

郑州市大气PM_{2.5}与居民循环系统疾病死亡的相关性

刘乐¹, 韦慧燕¹, 王兵亚², 何燕¹

1. 郑州大学公共卫生学院社会医学与卫生事业管理教研室, 河南 郑州 450001
2. 郑州人民医院营养科, 河南 郑州 450003

摘要:

[背景] 大气污染物PM_{2.5}暴露与循环系统疾病死亡人数存在密切关联, 但不同城市之间PM_{2.5}对循环系统疾病死亡人次的影响存在差异。

[目的] 重点探讨郑州市大气PM_{2.5}浓度与居民循环系统疾病日均死亡人数的相关性。

[方法] 收集2019年郑州市大气污染物、气象资料以及居民循环系统疾病死亡数据。采用Spearman相关分析三者之间的相关性。采用基于Poisson分布的广义线性模型, 控制长期趋势、星期几效应和气象等影响因素后, 研究郑州市大气PM_{2.5}浓度与循环系统疾病日均死亡人数的关系及滞后效应, 同时对年龄和季节进行分层分析。

[结果] 2019年郑州市居民因循环系统疾病死亡共19 429人, 日均死亡(55.32±13.35)人。郑州市2019年PM_{2.5}年均浓度为(65.81±41.10) μg·m⁻³。Spearman相关分析表明, 循环系统疾病日均死亡人数与PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO和气压均呈正相关, 与O_{3-8h}、日均温度和相对湿度呈负相关($P < 0.05$)。单污染物模型中, PM_{2.5}与循环系统疾病总人群、<65岁和≥65岁人群死亡的关联分别在lag2、lag4和lag3时最高, PM_{2.5}每升高10 μg·m⁻³, 其风险分别增加0.472% (95% CI: 0.098%~0.847%)、0.700% (95% CI: 0.059%~1.345%)、0.516% (95% CI: 0.097%~0.937%), PM_{2.5}浓度与循环系统疾病人群死亡的暴露-反应关系曲线均呈近似线性的缓慢上升状态。在供热期和非供热期, PM_{2.5}浓度每升高10 μg·m⁻³, 对总人群循环系统疾病日死亡风险分别增加0.665% (95% CI: 0.084%~1.249%)和1.919% (95% CI: 0.355%~3.506%) ($P < 0.05$); 在非供热期, PM_{2.5}浓度每升高10 μg·m⁻³, ≥65岁人群循环系统疾病每日死亡风险增加2.734% (95% CI: 0.975%~4.524%) ($P < 0.05$)。双污染物模型中, 在供热期, 纳入SO₂时, PM_{2.5}浓度升高对总人群和≥65岁人群循环系统疾病每日死亡风险的影响具有统计学意义($P < 0.05$); 纳入O_{3-8h}时, 对总人群的影响仍然具有统计学意义($P < 0.05$)。在非供热期, 分别纳入SO₂、CO、PM₁₀、NO₂和O_{3-8h}后, PM_{2.5}浓度升高对总人群和≥65岁人群循环系统疾病每日死亡风险的影响仍然具有统计学意义($P < 0.05$)。

[结论] 郑州市大气污染物PM_{2.5}浓度的升高与居民循环系统疾病死亡风险升高存在正相关, 尤其需要关注老年人群。

关键词: 大气污染; PM_{2.5}; 循环系统疾病; 死亡

Correlations between atmospheric PM_{2.5} and residents' circulatory disease deaths in Zhengzhou

LIU Le¹, WEI Huiyan¹, WANG Bingya², HE Yan¹ (1. Department of Social Medicine and Health Management, School of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Department of Nutrition, Zhengzhou People's Hospital, Zhengzhou, Henan 450003, China)

Abstract:

[Background] Exposure to air pollutant PM_{2.5} is closely related to the number of deaths from circulatory diseases, but the impact varies among cities.

[Objective] This study focuses on the correlation between PM_{2.5} concentration and average daily deaths from circulatory diseases of residents in Zhengzhou.

[Methods] Data of air pollutants, meteorological variables, and death of Zhengzhou residents in 2019 were collected. Spearman correlation analysis was used to understand the correlations among the variables. Poisson generalized linear model was employed, after controlling covariates such as long-term trend, day-of-the-week effect, and meteorological factors, to evaluate the daily circulatory

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20436

基金项目

河南省科技攻关计划项目 (162102310548)

作者简介

刘乐 (1994—), 女, 硕士生;
E-mail: 553204814@qq.com

通信作者

何燕, E-mail: 810231581@qq.com

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-09-17

录用日期 2021-04-07

文章编号 2095-9982(2021)07-0740-07

中图分类号 R122

文献标志码 A

引用

刘乐, 韦慧燕, 王兵亚, 等. 郑州市大气PM_{2.5}与居民循环系统疾病死亡的相关性[J]. 环境与职业医学, 2021, 38(7): 740-746.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20436

Funding

This study was funded.

