

## 【论著】

# 广州市某区医院呼吸系统疾病门诊人数 与大气污染关系的时间序列研究

马关培<sup>1</sup>, 邹宝兰<sup>2</sup>, 许振成<sup>3</sup>, 吕嘉春<sup>1</sup>

1. 广州医学院公共卫生学院 呼吸疾病国家重点实验室, 广东 广州 510182 2. 广州市妇女儿童医疗中心;  
3. 国家环境保护部华南环境研究所

**摘要:**目的 分析大气污染急性暴露对医院每日门诊人数的影响。方法 采用时间序列的半参数广义相加模型, 在控制门诊人数的长期趋势、气象因素、星期几效应等混杂因素的基础上, 分析广州市某区 2009 年 1 月 1 日—2011 年 12 月 31 日大气污染与医院每日门诊人数的关系。结果 大气污染物 PM<sub>10</sub>-2.5、PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 日平均浓度每增加 10 μg/m<sup>3</sup>, 医院呼吸系统疾病日门诊量的相对危险度分别为 1.002 5(95% CI 0.998 9~1.018 2), 1.003 5(95% CI 1.001 2~1.016 4), 1.002 4(95% CI 1.001 6~1.005 6) 和 1.002 8(95% CI 0.977 8~1.007 8)。结论 广州市某区 PM<sub>2.5</sub> 和 NO<sub>2</sub> 日均浓度的短期升高可能会导致医院每日门诊人数的增加。

**关键词:** 大气污染; 门诊人数; 时间序列; 广义相加模型

中图分类号: R122.2 文献标志码: A 文章编号: 1001-5914(2012)06-0526-03

**Association of Respiratory Diseases Outpatient Visits and Air Pollution in a District, Guangzhou: a Time-series Study** MA Guan-pei, ZOU Bao-lan, XU Zhen-cheng, et al. *The State Key Lab of Respiratory Disease, Department of Epidemiology, School of Public Health, Guangzhou Medical University, Guangzhou, Guangdong 510182, China*

**Corresponding author:** LU Jia-chun, E-mail: jiachunlu@163.com

**Abstract Objective** To assess the association between air pollution and daily outpatient visits of respiratory diseases. **Methods** All records of the daily outpatient visits in one urban district of Guangzhou from January 1, 2009 to December 31, 2011 were collected. A time series approach was used to study the acute effects of air pollution on outpatient visits after controlling for long-term trends, weather variables, and day of the week. **Results** An increase of 10 μg/m<sup>3</sup> of PM<sub>10</sub>-2.5, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> corresponded to 1.002 5 (95% CI: 0.998 9~1.018 2), 1.003 5 (95% CI: 1.001 2~1.016 4), 1.002 4(95% CI: 1.001 6~1.005 6) and 1.002 8 (95% CI: 0.977 8~1.007 8) relative risk of respiratory hospital acute outpatient visits, respectively in Guangzhou. **Conclusion** The increase of the average levels of PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> in ambient air may induce the increase of daily outpatient visits in this urban district of Guangzhou.

**Key words:** Air pollution; Outpatient visits; Time-series; Generalized additive models

国内外相关研究表明, 大气污染会降低人体肺功能, 同时与慢性呼吸系统疾病的发生率有关<sup>[1-5]</sup>。以往国内相关研究侧重于常规监测污染物如 PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub>, 而本研究增加了对 PM<sub>2.5</sub> 的报道。时间序列分析已经被广泛应用于评价大气污染的短期健康效应研究。本研究运用时间序列分析方法, 分析 2009—2011 年广州市某区医院呼吸系统日门诊量和大气污染的相关关系, 评估大气污染与健康效应的剂量效应关系。

## 1 材料与方法

**1.1 资料来源** 收集广州市某区 2009 年 1 月 1 日—2011 年 12 月 31 日医院门诊人数 (数据来自广州市疾病预防控制中心), 筛选出确诊 ICD-10 编码为 J00-J99 的呼吸系统疾病患者; 同期的气象资料来自广州市中心气象台, 包括气温、相对湿度、露点、能见度的日平均值; 同期的大气污染资料来自广州市环境监测中心, 包括 PM<sub>10</sub>-2.5、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 等污染物, 按照换算标准将空气污染指数 (API) 转换为浓度。

**1.2 数据预处理** 为保持数据的连续性和充分利用所有的数据, 本研究使用线性内插法补缺失值。

**1.3 统计学方法** 医院每日门诊人数对居民总体来说是大概率事件, 其统计学分布近似于泊松分布。本次研究中, 在控制日门诊量的长期趋势、季节趋势、星期几效应、假期效应、气象因素等混杂因素的前提下, 采用时间序列数据的泊松回归模型<sup>[6]</sup>, 以 PM<sub>10</sub>-2.5、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 作为直线变量引入模型, 分别观察其对居民日门诊量的影响。

