33-S39.
- [16] OLSTRUP H, JOHANSSON C, FORSBERG B, et al. Multi-pollutant air quality health index (AQHI) based on short-term respiratory effects in Stockholm, Sweden[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(1): 105.
- [17] TAM WW S, WONG TW, NG L, et al. Association between air pollution and general outpatient clinic consultations for upper respiratory tract infections in Hong Kong[J]. *PLoS One*, 2014, 9(1): e86913.
- [18] 王文韬, 孙庆华, 覃健, 等. 中国5个城市2013-2015年空气质量健康指数模拟研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2017, 38(3): 314-319.
WANG WT, SUN QH, QIN J, et al. Simulation study of air quality health index in 5 cities in China: 2013-2015[J]. *Chin J Epidemiol*, 2017, 38(3): 314-319.
- [19] 乔明利, 顾天毅, 王砚, 等. 兰州市呼吸系统疾病空气质量健康指数构建[J]. *环境与健康杂志*, 2018, 35(2): 99-103.
QIAO ML, GU TY, WANG Y, et al. Construction of respiratory disease-related air quality health index in Lanzhou[J]. *J Environ Health*, 2018, 35(2): 99-103.
- [20] 张敏, 崔振雷, 高润祥, 等. 天津市空气质量健康指数(AQHI)的建立及应用[J]. *生态环境学报*, 2019, 28(10): 2027-2034.
ZHANG M, CUI ZL, GAO RX, et al. The establishment and application of air quality health index (AQHI) in Tianjin[J]. *Ecol Environ Sci*, 2019, 28(10): 2027-2034.
- [21] LI X, XIAO J, LIN H, et al. The construction and validity analysis of AQHI based on mortality risk: a case study in Guangzhou, China[J]. *Environ Pollut*, 2017, 220: 487-494.
- [22] 上海市生态环境局. 2020上海市生态环境状况公报[EB/OL]. (2021-06-07)[2021-09-01]. <https://sthj.sh.gov.cn/hbzhwypt1143/hbzhwypt1144/20210607/7550cad81da8424eadb07a2c96c1208c.html>.
Shanghai Municipal Bureau of Ecology and Environment. Environmental bulletin, 2020[EB/OL]. (2021-06-07) [2021-09-01]. <https://sthj.sh.gov.cn/hbzhwypt1143/hbzhwypt1144/20210607/7550cad81da8424eadb07a2c96c1208c.html>.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 王晓宇)