

低浓度PM_{2.5}对老年人群死亡的影响：基于2015—2018年福州市数据的时间序列研究

林在生, 林少凯, 王恺, 卢翠英, 詹小海

福建省疾病预防控制中心卫生科, 福建 福州 350001

摘要：

[背景] PM_{2.5}对人群健康影响已经被广泛报道, 但研究往往集中在高浓度地区, 而低浓度地区PM_{2.5}对人群的健康效应亦值得关注。

[目的] 探讨低浓度PM_{2.5}暴露对福州市老年人群死亡的影响。

[方法] 收集2015年1月1日—2018年12月31日福州市环保局和气象局逐日监测的环境、气象资料及福州市人群日均总死亡数和循环系统、呼吸系统日均死亡数等资料。采用广义相加模型分析PM_{2.5}暴露对福州市人群日均总死亡和循环系统、呼吸系统等死亡的影响。

[结果] 福州市PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂日均浓度分别为(26.2±13.8)、(49.7±23.8)、(27.6±11.3) μg·m⁻³, O₃-8h浓度为(86.8±34.1) μg·m⁻³; 日平均气温、相对湿度、气压分别为(21.3±7.0) °C、(73.1±11.6) %、(1008.6±8.3) hPa; 日均总死亡数为(30.1±7.2)例、呼吸、循环系统日均死亡数分别为(2.4±1.7)、(11.3±4.0)例。单污染物模型分析显示滞后1d的影响最大: PM_{2.5}每升高10 μg·m⁻³, 65岁及以上人群总死亡、循环系统死亡的ER (95% CI) 分别为1.5% (0.5%~2.5%) 和2.5% (0.2%~4.8%); 双污染物模型分析, 当分别引入PM₁₀、NO₂、O₃-8h后, 65岁及以上人群总死亡风险ER (95% CI) 分别为1.3% (0.8%~2.5%)、1.2% (-0.1~2.4%)、1.2% (0.1%~2.3%); 三污染物模型分析, 65岁及以上人群总死亡和循环系统死亡风险ER (95% CI) 分别为1.3% (0.3%~2.3%)、1.7% (0.1%~3.2%)。

[结论] 低浓度PM_{2.5}暴露可增加福州市65岁及以上老年人死亡的风险。

关键词： PM_{2.5}; 人群死亡; 时间序列; 广义相加模型; 老年人; 老龄化

Time-series study on effects of low-concentration PM_{2.5} on mortality in elderly people in Fuzhou from 2015 to 2018 LIN Zai-sheng, LIN Shao-kai, WANG Kai, LU Cui-ying, ZHAN Xiao-hai (Health Department, Fujian Provincial Center for Disease Prevention and Control, Fuzhou, Fujian 350001, China)

Abstract:

[Background] The health effects of PM_{2.5} have been widely reported, but previous studies tend to focus on areas with high concentrations, and more studies should focus on areas with low concentrations.

[Objective] This study aims to explore the impact of low-concentration PM_{2.5} exposure on the elderly population mortality in Fuzhou, Fujian.

[Methods] Daily environmental and meteorological data during January 1, 2015 and December 31, 2018 from Fuzhou Environmental Protection Bureau and Fuzhou Meteorological Bureau were collected, as well as daily counts of total mortality, circulatory mortality, respiratory mortality. The generalized additive model was used to analyze the impacts of PM_{2.5} exposure on total and cause-specific mortalities in Fuzhou.

[Results] The average daily concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀, and NO₂ in Fuzhou were (26.2±13.8), (49.7±23.8), and (27.6±11.3) μg·m⁻³, respectively, and the average O₃-8h concentration was (86.8±34.1) μg·m⁻³. The average daily temperature, relative humidity, and air pressure were (21.3±7.0) °C, (73.1±11.6) %, and (1008.6±8.3) Kpa, respectively. The average daily total mortality was (30.1±7.2) cases, and the average daily mortalities of respiratory and circulatory diseases were (2.4±1.7) and (11.3±4.0) cases, respectively. The single pollutant model analysis results showed that the effect of PM_{2.5} exposure on population mortality was strongest on lag1. For

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19629

基金项目

福建省引导性项目 (2017Y0009)

作者简介

林在生 (1962—), 男, 学士, 主任医师;
E-mail: fjcdclzs@163.com

通信作者

林在生, E-mail: fjcdclzs@163.com

利益冲突 无申报

收稿日期 2019-09-02

录用日期 2019-12-12

文章编号 2095-9982(2020)02-0157-05

中图分类号 R12

文献标志码 A

引用

林在生, 林少凯, 王恺, 等. 低浓度PM_{2.5}对老年人群死亡的影响: 基于2015—2018年福州市数据的时间序列研究 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (2): 157-161.

