

臭氧污染对居民心脑血管疾病死亡的影响： 基于上海市闵行区

刘洁^{1a}, 黄俊^{1a}, 徐晓文^{1a}, 甄玲燕^{1a}, 陈林利^{1b}, 应圣洁^{1a}, 杜喜浩²

1. 上海市闵行区疾病预防控制中心 a. 环境与职业卫生科 b. 信息科, 上海 201101
2. 上海交通大学医学院公共卫生学院流行病学与生物统计学系, 上海 200032



DOI 10.11836/JEOM23359

摘要：

[背景] 近年来臭氧(O₃)污染逐渐成为大气污染的首要问题,通过分析大气O₃浓度变化与居民心脑血管疾病死亡风险的关系,可以为O₃污染风险评估及制定相关政策提供参考资料。

[目的] 基于上海市闵行区数据,探讨大气O₃污染对居民心脑血管疾病死亡的影响。

[方法] 收集2016年1月1日—2021年12月31日上海市闵行区居民心脑血管疾病死亡、大气污染物及气象资料。采用基于半泊松回归的广义相加模型进行时间序列分析,讨论O₃对总心脑血管疾病、冠心病及中风死亡的当日(lag0)、单日滞后(前3日, lag1~lag3)及累积平均滞后(当日至前3日, lag01~lag03)效应,并分不同年龄、性别、季节进行亚组分析,同时根据气温的25%分位数(P₂₅)和75%分位数(P₇₅)将气温分层,进行分层分析。以O₃日最大8h平均(O₃-8h)质量浓度(浓度)每升高10 μg·m⁻³引起每日死亡风险增加的超额危险度(ER)及其95%可信区间(CI)估计O₃对心脑血管疾病死亡的效应。

[结果] O₃与心脑血管疾病死亡风险的关联在lag2、lag3、lag02、lag03有统计学意义(P<0.05),在lag03效应值最大。lag03条件下,O₃-8h浓度每升高10 μg·m⁻³:心脑血管疾病总人群、男性人群、65岁及以上人群死亡风险分别增加1.02%(95%CI: 0.36%~1.69%)、1.40%(95%CI: 0.47%~2.34%)、0.87%(95%CI: 0.19%~1.55%);冠心病男性人群和中风总人群死亡风险分别增加1.96%(95%CI: 0.49%~3.44%)和1.02%(95%CI: 0.07%~1.98%);暖季(4月1日—9月30日)心脑血管疾病及冠心病死亡风险分别增加1.18%(95%CI: 0.33%~3.33%)、2.69%(95%CI: 0.39%~5.03%),冷季(10月1日至次年3月31日)心脑血管疾病死亡风险增加0.96%(95%CI: 0.11%~1.81%);中、高气温时,心脑血管疾病死亡风险分别增加1.63%(95%CI: 0.32%~2.96%)、1.14%(95%CI: 0.17%~2.12%)。引入其他污染物(一氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、细颗粒物、可吸入颗粒物)构建双污染物模型,结果显示O₃对心脑血管疾病总死亡、冠心病及中风死亡风险的影响仍然稳健,与单污染物模型分析结果基本一致。

[结论] 大气O₃污染增加上海市闵行区居民心脑血管疾病、冠心病及中风的死亡风险,且存在滞后效应。

关键词： 臭氧; 心脑血管疾病; 冠心病; 中风; 死亡; 时间序列研究

Impact of ambient ozone exposure on death from cardiovascular and cerebrovascular diseases in Minhang District, Shanghai LIU Jie^{1a}, HUANG Jun^{1a}, XU Xiaowen^{1a}, ZHEN Lingyan^{1a}, CHEN Linli^{1b}, YING Shengjie^{1a}, DU Xihao² (1.a. Department of Environmental and Occupational Health b. Department of Information, Shanghai Minhang District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201101, China; 2. Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200032, China)

Abstract:

[Background] Ozone (O₃) pollution has gradually become a primary problem of air pollution in recent years. Conducting epidemiological studies on the correlation between O₃ concentration variation and risk of cardiovascular and cerebrovascular diseases can provide reference data for O₃ risk assessment and related policy making.

[Objective] To quantitatively evaluate the effects of O₃ exposure on mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases among residents in Minhang District, Shanghai.

[Methods] Data of mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases, air pollutants, and

基金项目

上海市闵行区自然科学研究课题项目 (2022MHZ003)

作者简介

刘洁(1989—),女,硕士,主管医师;
E-mail: jane_hliu@163.com

通信作者

应圣洁, E-mail: ivanaysj@126.com
杜喜浩, E-mail: duxihao@sjtu.edu.cn

作者中包含编委会成员 无

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2023-10-22

录用日期 2024-03-13

文章编号 2095-9982(2024)05-0467-07

中图分类号 R122.7

文献标志码 A

► 引用

刘洁, 黄俊, 徐晓文, 等. 臭氧污染对居民心脑血管疾病死亡的影响: 基于上海市闵行区[J]. 环境与职业医学, 2024, 41(5): 467-473.

► 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM23359

Funding

This study was funded.

