

PM_{2.5}对北京市昌平区居民心血管系统疾病死亡的短期影响

李静¹ 王焕新² 屈龙¹ 赵明强¹ 丁小栋³ 谢春新³ 刘起勇⁴

¹北京市昌平区疾病预防控制中心环境卫生科 102200; ²北京市昌平区疾病预防控制中心 102200; ³北京市昌平区疾病预防控制中心信息科 102200; ⁴中国疾病预防控制中心传染病预防控制所传染病预防控制国家重点实验室, 北京 102206

通信作者:刘起勇, Email:liuqiyong@icdc.cn

【摘要】 目的 定量评估北京市昌平区空气中粒径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物(PM_{2.5})对居民心血管系统疾病累积超额死亡率(CER)及寿命损失年(YLL)的短期影响。**方法** 收集2014—2017年北京市昌平区户籍人群的死亡个案资料、PM_{2.5}、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)浓度资料及气象资料,运用分布滞后非线性模型,分析不同滞后天数PM_{2.5}浓度对不同人群心血管系统疾病CER及YLL的影响。**结果** PM_{2.5}对心血管系统疾病CER和YLL的危害效应分别在滞后7 d和9 d时开始显现,滞后14 d时达到最大,持续时间长达21 d。累积滞后21 d时,PM_{2.5}每增加10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,人群心血管系统疾病死亡的CER为0.021%(95%CI:0.004%~0.038%),YLL为1.47(95%CI:0.23~2.70)年。PM_{2.5}对男性及 ≥ 75 岁人群心血管系统疾病死亡的CER和YLL影响更大。**结论** PM_{2.5}可以增加人群心血管系统疾病的死亡率和YLL。

【关键词】 空气污染; 累积超额死亡率; 寿命损失年

基金项目:昌平区卫生发展科研专项(昌卫科2017-04-01); 国家重大科学研究计划(2012CB955504); 传染病预防控制国家重点实验室自主研究课题(2018SKLID802)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.03.014

Short term effect of PM_{2.5} on cardiovascular mortality in residents in Changping district, Beijing

Li Jing¹, Wang Huanxin², Qu Long¹, Zhao Mingqiang¹, Ding Xiaodong³, Xie Chunxin³, Liu Qiyong⁴

¹Department of Environmental Sanitation, Changping District Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102200, China; ²Changping District Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102200, China; ³Information Section, Changping District Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102200, China; ⁴National Institute for Communicable Disease Control and Prevention, State Key Laboratory for Infectious Diseases Prevention and Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China

Corresponding author: Liu Qiyong, Email: liuqiyong@icdc.cn

【Abstract】 Objective To make a quantitative evaluation on the short term effect of particulate matter with aerodynamic diameter no more than $2.5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) on cumulative excess mortality rate (CER) and years of life lost (YLL) in residents in Changping district of Beijing. **Methods** The death data in local residents, daily mortality, meteorology data and air pollution data (PM_{2.5}, SO₂ and NO₂ concentrations) in Changping from 2014 to 2017 were collected. Distributed lag non-linear model was used to assess the age and gender specific cumulative lag effects of PM_{2.5} on cardiovascular CER and daily YLL in Changping. **Results** The effects of PM_{2.5} on cardiovascular CER and YLL were obvious on lag 7 days and lag 9 days, respectively, peaking on day 14, and lasting for 21 days. On lag 0-21 days, for a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in PM_{2.5}, the population based CER of cardiovascular disease death was 0.021% (95%CI: 0.004%-0.038%), and the YLL was 1.47 (95%CI: 0.23-2.70) years. Greater PM_{2.5} effect were observed in males and the elderly. **Conclusion** PM_{2.5} increased the risk of cardiovascular disease death and YLL.