► 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19629

Funding

This study was funded.

Correspondence to

LIN Zai-sheng, E-mail: fjcdclzs@163.com

Competing interests None declared

Received 2019-09-02

Accepted 2019-12-12

► To cite

LIN Zai-sheng, LIN Shao-kai, WANG Kai, et al. Time-series study on effects of low-concentration PM_{2.5} on mortality in elderly people in Fuzhou from 2015 to 2018 [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(2): 157-161.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19629

every $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in $\text{PM}_{2.5}$ concentration, the *ERs* (95% *CI*) of total mortality and circulatory mortality in the population at the age of 65 years and above were 1.5% (0.5%-2.5%) and 2.5% (0.2%-4.8%), respectively. The two-pollutant model analysis results showed that after separately introducing PM_{10} , NO_2 , or O_3 -8 h to the model, the effects of $\text{PM}_{2.5}$ on mortality in the population at the age of 65 years and above were 1.3% (0.8%-2.5%), 1.2% (-0.1%-2.4%), and 1.2% (0.1%-2.3%), respectively. The three-pollutant model analysis results also showed that the *ERs* (95% *CI*) of total mortality and circulatory mortality in the population at the age of 65 years and above were 1.3% (0.3%-2.3%) and 1.7% (0.1%-3.2%), respectively.

[Conclusion] Exposure to low-concentration $\text{PM}_{2.5}$ can increase the risk of death in the elderly people at the age of 65 years and above in Fuzhou.

Keywords: $\text{PM}_{2.5}$; population mortality; time series; generalized additive model; elderly people; aging

空气污染已成为发展中国家的主要环境卫生问题^[1-3]。2016年世界卫生组织估计,每年有420万人的死亡归因于室外空气污染暴露^[4],其中细颗粒物的健康危害最为严重。过往国内研究显示 $\text{PM}_{2.5}$ 暴露对人体循环系统、呼吸系统、皮肤等均会有一定的健康危害^[5-7],但这些研究往往集中在浓度相对较高的地区,且各个地区由于污染物成分存在差异,不同地区的结论外推到其他地区有一定的局限性。根据环保部门公布数据,福州市2015—2018年间,环保部门公布空气质量指数 ≥ 100 的天数仅为12 d, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度相较于其他地区处于较低水平。循环系统疾病和呼吸系统疾病是我国城市居民最主要的死因,2017年我国城市居民循环系统(包括心脏病、脑血管病)和呼吸系统疾病的死因构成分别为43.6%和10.9%^[8]。老年人群由于免疫功能下降及呼吸和循环系统功能减退,是 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的敏感人群^[9-10]。本次研究采用基于时间序列的广义相加模型(generalized additive model, GAM),分析2015—2018年福州市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度对不同年龄层人群死亡(包括循环系统疾病和呼吸系统疾病死因)的影响,探讨低浓度 $\text{PM}_{2.5}$ 对各人群,尤其是老年人健康的影响,从而为制定针对不同年龄人群的大气污染防治措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 环保与气象资料 从福州市环保局和气象局分别收集2015年1月1日—2018年12月31日福州市环境和气象指标逐日监测数据。主要大气污染物包括: $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 日均浓度、 O_3 日最大8 h平均浓度(O_3 -8 h);气象指标包括日平均温度($^{\circ}\text{C}$)、日平均相对湿度(%)、日平均气压(hPa)。

1.1.2 死亡资料 死因监测资料时空与福州市环保监测站点保持一致,故资料选择福州市6个国控站点覆盖的鼓楼、台江、仓山、晋安、马尾5个城区2015

年1月1日—2018年12月31日的人群死亡监测资料。死因数据由福州市疾病预防控制中心收集,具体信息源于公安、民政等部门。资料包括死亡时间、性别、年龄、死因及死因国际疾病分类(International Classification of Disease, ICD)编号等。根据ICD编码对全人群总死亡和循环系统、呼吸系统等死因进行分类,收集逐日死亡数据。