Correspondence to

YING Shengjie, E-mail: ivanaysj@126.com

DU Xihao, E-mail: duxihao@sjtu.edu.cn

Editorial Board Members' authorship No

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2023-10-22

Accepted 2024-03-13

► To cite

LIU Jie, HUANG Jun, XU Xiaowen, et al. Impact of ambient ozone exposure on death from cardiovascular and cerebrovascular diseases in Minhang District, Shanghai[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2024, 41(5): 467-473.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM23359

meteorological factors in Minhang District of Shanghai from January 1, 2016 to December 31, 2021 were collected. Associations between O_3 concentration and the mortalities due to total cardiovascular and cerebrovascular diseases, coronary heart disease, and stroke were analyzed by generalized additive models with a quasi Poisson distribution with different lag patterns, such as current day effect (lag0), single-day lag effects (lag1-lag3), and cumulative lag effects (lag01-lag03). The subgroup analyses of age, sex, and season were conducted. Furthermore, temperature was divided into low, middle, and high levels based on the 25th percentile (P_{25}) and the 75th percentile (P_{75}) to perform hierarchical analyses. Increased excess risks (ER) of death from target diseases caused by a $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in daily maximum 8 h concentration of O_3 (O_3 -8 h) and their 95% confidence intervals (CI) were used to indicate the effects of O_3 .

[Results] The associations between O_3 and the risks of death from cardiovascular and cerebrovascular diseases were statistically significant at lag2, lag3, lag02, and lag03 ($P < 0.05$), with the greatest effect size observed at lag03. The ER values of death from cardiovascular and cerebrovascular diseases in general population, male residents, and people aged 65 years and older, from coronary heart disease in male residents, and from stroke in general population increased by 1.02% (95%CI: 0.36%, 1.69%), 1.40% (95%CI: 0.47%, 2.34%), 0.87% (95%CI: 0.19%, 1.55%), 1.96% (95%CI: 0.49%, 3.44%), and 1.02% (95%CI: 0.07%, 1.98%) for a $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in O_3 -8 h concentration at lag03, respectively. During the warm season (from April 1 to September 30), the ER values of death from cardiovascular and cerebrovascular diseases and coronary heart disease per $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in O_3 were 1.18% (95%CI: 0.33%, 3.33%) and 2.69% (95%CI: 0.39%, 5.03%), while the O_3 effect was only statistically significant on cardiovascular and cerebrovascular diseases during the cold season (from October 1 to March 31 next year). At the middle and high temperature levels, the ER values of death from cardiovascular and cerebrovascular diseases increased by 1.63% (95%CI: 0.32%, 2.96%) and 1.14% (95%CI: 0.17%, 2.12%) respectively. The two-pollutant models showed similar results after including other pollutants (carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, fine particulate matter, or inhalable particulate matter).

[Conclusion] Ambient O_3 pollution may increase the mortality risks of cardiovascular and cerebrovascular diseases, coronary heart disease, and stroke in Minhang District of Shanghai.

Keywords: ozone; cardiovascular and cerebrovascular diseases; coronary heart disease; stroke; mortality; time-series analysis

健康的大气环境是人类赖以生存的主要条件之一,臭氧(ozone, O_3)作为大气环境的重要组成成分,在正常条件下,可保护机体免遭强紫外辐射^[1]。然而,随着工业化、城市化及道路交通运输的持续迅速发展,机动车保有量的增加,光化学污染导致的 O_3 浓度升高成为了主要的大气污染问题之一^[2-3]。

作为大气污染物, O_3 对人群健康的危害已经引起了研究者的关注。有研究表明,2019 年在全球范围内,可归因于长期 O_3 暴露的成人呼吸道疾病死亡人口可达 36.5 万^[4]。相较于对呼吸系统影响的关注,探讨 O_3 暴露对心脑血管疾病影响的研究则相对有限,且多为单城市研究。这些研究,有的论证了 O_3 污染对居民心脑血管疾病的负面影响,比如心脑血管疾病相关的入院风险和死亡风险增加^[5-9];但在不同地区,这种影响的程度不尽相同,存在空间差异。同时,也有研究并未发现 O_3 暴露对心脑血管疾病产生影响^[10]。本研究以位于上海市中部、人口密度较大的闵行区作为研究区域,采用时间序列分析方法,评估空气 O_3 暴露对心脑血管疾病死亡的影响,以期对 O_3 污染风险评估及制定相关政策提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 资料来源

自上海市闵行区疾病预防控制中心死因登记系

统中收集 2016 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日闵行区户籍人口及发生在闵行区医疗机构的流动人口死亡资料,包含性别、出生日期、死亡日期、实足年龄、根本死因名称及编码等。根据《国际疾病分类》第 10 版(International Classification of Diseases-10, ICD-10)整理资料,筛选出根本死因是心脑血管疾病(100~199)的个案,同时统计其中以冠心病(120~125)和中风(160~169)为根本死因的个案。本研究经上海市闵行区疾病预防控制中心伦理委员会批准(批件编号: EC-P-2023-017)。

分别自上海市环境监测中心闵行浦江监测站点、国家气象科学服务中心收集同期大气污染物资料和气象资料,大气污染物包括一氧化碳(carbon monoxide, CO)、二氧化氮(nitrogen dioxide, NO_2)、二氧化硫(sulfur dioxide, SO_2)、细颗粒物(fine particulate matters, $PM_{2.5}$)、可吸入颗粒物(inhalable particulate matters, PM_{10})日均质量浓度(浓度)及 O_3 日最大 8 h 平均(O_3 -8 h)浓度。气象资料包括平均气温和相对湿度。