Correspondence to

HE Yan, E-mail: 810231581@qq.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2020-09-17

Accepted 2021-04-07

To cite

LIU Le, WEI Huiyan, WANG Bingya, et al. Correlations between atmospheric PM_{2.5} and residents' circulatory disease deaths in Zhengzhou[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(7): 740-746.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20436

disease deaths associated with atmospheric PM_{2.5} concentrations and the lag effect. Age- and season-stratified analyses were also conducted.

[Results] A total of 19 429 people died of circulatory diseases in Zhengzhou in 2019, with an average of 55.32±13.35 people every day. The average annual concentration of PM_{2.5} in Zhengzhou was (65.81±41.10) μg·m⁻³ in 2019. The Spearman correlation analysis results showed that the average daily death number of circulatory diseases was positively correlated with PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, CO, and air pressure, and negatively correlated with O_{3-8h}, average daily temperature, and relative humidity ($P<0.05$). In the single-pollutant model, the correlations between PM_{2.5} concentration and deaths from circulatory diseases in total, <65 years old, and ≥65 years old populations were strongest at lag2, lag4, and lag3, and for every 10 μg·m⁻³ increase in the concentration of PM_{2.5}, the risk of daily mortality increased by 0.472% (95% CI: 0.098%-0.847%), 0.700% (95% CI: 0.059%-1.345%), and 0.516% (95% CI: 0.097%-0.937%), respectively. The curve of the exposure-response relationship between PM_{2.5} concentration and circulatory disease deaths showed an approximate linear rise. In both heating and non-heating periods, every 10 μg·m⁻³ increase in PM_{2.5} concentration was associated with an increase in daily mortality risk of circulatory system diseases in the total population by 0.665% (95% CI: 0.084%-1.249%) and 1.919% (95% CI: 0.355%-3.506%) respectively ($P<0.05$); in the non-heating period, every 10 μg·m⁻³ increase in PM_{2.5} concentration was associated with an increase in daily mortality risk of circulatory diseases in the residents ≥65 years by 2.734% (95% CI: 0.975%-4.524%) ($P<0.05$). In the double-pollutant model, in the heating period, when SO₂ was included, the risk of daily death from circulatory diseases associated with an increase in PM_{2.5} concentration was significant in the total population and the people ≥65 years ($P<0.05$); when O_{3-8h} was included, the risk was still significant in the total population ($P<0.05$). In the non-heating period, when SO₂, CO, PM₁₀, NO₂, and O_{3-8h} were included respectively, the effect of PM_{2.5} concentration increase on the daily mortality risk of circulatory diseases was still significant in the total population and the people ≥65 years ($P<0.05$).

[Conclusion] The increase of PM_{2.5} concentration is positively correlated with the increase of the risk of death from circulatory diseases among residents in Zhengzhou; the elderly deserve special attention.

Keywords: air pollution; PM_{2.5}; circulatory disease; death

近年来随着工业化和城市化的飞速发展,空气污染已经成为我国一个严重的社会问题,以可吸入颗粒物为特征污染物的大气环境问题日益突出。在各种空气污染中,细颗粒物(fine particulate matter, PM_{2.5})是空气中的主要污染物,对人类健康造成的影响已成为国内外研究的热点问题。研究表明,PM_{2.5}的短期暴露与人体呼吸、循环和生殖系统等疾病密切相关^[1-3]。最新研究显示,全球约31%的死亡是由循环系统疾病造成的^[4]。郑州是河南省省会,地处华北平原南部、黄河下游,属暖温带-北亚热带过渡型大陆性季风气候。郑州是我国中部地区重要的工业城市,随着省会城市人口的不断增长和工业化的快速发展,空气污染物排放和悬浮物大量增加,PM_{2.5}污染加剧。2019年,全国337个地级及以上城市中,有180个城市环境空气质量超标,占53.4%,按照环境空气质量综合指数评价,郑州位列环境空气质量相对较差的20个城市中,但是有关郑州市大气污染与人群循环系统疾病死亡关系的研究几乎没有。本研究旨在探讨郑州市PM_{2.5}短期暴露与居民循环系统疾病日均死亡人数的关系,为郑州市居民健康防护提供依据,为我国制定大气颗粒物污染的公共卫生预防决策提供参考。

1 对象与方法

1.1 资料来源

1.1.1 大气污染和气象资料 河南省郑州市2019年1月1日—12月31日大气污染物数据来源于郑州市

环保局,所收集的数据为郑州市9个国控空气质量监测站监测数据的平均值,包括PM_{2.5}、可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)的日均质量浓度(后简称“浓度”)和臭氧(O₃)日最大8h的平均浓度(O_{3-8h})。同期气象监测数据来源于郑州市气象局,包括日均温度、日均气压、日均相对湿度、日均风速。