1.2 资料质量控制

死因、环保和气象监测资料收集配备专门的数据管理人员,人员熟悉死因、环保和气象监测资料收集内容,质量控制及网络上传等相关工作程序;要求收集资料准确,按照要求地区全面覆盖,上报数据的资料要求项目齐全,尤其关键变量如性别、年龄、死亡时间、死因和死因ICD编码完整;检查上报资料准确性,剔除重报、多报和误报资料;剔除死亡人数异常升高或者降低日期的数据。

1.3 统计方法

1.3.1 描述性分析 采用SPSS 18.0对数据进行整理分析,环保、气象指标和死亡数据等计量资料首先进行正态性检验:如满足正态分布采用 $\bar{x}\pm s$ 表示;如不满足正态分布,则采用最小值、最大值和百分位数(P_{25} 、 M 、 P_{75})进行统计描述。

1.3.2 相关性分析 采用Spearman秩相关分析法对 $\text{PM}_{2.5}$ 与其他空气污染物(PM_{10} 、 NO_2 、 O_3 -8 h)及气象因素(温度、相对湿度、气压)的相关性进行分析。

1.3.3 分析模型 采用R3.5.2软件包mgcv程序包进行GAM分析。采用GAM分析逐日总死亡和循环系统、呼吸系统疾病死亡数与大气污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 的相关性。采用自然样条平滑函数(ns)拟合时间序列的长期趋势,自由度选择7/年。模型中同时控制气象因素、星期几效应(day of the week, DOW)的混杂影响;日平均温度(t_{mean})、日平均相对湿度(r_{hum})的拟合,使用自然样条平滑函数;自由度选择依据赤池信息准则(Akaike's information criterion, AIC),当模型的AIC值

最小时,模型的拟合优度最高,此时为最佳自由度。GAM模型如下:

$$\lg [E(y_i)] = \alpha + \beta_i X_i + ns(t_{mean}, 3) + ns(time, 7 \times 4) + ns(r_{hum}, 3) + DOW$$

式中: y_i 为观察日 i 当天死亡人数; $E(y_i)$ 为观察日 i 死亡人数的数据期望; α 为截距; β_i 为回归系数; X_i 为第 i 日大气污染物浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$); ns 为自然样条平滑函数; t_{mean} 为第 i 日平均气温; $time$ 为日期变量; r_{hum} 为第 i 日平均相对湿度; DOW 为星期几效应。对当日及滞后效应 (lag0~lag7) 的污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与人群死亡数进行分析, 计算 $\text{PM}_{2.5}$ 每升高 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 人群总死亡及循环、呼吸系统疾病死亡率增加的超额危险度 (excess risk, ER) 及其 95% 可信区间 (confidence interval, CI), 采用最大效应值作为污染物对人群死亡效应的暴露风险估计值。

由于 $\text{PM}_{2.5}$ 对人群健康影响存在滞后效应, 此次研究分析大气污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 对人群死亡的单日滞后效应 (lag0~lag7) 和累积滞后效应 (lag01~lag07) 影响; 进一步采用多污染物模型, 在模型中控制时间趋势、气象因素等混杂因素, 分析在 PM_{10} 、 NO_2 、 O_3 -8h 共同作用下, $\text{PM}_{2.5}$ 对人群死亡的危险度。选择人群死亡风险滞后效应值最大时, 实施双污染物模型和多污染物模型分析评估主模型的稳定性。

2 结果

2.1 描述性分析

2015—2018 年期间, 福州市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 日均浓度平均值分别为 26.2、49.7、27.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, O_3 -8h 浓度平均值为 86.8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 均没有超过 GB 3095—2012《环境空气质量标准》^[11] 二级标准的日平均浓度限值。4 年共收集到 1442 d $\text{PM}_{2.5}$ 有效数据, 其中低于二级浓度限值 ($70\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 共 1430 d, 占 99.2%。日平均气温为 21.3℃, 日平均相对湿度为 73.1%, 日平均气压为 1008.56 hPa; 日均总死亡数为 30.1 人, 其中呼吸系统日均死亡数为 2.4 人, 循环系统日均死亡数为 11.3 人。见表 1。

2.2 相关性分析

2015—2018 年福州市 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 日均浓度间相关有统计学意义 ($P < 0.01$); O_3 -8h 与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 日平均浓度和日平均气温呈正相关, 与日平均相对湿度呈负相关, 与 NO_2 、气压无相关; 日平均气压与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 呈正相关, 与日平均气温、日平均相