1.2 统计学分析

1.2.1 描述性分析 采用 R 软件(R 3.6.3)统计分析研究期间各个变量的均值和标准差、最大值、最小值、中位数、四分位数等。采用 Spearman 相关分析描述污染物及气象因素间的相关性。

1.2.2 时间序列分析 用 R 软件进行时间序列分析。

选用广义相加模型 (generalized additive model, GAM) 为统计模型, 以控制混杂因素、消除残差自相关效应^[11]。建立的模型使用自然样条平滑函数控制每日心脑血管疾病死亡人数、平均气温和相对湿度、长期趋势、季节趋势及其他可能与时间长期变异相关的混杂因素的影响, 同时将“星期几效应 (day of the week, DOW)”作为哑变量引入模型^[12]。基本模型如下:

$$\log[E(Y_t)] = \beta Z_t + ns(V_{\text{time}}, df) + ns(V_{\text{temperature}}, df) + ns(V_{\text{humidity}}, df) + V_{\text{DOW}} + \alpha \quad (1)$$

式(1)中: Y_t 是观察日 t 当天心脑血管疾病死亡人数, $E(Y_t)$ 表示观察日 t 当天的预期死亡人数; β 表示回归系数; Z_t 表示 t 日的 O_3 -8 h 浓度; $ns(V_{\text{time}}, df)$ 、 $ns(V_{\text{temperature}}, df)$ 、 $ns(V_{\text{humidity}}, df)$ 分别为日期和 t 日平均气温、相对湿度的自然样条平滑函数, df 为自由度, 通过赤池信息准则 (akaike information criterion, AIC) 最小的原则确定, 在本研究中时间自由度为 7, 平均气温自由度及相对湿度自由度分别为 6 和 3; V_{DOW} 为“星期几”效应的哑变量; α 为截距。

先引入 O_3 拟合单污染物模型, 计算 O_3 -8 h 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 引起每日心脑血管疾病死亡、中风死亡、冠心病死亡风险增加的超额危险度 (excess risk, ER) 及其 95% 可信区间 (confidence interval, CI), 同时考虑单日滞后 (当日及前 3 日, lag0~lag3) 和累积平均滞后 (当日分别至前 3 日, lag01~lag03) 效应, 并按不同年龄、性别、季节 (暖季: 4 月 1 日—9 月 30 日; 冷季: 10 月 1 日—次年 3 月 31 日) 进行亚组分析。然后构建双污染物模型。根据日均气温的 25% 分位数 (25 percentile, P_{25}) 和 75% 分位数 (75 percentile, P_{75}) 将气温划分为低、中、高 3 层, 通过气温分层分析不同气温在 O_3 对心脑血管疾病死亡影响中的修饰效应。

2 结果

2.1 基本情况

2016 年 1 月 1 日—2021 年 12 月 31 日, 上海市闵行区居民平均每日因心脑血管疾病死亡 (10.14±3.68) 人, 其中因冠心病和中风死亡数分别为 (4.40±2.26)、(4.84±2.36) 人。心脑血管疾病死亡主要发生在 65 岁及以上人群, 小于 65 岁的人群上述 3 种病因导致的日均死亡均小于 1。PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO 日均浓度及 O₃-8 h 平均浓度均低于 GB 3095—2012《环境空气质量标准》规定的浓度限值 (二级), 其中 O₃-8 h 平均浓度为 (95.63±41.32) $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 共有 191 d (8.71%) 超过浓度限值 (二级), 最大值为 272 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。平均气温

为 (18.04±8.63) °C, 相对湿度为 (73.55±12.81) %。详见表 1。

表 1 2016—2021 年上海市闵行区居民心脑血管疾病死亡和空气污染物及气象因素基本情况

Table 1 Mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases, air pollutants, and meteorological factors in Minhang District of Shanghai, 2016-2021

变量 (Variable)	$\bar{x} \pm s$	最小值 (Minimum)	P_{25}	中位数 (Median)	P_{75}	最大值 (Maximum)
日死亡人数 (Average daily mortality cases)						
心脑血管疾病 (Cardiovascular and cerebrovascular diseases)						
男性 (Male)	5.05±2.44	0	3	5	7	17
女性 (Female)	5.08±2.38	0	3	5	7	14
≥65 岁 (≥65 years)	9.33±3.49	1	7	9	11	26
<65 岁 (<65 years)	0.81±0.94	0	0	1	1	5
总人群 (General population)	10.14±3.68	1	8	10	12	27
冠心病 (Coronary heart disease)						
男性 (Male)	2.09±1.52	0	1	2	3	9
女性 (Female)	2.30±1.57	0	1	2	3	9
≥65 岁 (≥65 years)	4.14±2.19	0	3	4	5	13
<65 岁 (<65 years)	0.25±0.51	0	0	0	0	3
总人群 (General population)	4.40±2.26	0	3	4	6	14
中风 (Stroke)						
男性 (Male)	2.49±1.64	0	1	2	3	10
女性 (Female)	2.35±1.54	0	1	2	3	11
≥65 岁 (≥65 years)	4.43±2.23	0	3	4	6	15
<65 岁 (<65 years)	0.41±0.64	0	0	0	1	4
总人群 (General population)	4.84±2.36	0	3	5	6	16
空气污染物浓度 (Concentrations of air pollutants)						
O ₃ -8 h / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	95.63±41.32	8	66	88	118	272
PM ₁₀ / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	48.51±27.52	7	30	42	60	313
PM _{2.5} / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	34.96±23.29	3	19	28	45	191
SO ₂ / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	8.58±4.50	2	6	7	10	48
NO ₂ / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	37.71±17.65	3	25	35	49	117
CO / ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	0.65±0.21	0.3	0.5	0.6	0.7	1.9
平均温度 (Average temperature) / °C	18.04±8.63	-6	11	18	35	35
相对湿度 (Relative humidity) / %	73.55±12.81	28	65	74	83	98

