

乌鲁木齐市大气PM_{2.5}和PM₁₀与居民呼吸系统疾病急救人次的关系

滕婉莹¹, 杨浩峰², 马龙¹

1. 新疆医科大学公共卫生学院毒理学教研室, 新疆 乌鲁木齐 830011

2. 乌鲁木齐市疾病预防控制中心公共卫生科, 新疆 乌鲁木齐 830000

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19753

摘要:

[背景] 大气细颗粒物(PM_{2.5})和可吸入颗粒物(PM₁₀)暴露与呼吸系统疾病急诊人次之间存在密切关联,但不同城市大气颗粒物对呼吸系统疾病的影响存在差异。

[目的] 探讨乌鲁木齐市PM_{2.5}和PM₁₀浓度与呼吸系统疾病急救人次的关系。

[方法] 收集该市2016—2018年呼吸系统疾病的急救人次、气象和大气污染物数据。气象数据包括日均气温、相对湿度;大气污染数据包括PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO的日均浓度和O₃的日最大8小时平均值。急救数据来自于乌鲁木齐市疾病预防控制中心,气象及大气污染数据来自于乌鲁木齐市主城区的6个国控监测点。采用广义相加模型(GAM),在控制长期趋势、气象因素和“星期几效应”等潜在混杂因素后,分析PM_{2.5}和PM₁₀浓度与每日呼吸系统疾病急救人次的关系,分析单独滞后0~7 d (lag0~lag7)和累积滞后0~7 d (lag01~lag07)的影响,采用超额危险度(ER)及其95%可信区间(95%CI)为风险估计值。

[结果] lag07时,颗粒物效应值最大:PM_{2.5}和PM₁₀浓度每升高10 μg·m⁻³,居民因呼吸系统疾病急救人次增加,其ER(95%CI)分别为1.99%(1.18%~2.80%)和1.43%(0.76%~2.10%)。在性别分层中,大气PM_{2.5}和PM₁₀浓度每升高10 μg·m⁻³,男性、女性最大效应值分别出现在lag07、lag04,ER(95%CI)分别为2.18%(1.16%~3.21%)、1.50%(0.66%~2.35%)和1.33%(0.15%~2.52%)、1.02%(0.05%~2.00%)。在年龄分层中,大气PM_{2.5}和PM₁₀对≥65岁组人群影响的最大值出现在lag06和lag07,其浓度每升高10 μg·m⁻³因呼吸系统疾病急救人次分别增加1.67%(95%CI:0.76%~2.57%)和2.11%(95%CI:1.19%~3.04%);对<65岁组人群影响的最大值出现在lag05和lag02,其浓度每升高10 μg·m⁻³因呼吸系统疾病急救人次分别增加1.97%(95%CI:0.59%~3.36%)和1.44%(95%CI:0.67%~2.21%)。

[结论] 大气PM_{2.5}和PM₁₀浓度的升高可能增加了居民呼吸系统疾病的风险,且男性和≥65岁者对两种颗粒物暴露相对更为敏感。

关键词: 细颗粒物;可吸入颗粒物;呼吸系统疾病;急救;广义相加模型

Correlations of PM_{2.5} and PM₁₀ with emergency hospital visits for respiratory diseases of residents in Urumqi TENG Wan-ying¹, YANG Hao-feng², MA Long¹ (1.Department of Toxicology, School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2.Department of Public Health, Urumqi Center for Disease Control and Prevention, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract:

[Background] There are close correlations between exposure to fine particulate matters (PM_{2.5}) and inhalable particulate matters (PM₁₀) and emergency visits for respiratory diseases, but the correlations may differ across cities.

[Objective] This study assesses the relationships between ambient PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and daily emergency visits due to respiratory diseases in Urumqi.