对湿度呈负相关; 日平均气温与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_2 呈负相关, 与 PM_{10} 无相关; 日平均相对湿度与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 呈负相关, 与 NO_2 呈正相关。见表 2。

表 1 2015—2018 年福州市大气污染物、气象因素及居民死亡情况

指标	$\bar{x} \pm s$	$M (P_{25}, P_{75})$	最小值	最大值
大气污染物/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$				
$\text{PM}_{2.5}$	26.2±13.8	24.0 (16.0, 33.0)	2.0	100.0
PM_{10}	49.7±23.8	46.0 (32.0, 64.0)	5.0	168.0
NO_2	27.6±11.3	25.0 (20.0, 34.0)	4.0	80.0
O_3 -8h	86.8±34.1	84.0 (60.0, 109.0)	12.0	208.0
气象指标				
日平均气温/℃	21.3±7.0	22.0 (15.4, 27.5)	2.6	32.8
日平均相对湿度/%	73.1±11.6	73.0 (65.0, 81.0)	33.0	99.0
日平均气压/hPa	1008.6±8.3	1008.0 (1002.0, 1014.6)	983.2	1034.0
日均总死亡数	30.1±7.2	29.0 (25.0, 34.0)	11.0	61.0
65 岁及以上	22.0±6.4	22.0 (17.0, 26.0)	5.0	48.0
65 岁以下	6.1±2.7	6.0 (4.0, 8.0)	0.0	17.0
呼吸系统日均死亡数	2.4±1.7	2.0 (1.0, 3.0)	0.0	11.0
65 岁及以上	2.0±1.5	2.0 (1.0, 3.0)	0.0	9.0
65 岁以下	0.2±0.5	0.0 (0.0, 0.0)	0.0	3.0
循环系统日均死亡数	11.3±4.0	11.0 (8.0, 14.0)	1.0	27.0
65 岁及以上	9.3±3.6	9.0 (7.0, 12.0)	1.0	26.0
65 岁以下	1.3±1.2	1.0 (0.0, 2.0)	0.0	6.0

表 2 2015—2018 年福州市大气污染物、气象因素的相关性分析 (r 值)

指标	$\text{PM}_{2.5}$	NO_2	O_3 -8h	日平均气压	日平均气温	日平均相对湿度
PM_{10}	0.894**	0.518**	0.538**	0.124*	-0.095	-0.475**
$\text{PM}_{2.5}$		0.535**	0.394**	0.294**	-0.326**	-0.318**
NO_2			-0.053	0.334**	-0.414**	0.121*
O_3 -8h				-0.042	0.134*	-0.580**
日平均气压					-0.867**	-0.214**
日平均气温						0.063

[注] * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$ 。

2.3 时间序列分析

2.3.1 单污染物模型 大气污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 与人群疾病死亡风险的单日滞后效应分析显示: $\text{PM}_{2.5}$ 每升高 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 在单日滞后 1 d, 可使 65 岁及以上人群总死亡风险增加 1.5% (95% CI : 0.5%~2.5%), 循环系统疾病死亡风险增加 2.5% (95% CI : 0.2%~4.8%); 65 岁以下人群各死亡风险变化均没有统计学意义 ($P > 0.05$), 65 岁及以上人群其他死亡风险也无明显变化 ($P > 0.05$)。见表 3。

2.3.2 单污染物的累积滞后模型 累积滞后效应分析

显示, 65岁及以上人群死亡风险在累积滞后2 d最强, 总死亡、循环系统疾病死亡风险 ER (95% CI) 值分别为2.0% (0.7%~3.4%)、2.0% (0.1%~4.0%); 65岁以下人群各死亡风险在不同的累积滞后时间无明显变化。见表4。

