

低浓度一氧化碳对上海市闵行区居民心脑血管疾病死亡的影响

应圣洁^{1a}, 陈丽^{1a}, 顾怡勤^{1a}, 汪曦^{1b}, 陈林利^{1c}, 李传奇²

1. 上海市闵行区疾病预防控制中心 a. 环境职业卫生科 b. 免疫预防科 c. 信息科, 上海 201101
2. 上海市疾病预防控制中心健康危害因素监测与控制所职业卫生与中毒控制科, 上海 200336

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20211

摘要：

[背景] 针对低浓度一氧化碳(CO)暴露对人群心脑血管疾病死亡的短期效应, 在不同地域不同的人群中开展流行病学研究, 可为制定控制大气CO污染的行政决策提供参考, 为CO毒理、生理学研究提供线索, 具有一定的现实意义。

[目的] 定量评价低浓度CO对人群心脑血管疾病死亡的短期效应。

[方法] 收集2013年1月1日—2018年12月31日上海市闵行区居民总心脑血管疾病及冠心病、中风的每日死亡数据以及同期上海市大气污染物[CO、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀)]浓度和气象资料(平均温度和相对湿度)。采用广义相加模型, 在控制了长期趋势、星期几效应及气象因素等混杂因素的基础上, 将当日至前5d单日滞后(lag0~lag5)的污染物浓度和当日至前1、3、5d的污染物浓度移动平均值(lag01、lag03、lag05)分别引入模型, 分析低浓度CO与总心脑血管疾病、冠心病和中风死亡的关联性, 然后同时引入其他大气污染物进行多污染物模型拟合。以超额危险度(ER)及其95%可信区间(CI)表示增加的死亡风险。

[结果] 研究期间, CO的每日质量浓度(下称浓度)为(0.74±0.28) mg·m⁻³, 远低于我国现行的环境空气质量标准(4 mg·m⁻³), 浓度呈现逐年下降趋势, 且具有明显的季节周期性。闵行区因心脑血管疾病死亡总数为19544人。单污染模型中, CO与总心脑血管疾病、冠心病和中风死亡风险的关联均在lag05时最高, CO浓度每升高0.1 mg·m⁻³, 居民总心脑血管疾病、冠心病和中风死亡风险升高, 其ER(95% CI)分别为2.23% (1.34%~3.12%)、1.53% (0.19%~2.89%)和2.76% (1.57%~3.97%)。双污染物模型中, 在分别调整了PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂和NO₂以后, 其效应失去了统计学意义。在最大效应滞后时间(lag05)条件下, CO浓度与3类死因死亡的暴露-反应关系曲线均呈近似线性的缓慢上升状态, 且无明显阈值。

[结论] 低浓度CO暴露对人群总心脑血管疾病、冠心病和中风死亡风险存在急性影响, 控制其他空气污染物后的独立效应有待进一步研究。

关键词：一氧化碳；心脑血管疾病；冠心病；中风；死亡；时间序列

Effect of low-concentration carbon monoxide on cardiovascular and cerebrovascular disease mortality of residents in Minhang District, Shanghai YING Sheng-jie^{1a}, CHEN Li^{1a}, GU Yi-qin^{1a}, WANG Xi^{1b}, CHEN Lin-li^{1c}, LI Chuan-qi² (1.a.Department of Environmental and Occupational Health b.Department of Immunization Program c.Department of Information, Shanghai Minhang District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201101, China; 2.Department of Occupational Health and Poisoning Control, Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China)

Abstract:

[Background] Conducting epidemiological studies on the short-term effect of low-concentration carbon monoxide (CO) exposure on cardiovascular and cerebrovascular disease mortality among populations in different regions can provide reference for making administrative decisions to control ambient CO pollution, and provide clues for toxicological and physiological research of CO, which has certain practical significance.

[Objective] This study quantitatively evaluates the short-term effect of low-concentration CO on cardiovascular and cerebrovascular disease mortality.

基金项目

上海市闵行区自然科学研究课题(2019MHZ005)

作者简介

应圣洁(1984—), 女, 硕士, 主管医师;
E-mail: ivanaysj@126.com

通信作者

李传奇, E-mail: lichuanqi@scdc.sh.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-05-05

录用日期 2020-06-17

文章编号 2095-9982(2020)08-0747-06

中图分类号 R122

文献标志码 A

引用

应圣洁, 陈丽, 顾怡勤, 等. 低浓度一氧化碳对上海市闵行区居民心脑血管疾病死亡的影响[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(8): 747-752.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20211

Funding

This study was funded.