2.2 相关性分析结果

结果显示, O₃ 与 PM₁₀、PM_{2.5}、平均温度呈正相关 ($P < 0.01$), 与 NO₂、CO 及相对湿度呈负相关 ($P < 0.01$), 其他污染物之间均呈正相关 ($P < 0.01$), 平均温度与 O₃ 呈正相关, 与 PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂、CO 呈负相关 ($P < 0.01$), 相对湿度与 O₃、PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂ 表现为负相关 ($P < 0.01$)。详见表 2。

表 2 2016—2021 年上海市闵行区大气污染物与气象因素的相关性

Table 2 Correlations between air pollutants and meteorological factors in Minhang District of Shanghai from 2016 to 2021

变量(Variable)	O ₃ -8 h	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	CO	平均温度 (Average temperature) /°C
PM ₁₀	0.15*						
PM _{2.5}	0.08*	0.78*					
SO ₂	-0.01	0.60*	0.61*				
NO ₂	-0.21*	0.60*	0.66*	0.50*			
CO	-0.10*	0.61*	0.81*	0.55*	0.67*		
平均温度 (Average temperature)/°C	0.26*	-0.01*	-0.05*	0.30	-0.17*	-0.06*	
相对湿度 (Relative humidity)/%	-0.23*	-0.45*	-0.21*	-0.45	-0.19*	-0.09	-0.07

[注(Note)] *: $P < 0.01$.

2.3 O₃ 对心脑血管疾病死亡风险的影响

2.3.1 单污染物模型分析 O₃ 与心脑血管疾病死亡风险的关联在 lag2、lag3、lag02、lag03 有统计学意义 ($P < 0.05$), 在 lag03 效应值最大; 与冠心病死亡风险未见明显关联; 与中风死亡的关联在 lag2、lag03 时有统计学意义, 在 lag03 效应值最大。在 lag03, O₃-8 h 浓度每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 心脑血管疾病和中风死亡的风险分别增加 1.02% (95%CI: 0.36%~1.69%)、1.02% (95%CI: 0.07%~1.98%)。详见图 1。

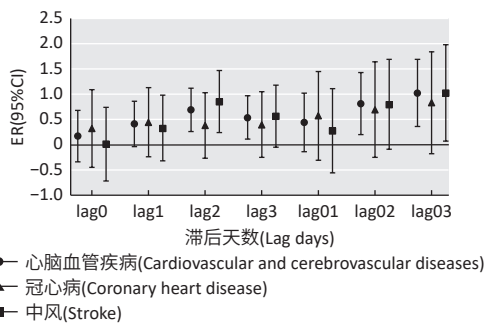


图 1 不同滞后时间条件下 O₃-8 h 浓度每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 引起每日心脑血管疾病死亡风险增加的 ER 及其 95%CI

Figure 1 ER and 95%CI of daily mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases associated with a 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in O₃-8 h concentration using different lag patterns

图 2 显示了 lag03 条件下 O₃ 对不同性别 (图 2A)、不同年龄 (图 2B) 人群死亡风险的影响。在女性和年龄小于 65 岁的人群中, O₃ 与上述疾病死亡均未见明显关联。O₃-8 h 浓度每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 男性心脑血管疾病和冠心病死亡风险分别增加 1.40% (95%CI: 0.47%~2.34%)、1.96% (95%CI: 0.49%~3.44%), 65 岁及以上人

群心脑血管疾病死亡风险增加 0.87% (95%CI: 0.19%~1.55%)。

lag03 条件下的冷、暖季分析结果显示: 暖季时, O₃-8 h 浓度每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 心脑血管疾病及冠心病死亡风险分别增加 1.18% (95%CI: 0.33%~3.33%) 及 2.69% (95%CI: 0.39%~5.03%), 与中风死亡未见明显关联; 冷季时, O₃-8 h 浓度每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 心脑血管疾病死亡风险增加 0.96% (95%CI: 0.11%~1.81%), 与冠心病、中风死亡未见明显关联。详见图 3。