[Methods] Data were collected on daily emergency visits due to respiratory diseases, meteorological variables, and atmospheric pollutants in the city from 2016 to 2018. Meteorological data included daily average temperature and relative humidity. Atmospheric pollution data included daily mean concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, and CO and maximum 8 h O₃. The emergency medical service usage data were sourced from the Urumqi Center for

作者简介

滕婉莹(1995—),女,硕士生;
E-mail: 13081690932@163.com

通信作者

马龙, E-mail: 1449747457@qq.com

利益冲突 无申报

收稿日期 2019-11-04

录用日期 2020-03-16

文章编号 2095-9982(2020)06-0594-05

中图分类号 R122.7

文献标志码 A

引用

滕婉莹, 杨浩峰, 马龙. 乌鲁木齐市大气PM_{2.5}和PM₁₀与居民呼吸系统疾病急救人次的关系[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(6): 594-598.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19753

Correspondence to

MA Long, E-mail: 1449747457@qq.com

Competing interests None declared

Received 2019-11-04

Accepted 2020-03-16

To cite

TENG Wan-ying, YANG Hao-feng, MA Long. Correlations of PM_{2.5} and PM₁₀ with emergency hospital visits for respiratory diseases of residents in Urumqi[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(6): 594-598.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19753

Disease Control and Prevention, and the meteorological and atmospheric pollution data were from six national monitoring stations in the urban area of Urumqi. Generalized additive model was used to analyze the relationships between $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations and daily emergency visits due to respiratory diseases with adjustment for time trends, meteorological factors, and day of the week, and risk estimates at individual (lag0-lag7) and cumulative (lag01-lag07) lag days were expressed as excess risk (ER) with 95% confidence interval (95% CI).

[Results] A $10\mu g\cdot m^{-3}$ increase in concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at lag07 day corresponded to an increase of 1.99% (95% CI: 1.18%-2.80%) and 1.43% (95% CI: 0.76%-2.10%) in daily emergency visits due to respiratory diseases respectively. The results of gender stratification analysis showed that a $10\mu g\cdot m^{-3}$ increase in concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at lag07 day corresponded to an increase of 2.18% (95% CI: 1.16%-3.21%) and 1.50% (95% CI: 0.66%-2.35%) for male patients respectively; a $10\mu g\cdot m^{-3}$ increase in concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at lag04 day corresponded to an increase of 1.33% (95% CI: 0.15%-2.52%) and 1.02% (95% CI: 0.05%-2.00%) for female patients respectively. The results of age stratification analysis showed that for the ≥ 65 years age group, a $10\mu g\cdot m^{-3}$ increase in concentration of $PM_{2.5}$ at lag06 day and PM_{10} at lag07 day corresponded to an increase of 1.67% (95% CI: 0.76%-2.57%) and 2.11% (95% CI: 1.19%-3.04%) in daily emergency visits due to respiratory diseases, and for the < 65 years age group, a $10\mu g\cdot m^{-3}$ increase in concentration of $PM_{2.5}$ at lag05 day and PM_{10} at lag02 day corresponded to an increase of 1.97% (95% CI: 0.59%-3.36%) and 1.44% (95% CI: 0.67%-2.21%), respectively.

[Conclusion] $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations may increase the risk of respiratory diseases among residents in Urumqi, and men and the age group ≥ 65 years are more sensitive to such exposures.

Keywords: fine particulate matter; inhalable particulate matter; respiratory disease; emergency visit; generalized additive model

近年来,大气污染已成为影响人类健康的重大环境问题,引起了世界的广泛关注。颗粒物是大气环境中化学组成复杂、来源多样、危害较大的污染物之一,是造成大气污染的主要原因。流行病学研究表明, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的短期暴露与呼吸系统疾病之间存在密切关联^[1-4]。欧盟、美国和中国等地的研究发现, PM_{10} 暴露导致慢性阻塞性肺疾病死亡率分别上升了6%、1%和1% ($P < 0.05$)^[1]。意大利一项涉及25个城市的研究表明, $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $10\mu g\cdot m^{-3}$,呼吸系统疾病发病率增加1.23%^[2]。在中国北京、沈阳、无锡进行的研究表明 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的升高能使呼吸系统疾病日均门诊就诊人数有不同程度的增加^[1, 3-4]。