1.1.2 死因资料 2019年全年死因数据来源于国家死因登记报告信息系统,覆盖郑州市下辖的6个区(中原区、金水区、二七区、管城区、惠济区、上街区)、5个县级市(荥阳市、新郑市、新密市、登封市、巩义市)和1个县(中牟县)。数据包括死者性别、年龄、死亡时间、根本死亡原因及国际疾病分类标准(International Classification of Diseases, ICD)编码等,排除意外死亡2404条,共计34701条死亡资料。数据分析时根据ICD第十版进行疾病划分,循环系统疾病ICD编码为I00-I99。本研究经郑州大学伦理审查委员会审批通过(编号:2020-47)。

1.2 统计学方法

1.2.1 描述性分析 对研究期间郑州市居民循环系统疾病死亡日均人次、大气污染物浓度和气象数据进行描述性分析。大气污染和气象数据年缺失率均小于5%,其中:每个国控空气质量监测站的大气污染物缺失值部分是利用其他监测站同一时间测量的同一污染物的数据,根据线性回归插值法计算得出的;气象数据缺失部分采用线性回归插值法进行填补。分

析指标均采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)、最小值(Min)、中位数(M)、最大值(Max)、第25百分位数(P_{25})以及第75百分位数(P_{75})描述。

1.2.2 相关性分析 运用SPSS 21.0软件对数据进行统计学分析, Kolmogorov-Smirnov检验结果提示循环系统疾病死亡人数不符合正态性分布($P<0.001$)。因此采用Spearman相关分析大气污染物、气象因素和循环系统疾病死亡日均人次之间的相关性, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。

1.2.3 时间序列分析 采用时间序列分析方法, 利用R3.6.2软件建立模型。相对于郑州市总人口而言, 每日居民循环系统疾病死亡风险属于小概率事件, 其分布近似于泊松分布。因此采用广义线性模型, 拟合大气污染物 $PM_{2.5}$ 与居民循环系统疾病日均死亡人数的关系, 然后再进行滞后1~7d的滞后效应分析。模型如下:

$$\lg [E(Y_i)] = I \times \rho_i + f_{ns}(t, v) + V_{DOW} + f_{ns}(Z_i, v) + a$$

式中: Y_i 是在观察日第*i*日因循环系统疾病的死亡数; $E(Y_i)$ 是在观察日第*i*日因循环系统疾病死亡数的期望值; ρ_i 是在第*i*日的空气污染物浓度, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; I 是暴露-反应关系系数, 即污染物每单位浓度升高所引起的循环系统疾病日死亡人数的增长; f_{ns} 是自然平滑样条函数; t 为日期变量, v 为自由度, 对日期选择合适的 v 值可以有效地控制污染, 纠正序列数据的长期波动和季节性波动趋势; V_{DOW} 为星期几的哑元变量; Z_i 是第*i*日的气象因素, 包括日均温度、日均相对湿度、风速和气压, v 为自由度, 其数值基于前期研究和赤池信息准则而定^[5-6]; a 为截距。本研究长期波动和季节性 v 取7年, 各气象指标 v 取3年。在模型中使用平滑样条函数, 在调整时间趋势、星期几效应、气象条件等混杂因素的情况下, 引入 $PM_{2.5}$ 拟合单污染物模型, 同时考虑其滞后效应和累积效应, 最终确定将当日至前7日单日滞后(lag0~lag7)的污染物浓度引入模型, 计算 $PM_{2.5}$ 浓度每升高 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 人群每日循环系统疾病死亡风险增加或降低的百分比(即超额危险度, excess risk, ER)及其95%置信区间(confidence interval, CI), 由此确定模型中 $PM_{2.5}$ 浓度对循环系统疾病死亡日均人次影响最强的滞后日。然后同时引入其他大气污染物, 进行双污染物模型拟合, 通过逐步回归的方法控制共线性。通过此模型建立 $PM_{2.5}$ 浓度与循环系统疾病死亡人数增加百分比的暴露-反应关系, 以产生最大健康效应时的污染物浓度作为暴露水平, 以了解污染物浓度与健康效应之间的关系。此外,

按年龄(<65岁和 ≥ 65 岁)、供热期(11月15日—3月15日)和非供热期(3月16日—11月14日)对数据进行分层, 以探讨其潜在影响的变化。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 循环系统疾病死亡人数

研究期内, 郑州市每日循环系统疾病日均死亡人数为55.32人, 其中<65岁为10.30人, ≥ 65 岁为42.93人; 供热期内循环系统疾病死亡人数为64.67人, 非供热期内为47.52人。见表1。

表1 2019年郑州市循环系统疾病死亡基本情况

Table 1 Deaths due to circulatory diseases in Zhengzhou in 2019

特征	人数	构成比/%	日均死亡数($\bar{x}\pm s$)
年龄/岁			
<65	3 758	19.34	10.30±3.54
≥ 65	15 671	80.66	42.93±11.75
季节			
供热期	7 833	55.71	64.67±13.83
非供热期	11 596	44.29	47.52±8.70
合计	19 429	100.00	55.32±13.35