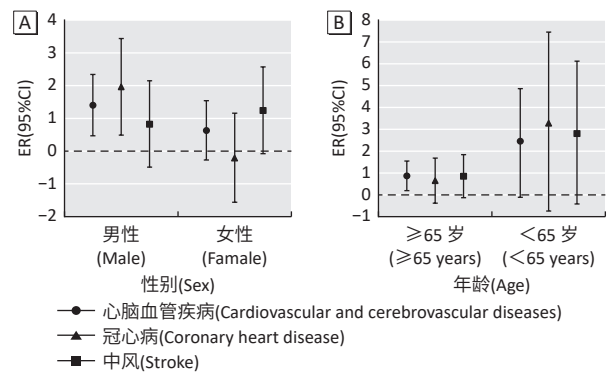


图 2 lag03 条件下 O₃-8 h 浓度每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 引起不同性别 (A) 和不同年龄 (B) 人群每日心脑血管疾病死亡风险增加的 ER 及其 95%CI

Figure 2 ER and 95%CI of daily mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases associated with a 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in O₃-8 h concentration by sex (A) and age (B) at lag03

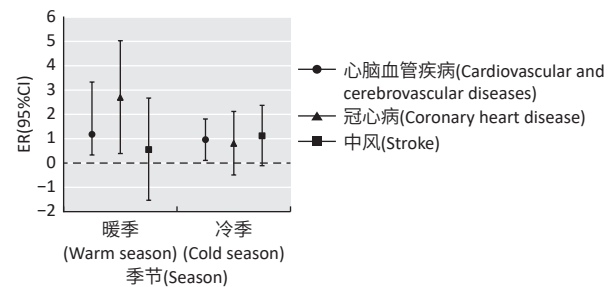


图 3 lag03 条件下不同季节 O₃-8 h 浓度每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 引起每日心脑血管疾病死亡风险增加的 ER 及其 95%CI

Figure 3 ER and 95%CI of daily mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases associated with a 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in O₃-8 h concentration by season at lag03

2.3.2 气温分层分析 lag03 条件下进行气温分层分析, 在不同气温层, O₃ 对冠心病和中风死亡的影响未见明显不同, 对心脑血管疾病死亡影响在低气温无统计学意义, 在中、高气温, O₃-8 h 浓度每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 心脑血管疾病死亡风险分别增加 1.63% (95%CI: 0.32%~2.96%)、1.14% (95%CI: 0.17%~2.12%)。详见图 4。

2.3.3 敏感性分析 在效应值最大的 lag03 条件下, 调整时间自由度, 观察不同时间自由度对 ER (95%CI) 的影响, 结果显示在 7~11 之间, 人群心脑血管疾病死亡

风险的 ER(95%CI) 没有明显变化。进行双污染物模型分析, 结果显示, 分别纳入 SO₂、PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、CO 后, O₃ 对心脑血管疾病、冠心病及中风死亡风险的影响与单污染物模型分析结果基本一致。详见图 5。

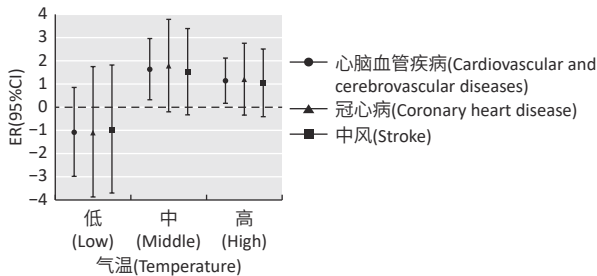


图 4 lag03 条件下不同气温时 O₃-8 h 浓度每升高 10 μg·m⁻³ 引起每日心脑血管疾病死亡风险增加的 ER 及其 95%CI

Figure 4 ER and 95%CI of daily mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases associated with a 10 μg·m⁻³ increase in O₃-8 h concentration by temperature at lag03

lag03 条件下, 构建双污染物模型并进行不同年龄、

性别亚组分析, 结果显示 O₃ 对男性心脑血管疾病和冠心病、65 岁及以上人群心脑血管疾病死亡风险的影响仍然显著。详见表 3。

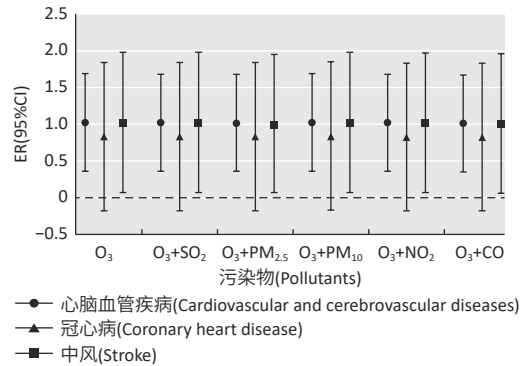


图 5 lag03 条件下双污染物模型中 O₃-8 h 浓度每升高 10 μg·m⁻³ 引起每日心脑血管疾病死亡风险增加的 ER 及其 95%CI

Figure 5 ER and its 95%CI of daily mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases associated with a 10 μg·m⁻³ increase in O₃-8 h concentration in two-pollutant models at lag03

表 3 lag03 条件下不同人群双污染物模型中 O₃-8 h 浓度每升高 10 μg·m⁻³ 引起每日心脑血管疾病死亡风险增加的 ER 及其 95%CI

Table 3 ER and its 95%CI of daily mortalities of cardiovascular and cerebrovascular diseases associated with a 10 μg·m⁻³ increase in O₃-8 h concentration in two-pollutant models of different populations at lag03