Correspondence to

Li Chuan-qi, E-mail: lichuanqi@scdc.sh.cn

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2020-05-05

Accepted 2020-06-17

To cite

YING Sheng-jie, CHEN Li, GU Yi-qin, et al. Effect of low-concentration carbon monoxide on cardiovascular and cerebrovascular disease mortality of residents in Minhang District, Shanghai[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(8): 747-752.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20211

[Methods] Daily cardiovascular and cerebrovascular disease, coronary heart disease, and stroke mortalities, air pollutant [CO, sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), fine particulate matters (PM_{2.5}), and inhalable particulate matters (PM₁₀)] concentrations, and meteorological data (average temperature and relative humidity) of Shanghai from January 1, 2013 to December 31, 2018 were collected. Associations between low-concentration CO and daily mortality due to cardiovascular and cerebrovascular disease, coronary heart disease, and stroke were estimated by generalized additive models, controlling for time trends, day-of-the-week effects, and meteorological variables. Different lag patterns were also included in the models including single-day lag effect (lag0-lag5) and cumulative lag effect (lag01, lag03, and lag05). Two-pollutant models were used after controlling for other ambient pollutants. Excess risk (ER) and 95% confidence interval (CI) were used to indicate the increase of mortality risk.

[Results] Over the study period, the daily mean CO concentration was (0.74±0.28) mg·m⁻³, which was far lower than the current ambient air quality standard in China (4 mg·m⁻³). The CO concentration showed a downward trend year by year with obvious seasonal periodicity. The cardiovascular and cerebrovascular disease mortality in Minhang District was 19544. In the single-pollutant models, CO concentration at lag05 showed the strongest associations with cardiovascular and cerebrovascular disease, coronary heart disease, and stroke mortalities. For a 0.1 mg·m⁻³ increase in average CO concentration, we observed significant increments in mortality of 2.23% (95% CI: 1.34%-3.12%) due to cardiovascular and cerebrovascular disease, 1.53% (95% CI: 0.19%-2.89%) due to coronary heart disease, and 2.76% (95% CI: 1.57%-3.97%) due to stroke. In the two-pollutant models, no significant associations were shown after PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, and NO₂ were adjusted. The exposure-response curves of CO concentration with the three causes of death at lag05 (max effect) showed a linear and slow increase with no obvious threshold.

[Conclusion] Low-concentration CO exposure has an acute impact on the mortality risks of cardiovascular and cerebrovascular disease, coronary heart disease, and stroke, while the independent effects after controlling for other air pollutants still need to be studied.

Keywords: carbon monoxide; cardiovascular and cerebrovascular disease; coronary heart disease; stroke; mortality; time-series

一氧化碳 (CO) 为无色、无臭、无刺激性的气体,是煤、石油等含碳物质不完全燃烧的产物。近年来,我国大气环境污染特征从原来的燃煤型转向燃煤/汽车污染混合型^[1],而大气环境中的CO主要来源于汽车尾气的排放^[2]。

高浓度CO对健康不利影响的机制已较为明确,过量外源性CO与血红蛋白及肌红蛋白结合形成碳氧血红蛋白,后者抑制氧气的输送,导致机体细胞缺氧,甚至可导致死亡^[3]。低浓度CO作为调节心脑血管疾病的一种重要的细胞信使分子,已被证实可促进心脑血管疾病的进展,但其作用机制尚未明确^[4]。

针对低浓度CO与心脑血管疾病的多项流行病学研究提出了不同的结论:一项对美国126个城市的研究观察到CO急性暴露与脑血管疾病住院风险增加的显著关联^[5];但中国台湾的一项研究却未观察到CO与心脑血管疾病死亡的任何关联^[6];复旦大学针对中国272个城市开展了CO与心脑血管疾病死亡的专项研究,发现低浓度CO对人群心脑血管疾病死亡率的升高确有影响^[7]。因此,有必要在不同地域针对不同的人群进一步开展更多的流行病学研究。闵行区位于上海市中部,具有特定的空气污染特征、气象条件和社会经济模式,人口密度大,每年因心脑血管疾病导致死亡的负担较重。本研究采用时间序列的研究方法,定量评价低浓度CO对心脑血管疾病患者死亡的短期效应,为尽早制定有效的防治对策,提高人群的健康水平提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究资料