2.2 空气污染物与气象因素

2019年郑州市大气污染物 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_{3-8h} 、CO年均浓度分别为65.81、113.76、12.60、50.63、98.58 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和1.00 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 其中 SO_2 、CO和 O_{3-8h} 浓度均符合GB 3095—2012《环境空气质量标准》一级浓度限值(分别为 $20\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $4\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $100\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$); $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 均超过GB 3095—2012《环境空气质量标准》二级浓度限值(分别为35、70、 $40\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$); 日均温度为 16.57°C , 相对湿度为56.96%, 日均风速为 $1.83\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 气压为1003.55 hPa。结果见表2。

表2 2019年郑州市大气污染物和气象因素水平

Table 2 The levels of atmospheric pollutants and meteorological factors in Zhengzhou in 2019

指标	$\bar{x}\pm s$	Min	P_{25}	M	P_{75}	Max
大气污染物						
$PM_{2.5}$ 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	65.81±41.10	16.28	33.93	52.78	85.93	216.28
PM_{10} 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	113.76±51.98	33.11	74.70	102.28	141.99	318.28
SO_2 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	12.60±5.89	2.06	8.97	12.69	16.06	31.61
NO_2 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	50.63±14.58	23.17	38.93	49.81	61.08	101.84
CO浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	1.00±0.29	0.46	0.80	0.95	1.15	2.09
O_{3-8h} 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	98.58±47.04	18.00	55.35	93.56	135.81	236.45
气象因素						
日均温度/ $^\circ\text{C}$	16.57±10.25	-3.00	7.20	17.20	26.20	33.60
相对湿度/%	56.96±12.47	26.50	47.50	57.00	67.00	86.00
日均风速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	1.83±0.52	0.70	1.45	1.80	2.10	3.55
气压/hPa	1003.55±9.25	986.25	995.08	1003.95	1011.05	1026.95

2.3 大气污染物、气象因素与循环系统疾病死亡人数的相关性

Spearman 相关分析结果表明,循环系统疾病日均死亡人数与空气污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO 和气压均呈正相关 ($P < 0.05$),与 O_{3-8h}、日均温度和相对湿度呈负相关 ($P < 0.05$),与风速关联没有统计学意义 ($P > 0.05$)。6 种污染物日均浓度之间的相关性有

统计学意义 ($P < 0.01$)。污染物 O_{3-8h} 与其他 5 种污染物和气压呈负相关 ($P < 0.01$),与日均温度、风速呈正相关 ($P < 0.01$)。日均温度与 PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO 呈负相关,与 PM₁₀、相对湿度和风速呈正相关 ($P < 0.05$)。气压与日均温度、相对湿度和日均风速呈负相关 ($P < 0.01$)。见表 3。

表 3 2019 年郑州市大气污染物、气象因素与循环系统疾病死亡人数的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between air pollutants, meteorological factors, and death toll of circulatory diseases in Zhengzhou in 2019

变量	PM _{2.5} 浓度	PM ₁₀ 浓度	SO ₂ 浓度	NO ₂ 浓度	CO 浓度	O _{3-8h} 浓度	日均温度	相对湿度	日均风速	气压
循环系统疾病死亡数	0.584**	0.499**	0.566**	0.210**	0.389**	-0.529**	-0.674**	-0.183**	-0.034	0.582**
PM _{2.5} 浓度	1.000	0.841**	0.735**	0.632**	0.744**	-0.638**	-0.764**	-0.093	-0.143**	0.651**
PM ₁₀ 浓度		1.000	0.742**	0.598**	0.528**	-0.460**	0.601**	-0.366**	0.035	0.482**
SO ₂ 浓度			1.000	0.642**	0.578**	-0.562**	-0.752**	-0.434**	-0.050	0.691**
NO ₂ 浓度				1.000	0.586**	-0.465**	-0.469**	-0.090	-0.340**	0.498**
CO 浓度					1.000	-0.524**	-0.603**	0.150**	-0.242**	0.552**
O _{3-8h} 浓度						1.000	0.827**	0.034	0.164**	-0.798**
日均温度							1.000	0.103*	0.179**	-0.906**
相对湿度								1.000	-0.294**	-0.178**
日均风速									1.000	-0.232**

[注] * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$ 。

2.4 PM_{2.5} 浓度与循环系统疾病日均死亡人数的关系

2.4.1 单污染物模型拟合结果 总体来看,PM_{2.5} 在当天对居民循环系统疾病死亡没有影响,在滞后 2~3 d 有影响,在滞后 2 d 时效应最大,PM_{2.5} 每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,居民每日循环系统死亡风险增加 0.472% (95% CI : 0.098%~0.847%)。<65 岁人群在滞后 4 d 时效应最大; ≥65 岁人群在滞后 3 d 时存在效应。PM_{2.5} 每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时, <65 岁人群和 ≥65 岁人群死亡风险分别增加 0.700% (95% CI : 0.059%~1.345%)、0.516% (95% CI : 0.097%~0.937%)。见图 1。