【Key words】 Air pollution; Cumulative excess mortality rate; Years of life lost

Fund programs: Health Development Research Project of Changping District in Beijing (Chang Wei Ke 2017-04-01); National Key Research Program of China (2012CB955504); Independent Research Project of State Key Laboratory for Infectious Diseases Prevention and Control (2018SKLID802)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.03.014

2010 年全球疾病负担风险评估报告显示,全球 320 万人的死亡可归因于空气中粒径 $\leq 2.5\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)污染^[1]。已经有充分的证据证明空气污染增加全死因死亡、心血管系统疾病死亡以及其他特定疾病死亡^[2-6]。寿命损失年(years of life lost, YLL)综合估计各种死因导致人群死亡的相对重要性,对评估劳动力人口的健康水平尤其敏感。弥补了死亡率或患病率只考虑死亡人数或患病人数而忽略健康结局在不同年龄的不足的不足^[7]。因此, YLL 被认为是一个更精确的测量疾病负担的方法,并且频繁地应用于确定引起人群早死的主要死因^[8]。本研究利用北京市昌平区 2014—2017 年的死亡数据和空气污染数据,采用分布滞后非线性模型,量化归因于 $\text{PM}_{2.5}$ 的人群死亡率和 YLL。

资料与方法

1. 资料来源:收集 2014—2017 年北京市昌平区户籍人口因心血管疾病死亡(ICD-10: I00~I99)个案资料,从 WHO 的官方网站下载 2014—2017 年中国分性别及分年龄别的期望寿命表^[9],用期望寿命减去死亡年龄,计算出每名死亡病例的 YLL,进而汇总出每日所有死亡病例的 YLL 总和。2014—2017 年逐日 $\text{PM}_{2.5}$ 、二氧化硫(SO_2)及二氧化氮(NO_2)浓度由昌平区环保局提供,同期的气象数据由昌平区气象局提供。

2. 统计学分析:服从正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 分别表示数据的集中趋势和离散趋势,用 Spearman 相关性分析判定变量之间的相关关系。采用向前向后逐步回归的方法,将 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、温度以及常见的混杂因素如长期趋势、星期几和节假日效应及湿度、气压逐步纳入分布滞后非线性模型,筛选出有意义的变量。以往研究显示,当天的人群死亡数及 YLL 受当天及前几天 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响,因此建立 $\text{PM}_{2.5}$ 与滞后天数的交叉基矩阵,纳入模型^[10]。本研究选择 $\text{PM}_{2.5}$ 的最大滞后天数为 21 d,依据赤池信息量准则,选择各变量的 df , $\text{PM}_{2.5}$ 滞后期的 df 为 4,长期趋势的 df 为 5×4 ,其余变量的 df 均为 3。由模型得出 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每变化 $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,人群死亡的 RR 值,然后计算超额死亡百分比(cumulative excess mortality rate, CER),公式: $\text{CER}(\%) = (\text{RR} - 1) \times 100\%$ 。结果的稳定性通过改变各参数的 df 、滞后天数来验证。所有的模型分析都采用 R 3.2.0 软件中的 mgcv、dlnm 等软件包进行统计学分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 基本情况:昌平区 2014 年 1 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日日平均 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度为 $63.4\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,低于国家的二级标准($70\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)^[11],日平均 SO_2 的浓度为 $11.1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,低于国家二级标准($60\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$),日平均 NO_2 的浓度为 $34.8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,低于国家的二级标准($40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$);昌平区日平均气温的平均值是 $13.8\text{ }^\circ\text{C}$;昌平区每日平均心血管系统疾病死亡人数为 5.2 人,男性为 2.8 人,女性为 2.3 人, ≥ 75 岁年龄组为 3.3 人;每日平均心血管系统疾病死亡的 YLL 为 59.0 年,男性为 35.2 年,女性为 23.8 年, ≥ 75 岁年龄组为 22.7 年(表 1)。

表 1 2014—2017 年北京市昌平区心血管系统疾病日死亡数和寿命损失年

变量	逐日心血管系统疾病死亡	
	人数	寿命损失年
男性	2.8 ± 1.8	35.2 ± 25.8
女性	2.3 ± 1.6	23.8 ± 18.9
0~74 岁	1.9 ± 1.3	36.3 ± 28.7
≥ 75 岁	3.3 ± 1.9	22.7 ± 13.3
合计	5.2 ± 2.4	59.0 ± 32.0

