

深圳市空气 PM<sub>2.5</sub> 与心脑血管疾病死亡的广义相加模型分析

## Time-series analysis of air pollution and cardiovascular mortality in Shenzhen

刘晓剑<sup>1</sup>, 吴永胜<sup>1</sup>, 付英斌<sup>1</sup>, 张凤英<sup>2</sup>LIU Xiao-jian<sup>1</sup>, WU Yong-sheng<sup>1</sup>, FU Ying-bin<sup>1</sup>, ZHANG Feng-ying<sup>2</sup>

**【摘要】** 目的 探讨深圳市空气 PM<sub>2.5</sub> 对于心脑血管疾病死亡的短期影响。方法 收集深圳市居民心脑血管疾病死亡资料及同期大气污染物浓度、气象资料,采用半参数广义相加模型,控制气象因素、长期趋势、短期趋势等因素的基础上,分析深圳市 2014 年空气污染物与心脑血管疾病死亡之间的关系。结果 空气 PM<sub>2.5</sub> 滞后 7 d、PM<sub>10</sub> 滞后 5 d 和 SO<sub>2</sub> 滞后 5 d 分别对心脑血管疾病死亡的影响最强,日均浓度每上升 10 μg/m<sup>3</sup>,可分别导致深圳市居民心脑血管疾病死亡风险增加 0.27% (95% CI: 0.06 ~ 0.48)、0.18% (95% CI: 0.04 ~ 0.32) 和 1.00% (95% CI: 0.19 ~ 1.81)。当两种或两种以上污染物引入模型后,污染物对心脑血管疾病死亡的影响差异均无统计学意义 (均有  $P > 0.05$ )。结论 深圳市空气 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 和 SO<sub>2</sub> 对居民心脑血管疾病存在急性影响,会增加死亡风险。

**【关键词】** 空气污染; 心血管疾病; 流行病学研究

**【中图分类号】** R122.7

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1674-3679(2016)02-0207-03

DOI: 10.16462/j.cnki.zhjbkz.2016.02.026

大量的流行病学研究证明,大气颗粒物尤其是 PM<sub>2.5</sub> 与心脑血管疾病密切相关<sup>[1-3]</sup>。心脑血管疾病已成为深圳市居民死因的第一位,已成为严重的公共卫生问题,迫切需要引起广泛关注。但由于 PM<sub>2.5</sub> 在 2013 年才纳入我国的环境监测体系,国内关于 PM<sub>2.5</sub> 对心脑血管疾病死亡影响的研究较少,因此迫切需要评估 PM<sub>2.5</sub> 与心脑血管疾病死亡的关系。本研究对深圳市 2014 年的空气 PM<sub>2.5</sub> 与心脑血管疾病死亡关系进行分析,定量评价空气颗粒物对居民心脑血管疾病死亡的急性影响,同时为制定有效的环境保护措施和保护易感人群提供参考依据。

## 1 材料与方法

**1.1 材料来源** 居民心脑血管疾病死亡数据:收集深圳市 2014 年 1 月 1 日~2014 年 12 月 31 日居民心脑血管疾病死亡数据,根据国际疾病分类 ICD-10,心脑血管疾病编码为 I00-I99,包括心脏病、脑血管病、高血压等疾病。大气污染物数据:收集深圳市 2014 年 1 月 1 日~2015 年 1 月 31 日的大气污染物数据,以各监测点日均浓度值的均数作为各污染物浓度,污染物浓度指标有:PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 和 CO。气象数据:收集深圳市 2014 年 1 月 1

日~2015 年 1 月 31 日的气象数据,指标主要有日均气温、相对湿度、气压和风速。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 描述性分析和相关分析** 大气污染物数据和气象数据进行描述性分析和 Person 相关分析。

**1.2.2 广义相加模型** 居民每日心脑血管疾病死亡,相对于总人口来说是小概率事件,其实际分布近似 Poisson 分布。本研究采用半参数的广义相加泊松回归模型,该模型是传统广义线性模型的拓展,目前已经得到广泛应用<sup>[4]</sup>,公式如下:

$$\log(\mu_i) = \beta X_i + \text{month} + \text{week} + s(\text{时间}, df) + s(\text{温度}, df) + s(\text{相对湿度}, df) + s(\text{气压}, df) + s(\text{风速}, df) + a$$