分组 (Group)	O ₃ -8 h+SO ₂	O ₃ -8 h+PM _{2.5}	O ₃ -8 h+PM ₁₀	O ₃ -8 h+NO ₂	O ₃ -8 h+CO
心脑血管疾病(Cardiovascular and cerebrovascular diseases)					
男性(Male)	1.40(0.47~2.34)*	1.36(0.43~2.31)*	1.39(0.46~2.34)*	1.39(0.46~2.33)*	1.38(0.45~2.32)*
女性(Female)	0.64(-0.27~1.55)	0.66(-0.24~1.58)	0.65(-0.26~1.56)	0.63(-0.27~1.54)	0.63(-0.27~1.54)
≥65岁(≥65 years)	0.87(0.19~1.55)*	0.87(0.18~1.55)*	0.88(0.19~1.56)*	0.87(0.19~1.55)*	0.87(0.18~1.54)*
<65岁(<65 years)	2.46(-0.11~4.86)	2.40(-0.05~4.82)	2.40(-0.05~4.81)	2.40(-0.05~4.80)	2.43(-0.08~4.83)
冠心病(Coronary heart disease)					
男性(Male)	1.94(0.48~3.42)*	1.88(0.41~3.36)*	1.94(0.48~3.43)*	1.94(0.48~3.42)*	1.91(0.45~3.39)*
女性(Female)	-0.19(-1.54~1.17)	-0.14(-1.50~1.24)	-0.19(-1.55~1.19)	-0.20(-1.56~1.17)	-0.19(-1.55~1.18)
≥65岁(≥65 years)	0.65(-0.38~1.68)	0.65(-0.38~1.69)	0.66(-0.37~1.70)	0.64(-0.38~1.68)	0.63(-0.39~1.67)
<65岁(<65 years)	3.35(-0.68~7.53)	3.23(-0.81~7.44)	3.15(-0.87~7.34)	3.19(-0.83~7.37)	3.33(-0.71~7.53)
中风(Stroke)					
男性(Male)	0.83(-0.49~2.16)	0.78(-0.54~2.12)	0.80(-0.52~2.13)	0.81(-0.50~2.15)	0.81(-0.51~2.14)
女性(Female)	1.22(-0.09~2.56)	1.21(-0.11~2.55)	1.25(-0.08~2.58)	1.23(-0.08~2.56)	1.21(-0.10~1.83)
≥65岁(≥65 years)	0.85(-0.14~1.84)	0.82(-0.17~1.82)	0.84(-0.14~1.84)	0.85(-0.14~1.84)	0.83(-0.15~1.83)
<65岁(<65 years)	2.78(-0.42~6.10)	2.68(-0.54~6.01)	2.72(-0.51~6.05)	2.72(-0.50~6.05)	2.73(-0.48~6.06)

[注 (Note)]*: P<0.05。

3 讨论

本研究采用时间序列分析了上海市闵行区 2016 年 1 月 1 日—2021 年 12 月 31 日空气 O₃ 浓度与居民心脑血管疾病死亡的相关关系, 结果表明, 空气 O₃ 浓度升高会导致心脑血管疾病死亡风险增加, 并存在滞后效应, 且累积滞后效应较单日滞后效应更为明显。单

污染模型分析结果显示, O₃-8 h 每升高 10 μg·m⁻³, 心脑血管疾病死亡风险增加 1.02%(95%CI: 0.36%~1.69%) (lag03), 高于北京市顺义区 2012—2016 年、南京市 2013—2017 年、华中某市 2015—2021 年评估的当地人群 O₃ 暴露导致的心脑血管疾病死亡风险增加的效应值, 分别为 0.56%(95%CI: 0.14%~0.97%)、0.52%(95%CI:

0.31%~0.73%)、0.35%(0~0.71%)^[13-15], 低于包头市 2015—2017 年、南昌市 2014—2020 年评估的 1.62%(95%CI: 0.38%~2.88%)、1.80%(95%CI: 0.95%~2.65%)^[8, 16]。未发现 O₃ 暴露对冠心病死亡风险的影响。O₃ 暴露对中风死亡风险的 ER 值为 1.02%(95%CI: 0.07%~1.98%), 与对心脑血管疾病死亡风险的效应基本相同, 提示 O₃ 暴露引起中风死亡的风险可能比引起冠心病死亡的风险更显著。分不同年龄进行讨论, 未发现 O₃ 对 65 岁以下人群心脑血管疾病死亡风险产生明显影响, 在 65 岁及以上人群中, O₃ 与心脑血管疾病死亡风险存在关联, O₃-8h 每升高 10 μg·m⁻³ 时 ER 值为 0.87%(95%CI: 0.19%~1.55%), 提示 O₃ 暴露对心脑血管疾病死亡风险的影响在 65 岁以上人群中更加显著, 与 Niu 等^[17]在全国范围内开展的队列研究结果相似。分不同性别进行讨论, 发现在男性人群中, O₃ 与心脑血管疾病、冠心病的死亡风险明显相关, O₃-8 h 每升高 10 μg·m⁻³, 男性心脑血管疾病、冠心病死亡风险分别增加 1.40%(95%CI: 0.47%~2.34%)、1.96%(95%CI: 0.49%~3.44%), 高于对总人群心脑血管疾病的死亡风险; 而在女性人群中, 未发现 O₃ 与心脑血管疾病、冠心病及中风死亡风险的关联, 提示 O₃ 暴露对男性心脑血管疾病尤其是冠心病死亡风险的影响更为显著, 这可能与不同性别人群生理特征及生活与工作方式存在差异有关, 如吸烟、室外活动时间等^[18]。北京市顺义区和长春市的研究均发现 O₃ 对男性心脑血管疾病死亡的影响较高^[13, 19], 国外也有研究表明 O₃ 暴露对男性因冠心病、中风入院的影响高于女性^[20], 这与本次研究的结果相似。而包头市、南京市的研究结果则表明, O₃ 暴露对女性心脑血管疾病死亡风险的影响更为明显^[8, 14]。以上研究结论之间存在的不一致, 说明 O₃ 暴露对人群心脑血管疾病死亡风险的影响存在地区差异, 这种差异可能与不同地区的自然环境和社会环境不同、人群构成及活动模式不同、基本死亡率不同等因素有关^[21-22], 但具体原因有待进一步研究。分不同季节进行讨论, 暖季时 O₃ 暴露对居民心脑血管疾病和冠心病死亡的影响高于冷季, 提示 O₃ 对心脑血管疾病和冠心病效应存在季节性, 与彭星宇等^[15]、Liu 等^[23]的研究结果类似。O₃ 在不同季节的效应不同, 可能与 O₃ 浓度、气温及 O₃ 与其他污染物的协同作用大小不同有关^[23]。