目前,相关研究主要以呼吸系统疾病死亡率和门诊率为健康效应终点,对呼吸系统疾病急诊人次影响的研究相对较少^[5]。因此本研究收集了2016—2018年乌鲁木齐市呼吸系统疾病急救、气象及大气污染物数据,采用时间序列分析方法探讨该市大气 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 暴露对居民呼吸系统疾病急诊人次的影响,为进一步评估大气污染的健康效应提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

急救数据来自乌鲁木齐市疾病预防控制中心,包括2016—2018年该市常住人口的急救医疗数据;按照世界卫生组织国际疾病分类(ICD-10)对初诊疾病分类,统计每日呼吸系统疾病(J00~J99)的急救人次;气象及大气污染物数据来自乌鲁木齐市主城区的6

个国控监测点(收费所、铁路局、三十一中学、监测站、七十四中学、米东区环保局),气象数据包括日均气温、相对湿度,大气污染物数据包括 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、CO的日均浓度和 O_3 的日最大8h平均值。

1.2 分析方法

1.2.1 描述性分析 采用均值、中位数(M)、最小值(Min)、最大值(Max)、第25百分位数(P_{25})以及第75百分位数(P_{75})描述呼吸系统疾病急救人次、气象及污染物浓度数据;分析呼吸系统急救人次分布构成及顺位等疾病特征。

1.2.2 相关性分析 采用Spearman相关分析污染物和气象指标之间的相关性。

1.2.3 时间序列分析 居民每日因呼吸系统疾病而被急救为小概率事件,人数分布符合泊松分布,因此采用时间序列中基于泊松分布的广义相加模型来分析每日大气中 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度对居民因呼吸系统疾病急救人次的影响。本研究中的混杂因素包括长期时间趋势、气象因素和“星期几效应”(day of the week, DOW)。在模型中采用平滑样条函数拟合长期时间趋势和气象因素,采用哑变量来控制DOW,基本模型表达为: $\log E(Y_t) = \beta Z_t + DOW + s(time, \nu) + s(temp, 3) + s(rhum, 3)$ 。式中 Y_t :观察日 t 日接受急救的人次; $E(Y_t)$:第 t 日的呼吸系统疾病急救期望人次; β :回归系数; Z_t : t 日 $PM_{2.5}$ 或 PM_{10} 日均浓度; DOW :星期几效应; s :平滑样条函数,其中 ν 为自由度, $time$:长期趋势; $temp$:每日平均温度, $rhum$:每日相对湿度。

根据残差独立原则,通过最小化模型残差自相关来选择自由度。实际工作中,可根据基础模型残差的偏自相关绝对值之和最小的原则选取自由度^[6]。研究发现大气颗粒物对人群健康的影响具有滞后性^[1-4],故本研究分析了大气PM_{2.5}和PM₁₀污染单独滞后lag0~lag7和累积滞后lag01~lag07对居民因呼吸系统疾病急救人次的影响,本研究采用超额危险度(excess risk, ER)及其95%可信区间(95% CI)为风险估计值。超额危险度 $ER=(RR-1) \times 100\%$,本研究中指PM_{2.5}或PM₁₀每升高10 μg·m⁻³造成呼吸系统急救人次增加的百分比。研究中主要统计分析采用R软件(3.5.3版)实施,广义相加模型运用R软件中的“mgcv”包,检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 基本资料

由表1可见,2016—2018年乌鲁木齐市每日呼吸系统疾病急救人次平均为5.9人次,其中男性平均为3.6人次,女性为2.4人次;日均温度为8.2℃,相对湿度为57.5%;根据GB 3095—2012《环境空气质量标准》^[7],监测期间乌鲁木齐市PM_{2.5}和PM₁₀的年均浓度分别为64.6 μg·m⁻³和107.2 μg·m⁻³,均高于国家二级年均浓度标准(PM_{2.5}和PM₁₀年均浓度二级限值为35.0 μg·m⁻³和70.0 μg·m⁻³);PM_{2.5}和PM₁₀的日均浓度分别有317 d(占28.92%)和211 d(占19.25%)超过了国家二级日均浓度标准(PM_{2.5}和PM₁₀日均浓度二级限值分别为75.0 μg·m⁻³和150.0 μg·m⁻³)。