2.4.2 暴露-反应关系曲线 选择最大效应滞后天数的污染物浓度作为暴露水平,绘制暴露-反应曲线时,PM_{2.5} 对循环系统疾病总人群死亡和年龄分层 (<65 岁和 ≥65 岁) 人群死亡的滞后天选择分别为 lag2、lag4 和 lag3。PM_{2.5} 浓度与循环系统总人群和不同年龄分层日均死亡的暴露反应关系曲线见图 2。可以看出三种暴露-反应关系曲线均呈现近似线性的缓慢上升,在高浓度下,PM_{2.5} 对总人群的死亡风险在经历一个短暂的平台期后趋于缓和。

2.4.3 双污染物模型拟合结果 由于 PM₁₀ 包含 PM_{2.5},因此对 PM_{2.5} 拟合双污染物模型时,引入 PM₁₀ 的值实际为 PM₁₀-PM_{2.5} 的浓度值。由表 4 可见,在最大效应

滞后时间 (lag2、lag4) 条件下,分别调整了 SO₂、CO、PM₁₀、O_{3-8h} 和 NO₂ 以后,PM_{2.5} 浓度升高对总人群和 <65 岁人群死亡风险的影响均无统计学意义;在 ≥65 岁人群中,调整了 SO₂ 后,PM_{2.5} 浓度升高对 ≥65 岁人群死亡风险的效应值降低,调整 CO、PM₁₀、NO₂ 和 O_{3-8h} 后,PM_{2.5} 浓度升高对 ≥65 岁人群死亡风险的影响均无统计学意义。

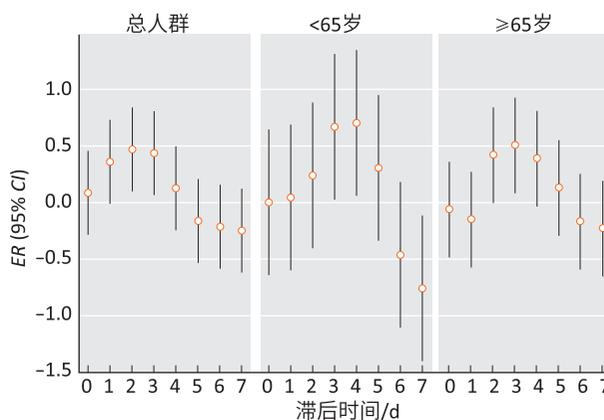
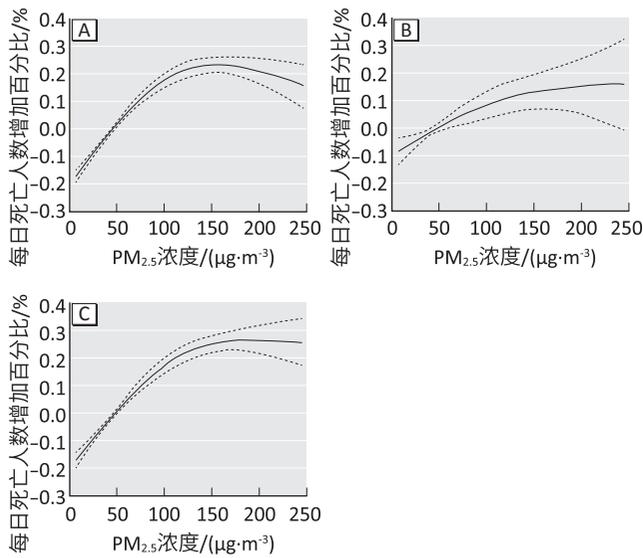


图 1 2019 年郑州市 PM_{2.5} 浓度对循环系统疾病总人群以及年龄分层死亡人数的影响

Figure 1 Effects of PM_{2.5} concentrations on deaths due to circulatory diseases in total and age-stratified populations in Zhengzhou in 2019



[注] 实线表示循环系统疾病每日死亡人数增加的百分比的平均值, 虚线表示95%的置信区间。PM_{2.5}对循环系统疾病总死亡和年龄分层的滞后天选择分别为lag2、lag4和lag3。

图2 2019年郑州市PM_{2.5}浓度与循环系统疾病总人群(A)、<65岁(B)和≥65岁(C)人群死亡风险的暴露-反应关系曲线
Figure 2 Curve of exposure-response relationship between PM_{2.5} concentrations and deaths due to circulatory diseases in total (A), <65 years (B), and ≥65 years (C) populations in Zhengzhou in 2019

表4 2019年大气PM_{2.5}对郑州市居民循环系统疾病死亡的超额危险度(双污染物模型)

Table 4 Excess risk of mortality from circulatory diseases of residents attributed to atmospheric PM_{2.5} in Zhengzhou in 2019 (multi-pollutant model)