气温分层分析结果显示, 在气温低于日均温度的 P₂₅(11 °C) 时, O₃ 暴露与心脑血管疾病死亡风险的关联不明显, 在高于 P₂₅ 时, O₃ 暴露与心脑血管疾病死亡明显相关, 在 P₂₅~P₇₅(11~35 °C) 之间时, 效应最强, 提

示在中高气时 O₃ 暴露对心脑血管疾病死亡风险的影响更大, 而高气时的效应有低于中气温的趋势, 这可能与气温过高引起居民室外活动时间及开窗通风时间较中气温时减少有关, 但气温对 O₃ 污染健康效应的修饰作用仍需进一步研究。敏感性分析结果显示, 时间自由度在 7~11 之间, 人群心脑血管疾病死亡风险的 ER(95%CI) 没有明显变化, 且不同亚群的双污染物模型分析结果与单污染物模型分析结果基本一致, 同时 95%CI 变化不大, 说明模型稳定。引入其他污染物后, O₃ 对心脑血管疾病总人群和男性人群、冠心病男性人群、中风总人群死亡风险的影响仍有统计学意义。

本次研究存在一定的不足。首先, 研究人群样本量较小, 仅来自上海市闵行区, 同时因不同地区污染物水平不同、混杂因素不同, 故研究结论不能外推; 其次, 未纳入非闵行户籍同时死亡地点不在闵行区医疗机构的常住人群, 可能存在信息偏倚; 另外, 本次研究属于生态学研究, 基于群体健康数据及污染物平均暴露水平展开分析, 无法对个体混杂因素及个体暴露水平进行控制或测量, 大样本、多中心的研究以及基于个体暴露的研究有待进一步开展。

经过施行《大气污染防治行动计划》、“蓝天保卫战”等多项大气污染防治策略, 中国空气污染的治理工作成效显著, 但 O₃ 却以逐年上升的态势, 威胁着环境质量及人群健康^[2, 3], 2017 年以来以 O₃ 为首要污染物的空气污染超标天数占总超标天数的百分比超过 PM_{2.5}, 跃居首位^[2, 24], 因此, 制定相应的 O₃ 污染防治及人群健康保护政策具有重要意义。本次研究表明, O₃ 污染增加了上海市闵行区居民心脑血管疾病、冠心病及中风的死亡风险, 且存在滞后效应, 其中, 对 65 岁及以上人群、男性的影响较大。此次研究可进一步为 O₃ 污染相关政策的制定、人群健康风险的管控提供参考资料。

参考文献

- [1] 杨克敌. 环境卫生学[M]. 6版. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 86-90.
YANG K D. Environmental health[M]. 6th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2007: 86-90.
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 2022中国生态环境状况公报[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2023.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. 2022 bulletin on China's ecological environment[R]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, 2023.
- [3] XUE T, ZHENG Y, GENG G, et al. Estimating spatiotemporal variation in ambient ozone exposure during 2013-2017 using a data-fusion model[J]. *Environ Sci Technol*, 2020, 54(23): 14877-14888.