2016—2018年乌鲁木齐市呼吸系统疾病急救人次(共6173例)前3位疾病依次为流行性感冒和肺炎(2517例,40.77%)、慢性下呼吸道疾病(1872例,30.33%)、呼吸系统的其他疾病(909例,14.73%),共占85.83%;上呼吸道的其他疾病(562例)、急性上呼吸道感染(224例)、胸膜的其他疾病(75例)和主要影响肺间质的其他呼吸性疾病(14例)分别占了9.10%、3.63%、1.21%和0.23%。

2.2 大气污染物与气象因素的相关性分析

表2显示PM_{2.5}和PM₁₀两种大气颗粒物与SO₂、NO₂、CO和相对湿度均呈正相关,与O₃、日均温度均呈负相关(均P<0.01)。

2.3 PM_{2.5}、PM₁₀与急救人次的时间序列分析

由图1可见,在单独滞后lag0~lag7和累积滞后lag01~lag07情况下,PM_{2.5}浓度对全人群呼吸系统疾

病急救人次影响结果均有统计学意义,且在lag07时作用最大,浓度每升高10 μg·m⁻³,呼吸系统疾病急救人次增加1.99%(95% CI: 1.18%~2.80%)。由图2可见,除单独滞后lag3以外,在单独滞后lag1、lag2、lag4、lag5、lag6、lag7和累积滞后lag01~lag07时,PM₁₀浓度对全人群呼吸系统疾病急救人次影响结果均有统计学意义,且在lag07时作用最大,浓度每升高10 μg·m⁻³,呼吸系统疾病急救人次增加1.43%(95% CI: 0.76%~2.10%)。

表1 2016—2018年乌鲁木齐市呼吸系统疾病日均急救人次与相关气象和污染指标

Table 1 Daily average number of emergency visits for respiratory diseases and relevant meteorological and air pollution indicators in Urumqi from 2016 to 2018

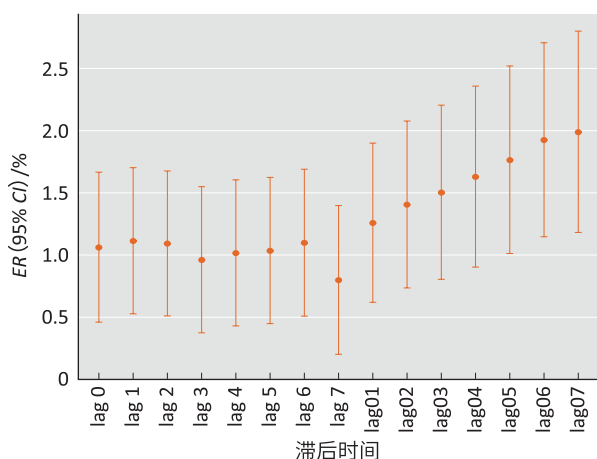
指标	均值	最小值	P ₂₅	M	P ₇₅	最大值
大气污染物						
PM _{2.5} /μg·m ⁻³	64.6	0.0	21.0	32.0	89.0	397.0
PM ₁₀ /μg·m ⁻³	107.2	0.0	57.0	84.0	129.0	655.3
SO ₂ /μg·m ⁻³	12.5	3.0	8.0	10.0	14.0	58.0
NO ₂ /μg·m ⁻³	48.0	14.0	33.0	43.0	58.0	141.0
CO/mg·m ⁻³	1.4	0.4	0.7	0.9	1.8	5.4
O ₃ /μg·m ⁻³	70.1	0.0	37.0	69.0	100.0	162.0
气象因素						
日均温度/℃	8.2	-25.8	20.9	10.6	-5.0	32.1
相对湿度/%	57.5	10.0	38.0	60.0	76.0	97.0
呼吸系统疾病急救人次						
男性	3.6	0.0	2.0	3.0	5.0	13.0
女性	2.4	0.0	1.0	2.0	3.0	10.0
合计	5.9	0.0	4.0	6.0	8.0	17.0