式中:  $\mu_i$  为第  $i$  日心脑血管疾病死亡数的预测值;  $\beta$  为回归系数,即大气污染物浓度每增加 10 μg 引起的心脑血管疾病死亡增加量;  $X_i$  为第  $i$  日大气污染物浓度; month 和 week 分别为月和星期哑变量;  $s$  代表样条平滑函数;  $a$  为残差。

**1.3 统计分析** 采用 SPSS 20.0 进行描述性分析和相关分析。广义相加模型采用 SAS 9.2 的 procgam 语句进行建模,由广义交叉检验 (generalized cross validation, GCV) 来确定光滑参数的值。检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

**2.1 描述性分析** 2014 年全市常住居民死亡 7 212 人,死亡率为 6.7/万,心脑血管疾病死亡均数为 13

**【基金项目】** 国家自然科学基金(41401101)

**【作者单位】** <sup>1</sup> 深圳市疾病预防控制中心信息科,广东 深圳 518055

<sup>2</sup> 中国环境监测总站,北京 100012

**【作者简介】** 刘晓剑(1981-),男,山西运城人,主管医师,硕士。主要研究方向:死因监测和伤害预防。

例/日,标准差为 4,  $P_{25}$ 、 $P_{50}$ 、 $P_{75}$  分别为 10、12、15 例/日。2014 年深圳市全年日均大气 PM10 浓度为  $55.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 全年日均大气 PM2.5 浓度为  $34.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 全年日均大气  $\text{NO}_2$  浓度为  $42.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 均符合国家二级标准; 全年日均大气  $\text{SO}_2$  浓度为  $9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 符合国家一级标准; 全年日均大气  $\text{O}_3$  为  $59.5 \text{mg}/\text{m}^3$ 、CO 浓度为  $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。2014 年深圳市日均气温为  $23.3^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 73.0%、日均气压为 1.006 kPa、日均风速为 2.1 m/s, 见表 1。

表 1 2014 年深圳市心血管疾病死亡人数、大气污染物浓度和气象资料分布

Table 1 The distribution of cardiovascular mortality, air pollutant and meteorological in Shenzhen City in 2014

指标	$\bar{x} \pm s$	$P_{25}$	$P_{50}$	$P_{75}$	范围
心脑血管疾病死亡数	$13.0 \pm 4.0$	10.0	12.0	15.0	4.0~30.0
PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$55.6 \pm 28.2$	32.0	49.0	73.0	12.0~169.0
PM2.5( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$34.5 \pm 20.2$	16.5	31.0	48.0	7.0~107.0
$\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$9.9 \pm 4.1$	7.0	9.0	11.0	4.0~31.0
$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$42.2 \pm 16.1$	31.0	39.0	50.0	15.0~130.0
CO( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$1.1 \pm 0.2$	0.9	1.1	1.3	0.6~1.8
$\text{O}_3$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	$59.5 \pm 20.4$	44.0	54.0	73.0	26.0~131.0
日均气温( $^\circ\text{C}$ )	$23.3 \pm 5.9$	18.9	24.6	28.7	6.0~31.0
日均相对湿度(%)	$73.0 \pm 12.7$	66.5	76.0	82.0	19.0~96.0
日均气压(kPa)	$1.006 \pm 0.006$	1.000	1.006	1.011	0.992~1.020
日均风速(m/s)	$2.1 \pm 0.7$	1.6	2.0	2.6	0.5~4.6

2.2 相关性分析 大气污染物 Person 相关分析显示,除  $\text{NO}_2$ 、CO 与  $\text{O}_3$  之间没有相关关系,PM10、PM2.5、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、CO、 $\text{O}_3$  两两之间均呈正相关关系(均有  $P < 0.05$ )。PM10、PM2.5、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、CO 分别与气温、相对湿度两两之间均存在负相关关系(均有  $P < 0.05$ ),与气压均呈正相关关系(均有  $P < 0.05$ ),而仅有  $\text{NO}_2$  ( $P < 0.001$ )、CO ( $P = 0.043$ ) 与风速呈负相关,其余指标与风速没有相关关系。 $\text{O}_3$  和四个气象指标之间,与相对湿度呈负相关( $P < 0.001$ ),与气压呈正相关( $P = 0.032$ ),而与气温和风速没有相关关系,见表 2。