- [4] GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *Lancet*, 2020, 396(10258): 1223-1249.
- [5] 林少凯, 林在生, 王恺. 福州市大气臭氧暴露对人群循环系统疾病死亡风险评估[J]. *中国公共卫生*, 2020, 36(6): 929-932.
LIN SK, LIN ZS, WANG K. Risk assessment on ambient ozone exposure-related circulation system mortality among residents in Fuzhou city [J]. *Chin J Public Health*, 2020, 36(6): 929-932.
- [6] 张开月, 金武, 姚庆兵, 等. 扬州市大气臭氧与居民死亡关系的时间序列分析[J]. *现代医药卫生*, 2019, 35(21): 3265-3266, 3271.
ZHANG KY, JIN W, YAO QB, et al. Time-series analysis of association between ozone and daily mortality in Yangzhou [J]. *J Mod Med Health*, 2019, 35(21): 3265-3266, 3271.
- [7] 陈琦, 孙宏, 陈晓东, 等. 南京市臭氧短期暴露人群急性健康效应研究[J]. *江苏预防医学*, 2017, 28(4): 366-368, 386.
CHEN Q, SUN H, CHEN XD, et al. Acute health impacts of ozone exposure on daily mortality in Nanjing [J]. *Jiangsu J Prev Med*, 2017, 28(4): 366-368, 386.
- [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] JIANG Y, HUANG J, LI G, et al. Ozone pollution and hospital admissions for cardiovascular events [J]. *Eur Heart J*, 2023, 44(18): 1622-1632.
- [10] 何智敏, 侯沙沙. 2017—2020年南通市大气中臭氧暴露对人群死亡影响的时间序列分析[J]. *环境卫生学杂志*, 2022, 12(5): 358-362.
HE ZM, HOU SS. Time series analysis of effects of ozone exposure on human mortality in Nantong, China, 2017 to 2020 [J]. *J Environ Hyg*, 2022, 12(5): 358-362.
- [11] 余松林, 彭晓武. 广义加性模型配合时间序列资料时消除残差自相关性的一种方法[J]. *中国卫生统计*, 2010, 27(5): 450-454.
YU SL, PENG XW. A method for removing residual autocorrelation of time series in generalized additive models [J]. *Chin J Health Stat*, 2010, 27(5): 450-454.
- [12] 刘聪, 陈仁杰, 牛越, 等. 中国3城市大气NO₂短期暴露对医院每日门诊人次的影响[J]. *上海预防医学*, 2020, 32(4): 270-275.
LIU C, CHEN RJ, NIU Y, et al. Impact of short-term exposure to ambient nitrogen dioxide on daily outpatient visits in 3 cities of China [J]. *Shanghai J Prev Med*, 2020, 32(4): 270-275.
- [13] 谷亚亚, 甄国新, 谈敦芳, 等. 北京市顺义区大气臭氧对居民每日死亡的影响[J]. *环境与健康杂志*, 2019, 36(4): 329-334.
GU YY, ZHEN GX, TAN DF, et al. Effects of ambient ozone on daily mortality in Shunyi district, Beijing [J]. *J Environ Health*, 2019, 36(4): 329-334.
- [14] 贾云飞, 陈春静, 唐彦钊, 等. 南京市大气臭氧与人群循环系统疾病死亡的时间序列分析[J]. *环境与健康杂志*, 2020, 37(1): 42-46.
JIA YF, CHEN CJ, TANG YZ, et al. Association between ambient ozone and circulatory diseases mortality in Nanjing: a time-series analysis [J]. *J Environ Health*, 2020, 37(1): 42-46.
- [15] 彭星宇, 王彦丁, 张新民, 等. 华中某市大气污染物O₃、PM_{2.5}暴露对居民死亡的时间序列研究[J]. *环境与职业医学*, 2023, 40(3): 331-341.
PENG XY, WANG YD, ZHANG XM, et al. Associations of ambient PM_{2.5} and O₃ with human mortality: a time-series study in a city of central China [J]. *J Environ Occup Med*, 2023, 40(3): 331-341.
- [16] 武昊. 臭氧与气象因素对人群心脑血管疾病死亡的风险评估——基于江西省南昌市7年死因登记数据的时间序列研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2023.
WU H. Risk assessment of ozone and meteorological factors on cardiovascular and cerebrovascular mortality in the population: a time series study based on 7-year cause of death registration data in Nanchang City, Jiangxi Province [D]. Nanchang: Nanchang University, 2023.
- [17] NIU Y, ZHOU Y, CHEN R, et al. Long-term exposure to ozone and cardiovascular mortality in China: a nationwide cohort study [J]. *Lancet Planet Health*, 2022, 6(6): e496-e503.
- [18] CLOUGHERTY JE. A growing role for gender analysis in air pollution epidemiology [J]. *Environ Health Perspect*, 2010, 118(2): 167-176.
- [19] 马晓羽. 长春市空气污染对人群死亡影响的风险研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
MA XY. Research of the risks of air pollution on population mortality in Changchun city [D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [20] SHIN HH, BURR WS, STIEB D, et al. Air health trend indicator: association between short-term exposure to ground ozone and circulatory hospitalizations in Canada for 17 years, 1996-2012 [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15(8): 1566.
- [21] LELIEVELD J, EVANS JS, FNAIS M, et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale [J]. *Nature*, 2015, 525(7569): 367-371.
- [22] BELL ML, ZANOBETTI A, DOMINICI F. Who is more affected by ozone pollution? A systematic review and meta-analysis [J]. *Am J Epidemiol*, 2014, 180(1): 15-28.
- [23] LIU C, CHEN R, SERA F, et al. Interactive effects of ambient fine particulate matter and ozone on daily mortality in 372 cities: two stage time series analysis [J]. *BMJ*, 2023, 383: e075203.
- [24] 中华人民共和国生态环境部. 2017中国生态环境状况公报[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2018.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. 2017 bulletin on China's ecological environment [R]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, 2018.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 王晓宇)