污染物	单位(Unit): %					
	总人群(lag2)		<65岁人群(lag4)		≥65岁人群(lag3)	
	ER	95%CI	ER	95%CI	ER	95%CI
PM _{2.5}	0.472*	0.098~0.847	0.700*	0.059~1.345	0.516*	0.097~0.937
PM _{2.5} +SO ₂	-0.418	-0.835~0.001	-0.079	-1.060~0.912	0.513*	0.012~1.017
PM _{2.5} +CO	-0.387	0.022~0.031	1.329	-0.177~2.857	-0.092	-0.811~0.633
PM _{2.5} +PM ₁₀	-0.331	-0.735~0.075	0.109	-0.839~1.067	0.052	-0.399~0.504
PM _{2.5} +NO ₂	-0.412	-0.868~-0.046	0.146	-0.917~1.221	-0.102	-0.608~0.407
PM _{2.5} +O _{3-8h}	-0.306	-0.716~0.105	0.147	-0.809~1.112	0.108	-0.347~0.566

[注] *: P<0.05。

2.4.4 供热期与非供热期的健康效应 在单污染物模型的基础上, 供热期的总人群、<65岁和≥65岁人群死亡分别选取最大滞后效应lag3、lag3、lag4时的污染物浓度; 非供热期的总人群、<65岁和≥65岁人群死亡分别选取最大滞后效应lag6、lag3、lag6时的污染物浓度纳入双污染物模型。结果显示: 在供热期和非供热期, PM_{2.5}浓度每升高10 μg·m⁻³, 对总人群循环系统疾病日死亡风险分别增加0.665% (95%CI: 0.084%~1.249%) 和1.919% (95%CI: 0.355%~3.506%) (P<0.05); 在非供热期, PM_{2.5}浓度每升高10 μg·m⁻³,

≥65岁人群循环系统疾病每日死亡风险增加2.734% (95%CI: 0.975%~4.524%) (P<0.05)。双污染物模型中, 在供热期, 纳入SO₂时, PM_{2.5}浓度升高对总人群和≥65岁人群循环系统疾病死亡风险的影响具有统计学意义(P<0.05); 纳入O_{3-8h}时, 对总人群日死亡风险的影响仍然具有统计学意义(P<0.05)。在非供热期, 分别纳入SO₂、CO、PM₁₀、NO₂和O_{3-8h}后, PM_{2.5}浓度升高对总人群和≥65岁人群循环系统疾病每日死亡风险的影响仍然具有统计学意义(P<0.05)。见表5。

表5 2019年供热期和非供热期大气PM_{2.5}对郑州市居民循环系统疾病死亡的超额危险度(双污染物模型)

Table 5 Excess risk of mortality from circulatory diseases of residents attributed to atmospheric PM_{2.5} in heating and non-heating periods Zhengzhou in 2019 (multi-pollutant model)

污染物	单位(Unit): %					
	总人群		<65岁人群		≥65岁人群	
	ER	95%CI	ER	95%CI	ER	95%CI
供热期						
PM _{2.5}	0.665*	0.084~1.249	0.956	-0.391~2.320	0.395	-0.260~1.054
PM _{2.5} +SO ₂	0.749*	0.144~1.358	0.950	-0.455~2.374	0.708*	0.037~1.382
PM _{2.5} +CO	0.569	-0.476~1.624	1.674	-0.836~4.248	0.283	-0.833~1.411
PM _{2.5} +PM ₁₀	-0.331	-0.735~0.075	-0.631	-1.573~0.319	-0.260	-0.708~0.190
PM _{2.5} +NO ₂	0.535	-0.173~1.248	1.331	-0.324~3.014	0.430	-0.367~1.234
PM _{2.5} +O _{3-8h}	0.650*	0.059~1.244	0.921	-0.452~2.312	0.386	-0.283~1.059
非供热期						
PM _{2.5}	1.919*	0.355~3.506	-0.357	-3.407~2.789	2.734*	0.975~4.524
PM _{2.5} +SO ₂	2.337*	0.700~4.001	-1.069	-4.255~2.191	3.122*	1.278~4.999
PM _{2.5} +CO	2.161*	0.374~3.980	1.059	-2.550~4.802	2.831*	0.824~4.878
PM _{2.5} +PM ₁₀	2.331*	0.635~3.995	-1.631	-4.573~3.319	2.760*	1.708~4.190
PM _{2.5} +NO ₂	1.828*	0.162~3.522	0.220	-3.054~3.604	2.571*	0.698~4.479
PM _{2.5} +O _{3-8h}	1.731*	0.039~3.453	-1.073	-4.395~2.365	2.333*	0.431~4.271

[注] *: P<0.05。

3 讨论

本研究结果显示, 2019年郑州市大气污染物SO₂、CO和O_{3-8h}浓度均符合GB 3095—2012《环境空气质量标准》一级浓度限值; PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂年均浓度超过GB 3095—2012《环境空气质量标准》二级浓度限值。郑州市大气污染情况不容乐观, 需要开展有针对性的大气污染治理。