2.3 广义相加模型分析 广义相加模型在控制心脑血管疾病死亡的长期趋势、气温、相对湿度等气象因素后,计算得到深圳市 PM2.5 ( $P = 0.044$ )、PM10 ( $P = 0.012$ ) 和  $\text{SO}_2$  ( $P = 0.016$ ) 日均浓度与心脑血管疾病死亡存在正相关关系,而 CO、 $\text{NO}_2$  和  $\text{O}_3$  日均浓度与心脑血管疾病死亡之间差异均无统计学意义(均有  $P > 0.05$ )。当两种或两种以上污染物引入模型后,污染物对心脑血管疾病死亡的影响差异均无统计学意义(均有  $P > 0.05$ )。

滞后效应分析发现,滞后 5 d ( $P = 0.044$ )、7 d ( $P = 0.014$ ) 和 9 d ( $P = 0.027$ ),PM2.5 日均浓度与

心脑血管疾病死亡之间存在统计学意义,其中 PM2.5 滞后 7 d 的日均浓度对心脑血管疾病死亡的影响最强( $RR = 1.0027$ , 95%  $CI$ : 1.0006 ~ 1.0048)。PM10 和  $\text{SO}_2$  日均浓度均为滞后 5 d 对心脑血管疾病死亡的影响最强。从健康效应来看,PM2.5 日均浓度每上升  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,心脑血管疾病死亡危害增加 0.27% (95%  $CI$ : 0.06 ~ 0.48); PM10 日均浓度每上升  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,心脑血管疾病死亡危害增加 0.18% (95%  $CI$ : 0.04 ~ 0.32);  $\text{SO}_2$  日均浓度每上升  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,心脑血管疾病死亡危害增加 1.00% (95%  $CI$ : 0.19 ~ 1.81),见表 3。

### 3 讨论

目前对大气污染物影响心脑血管疾病的机制研究中,关注的有污染物及颗粒物组份对相关器官和组织的作用、以及通过炎症反应等介导的间接作用等。但目前实验室研究主要以动物实验为主,实验结果外推到人群还存在一定距离<sup>[3]</sup>。因此大多研究集中在流行病学方面的研究,大气颗粒物,尤其是 PM2.5 与心脑血管疾病死亡之间的关系研究正越来越受到重视。

本研究结果显示 2014 年深圳市空气质量较优,PM2.5 日均浓度等空气污染物达到了二级标准,但其对心脑血管疾病死亡还是存在急性影响的。国内外的很多研究都集中在空气污染较严重的城市或地区<sup>[4,5]</sup>。对于空位质量较好的地区和城市较少涉及,本研究正好弥补这一空缺,从而全面地评估不同污染水平对心脑血管疾病的健康效应。

广义相加模型在控制长期趋势和气象因素等方面具有优势,因此被引用到空气污染的研究中,与 Logistic 回归模型、Cox 模型及 Poisson 模型相比,均显示出较好的预测效果,因此在空气污染研究的短期预测方面得到广泛应用<sup>[4,9]</sup>。本研究结果表明深圳市 2014 年空气 PM2.5 日均浓度每上升  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,心脑血管疾病死亡危害增加 0.27% (95%  $CI$ : 0.06 ~ 0.48)。与 Huang 等<sup>[7]</sup>对西安的研究相近,其 PM2.5 日均浓度每上升  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,心脑血管疾病死亡危害增加 0.27% (95%  $CI$ : 0.08 ~ 0.46),但由于数据有限,国内较多研究都关注于 PM10 等污染物与心脑血管疾病的关系研究<sup>[4,5,8]</sup>。比国外的研究结果相比,我国的 PM2.5 或 PM10 对心脑血管疾病死亡的影响远较欧美发达国家低,原因可能跟大气污染水平、人群易感性、污染来源及不同颗粒物成分有较大关系<sup>[1,7]</sup>。

表 2 2014 年深圳市大气污染物与气象指标之间的 Pearson 相关分析结果

Table 2 The Pearson correlation analysis between air pollutant and meteorological in Shenzhen City in 2014