基于对数线性模型的半参数广义相加模型 (semi-parametric general additive model, GAM) 见公式 (1):

$$\text{Log } E(Y_t) = \beta X_t + w_t(\text{week}/\text{vocation}) + \eta_s(\text{time}, df) + \eta_n(\text{temperature}/\text{humidity}, df) + \alpha \quad (1)$$

式中:  $E(Y_t)$ —观察日  $t$  的当天门诊人数的期望值;  $X_t$ —对应变量产生线性影响的解释变量, 大气污染物浓度等;  $\beta$ —回归系数;  $\eta_s()$ —自然立方样条函数, 对应变量发生非线性影响的变量, 包括时间、气温、气湿;  $df$  为其自由度;  $w_t(\text{week}/\text{vocation})$  为星期、假期哑元变量, 处理星期几及假

基金项目: 教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队项目 (IRT0961); 广东省自然科学基金团队项目 (10351012003000000); 中国环境保护部专项基金 (200709004、200809011)

作者简介: 马关培 (1984-) 男, 硕士研究生, 从事环境流行病学研究。

通讯作者: 吕嘉春, E-mail: jiachunlu@163.com

期效应问题。

考虑到大气污染水平、气象因素对医院门诊人数的滞后效应,对不同模型的拟合优度检验,采用惩罚样条结合广义交叉确认值(generalized cross validation, GCV)进行判断。选取 7 个滞留日以内的天数作为标准,为避免共线性的问题,本研究首先通过逐步回归法的结果进行初步筛选,将筛选出的滞留日污染物指标纳入 GAM 进一步分析。

为了检验模型的稳定性,最多一次在模型中同时引进 4 个大气污染物变量进行拟合,并比较单污染物模型和双污染物模型分析结果的差异。

本研究采用 R2.10.1 软件的 MGCV 数据包进行统计分析。

2 结果

2.1 日门诊量、大气污染浓度和气象因素各指标的分布情况 在 2009 年 1 月 1 日至 2011 年 12 月 31 日期间,广州市某区呼吸系统疾病的日门诊量平均为 559 例。该区同期大气污染物浓度和气象指标的频率分布见表 1。

表 1 2009—2011 年广州市某区呼吸系统疾病日门诊量和大气污染物日均浓度、气象因素的分布情况

变量	$\bar{x}$	s	最小值	$P_{25}$	M	$P_{75}$	最大值
呼吸系统日门诊量(例)	559	163	104	454	552	673	1 157
大气污染指标							
PM10-2.5( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	60.9	24.0	3	41	59	84	215
PM2.5( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	72.0	32.1	11	43	66	86	242
NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	69.0	38.4	14	43	57	78	205
SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	41.1	19.2	3	24	41	62	141
气象指标							
气温( $^{\circ}\text{C}$ )	25	5	7	21	27	31	36
相对湿度(%)	68	12	17	61	65	75	94
能见度(km)	8	3	1.2	6.3	7.1	9.4	25.1

2.2 各污染物与气象指标的相关性分析 表 2 为研究期间各大气污染物之间每日浓度的相关性分析。结果显示 PM10-2.5、PM2.5、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 之间存在明显的正相关,而大气污染物与气象指标之间呈较弱的负相关。

表 2 广州市某区每日大气污染物浓度和气象因素的相关系数

变量	PM2.5	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	气温	相对湿度
PM10-2.5	0.736 8 <sup>a</sup>	0.721 5 <sup>a</sup>	0.397 5 <sup>a</sup>	-0.045 2	-0.433 3 <sup>a</sup>
PM2.5		0.714 3 <sup>a</sup>	0.246 9 <sup>a</sup>	-0.231 5 <sup>a</sup>	-0.346 5 <sup>a</sup>
NO <sub>2</sub>			0.164 5 <sup>a</sup>	-0.442 0 <sup>a</sup>	-0.213 2 <sup>a</sup>
SO <sub>2</sub>				0.456 2 <sup>a</sup>	-0.133 5 <sup>a</sup>
气温					-0.414 7 <sup>a</sup>

注:<sup>a</sup> $P<0.01$ 。

2.3 大气污染的延迟效应与呼吸系统疾病日门诊量的剂量-效应关系 见图 1~图 4。

图 1~4 将大气污染延迟效应项(滞留日效应)作为分析指标,将当日(L0)、1 d 前(L1)、2 d 前(L2)、3 d 前(L3)、4 d 前(L4)、5 d 前(L5)、6 d 前(L6)的大气污染浓度逐一引入模型,根据 GCV 值选择最优模型分析暴露反应关系。结果发现,以 3 d 前(L3)大气污染延迟为最优模型,而有意义的污染物主要是 PM2.5 和 NO<sub>2</sub>。