2. 昌平区各空气污染物浓度的变化趋势: 2014—2016 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的最大值不断增加,并且出现 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度高值的天数有增加趋势,2017 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度有下降趋势; SO_2 的浓度有明显的下降趋势, NO_2 浓度高值的天数有增加趋势(图 1)。

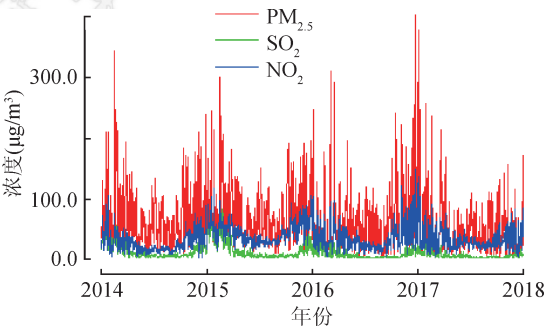


图 1 2014—2017 年北京市昌平区逐日 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 及 NO_2 浓度变化的时间序列

3. 空气污染物与气象变量之间的相关性分析:除了日平均气压和 $\text{PM}_{2.5}$ 的 Spearman 相关系数无统计学意义外,其余变量间的相关系数均有统计学意义。其中, $\text{PM}_{2.5}$ 与 SO_2 、 NO_2 之间的相关系数分别为 0.482 和 0.678, $\text{PM}_{2.5}$ 与日平均气温之间的相关系数为 -0.113 (表 2)。

4. $\text{PM}_{2.5}$ 对人群心血管系统疾病死亡及 YLL 的

表2 2014—2017年北京市昌平区气象及污染指标之间的相关关系

变量	PM _{2.5}	NO ₂	SO ₂	日平均气压	日平均气温
NO ₂	0.678 ^a				
SO ₂	0.482 ^a	0.583 ^a			
日平均气压	0.037	0.321 ^a	0.472 ^a		
日平均气温	-0.113 ^a	-0.424 ^a	-0.598 ^a	-0.885 ^a	
日平均相对湿度	0.349 ^a	0.137 ^a	-0.300 ^a	-0.305 ^a	0.322 ^a

注:^a变量之间的相关系数差异有统计学意义($P<0.05$)

影响:PM_{2.5}与人群心血管系统疾病死亡的RR值及YLL呈显著的线性相关关系($P<0.05$)。量化PM_{2.5}对心血管系统疾病死亡CER和YLL的影响,结果显示,PM_{2.5}分别在滞后7 d和9 d时才显现出危害效应,滞后14 d时效应达到最大,累积滞后21 d时,PM_{2.5}每增加10 μg/m³,人群心血管系统疾病的CER为0.021%(95%CI:0.004%~0.038%),其中≥75岁人群CER为0.022%(95%CI:0.002%~0.042%),男性CER为0.023%(95%CI:0.000%~0.047%)。累积滞后21 d时,PM_{2.5}每增加10 μg/m³,对心血管系统疾病死亡造成1.47(95%CI:0.23~2.70)年的寿命损失,其中对男性造成1.08(95%CI:0.07~2.10)年的寿命损失,对≥75岁人群造成0.53(95%CI:0.07~1.00)年的寿命损失。PM_{2.5}对女性及0~74岁人群CER和YLL的影响无统计学意义(表3,4)。改变模型中各参数的自由度、滞后天数,研究结果的变化无统计学意义,研究结果稳定。

讨 论

本研究在北京市昌平区开展空气污染物对人群死亡及YLL影响的研究,综合评估空气污染的疾病负担。研究提示,PM_{2.5}明显增加心血管系统疾病死亡风险及YLL,PM_{2.5}对男性及≥75岁人群心血管系统疾病死亡的CER和YLL影响更大,这与大多数研究结果是一致的^[12-13]。

PM_{2.5}明显增加心血管系统疾病死亡风险及YLL,机制可能为每日暴露于大气污染物的环境下,使周围血管的α肾上腺素能受体反应,激发生理代偿反应,增加舒张压及C-反应蛋白,含有钒、铜和锌的颗粒物还会增加血液中的纤维蛋白原^[14-15],另外空气污染物使机体产生氧化应激和炎症反应,进而引发动脉粥样斑块、血管内皮、血小板及心率等的变化^[16]。

PM_{2.5}使≥75岁人群心血管系统疾病死亡百分比及YLL增加,可能是由于≥75岁人群多患有基础性疾病,并且抵抗力下降,加之对空气污染危害的认知相对不足,较少采取雾霾防护措施,因而更容易受PM_{2.5}的影响。本研究发现男性较女性更容易受PM_{2.5}的影响,可能是由于多数劳动力人口,户外作业人员多为男性,使得男性暴露于以上污染物的时间及频率相对较高,加之男性新陈代谢及户外活动丰富,导致体表血液循环丰富,使气态污染物更容易

表3 PM_{2.5}浓度每增加10 μg/m³不同性别及不同年龄组人群在不同滞后时间下的CER(%)及95%CI

类别	滞后时间(d)			
	1	7	14	0~21
男性	0.002(-0.004~0.007)	0.000(-0.001~0.002)	0.002(0.001~0.004) ^a	0.023(0.000~0.047) ^a
女性	0.000(-0.006~0.006)	0.001(0.000~0.003) ^a	0.001(-0.001~0.003)	0.019(-0.007~0.044)
0~74岁	0.003(-0.003~0.010)	0.000(-0.002~0.002)	0.001(-0.001~0.003)	0.013(-0.012~0.039)
≥75岁	0.000(-0.005~0.005)	0.001(0.000~0.002) ^a	0.002(0.001~0.003) ^a	0.022(0.002~0.042) ^a
合计	0.001(-0.003~0.005)	0.001(0.000~0.002) ^a	0.002(0.001~0.003) ^a	0.021(0.004~0.038) ^a

注:^a差异有统计学意义($P<0.05$)

表4 PM_{2.5}浓度每增加10 μg/m³不同性别及不同年龄组人群在不同滞后时间的YLL及95%CI

类别	滞后时间(d)			
	1	9	14	0~21
男性	0.18(-0.07~0.42)	0.06(-0.01~0.12)	0.09(0.02~0.16) ^a	1.08(0.07~2.10) ^a
女性	0.08(-0.10~0.26)	0.02(-0.03~0.07)	0.01(-0.03~0.06)	0.38(-0.36~1.13)
0~74岁	0.26(-0.01~0.53)	0.04(-0.03~0.11)	0.06(-0.01~0.13)	0.86(-0.18~1.90)
≥75岁	0.00(-0.12~0.12)	0.03(0.00~0.06) ^a	0.04(0.01~0.07) ^a	0.53(0.07~1.00) ^a
合计	0.26(-0.04~0.56)	0.08(0.00~0.16) ^a	0.10(0.02~0.19) ^a	1.47(0.23~2.70) ^a

注:^a差异有统计学意义($P<0.05$)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

- [1] Lim SS, Vos T, Flaxman AD, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010 [J]. *Lancet*, 2012, 380(9859): 2224–2260. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)61766-8.
- [2] Filleul L, Zeghnoun A, Declercq C, et al. Short-term relationships between urban atmospheric pollution and respiratory mortality: time series studies [J]. *Rev Mal Respir*, 2001, 18(4 Pt 1): 387–395.
- [3] Bhaskaran K, Hajat S, Haines A, et al. Effects of air pollution on the incidence of myocardial infarction [J]. *Heart*, 2009, 95(21): 1746–1759. DOI: 10.1136/hrt.2009.175018.
- [4] Mustafic H, Jabre P, Caussin C, et al. Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA*, 2012, 307(7): 713–721. DOI: 10.1001/jama.2012.126.
- [5] Yang WS, Wang X, Deng Q, et al. An evidence-based appraisal of global association between air pollution and risk of stroke [J]. *Int J Cardiol*, 2014, 175(2): 307–313. DOI: 10.1016/j.ijcard.2014.05.044.
- [6] Shah ASV, Langrish JP, Nair H, et al. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis [J]. *Lancet*, 2013, 382(9897): 1039–1048. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60898-3.
- [7] Costello A, Abbas M, Allen A, et al. Managing the health effects of climate change: Lancet and university college London institute for global health commission [J]. *Lancet*, 2009, 373(9676): 1693–1733. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)60935-1.
- [8] Watts N, Adger WN, Agnolucci P, et al. Health and climate change: policy responses to protect public health [J]. *Lancet*, 2015, 386(10006): 1861–1914. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60854-6.
- [9] World Health Organization. Life tables for WHO member states [EB/OL]. [2018-08-01]. <http://apps.who.int/gho/data/node.main.LIFECOUNTRY?lang=en>.

- [10] 杨军,欧春泉,丁研,等.广州市逐日死亡人数与气温关系的时间序列研究[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(2): 136-138. DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2012.02.015.
- Yang J, Ou CQ, Ding Y, et al. Association between daily temperature and mortality in Guangzhou: a time-series study[J]. J Environ Health, 2012, 29(2): 136-138. DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2012.02.015.
- [11] 中国环境科学研究院, 中国环境监测总站. GB 3095-2012 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- Chinese Research Academy of Environmental Sciences, China National Environmental Monitoring Centre. GB 3095-2012 Ambient air quality standard[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2016.
- [12] Wu RS, Zhong LJ, Huang XL, et al. Temporal variations in ambient particulate matter reduction associated short-term mortality risks in Guangzhou, China: a time-series analysis (2006-2016) [J]. Sci Total Environ, 2018, 645: 491-498. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.091.
- [13] Lin HL, Wang XJ, Liu T, et al. Air pollution and mortality in China [J]. Adv Exp Med Biol, 2017, 1017: 103-121. DOI: 10.1007/978-981-10-5657-4_5.
- [14] Bartoli CR, Wellenius GA, Diaz EA, et al. Mechanisms of inhaled fine particulate air pollution-induced arterial blood pressure changes [J]. Environ Health Perspect, 2009, 117(3): 361-366. DOI: 10.1289/ehp.11573.
- [15] Huang YCT, Ghio AJ, Stonehuerner J, et al. The role of soluble components in ambient fine particles-induced changes in human lungs and blood [J]. Inhal Toxicol, 2003, 15(4): 327-342. DOI: 10.1080/08958370304460.
- [16] 黄新金, 李菊香, 颜素娟, 等. 冠状微血管痉挛性心绞痛患者血内源性一氧化氮合酶抑制物的变化 [J]. 中国循环杂志, 2007, 22(2): 100-102.
- Huang XJ, Li JX, Yan SJ, et al. The changes of NG-dimethyl-L-arginine in patients with coronary microvascular spasm angina [J]. Chin Circ J, 2007, 22(2): 100-102.
- [17] Zúñiga J, Tarajia M, Herrera V, et al. Assessment of the Possible Association of Air Pollutants PM₁₀, O₃, NO₂ With an Increase in Cardiovascular, Respiratory, and Diabetes Mortality in Panama City: A 2003 to 2013 Data Analysis [J]. Medicine, 2016, 95(2): e2464. DOI: 10.1097/MD.0000000000002464.

(本文编辑:万玉立)

陈曦	党少农	窦丰满	高婷	高立冬	还锡萍	贾曼红	金连梅	荆春霞	李琦	李十月
李秀央	林玫	林鹏	刘莉	刘玮	刘爱忠	马家奇	倪明健	欧剑鸣	潘晓红	彭晓旻
彭志行	任泽舫	施国庆	汤奋扬	田庆宝	王丽	王璐	王金桃	王丽敏	王志萍	武鸣
谢娟	解恒革	严卫丽	阎丽静	么鸿雁	余运贤	张宏伟	张茂俊	张卫东	郑莹	郑素华
周脉耕	朱益民	祖荣强								