	PM10	PM2.5	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	气温	湿度	气压
PM2.5									
<i>r</i>	0.950 <sup>a</sup>								
<i>P</i>	<0.001								
SO <sub>2</sub>									
<i>r</i>	0.739 <sup>a</sup>	0.679 <sup>a</sup>							
<i>P</i>	<0.001	<0.001							
NO <sub>2</sub>									
<i>r</i>	0.656 <sup>a</sup>	0.622 <sup>a</sup>	0.545 <sup>a</sup>						
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001						
CO									
<i>r</i>	0.462 <sup>a</sup>	0.538 <sup>a</sup>	0.263 <sup>a</sup>	0.369 <sup>a</sup>					
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001					
O <sub>3</sub>									
<i>r</i>	0.478 <sup>a</sup>	0.455 <sup>a</sup>	0.292 <sup>a</sup>	-0.033	0.063				
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	0.525	0.228				
气温									
<i>r</i>	-0.387 <sup>a</sup>	-0.512 <sup>a</sup>	-0.255 <sup>a</sup>	-0.329 <sup>a</sup>	-0.303 <sup>a</sup>	0.023			
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.661			
湿度									
<i>r</i>	-0.676 <sup>a</sup>	-0.602 <sup>a</sup>	-0.622 <sup>a</sup>	-0.179 <sup>a</sup>	-0.275 <sup>a</sup>	-0.448 <sup>a</sup>	0.316 <sup>a</sup>		
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001		
气压									
<i>r</i>	0.523 <sup>a</sup>	0.600 <sup>a</sup>	0.349 <sup>a</sup>	0.322 <sup>a</sup>	0.295 <sup>a</sup>	0.112 <sup>b</sup>	-0.848 <sup>a</sup>	-0.518 <sup>a</sup>	
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.032	<0.001	<0.001	
风速									
<i>r</i>	-0.093	-0.059	-0.050	-0.371 <sup>a</sup>	-0.106 <sup>b</sup>	0.070	-0.206 <sup>a</sup>	-0.120 <sup>b</sup>	0.148 <sup>a</sup>
<i>P</i>	0.077	0.262	0.336	<0.001	0.043	0.181	<0.001	0.022	0.005

注: <sup>a</sup> 在 0.01 水平( 双侧) 上相关; <sup>b</sup> 在 0.05 水平( 双侧) 上相关。

表 3 大气污染物浓度每上升 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  心脑血管疾病死亡的 *RR* 值和其 95% *CI*

Table 3 The *RR* values of cardiovascular mortality and 95% confidence interval with every 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in air pollutants concentration

大气污染物	$\beta$	<i>s<sub>e</sub></i>	<i>RR</i> 值	95% <i>CI</i> 值
Lag7 PM2.5	0.0027	0.0011	1.0027	1.0006~1.0048
Lag5 PM10	0.0018	0.0007	1.0018	1.0004~1.0032
Lag5 SO <sub>2</sub>	0.0099	0.0041	1.0100	1.0019~1.0181

本研究存在一定局限性,仅利用 2014 年的数据分析了深圳市空气污染物对心脑血管疾病的健康影响,研究时间较短,难以分析大气颗粒物对心脑血管疾病的长期效应。下一步期待收集较长时间的数据,从而全面分析其对健康效应的影响。

参 考 文 献

[1] 阚海东,陈秉衡. 我国大气颗粒物暴露与人群健康效应的关系 [J]. 环境与健康杂志,2002,19(6):422-424.  
[2] 黄永,刘勋,施国庆,等. 北京市公园晨练人群对空气细颗粒物(PM2.5)健康危害的认知状况调查 [J]. 中华疾病控制杂志,2014,18(6):541-544.

[3] 王宛怡,王旗. 大气颗粒物对心血管系统疾病的影响及其机制的研究进展 [J]. 环境与健康杂志,2009,26(9):834-837.  
[4] 杨敏娟,潘小川. 北京市大气污染与居民心脑血管疾病死亡的时间序列分析 [J]. 环境与健康杂志,2008,25(4):294-297.  
[5] 张燕萍,张志琴,张晓萍,等. 太原市空气污染对心脑血管疾病死亡率急性影响的 Poisson 广义可加模型分析 [J]. 环境与健康杂志,2008,25(1):11-15.  
[6] 段振华,高绪芳,杜慧兰,等. 成都市空气 PM2.5 浓度与呼吸系统疾病门诊人次的时间序列研究 [J]. 现代预防医学,2015,42(4):611-614.  
[7] Huang W, Cao J, Tao Y, et al. Seasonal variation of chemical species associated with short-term mortality effects of PM2.5 in Xi'an, a central city in China [J]. American Journal of Epidemiology, 2012, 175(6):556-566.  
[8] 廖玉学,彭朝琼,余淑苑,等. 深圳市大气 PM10 与呼吸系统疾病日门诊量的时间序列分析 [J]. 华南预防医学,2014,40(4):301-305.  
[9] 胥芹,刘龙,王超,等. PM2.5 对人群发病和死亡影响研究中统计学模型的应用 [J]. 首都医科大学学报,2015,36(1):151-154.

( 收稿日期:2015-10-22)

( 修回日期:2015-12-09)

( 本文编辑:吕甜甜)