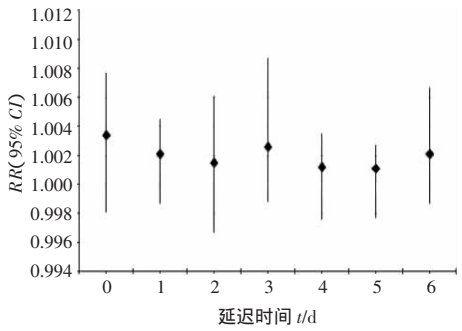


图 1 广州市某区大气 PM10-2.5 浓度每增加 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  时呼吸系统疾病门诊人数的 RR 及 95%CI

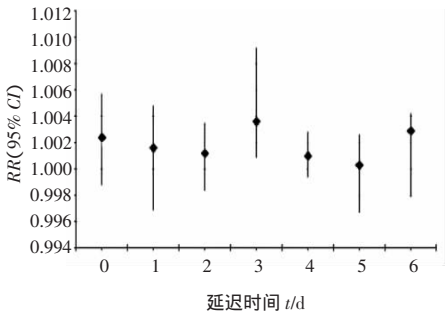


图 2 广州市某区大气 PM2.5 浓度每增加 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  时呼吸系统疾病门诊人数的 RR 及 95%CI

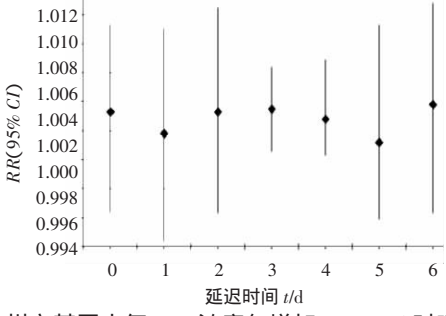


图 3 广州市某区大气 NO<sub>2</sub> 浓度每增加 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  时呼吸系统疾病门诊人数的 RR 及 95%CI

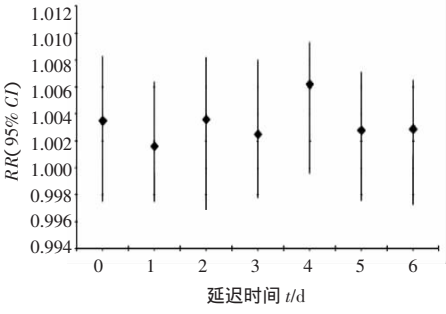


图 4 广州市某区大气 SO<sub>2</sub> 浓度每增加 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  时呼吸系统疾病门诊人数的 RR 及 95%CI

2.4 回归模型拟合结果 表 3 为单污染物和双污染物模型下回归分析的结果。结果显示,大气 PM10-2.5、PM2.5、NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 的 24 h 平均浓度每增加 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,广州市某区居民呼吸系统疾病门诊人数的相对危险度分别为 1.002 5(95%CI 0.998 9~1.018 2), 1.003 5(95%CI 1.001 2~1.016 4), 1.002 4(95%CI 1.001 6~1.005 6) 和 1.002 8(95%CI 0.977 8~1.007 8)。由此可见,大气 PM2.5 和 NO<sub>2</sub> 浓度增加与居民呼吸系统疾病门诊人数风险有关( $P<$

0.05)  $\text{PM}_{10-2.5}$  和  $\text{SO}_2$  与呼吸系统疾病门诊人数的关系无统计学意义。在双污染物模型中,其他污染物变量的引入则会降低各污染物对门诊人数发生的危险性。

表 3 广州市某区大气污染物浓度每增加  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  时呼吸系统疾病门诊人数的单污染物和双污染物模型的  $RR$  及  $95\%CI$

污染物	模型	$RR$	$95\%CI$
$\text{PM}_{10-2.5}$		1.002 5	0.998 9~1.018 2
	调整 $\text{PM}_{2.5}$	1.001 3	0.997 9~1.005 9
	调整 $\text{NO}_2$	1.001 9	0.987 7~1.007 8
	调整 $\text{SO}_2$	1.002 2	0.998 1~1.027 6
$\text{PM}_{2.5}$		1.003 5	1.001 2~1.016 4
	调整 $\text{PM}_{10-2.5}$	1.001 8	1.000 5~1.010 7
	调整 $\text{NO}_2$	1.000 6	1.000 2~1.004 5
	调整 $\text{SO}_2$	1.001 2	0.999 6~1.007 8
$\text{NO}_2$		1.002 4	1.001 6~1.005 6
	调整 $\text{PM}_{10-2.5}$	1.002 2	1.000 7~1.006 7
	调整 $\text{PM}_{2.5}$	1.001 7	1.000 4~1.005 9
	调整 $\text{SO}_2$	1.001 4	0.979 8~1.005 6
$\text{SO}_2$		1.002 8	0.977 8~1.007 8
	调整 $\text{PM}_{10-2.5}$	1.002 2	0.986 9~1.006 7
	调整 $\text{PM}_{2.5}$	1.001 9	0.998 4~1.006 7
	调整 $\text{NO}_2$	1.002 6	0.997 3~1.011 2