1.1.1 居民死亡数据 上海市闵行区2013年1月1日至2018年12月31日的每日心脑血管疾病死亡资料来源于上海市疾病预防控制中心死因登记系统,包含闵行区户籍人口死亡资料以及在闵行区医疗机构死亡的流动人口资料。根据《国际疾病分类》第10版,从“根本死因代码”中筛选出根本死因为总心脑血管疾病(I00~I99)、冠心病(I20~I25)和中风(I60~I69)的患者。

1.1.2 CO及其他大气污染物资料 CO及其他大气污染物资料来源于上海市环境监测中心2013年1月1日—2018年12月31日公布的空气质量日报数据,包括CO、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀),监测污染物均为24h平均浓度。监测点为多个上海市国家环境空气质量自动监控点,避开交通干道、工业园区等明显大气污染源,能较客观地反映上海市居民的一般暴露水平。本研究以上海市监测数据为代表,用于闵行区的健康评估。

1.1.3 气象资料 同期气象监测资料(平均气温和相对湿度)数据来自“WU网站”(www.wunderground.com),气象监测点位于上海虹桥机场。

1.2 统计学分析

采用SPSS 21.0软件进行统计学分析。对研究对象、研究污染物和气象条件开展描述性分析。大气主

要污染物(CO、SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀)与气象因素(平均气温、相对湿度)之间关系采用Spearman相关分析。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

采用R 3.2.1软件进行时间序列分析和绘制暴露-反应关系曲线,对CO浓度变化趋势进行拟合,观察研究期间CO浓度的变化特征及整体趋势。时间序列趋势拟合图可分解为4个部分:观察项(observed)表示原始监测值;趋势项(trend)表示对监测值进行确定性因素分解后得到的长期趋势变化;季节项(seasonal)表示监测值序列中可分解出的季节性变化;随机项(random)表示监测值序列除了长期趋势、季节性变化外,还受到其他各种因素的影响导致序列呈现出一定的随机波动。对于全体居民,每日因心脑血管疾病死亡为小概率事件,基本服从Poisson分布,利用广义相加模型^[8](generalized additive model, GAM)进行统计分析。GAM公式可归纳为: $\lg E(Y_t) = \beta Z_t + s(V_{time}, u) + V_{dow} + s(X_t, u)$ 。

Y_t 是观察日 t 日因心脑血管疾病的死亡数; $E(Y_t)$ 是在 t 观察日因心脑血管疾病死亡数的期望值; Z_t 是 t 观察日污染物的浓度水平,单位: $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$; β 是暴露-反应关系系数,即污染物升高每单位浓度所引起的心脑血管疾病死亡风险的增长; s 是非参数平滑样条函数; V_{time} 为日期变量; V_{dow} 为“星期几”的指示变量; X_t 是 t 观察日的气象因素,包括平均温度和相对湿度; u 为其自由度,其数值基于前期研究而定,本研究长期趋势 u 取7年⁻¹,平均温度 u 取6年⁻¹,相对湿度 u 取3年⁻¹[7]。

应用GAM模块建立模型,使用平滑样条函数调整长期趋势、星期几效应及气象因素等混杂因素的影响。引入CO拟合单污染物模型,同时考虑其滞后效应和累积效应,将当日至前5日单日滞后(lag0~lag5)的污染物浓度和当日至前1、3、5日的污染物浓度移动平均值(lag01、lag03、lag05)分别引入模型,确定模型中单污染物对健康效应最强的滞后时间,然后同时引入其他大气污染物进行双污染物模型拟合。选择效应最强滞后时间的CO浓度,对3类死因分别绘制暴露-反应关系曲线。

2 结果

2.1 居民心脑血管疾病死亡数及大气污染物浓度

2013年1月1日—2018年12月31日期间,上海市闵行区居民因心脑血管疾病死亡总数为19 544例,平均日死亡(9±4)例;其中因冠心病死亡8 054例,

平均日死亡(4±2)例;因中风死亡9 767例,平均日死亡(4±2)例。CO的每日质量浓度(后简称浓度)为(0.74±0.28) $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,根据GB 3095—2012《环境空气质量标准》^[9]规定的二级标准,CO的24 h平均浓度限值为4 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,2013—2018年上海市日均CO浓度均低于此限值。PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂的每日浓度平均值分别为(46±34)、(63±40)、(42±20)、(15±11) $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。日均气温和相对湿度分别为(18.02±8.85) °C和(70.10±13.33) % (表1)。

表1 2013—2018年上海市闵行区居民死亡及大气污染物和气象数据

Table 1 Descriptive statistics of selected deaths, air pollutants, and meteorological variables in Minhang District of Shanghai, 2013—2018

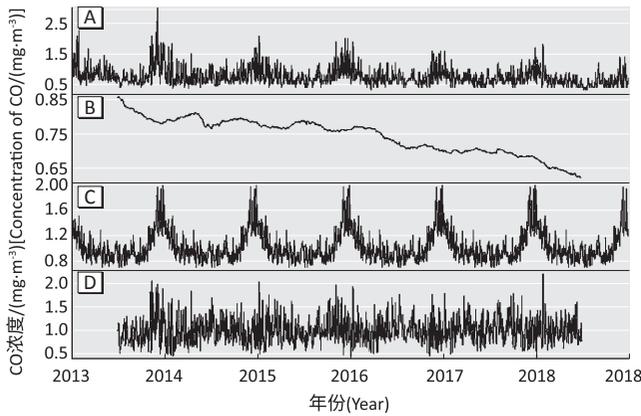
| 指标 Indicator | $\bar{x}\pm s$ | 最小值~最大值 Min-Max | $M(P_{25}\sim P_{75})$ |
|---|----------------|--------------------|------------------------|
| 年平均每日死亡人数 Annual average daily deaths | | | |
| 心脑血管疾病 Cardiovascular and cerebrovascular disease | 9±4 | 0~27 | 9 (6~11) |
| 冠心病(Coronary heart disease) | 4±2 | 0~14 | 3 (2~5) |
| 中风(Stroke) | 4±2 | 0~15 | 4 (3~6) |
| 大气污染物日平均浓度 Daily average concentration of air pollutants | | | |
| CO/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) | 0.74±0.28 | 0.30~3.02 | 0.70 (0.55~0.85) |
| PM _{2.5} / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) | 46±34 | 5~447 | 37 (23~58) |
| PM ₁₀ / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) | 63±40 | 6~467 | 52 (37~76) |
| NO ₂ / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) | 42±20 | 5~136 | 38 (28~53) |
| SO ₂ / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) | 15±11 | 4~103 | 12 (9~17) |
| 年平均气象条件 Annual average meteorological variables | | | |
| 平均气温/°C Average temperature/°C | 18.02±8.85 | -10.06~35.78 | 18.89 (10.17~24.94) |
| 相对湿度/% Relative humidity/% | 70.10±13.33 | 27.7~98.4 | 70.80 (61.30~80.00) |

2.2 CO浓度的时间变化趋势

2013—2018年CO浓度变化趋势拟合见图1。图中可见,环境CO浓度有明显的长期趋势变化和季节性变化。长期趋势显示,6年间环境CO浓度整体呈现逐年下降趋势;季节性变化显示,CO浓度具有非常明显的季节周期性,且都表现为两头高、中间低的“U”型结构。

2.3 CO与其他污染物及气象因素的相关性分析

大气污染和气象因素之间的Spearman相关分析结果显示,CO与PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂浓度两两之间均呈正相关,与平均气温及相对湿度水平呈负相关,见表2。



[注] A：观察项；B：趋势项；C：季节项；D：随机项。
[Note] A: Observed; B: Trend; C: Seasonal; D: Random.

图1 2013—2018年上海市CO浓度变化的趋势拟合图
Figure 1 Decomposition of multiplicative time series of CO concentration in Shanghai, 2013—2018

表2 大气污染物浓度和气象因素之间的Spearman相关分析(r_s)
Table 2 Spearman correlation analysis between air pollutant concentrations and meteorological factors (r_s)

| 指标 Indicator | 大气污染物浓度 Concentration of air pollutants | | | | | 平均气温 Average temperature | 相对湿度 Relative humidity |
|--|--|------------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------------------|---------------------------|
| | PM _{2.5} | PM ₁₀ | SO ₂ | NO ₂ | CO | | |
| 大气污染物浓度 Concentration of air pollutants | | | | | | | |
| PM _{2.5} | 1.000 | | | | | | |
| PM ₁₀ | 0.888* | 1.000 | | | | | |
| SO ₂ | 0.726* | 0.772* | 1.000 | | | | |
| NO ₂ | 0.715* | 0.666* | 0.651* | 1.000 | | | |
| CO | 0.840* | 0.722* | 0.657* | 0.736* | 1.000 | | |
| 平均气温 Average temperature | -0.302* | -0.276* | -0.408* | -0.456* | -0.302* | 1.000 | |
| 相对湿度 Relative humidity | -0.217* | -0.459* | -0.461* | -0.198* | -0.075* | 0.173* | 1.000 |

[注 (Note)] * : $P < 0.05$ 。

2.4 CO与心脑血管疾病死亡的时间序列分析

2.4.1 单污染物模型 不同滞后时间下,环境中CO浓度每增加 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,人群因总心脑血管疾病、冠心病和中风死亡对应的ER及其95%CI见表3。

单日滞后结果显示,环境中CO浓度与居民心脑血管疾病、冠心病和中风死亡均呈正相关且滞后一定时间。CO与心脑血管疾病总死亡风险的关联在当日及滞后2~5 d (lag0, lag2~lag5) 有统计学意义,以滞后3 d (lag3) 效应最大;与冠心病死亡风险的关联仅在滞后5 d (lag5) 有统计学意义;与中风死亡风险的关联在当日及滞后2~4 d (lag0, lag2~lag4) 有统计学意义,以滞后3 d (lag3) 效应最大。

多日累积滞后结果显示,CO浓度与居民心脑血管疾病和中风死亡风险的关联在当日至前1、3、5 d 浓

度的移动平均值 (lag01、lag03、lag05) 均有统计学意义;与冠心病死亡风险的关联仅在当日至前5 d 浓度移动平均值 (lag05) 有统计学意义。且CO浓度与3类死因死亡风险的关联均在lag05时效应最大。在lag05时,CO浓度每升高 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,居民心脑血管疾病、冠心病、中风死亡风险分别升高2.23% (1.34%~3.12%)、1.53% (0.19%~2.89%) 和2.76% (1.57%~3.97%)。

表3 CO浓度每升高 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 居民心脑血管疾病、冠心病、中风死亡风险升高的ER及其95%CI (单污染物模型)

Table 3 ER with 95%CI of cardiovascular and cerebrovascular disease, coronary heart disease, and stroke mortalities associated with per $0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in CO concentration (single-pollutant model)

| 病种及滞后时间/d Disease and lag pattern/d | <i>b</i> | <i>S_b</i> | <i>t</i> | <i>P</i> | ER/% | 95%CI/% |
|--|----------|----------------------|----------|----------|------|------------|
| 心脑血管疾病 Cardiovascular and cerebrovascular disease | | | | | | |
| lag0 | 0.118 | 0.028 | 4.190 | <0.001 | 1.19 | 0.63~1.75 |
| lag1 | 0.054 | 0.029 | 1.867 | 0.062 | 0.54 | -0.03~1.12 |
| lag2 | 0.076 | 0.029 | 2.620 | 0.009 | 0.76 | 0.19~1.33 |
| lag3 | 0.124 | 0.028 | 4.358 | <0.001 | 1.24 | 0.68~1.81 |
| lag4 | 0.102 | 0.029 | 3.566 | <0.001 | 1.03 | 0.46~1.59 |
| lag5 | 0.074 | 0.029 | 2.581 | 0.010 | 0.75 | 0.18~1.32 |
| lag01 | 0.113 | 0.033 | 3.464 | <0.001 | 1.14 | 0.49~1.79 |
| lag03 | 0.178 | 0.039 | 4.509 | <0.001 | 1.79 | 1.01~2.58 |
| lag05 | 0.220 | 0.044 | 4.975 | <0.001 | 2.23 | 1.34~3.12 |
| 冠心病 Coronary heart disease | | | | | | |
| lag0 | 0.079 | 0.043 | 1.835 | 0.067 | 0.79 | -0.05~1.65 |
| lag1 | 0.040 | 0.044 | 0.903 | 0.367 | 0.40 | -0.46~1.27 |
| lag2 | 0.036 | 0.044 | 0.812 | 0.417 | 0.36 | -0.50~1.23 |
| lag3 | 0.077 | 0.043 | 1.774 | 0.076 | 0.77 | -0.08~1.63 |
| lag4 | 0.059 | 0.044 | 1.358 | 0.175 | 0.59 | -0.26~1.46 |
| lag5 | 0.088 | 0.044 | 2.011 | 0.044 | 0.88 | 0.02~1.74 |
| lag01 | 0.078 | 0.050 | 1.569 | 0.117 | 0.78 | -0.19~1.77 |
| lag03 | 0.111 | 0.060 | 1.845 | 0.065 | 1.12 | -0.07~2.32 |
| lag05 | 0.152 | 0.068 | 2.244 | 0.025 | 1.53 | 0.19~2.89 |
| 中风 Stroke | | | | | | |
| lag0 | 0.151 | 0.038 | 3.974 | <0.001 | 1.52 | 0.77~2.27 |
| lag1 | 0.073 | 0.039 | 1.860 | 0.063 | 0.73 | -0.04~1.51 |
| lag2 | 0.112 | 0.039 | 2.879 | 0.004 | 1.12 | 0.36~1.89 |
| lag3 | 0.157 | 0.038 | 4.102 | <0.001 | 1.58 | 0.82~2.34 |
| lag4 | 0.137 | 0.039 | 3.550 | <0.001 | 1.38 | 0.61~2.14 |
| lag5 | 0.050 | 0.039 | 1.276 | 0.202 | 0.50 | -0.27~1.28 |
| lag01 | 0.146 | 0.044 | 3.331 | <0.001 | 1.47 | 0.60~2.35 |
| lag03 | 0.234 | 0.053 | 4.424 | <0.001 | 2.37 | 1.31~3.44 |
| lag05 | 0.273 | 0.060 | 4.573 | <0.001 | 2.76 | 1.57~3.97 |

2.4.2 双污染物模型 双污染物模型中,在最大效应滞后时间条件 (lag05) 下,CO在调整共存污染物之后,居民心脑血管疾病、冠心病、中风死亡风险升高的百分比见表4。结果提示,在分别调整了PM_{2.5}、PM₁₀、

SO₂和NO₂以后,CO浓度升高对总心脑血管疾病、冠心病和中风死亡风险的影响均无统计学意义。

表4 CO浓度每升高0.1mg·m⁻³居民心脑血管疾病、冠心病、中风死亡风险升高的ER及其95%CI(双污染物模型)

Table 4 ER with 95%CI of cardiovascular and cerebrovascular disease, coronary heart disease, and stroke mortalities associated with per 0.1 mg·m⁻³ increase in CO concentration (two-pollutant model)

| 污染物 Pollutant | 心脑血管疾病 Cardiovascular and cerebrovascular disease | | 冠心病 Coronary heart disease | | 中风 Stroke | |
|----------------------|--|------------|----------------------------------|------------|--------------|------------|
| | ER/% | 95%CI/% | ER/% | 95%CI/% | ER/% | 95%CI/% |
| CO | 2.23 | 1.34~3.12 | 1.53 | 0.19~2.89 | 2.76 | 1.57~3.97 |
| CO+PM _{2.5} | 0.32 | -1.33~2.00 | 0.19 | -2.29~2.73 | 0.53 | -1.71~2.82 |
| CO+PM ₁₀ | 0.58 | -0.77~1.95 | 0.34 | -1.69~2.42 | 0.84 | -0.99~2.72 |
| CO+SO ₂ | 0.87 | -0.34~2.10 | 0.31 | -1.52~2.17 | 1.32 | -0.33~3.00 |
| CO+NO ₂ | 0.44 | -1.07~1.98 | 0.51 | -1.79~2.87 | 0.95 | -1.10~3.05 |

2.4.3 暴露-反应关系曲线 研究时段内,在最大效应滞后时间(lag05)条件下,CO浓度与心脑血管疾病、冠心病和中风死亡风险的暴露反应关系曲线见图2。图中分别展示了lag05时,在调整了长期趋势、星期几效应及气象因素的影响后,CO浓度变化对3类死因死亡风险影响的变化规律。由图可见3类死因死亡的暴露反应关系曲线均呈现近似线性的缓慢上升,且无明显阈值。在极高浓度时,CO对总心脑血管疾病及中风的死亡风险趋于缓和,出现平台期;而对冠心病的死亡风险在经历一个短暂的平台期后继续呈现上升趋势。

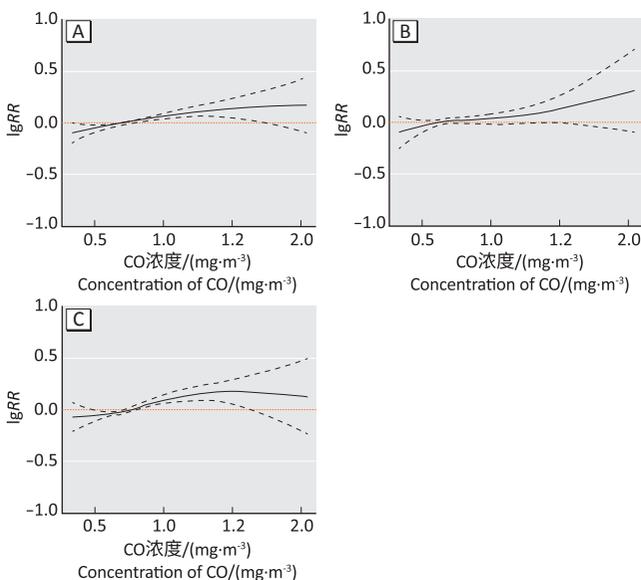


图2 CO浓度(lag05)与心脑血管疾病(A)、冠心病(B)和中风(C)死亡风险的暴露-反应关系曲线
Figure 2 Exposure-response relationship between CO concentrations (lag05) and cardiovascular and cerebrovascular disease (A), coronary heart disease (B), and stroke (C) mortality risks

3 讨论

本研究采用了基于GAM的时间序列分析,探究低浓度CO暴露与人群心脑血管疾病死亡的急性效应。GAM方法是一种在空气污染健康效应时间序列研究中进行非线性回归分析的灵活有效的方法,其优势是可运用多种非参数平滑函数以有效地控制长期趋势、星期几效应及气象因素等混杂因素的影响,模拟污染物与健康终点的关联性^[8]。

国内外针对低浓度CO与人群死亡率或疾病住院率已开展多项研究,发现环境CO浓度与居民总死亡率的上升相关^[10-11],与医院心脑血管疾病住院率也存在正相关^[12-13]。可见低浓度CO暴露对人群心脑血管疾病的发生或加重确有影响。本研究对环境CO与居民心脑血管疾病死亡的相关性开展研究,发现环境CO对闵行区心脑血管疾病死亡存在短期影响,在lag05时,CO浓度每升高0.1mg·m⁻³,居民总心脑血管疾病死亡风险升高2.23%(1.34%~3.12%)。珠三角地区的研究显示,CO浓度每升高0.574mg·m⁻³(0.5ppm),居民总心脑血管疾病死亡风险升高3.04%(2.18%~3.90%)^[11];宁波市CO浓度每升高0.1mg·m⁻³,居民总心脑血管疾病死亡风险升高0.52%(0.25%~0.80%)^[14]。与此两项研究相比,本研究ER值处于较高水平,可能由于不同城市的气候特征、人口学特征、经济水平不同,研究对象的年龄结构、生活习惯和易感性也不同,导致其效应估计值存在一定差异。

国内外多项研究对多污染物模型中,调整其他污染物后是否会改变单污染物模型结果尚不确定。在对中国272个城市的研究中,调整其他污染物后,CO对总心脑血管疾病死亡的效应依然存在统计学意义,但丹麦^[15]及中国台湾^[6]的两项研究结果在调整后失去了统计学意义。本研究在分别调整了PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂和NO₂以后,其效应均失去了统计学意义。提示CO与其他大气污染物导致的健康效应并非是简单叠加,CO与其他大气污染物之间可能存在较强的共线性,也可能存在一定的相互作用。这也可能与研究样本量有限、空气污染物成分的复杂性等因素有关。CO与其他污染物的协同作用仍有待进一步深入研究。

2013—2018年,上海市CO的每日浓度为(0.74±0.28)mg·m⁻³,环境CO水平略低于北京[(1.20±1.00)mg·m⁻³]、广州[(1.35±0.49)mg·m⁻³]同期水平^[15],与西方部分国家基本持平^[6]。本研究发现,虽然上海市的环境CO污染水平远低于我国现行的环境空气质

量标准^[11-12] ($4\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) 的水平, 但CO浓度升高仍与居民总心脑血管疾病、冠心病及中风死亡风险的增加相关, 其暴露-反应关系呈无明显阈值的线性上升趋势。即使在低环境浓度下, CO也与人群心脑血管疾病死亡的疾病负担有关, 故现行国家标准中CO浓度的限值对公众健康的保护作用有待进一步评估。而日常生活中, 居民无法通过佩戴常见的颗粒物防护口罩等个人防护措施降低CO的暴露风险, 因此重新评估环境CO限值标准, 限制汽车尾气排放等源头治理措施应当得到充分的重视。

本研究为一项生态学研究, 局限性主要如下: 本研究收集的CO浓度资料来源于上海市空气质量实时发布系统, 以上海市CO平均浓度来估计闵行区居民暴露水平, 难以精准反映闵行区居民污染物暴露的真实水平, 因而可能存在实际暴露水平的测量偏移; 无法获取户籍在外区的闵行常住人口且未在闵行区医疗机构死亡的居民死亡资料, 可能存在信息偏移; 由于本研究仅在群体层面开展分析, 并未开展个体行为模式或健康指标的测量, 因此吸烟、饮酒、慢性病史等个体混杂因素无法控制。

综上, 本研究显示, 低浓度CO暴露对人群心脑血管疾病死亡的影响存在滞后效应。CO浓度升高与人群心脑血管疾病死亡风险的增加有关联, 与其他污染物的协同作用有待进一步研究。

参考文献

- [1] 高红霞, 高铁利, 高振杰, 等. 大气污染对小学生肺通气功能及非特异免疫功能影响研究[J]. 中国学校卫生, 2006, 27(5): 402-403.
- [2] 白晓龙, 何康林. 浅谈汽车尾气与人体健康[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(3): 64-66.
- [3] 岳颖, 金军, 刘建卫, 等. 急性一氧化碳中毒急救的研究进展[J]. 中国中医急症, 2012, 21(4): 600-602.
- [4] 彭赛力, 唐惠芳. CO与心血管疾病之间的关系最新研究进展[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2014(13): 192-193.
- [5] BELL ML, PENG RD, DOMINICI F, et al. Emergency hospital admissions for cardiovascular diseases and ambient levels of carbon monoxide results for 126 United States Urban Counties, 1999-2005 [J]. *Circulation*, 2009, 120(11): 949-955.
- [6] TSAI SS, HUANG CH, GOGGINS W, et al. Relationship between air pollution and daily mortality in a Tropical City: Kaohsiung, Taiwan [J]. *J Toxicol Environ Health Part A*, 2003, 66(14): 1341-1349.
- [7] LIU C, YIN P, CHEN R, et al. Ambient carbon monoxide and cardiovascular mortality: a nationwide time-series analysis in 272 cities in China [J]. *Lancet Planet Health*, 2018, 2(1): e12-e18.
- [8] DOMINICI F, MCDERMOTT A, ZEGER SL, et al. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health [J]. *Am J Epidemiol*, 2002, 156(3): 193-203.
- [9] 环境空气质量标准: GB 3095—2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- [10] SAMOLI E, TOULOUMI G, SCHWARTZ J, et al. Short-term effects of carbon monoxide on mortality: an analysis within the APHEA project [J]. *Environ Health Perspect*, 2007, 115(11): 1578-1583.
- [11] TAO Y, ZHONG L, HUANG X, et al. Acute mortality effects of carbon monoxide in the Pearl River Delta of China [J]. *Sci Total Environ*, 2011, 410-411: 34-40.
- [12] LI H, WU J, WANG A, et al. Effects of ambient carbon monoxide on daily hospitalizations for cardiovascular disease: a time-stratified case-crossover study of 460, 938 cases in Beijing, China from 2013 to 2017 [J]. *Environ Health*, 2018, 17(1): 82.
- [13] LIU H, TIAN Y, XIANG X, et al. Association of short-term exposure to ambient carbon monoxide with hospital admissions in China [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 13336.
- [14] 钱旭君. 室外空气污染与人群心脑血管疾病死亡的短期效应研究: 时间序列分析 [D]. 苏州: 苏州大学, 2016.
- [15] ANDERSEN ZJ, OLSEN TS, ANDERSEN KK, et al. Association between short-term exposure to ultrafine particles and hospital admissions for stroke in Copenhagen, Denmark [J]. *Eur Heart J*, 2010, 31(16): 2034-2040.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 丁瑾瑜)