表2 2016—2018年乌鲁木齐市大气污染物与气象因素的相关系数(r)

Table 2 Correlation coefficients between air pollutants and meteorological factors in Urumqi from 2016 to 2018 (r)

变量	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	日均温度	相对湿度
PM _{2.5}	1.00	0.85**	0.77**	0.84**	0.86**	-0.67**	-0.72**	0.52**
PM ₁₀		1.00	0.72**	0.77**	0.69**	-0.46**	-0.48**	0.21**
SO ₂			1.00	0.81**	0.76**	-0.48**	-0.54**	0.28**
NO ₂				1.00	0.82**	-0.56**	-0.61**	0.36**
CO					1.00	-0.69**	-0.79**	0.61**
O ₃						1.00	0.86**	-0.77**
日均温度							1.00	-0.82**
相对湿度								1.00

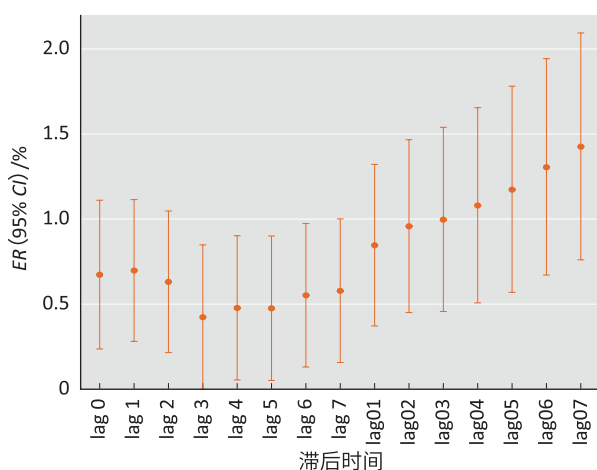
[注] **: P<0.01。



[注] lag0~lag7: 单独滞后0~7 d; lag01~lag07: 累积滞后1~7 d。

图1 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 呼吸系统疾病急救人次增加风险

Figure 1 The risk of emergency visits for respiratory diseases associated with every $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase of $\text{PM}_{2.5}$ concentration



[注] lag0~lag7: 单独滞后0~7 d; lag01~lag07: 累积滞后1~7 d。

图2 PM_{10} 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 呼吸系统疾病急救人次增加风险

Figure 2 The risk of emergency visits for respiratory diseases associated with every $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase of PM_{10} Concentration

2.4 对不同性别、年龄居民呼吸系统疾病急救人次的影响

2.4.1 性别分层 性别分层结果显示, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 对男性的影响更为明显, 且累积滞后 7 d (lag07) 时作用最大, 大气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 男性居民因呼吸系统疾病急救人次分别增加 2.18% (95% CI : 1.16%~3.21%) 和 1.50% (95% CI : 0.66%~2.35%)。累积滞后 4 d (lag04) 时, 对女性居民的作用最大, 大气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 女性居民因呼吸系统疾病急救人次分别增加 1.33% (95% CI : 0.15%~2.52%) 和 1.02% (95% CI : 0.05%~2.00%)。见表 3。

2.4.2 年龄分层 年龄分层结果显示, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10}

对年龄 ≥ 65 岁的居民影响更为明显, 在累积滞后 6 d (lag06) 和累积滞后 7 d (lag07) 时, 两种颗粒物对 ≥ 65 岁居民的作用最大, 大气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ≥ 65 岁居民因呼吸系统疾病急救人次分别增加 2.11% (95% CI : 1.19%~3.04%) 和 1.67% (95% CI : 0.76%~2.57%)。见表 3。