注:采用滞后 3 d(Lag3)的模型对单污染物和双污染物模型进行拟合。

### 3 讨论

本研究结果表明,广州市某区大气污染物  $\text{PM}_{10-2.5}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  日平均浓度每增加  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,医院呼吸系统疾病日门诊量的相对危险度分别为 1.002 5 ( $95\%CI$  0.998 9~1.018 2),1.003 5( $95\%CI$  1.001 2~1.016 4),1.002 4( $95\%CI$  1.001 6~1.005 6)和 1.002 8 ( $95\%CI$  0.977 8~1.007 8)。说明该区目前的大气  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{NO}_2$  污染与医院呼吸系统疾病门诊人数的发生呈有统计学意义的正效应关系。亦与国外报道的大气污染与呼吸系统疾病门诊人数关系的研究相一致<sup>[7]</sup>。由于不同污染物之间存在较强的共线性,即污染物浓度相关程度较高(表 2),要具体区分某个污染物的效应相对困难。

目前,国内在进行有关大气污染与医院门、急诊关系的研究时,大多以  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  的浓度作为人群的暴露指标;而国外报告显示, $\text{PM}_{2.5}$  对呼吸系统疾病的急性暴露比  $\text{PM}_{10}$  更具有参考价值,所以本研究中仅引入  $\text{PM}_{10-2.5}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  这两种污染物颗粒指标。本研究发现,当  $\text{PM}_{10-2.5}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  同时带入模型进行拟合时, $\text{PM}_{10-2.5}$  浓度增加与居民呼吸系统疾病门诊人数风险无统计学意义,而  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的增加则有统计学意义( $P<0.05$ )。

本研究通过拟合 GAM+自回归 AR(P)模型校正自相关的问题,并在模型中控制多种可能混杂因素的影响,较为客观地分析了大气污染水平与医院呼吸系统疾病门诊人数的关系。但本研究亦有欠缺之处:没有控制流感发病率对门诊人次的影响;是否降雨、风力大小等气象因素都有可能影响居民的就诊行为,但这些因素对门诊人次的影响相对较低;没有进行多污染物模型的拟合,主要是为了避免多重共线性问题的发生<sup>[8]</sup>;以室外空气污染物的浓度作为人群的暴露指标,存在一定的不合理性,因为人类每日的活动范围不仅在室外,还包括各种室内环境。上述问题有待今后进一步研究。

### 参考文献:

- [1]刘美娟,董光辉,潘国伟,等.鞍山市大气污染对儿童呼吸系统健康的影响[J].环境与健康杂志,2006,23(3):198-201.
- [2]周庆功,刘伟.城市大气污染对交通警察呼吸功能的影响[J].环境与健康杂志,2007,24(12):996-997.
- [3]郭新彪.机动车尾气污染的健康影响——亟待解决的重要公共卫生问题[J].环境与健康杂志,2009,26(9):753-754.
- [4]Götschi T, Heinrich J, Sunyer J. Long-term effects of ambient air pollution on lung function: a review[J]. Epidemiology, 2008, 19: 690-701.
- [5]D'Amato G, Liccardi G, D'Amato M, et al. Outdoor air pollution, climatic changes and allergic bronchial asthma [J]. Eur Respir J, 2002, 20: 763-776.
- [6]Dominici F, McDermott A, Zeger SL, et al. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health [J]. Am J Epidemiol, 2002, 156: 193-203.
- [7]Hong YC, Lee JT, Kim H, et al. Effects of air pollutants on acute stroke mortality[J]. Environ Health Perspect, 2002, 110: 187-191.
- [8]Peters A, Döring A, Wichmann HE, et al. Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality [J]. Lancet, 1997, 349: 1582-1587.

(收稿日期 2012-03-23 修回日期 2012-05-09)

(本文编辑:黄丽媛)

## 本刊关于论文采用不同文种进行再次发表的规定

参考国际医学期刊编辑委员会制订的《向生物医学期刊投稿的统一要求》,并结合我国的实际情况,本刊允许并接受同一研究的高质量 SCI 收录期刊英文论文用中文在本刊再次发表。首先,再次发表的论文必须完全忠实首次发表的原文,内容及作者的顺序不能改动;其次,作者须征得首次发表论文期刊的同意,向本刊提供中文稿(论文文题页脚注中注明首次发表的刊名、年、卷、起止页码)的同时,须附首次发表该论文期刊提供的再次发表同意书、首次发表论文的全文复印件;第三,为尊重首次发表期刊的权益,再次发表的投稿应在首次发表(正式发表,不包括网上提前发表)1 周之后。

本刊编辑部