本研究结果显示, 循环系统疾病日均死亡人数与空气污染物PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO和气压均呈正相关, 与O_{3-8h}、日均温度和相对湿度呈负相关, 与风速没有统计学关联, 这与北京^[7]、包头^[8]的研究结果一致, 再次证实了空气污染物和气象因素与人群循环系统疾病日均死亡人次的相关性, 且这种相关性不受

地理位置、不同人群和季节等条件的影响^[9-10]。

国内外关于空气污染与人群死亡之间的相关性研究较多,分析方法主要包括时间序列研究和病例交叉研究^[11-12]。本研究中通过时间序列的方法拟合单污染物模型,结果显示PM_{2.5}对郑州市循环系统疾病死亡存在短期效应:在滞后2d时,PM_{2.5}每升高10μg·m⁻³,总人群每日循环系统死亡风险增加0.472%(95%CI:0.098%~0.847%),且<65岁人群和≥65岁人群死亡风险均有所增加。这与国内外其他研究结果一致:PM_{2.5}浓度每增加10μg·m⁻³,长春市循环系统疾病死亡风险增加0.442%(95%CI:0.038%~0.848%)^[11],秘鲁利马地区增加1.06%(95%CI:1.01%~1.11%)^[13],兰州增加1.22%(95%CI:0.11%~2.35%)^[14]。在不同的研究中,PM_{2.5}对循环系统疾病死亡风险效应值有所差异,这种差异可能与不同地区的颗粒物污染成分、人群对空气污染的敏感性以及所研究人口的年龄分布差异有关。此外,不同研究结果的差异也可能与模型的选择、自由度的确定以及延迟天数的选择有关。

本研究结果显示PM_{2.5}暴露与循环系统疾病每日死亡率之间的暴露-反应关系呈近似线性的缓慢上升。这一结果与以往研究结果一致:一项全球600多个城市PM_{2.5}短期暴露与每日心血管系统疾病死亡关联的研究结果显示,两者呈现线性暴露-反应曲线关系^[15]。这表明较高浓度的PM_{2.5}可能导致循环系统疾病死亡的显著增加,即使在低环境浓度下,PM_{2.5}也与人群循环系统疾病死亡人数有关。

考虑到不同空气污染物对人体健康的危害并非独立,为了评估双污染物是否会引起联合效应,本研究将其他不同污染物纳入PM_{2.5}的单污染物模型,建立双污染物模型,在分别调整了SO₂、CO、PM₁₀、O_{3-8h}和NO₂以后,发现PM_{2.5}浓度升高对总人群和<65岁人群死亡风险的影响均无统计学意义,在≥65岁人群中,调整了SO₂后,PM_{2.5}浓度升高对≥65岁人群死亡风险的效应值降低。这提示PM_{2.5}与其他污染物导致的健康效应并非是简单叠加,也可能存在较强的共线性或协同作用。这也可能与研究样本量、空气污染物成分的复杂性等因素有关。PM_{2.5}与其他污染物的联合作用仍有待进一步深入研究。

本研究显示,调整其他共存污染物后,与供热期相比,非供热期大气PM_{2.5}对总人群及≥65岁居民循环系统疾病日死亡的效应值有所增加,这可能是因为非供热期室外温度较高或温和,人们多选择室外活

动,增加了空气污染暴露程度。有关研究表明,福州市居民在非供热期内,PM_{2.5}每增加10μg·m⁻³,循环系统疾病死亡率增加8.21%(95%CI:0.32%~16.72%)^[6]。哈尔滨市居民在供热期PM_{2.5}每升高10μg·m⁻³,总人群和≥65岁人群循环系统疾病日死亡风险增加0.48%(95%CI:0.16%~0.81%)和0.56%(95%CI:0.21%~0.92%)^[1]。广州的一项研究发现,非供热期内PM_{2.5}对循环系统疾病死亡率的影响没有统计学意义^[16]。可见PM_{2.5}对循环系统疾病死亡影响的季节性差异仍然不确定。此外,在非供热期≥65岁人群对PM_{2.5}和其他污染物的双污染物组合的敏感性更强,而在<65岁人群中其效应均失去了统计学意义。一些研究发现,高浓度空气污染对老年人群循环系统疾病死亡人数的影响比对年轻人的影响更大^[17]。目前老龄化正在加剧,在生物学层面上,随着人们年龄的增长,生理功能会减弱,暴露于PM_{2.5}会增加循环系统疾病患病的风险甚至导致死亡^[18]。因此要加强对老年人的防护,减少大气颗粒物的暴露,从而减弱其危害效应。

由于本研究为生态学研究,且只分析了一个城市一年的数据,不可避免可能存在生态学谬误,研究结果仅限于暴露与效应之间的关联性,不能外推于其他城市和地区;另外,本研究的每日循环系统疾病死亡人数与大气污染浓度变化分析,是基于室外大气污染水平进行的评估,并非基于个体大气污染暴露,研究结论可能存在偏倚。综上所述,郑州市空气污染水平升高与居民循环系统疾病死亡存在相关性,且老年人群是重点关注人群。

参考文献

- [1] 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.
ZHENG J, LIU XQ, LIU F, et al. Correlation analysis between air pollution and risk of death from circulatory diseases of residents in Harbin [J]. J Environ Occup Med, 2018, 35(10): 885-891.
- [2] TO T, ZHU JQ, VILLENEUVE PJ, et al. Chronic disease prevalence in women and air pollution—A 30-year longitudinal cohort study [J]. Environ Int, 2015, 80: 26-32.
- [3] JIANG Y, CHEN JD, WU CC, et al. Temporal cross-correlations between air pollutants and outpatient visits for respiratory and circulatory system diseases in Fuzhou,

- China [J]. BMC Public Health, 2020, 20 (1) : 1131.
- [4] LIN YK, SUNG FC, HONDA Y, et al. Comparative assessments of mortality from and morbidity of circulatory diseases in association with extreme temperatures [J]. Sci Total Environ, 2020, 723 : 138012.
- [5] COSTA AF, HOEK G, BRUNEKREEF B, et al. Air pollution and deaths among elderly residents of São Paulo, Brazil : an analysis of mortality displacement [J]. Environ Health Perspect, 2017, 125 (3) : 349-354.
- [6] JI SM, ZHOU Q, JIANG Y, et al. The interactive effects between particulate matter and heat waves on circulatory mortality in Fuzhou, China [J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17 (16) : 5979.
- [7] MA P, WANG S, ZHOU J, et al. Meteorological rhythms of respiratory and circulatory diseases revealed by Harmonic Analysis [J]. Heliyon, 2020, 6 (5) : e04034.
- [8] 芦静, 张晓梅, 冯晓冬. 包头市大气臭氧污染对人群循环系统疾病死亡的急性效应 [J]. 环境与职业医学, 2019, 36 (4) : 381-387.
- LU J, ZHANG XM, FENG XD. Acute effect of ambient ozone pollution on death from circulatory diseases in Baotou City [J]. J Environ Occup Med, 2019, 36 (4) : 381-387.
- [9] RODRÍGUEZ-VILLAMIZAR LA, ROJAS-ROA NY, BLANCO-BECERRA LC, et al. Short-term effects of air pollution on respiratory and circulatory morbidity in Colombia 2011–2014 : a multi-city, time-series analysis [J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15 (8) : 1610.
- [10] 张永利, 莫哲, 易井萍, 等. 舟山市大气PM_{2.5}对居民循环系统疾病日死亡人数的影响 [J]. 环境与职业医学, 2017, 34 (3) : 224-229.
- ZHANG YL, MO Z, YI JP, et al. Effect of PM_{2.5} on daily mortality of circulatory diseases in Zhoushan City [J]. J Environ Occup Med, 2017, 34 (3) : 224-229.
- [11] QU Y, PAN Y, NIU H, et al. Short-term effects of fine particulate matter on non-accidental and circulatory diseases mortality : a time series study among the elder in Changchun [J]. PLoS One, 2018, 13 (12) : e0209793.
- [12] LI T, YAN M, SUN Q, et al. Mortality risks from a spectrum of causes associated with wide-ranging exposure to fine particulate matter : a case-crossover study in Beijing, China [J]. Environ Int, 2018, 111 : 52-59.
- [13] TAPIA V, STEENLAND K, VU B, et al. PM_{2.5} exposure on daily cardio-respiratory mortality in Lima, Peru, from 2010 to 2016 [J]. Environ Health, 2020, 19 (1) : 63.
- [14] WU T, MA Y, WU X, et al. Association between particulate matter air pollution and cardiovascular disease mortality in Lanzhou, China [J]. Environ Sci Pollut Res, 2019, 26 (15) : 15262-15272.
- [15] LIU C, CHEN R, SERA F, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities [J]. N Engl J Med, 2019, 381 (8) : 705-715.
- [16] LI G, JIANG L, ZHANG Y, et al. The impact of ambient particle pollution during extreme-temperature days in Guangzhou City, China [J]. Asia Pac J Public Health, 2014, 26 (6) : 614-621.
- [17] YANG J, ZHOU M, LI M, et al. Fine particulate matter constituents and cause-specific mortality in China : a nationwide modelling study [J]. Environ Int, 2020, 143 : 105927.
- [18] MOKOENA KK, ETHAN CJ, YU Y, et al. The effect of ambient air pollution on circulatory mortality : a short-term exposure assessment in Xi'an, China [J]. Environ Sci Pollut Res, 2019, 26 (22) : 22512-22521.

(英文编辑 : 汪源 ; 责任编辑 : 汪源)