表3 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 对乌鲁木齐市不同性别、年龄居民呼吸系统疾病急救人次影响的最大效应 [ER (95% CI) / %]

Table 3 The biggest effect of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} on the emergency visits for respiratory diseases of residents of different genders and ages in Urumqi [ER (95% CI)/%]

组别	分类	$\text{PM}_{2.5}$			PM_{10}		
		lag	ER	95% CI	lag	ER	95% CI
性别	男性	07	2.18**	1.16~3.21	07	1.50**	0.66~2.35
	女性	04	1.33*	0.15~2.52	04	1.02*	0.05~2.00
年龄 / 岁	<65	05	1.97*	0.59~3.36	02	1.44**	0.67~2.21
	≥ 65	06	2.11*	1.19~3.04	07	1.67**	0.76~2.57

[注] * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$ 。

3 讨论

大气污染已经成为影响人类健康的主要环境危害因素之一^[8]。有研究发现, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 不仅能通过氧化应激、炎症反应等机制影响机体特异性及非特异性免疫反应, 损伤肺巨噬细胞功能, 导致肺组织和气道损伤, 还可以造成细胞钙稳态失衡, 使肺泡细胞或支气管上皮细胞出现遗传损伤, 诱导细胞自噬, 严重的会导致表观遗传学改变等^[9-10]。

本研究定量描述了乌鲁木齐市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度与居民呼吸系统疾病急救人次的关系, 发现大气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度对呼吸系统疾病急救的影响均在累积 7 d (lag07) 时最大, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 呼吸系统疾病急救人次分别增加了 1.99% (95% CI : 1.18%~2.80%) 和 1.43% (95% CI : 0.76%~2.10%)。这说明两种大气颗粒物浓度升高均能增加呼吸系统疾病急救的风险, 且效应存在累积现象。这与以往研究结果基本一致, 但效应值较我国上海、成都等地的同类研究高^[11-12]。乌鲁木齐市冬季寒冷, 供暖长达半年, 同时具有山谷型的地理特征和极不利于大气污染物稀释扩散的温带大陆气候, 因此污染较为严重。除此之外, 还可能与城市的污染物来源与成分和研究人群的结构特点等因素不同有关。

在大气颗粒物导致的健康效应敏感人群识别中, 本研究发现 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度升高对男性的影响高于女性, 且男性对 $\text{PM}_{2.5}$ 较 PM_{10} 更为敏感, 污染物浓度每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 男性居民因呼吸系统疾病急救的风

险增加 2.18% (95% CI : 1.16%~3.21%)。以往有研究发现女性敏感度较高^[13-14], 推测可能有两个原因导致不同的结果: ①男性吸烟率高于女性, 而吸烟是呼吸系统疾病最重要的环境危险因素。据研究显示, 有吸烟史的男性慢性阻塞性肺疾病患者急性加重入院的风险更高, 对污染物浓度的变化也更敏感^[15]。②不同地区居民生活习惯和文化背景的不同, 以往研究得出的结果不能外推到其他城市。本研究还发现, 这两种颗粒物对男性居民影响均有累积效应。ER 随着时间的累积不断增大, 在累积 7d (lag07) 时最大, 提示 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 对人群健康影响具有亚慢性效应, 其他地区时间序列研究也有类似发现^[3]。在年龄分层中发现, 两种颗粒物对年龄 ≥ 65 岁居民的影响较大且有累积效应, 其中 PM_{2.5} 的影响更为明显。在最大滞后作用期, PM_{2.5} 浓度每增加 10 μg·m⁻³ (lag06), 风险增加 2.11% (95% CI : 1.19%~3.04%)。这提示大气颗粒物暴露可能会增加高龄人群呼吸系统疾病的发病风险, 这可能是由于老年人免疫系统相对薄弱, 且慢性呼吸道疾病患病率较高, 其对颗粒物的刺激也更加敏感^[16]。