表3 2015—2018年福州市 $PM_{2.5}$ 对人群死亡的超额危险度 (ER 及95% CI) /%

人群	滞后日	总死亡	循环系统疾病死亡	呼吸系统疾病死亡
65岁及以上	lag0	1.0 (-0.1~2.0)	1.1 (-0.4~2.6)	0.3 (-2.9~3.5)
	lag1	1.5 (0.5~2.5) **	2.5 (0.2~4.8) **	1.8 (-1.3~5.0)
	lag2	0.5 (-0.5~1.5)	2.3 (-0.2~5.0)	0.2 (-2.8~3.4)
	lag3	0.1 (-0.9~1.1)	2.1 (-0.7~5.0)	-1.3 (-4.3~1.8)
	lag4	0.1 (-0.8~0.9)	1.9 (-1.1~5.0)	-1.9 (-4.6~1.0)
	lag5	-0.3 (-1.2~0.8)	2.0 (-1.2~5.4)	-2.9 (-5.9~0.1)
	lag6	-0.6 (-1.5~0.4)	2.2 (-1.3~5.8)	-1.4 (-4.3~1.7)
	lag7	-0.8 (-1.8~0.2)	1.9 (-1.7~5.7)	-2.1 (-5.0~1.0)
65岁以下	lag0	-0.4 (-2.2~1.4)	2.1 (-1.5~5.8)	-4.8 (-14.1~5.6)
	lag1	-0.1 (-1.9~1.7)	2.4 (-1.1~6.0)	2.7 (-6.7~13.0)
	lag2	-0.8 (-2.6~0.9)	2.4 (-1.1~6.0)	5.5 (-3.3~15.1)
	lag3	-0.5 (-2.2~1.3)	2.9 (-0.7~6.5)	-1.9 (-11.0~8.1)
	lag4	-0.4 (-2.1~1.3)	0.7 (-2.8~4.3)	7.4 (-1.7~17.2)
	lag5	-1.3 (-3.0~0.4)	-1.0 (-4.5~2.6)	7.9 (-1.2~17.9)
	lag6	-0.6 (-2.4~1.1)	1.0 (-2.5~4.7)	-0.6 (-9.8~9.5)
	lag7	-0.4 (-2.2~1.3)	0.2 (-3.3~3.9)	-1.4 (-10.6~8.7)

[注] *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。

表4 2015—2018年福州市 $PM_{2.5}$ 对人群死亡风险影响的累积滞后效应分析 (ER 及95% CI) /%

人群	累计滞后日	总死亡	循环系统疾病死亡	呼吸系统疾病死亡
65岁及以上	Lag01	1.7 (0.6~2.9) **	1.8 (0.1~3.5) *	1.6 (-2.0~5.4)
	Lag02	2.0 (0.7~3.4) **	2.0 (0.1~4.0) *	2.5 (-1.7~6.8)
	Lag03	2.0 (0.5~3.5) **	1.6 (-0.5~3.8)	1.8 (-2.7~6.6)
	Lag04	1.6 (0.2~3.0) **	1.5 (-0.8~3.8)	0.3 (-4.1~5.0)
	Lag05	1.9 (0.2~3.6) **	1.4 (-1.0~3.9)	-0.2 (-5.3~5.2)
	Lag06	1.6 (-0.2~3.5)	1.3 (-1.3~4.0)	-0.7 (-6.0~5.0)
	Lag07	1.3 (-0.7~3.2)	1.1 (-1.6~3.9)	-1.4 (-7.0~4.6)
65岁以下	Lag01	-0.3 (-2.3~1.8)	2.6 (-1.4~6.7)	-1.6 (-12.1~10.2)
	Lag02	-0.5 (-2.8~1.8)	3.0 (-1.3~7.6)	1.4 (-10.6~14.9)
	Lag03	-0.7 (-3.2~1.9)	3.7 (-1.1~8.6)	1.0 (-12.0~15.9)
	Lag04	-0.8 (-3.4~2.0)	3.6 (-1.4~8.9)	4.7 (-9.4~21.0)
	Lag05	-1.3 (-4.1~1.6)	3.0 (-2.3~8.5)	10.3 (-3.5~26.2)
	Lag06	-0.0 (-2.7~2.7)	2.7 (-2.9~8.6)	10.9 (-3.7~27.8)
	Lag07	-1.6 (-4.8~1.7)	2.4 (-3.4~8.6)	11.5 (-3.9~29.3)

[注] *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。

2.4 多污染物模型

$PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 、 NO_2 、 O_3 -8h 进行双污染物模型及多污染物模型分析显示, 在滞后1 d时, 当分别引入上述3种污染物后, 65岁及以上人群总死亡风险 ER

(95% CI) 分别为1.3% (0.8%~2.5%)、1.2% (-0.1%~2.4%)、1.2% (0.1%~2.3%); 循环系统疾病死亡风险 ER (95% CI) 分别为1.7% (0.1%~3.2%)、1.5% (0.1%~3.0%)、1.7% (0.3%~3.1%)。同时引入上述3种污染物后, 65岁及以上人群总死亡和循环系统疾病死亡风险 ER (95% CI) 分别为1.3% (0.3%~2.3%)、1.7% (0.1%~3.2%)。对65岁以下人群无明显影响。见表5。

表5 2015—2018年福州市 $PM_{2.5}$ 对人群死亡影响的双污染物及多污染物模型 (ER 及95% CI) /%

人群	模型	总死亡	循环系统死亡	呼吸系统死亡
65岁及以上	PM_{10}	1.3 (0.8~2.5) **	1.7 (0.1~3.2) *	2.9 (-0.8~6.5)
	NO_2	1.2 (-0.1~2.4)	1.5 (0.1~3.0) *	2.2 (-1.1~5.6)
	O_3 -8h	1.2 (0.1~2.3) **	1.7 (0.3~3.1) *	1.2 (-1.9~4.6)
	$PM_{10}+NO_2+O_3$ -8h	1.3 (0.3~2.3) **	1.7 (0.1~3.2) *	2.7 (-0.9~6.4)
65岁以下	PM_{10}	-0.6 (-2.7~1.5)	2.2 (-2.1~6.6)	8.9 (-1.0~19.9)
	NO_2	-0.7 (-2.6~1.3)	-0.8 (-3.1~4.7)	8.7 (-1.0~19.2)
	O_3 -8h	-0.3 (-2.2~1.5)	2.8 (-0.8~6.5)	6.7 (-2.5~16.8)
	$PM_{10}+NO_2+O_3$ -8h	-0.6 (-2.7~1.5)	2.1 (-2.2~6.5)	9.6 (-0.3~20.6)

[注] *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。

3 讨论

本研究是以我国南方城市福州市作为研究区域, 研究在低浓度暴露情况下, $PM_{2.5}$ 对人群健康影响。结果表明, $PM_{2.5}$ 浓度增高, 可导致福州市65岁及以上人群死亡危险度增高, 且危险度的增高有一定的滞后效应。2015—2018年福州市 $PM_{2.5}$ 每升高 $10 \mu g \cdot m^{-3}$, 在滞后1 d, 可使65岁及以上人群死亡率增加1.5%, 循环系统疾病死亡率增加2.5%; 但是对65岁以下人群未产生明显的超额死亡风险, 提示在 $PM_{2.5}$ 浓度较低情况下, 其对人群死亡影响的易感人群主要是老年人。本研究也发现较低浓度的 $PM_{2.5}$ 对不同年龄人群呼吸系统死亡风险无明显影响, 该结果与陈浪对石家庄的研究^[12] 相左, 这可能与各地区 $PM_{2.5}$ 污染物水平、颗粒物的组成成分等存在差异有关。

老年人群由于免疫力差, 抵抗力下降, 循环系统功能下降且并发症较多, 是 $PM_{2.5}$ 污染的敏感人群, 循环系统疾病死亡增加可能与随着 $PM_{2.5}$ 浓度增加引起的炎症反应、氧化应激等相关变化有关^[13]。梁锐明等^[14] 的研究显示, $PM_{2.5}$ 对人群心血管疾病死亡急性效应关系非线性没有阈值, 污染物浓度相对较低时的曲线斜率大于高污染物浓度的曲线斜率, 本研究结果也发现了相似的规律。

通过 Spearman 分析发现 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 、 NO_2 、 O_3 -8h 有较强的相关性, 本次研究采用双污染物和多污染物

模型,分析PM₁₀等污染物共同作用下,PM_{2.5}对人群死亡的影响。结果显示:在滞后1d时,引入PM₁₀、O₃-8h后,PM_{2.5}对65岁及以上人群总死亡和循环系统疾病死亡的危险度均有所降低;在纳入NO₂后,PM_{2.5}对65岁及以上人群总死亡的影响消失。多种模型结果的差异可能与污染物之间相互作用或者数据之间相关性导致的共线性现象有关。此结果与陈鑫等^[15]在苏州的研究发现引入NO₂后心血管疾病死亡风险增加,而引入O₃-8h死亡风险降低的结果不完全一致,提示在不同地区,由于空气污染的污染特征不同,污染物之间的相互作用存在一定差异。

在较低浓度下引起人群死亡风险增加,可能与PM_{2.5}细颗粒物的成分有关。PM_{2.5}由于地区气候条件和污染源的不同,其成分不完全一致^[16-17],梁锐明等^[14]对中国7个城市的研究发现,广州市PM_{2.5}浓度低于石家庄、哈尔滨等城市,但是其引起死亡风险增加的百分比高于这些城市。因此,在今后研究中,有必要进一步分析福州市空气细颗粒物成分,如重金属和多环芳烃等成分对人群死亡风险的影响。

综上,本研究揭示了低浓度PM_{2.5}状态下,PM_{2.5}浓度的上升对于老年人群的健康影响尤为明显,且PM_{2.5}对循环系统的影响较之呼吸系统更为严重。在低浓度PM_{2.5}暴露情况下,有针对性地制定适合于老年人群的大气污染防控措施尤为必要。

参考文献

- [1] 施小明. 空气污染、气候变化与健康:从证据到行动[J]. 中华预防医学杂志, 2019, 53(1): 1-3.
- [2] AI S, QIAN Z M, GUO Y, et al. Long-term exposure to ambient fine particles associated with asthma: a cross-sectional study among older adults in six low- and middle-income countries [J]. Environ Res, 2019, 168, 141-145.
- [3] YARAHMADI M, HADEI M, NAZARI SH, et al. Mortality assessment attributed to long-term exposure to fine particles in ambient air of the megacity of Tehran, Iran [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2018, 25(14): 14254-14262.
- [4] World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution [EB/OL]. [2018-10-31]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>.
- [5] 郑晶, 刘晓秋, 刘芳, 等. 哈尔滨市大气污染与居民循环系统疾病死亡风险的相关分析[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(10): 885-891.
- [6] 张献伟, 徐美华, 王玉雯, 等. 2016—2018年天津市大气PM_{2.5}对儿童呼吸系统门诊量的时间序列分析[J]. 公共卫生与预防医学, 2019, 30(5): 29-32.
- [7] 刘昱彤, 石春蕊, 董继元, 等. 空气细颗粒物PM_{2.5}浓度与皮炎湿疹类皮肤病日门诊人次的相关性研究——以兰州两所医院为例[J]. 临床皮肤科杂志, 2018, 47(9): 559-563.
- [8] 国家统计局. 2018中国统计年鉴. 部分地区城市居民主要疾病死亡率及死因构成[EB/OL]. [2019-09-01]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2018/indexch.htm>.
- [9] 赵春善, 方今女. 吉林市采暖期PM_{2.5}污染水平与老年人呼吸系统健康关系的回顾性研究[J]. 中国卫生统计, 2015, 32(5): 844-847.
- [10] 潘阳, 曲洋明, 刘建伟, 等. 长春市PM_{2.5}污染对老年人群心脑血管疾病死亡影响的时间序列分析[J]. 环境卫生学杂志, 2019, 9(1): 8-13.
- [11] 环境空气质量标准: GB 3095—2012[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [12] 陈浪, 赵川, 关茗洋, 等. 石家庄市大气颗粒物浓度与居民死亡率的时间序列分析[J]. 中华疾病控制杂志, 2018, 22(3): 272-277.
- [13] GOODMAN JE, PRUEITT RL, SAX SN, et al. Ozone exposure and systemic biomarkers: evaluation of evidence for adverse cardiovascular health impacts [J]. Crit Rev Toxicol, 2015, 45(5): 412-452.
- [14] 梁锐明, 殷鹏, 王黎君, 等. 中国7个城市大气PM_{2.5}对人群心血管疾病死亡的急性效应研究[J]. 中华流行病学杂志, 2017, 38(3): 283-289.
- [15] 陈鑫, 王临池, 郭倩岚, 等. 苏州市大气PM_{2.5}浓度与心脑血管疾病死亡的时间序列分析[J]. 中华疾病控制杂志, 2019, 23(6): 661-666.
- [16] 郭新彪, 魏红英. 大气PM_{2.5}对健康影响的研究进展[J]. 科学通报, 2013, 58(13): 1171-1177.
- [17] 韩瑞霞, 刘伟豪, 王森. 中国主要城市春季PM_{2.5}分布特征及其来源分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(22): 7608-7613.

(英文编辑: 汪源; 编辑: 王晓宇; 校对: 丁瑾瑜)