本研究存在一定的局限性: 第一, 时间序列分析受疾病编码的影响, 在研究中编码错误或无编码都会影响结局, 且本研究收集的疾病编码是根据接诊时主诉记录, 可能会出现与诊断不一致的情况; 第二, 时间序列模型受参数影响较大, 均会明显影响最终的研究结果; 第三, 国家环境空气质量监测点报告的颗粒物数据虽能反映人群大气颗粒物暴露水平, 但未考虑到个体差异。

综上, 本研究发现乌鲁木齐市 2016—2018 年 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度升高会导致呼吸系统疾病急救人次风险增加, 且存在滞后效应。男性和 ≥ 65 岁居民对颗粒物的暴露更加敏感。

参考文献

- [1] SONG Q, CHRISTIANI DC, WANG X, et al. The global contribution of outdoor air pollution to the incidence, prevalence, mortality and hospital admission for chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis [J]. Int J Environ Res Public Health, 2014, 11 (11): 11822-11832.
- [2] SCARINZI C, ALESSANDRINI ER, CHIUSOLO M, et al. Air pollution and urgent hospital admissions in 25 Italian cities: results from the EpiAir2 project [J]. Epidemiol Prev, 2013, 37 (4/5): 230-241.
- [3] 游颖琦, 朱晶颖, 张旭辉, 等. 无锡市大气污染对成人内科门诊量影响的时间序列研究 [J]. 山东大学学报 (医学版), 2018, 56 (11): 53-60.
- [4] 路凤, 刘娅, 李小娟, 等. 大气污染对呼吸系统疾病门诊量影响的病例交叉研究 [J]. 环境卫生学杂志, 2017, 7 (5): 408-412.
- [5] LU F, XU D, CHENG Y, et al. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM_{2.5} and PM₁₀ pollution in the Chinese population [J]. Environ Res, 2015, 136: 196-204.
- [6] 张云权, 朱耀辉, 李存禄, 等. 广义相加模型在 R 软件中的实现 [J]. 中国卫生统计, 2015, 32 (6): 1073-1075.
- [7] 环境空气质量标准: GB 3095—2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- [8] 郭堂春. 防控空气污染加强空气污染致健康危害研究 [J]. 中华预防医学杂志, 2016, 50 (8): 665-667.
- [9] 朱梦婵, 陈小燕, 潘珏. 大气颗粒物与呼吸系统疾病研究进展 [J]. 国际呼吸杂志, 2017, 37 (11): 859-862.
- [10] 赵云利, 赵宇欣, 何义胜, 等. 大气颗粒物呼吸系统毒性效应机制 [J]. 沈阳医学院学报, 2018, 20 (4): 350-354, 360.
- [11] 秦萌, 高阳, 顾品强, 等. 上海市奉贤区大气污染物对人群呼吸系统疾病的急性效应 [J]. 环境与职业医学, 2018, 35 (6): 521-525.
- [12] 覃芳葵, 高绪芳, 鹿茸, 等. 2017 年成都市 PM_{2.5} 质量浓度与呼吸系统急救人次的关系 [J]. 四川大学学报 (医学版), 2019, 50 (3): 362-366.
- [13] 陈楠, 程娟, 孙鉴, 等. 2014 年武汉市大气颗粒物数浓度与呼吸系统疾病日门诊量的时间序列研究 [J]. 环境与职业医学, 2016, 33 (10): 970-976.
- [14] SANTUS P, RUSSO A, MADONINI E, et al. How air pollution influences clinical management of respiratory diseases. A case-crossover study in Milan [J]. Respir Res, 2012, 13 (1): 95.
- [15] WANG W, YING Y, WU Q, et al. A GIS-based spatial correlation analysis for ambient air pollution and AECOPD hospitalizations in Jinan, China [J]. Respir Med, 2015, 109 (3): 372-378.
- [16] 吕晨光. 济南大气污染物与呼吸及心脑血管疾病患者入院风险的时间序列研究 [D]. 济南: 山东大学, 2018.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣)