· 疾病控制 ·

大气污染物对昌吉市急性心脑血管事件发病的影响

丁咏琪[1]，杨琳[2]，阿迪拉·苏力旦[3]，凯赛尔·吾斯曼[3]，夏木斯叶·木依都力[3]，
买迪娜·阿布都斯力木[3]，张俊[3]，凌春美[3]，张荣[3]

1.新疆医科大学公共卫生学院，新疆 乌鲁木齐 830017；2.木垒哈萨克自治县疾病预防控制中心，新疆 木垒 831900；
3.新疆维吾尔自治区疾病预防控制中心，新疆 乌鲁木齐 830002

摘要：目的 分析新疆维吾尔自治区昌吉市细颗粒物、可吸入颗粒物（PM_{10}）、二氧化硫、二氧化氮（NO_2）、一氧化碳和臭氧对急性心脑血管事件发病的影响，为优化急性心脑血管事件防控策略提供依据。**方法** 通过中国居民心脑血管事件监测信息系统收集2023—2024年昌吉市急性心脑血管事件发病资料，通过中国空气质量在线监测平台收集同期大气污染物资料。采用广义相加模型（GAM）分析大气污染物与急性心脑血管事件发病的滞后效应，并按性别和年龄进行亚组分析。**结果** 2023—2024年昌吉市报告急性心脑血管事件3 796例，每日发病例数M（Q_R）为4.00（5.00）例。GAM分析结果显示，滞后第3 d时，PM_{10}质量浓度每升高10 μg/m³，急性心脑血管事件发病风险增加0.9%（*RR*=1.009，95%*CI*：1.000～1.018）；滞后第1 d时，NO_2质量浓度每升高10 μg/m³，发病风险增加5.3%（*RR*=1.053，95%*CI*：1.001～1.108）。亚组分析结果显示，PM_{10}在滞后当日、第3 d和累积滞后0~3 d时，女性急性心脑血管事件发病风险分别增加1.3%（*RR*=1.013，95%*CI*：1.001～1.024）、1.3%（*RR*=1.013，95%*CI*：1.002～1.024）和1.7%（*RR*=1.017，95%*CI*：1.002~1.032）；NO_2在滞后第1 d、第2 d和累积滞后0～2 d、0～3 d时，女性发病风险分别增加7.2%（*RR*=1.072，95%*CI*：1.004~1.144）和7.5%（*RR*=1.075，95%*CI*：1.009~1.145）、10.0%（*RR*=1.100，95%*CI*：1.014~1.194）和9.6%（*RR*=1.096，95%*CI*：1.005~1.195）。NO_2在滞后第1 d、累积滞后0～1 d和0～2 d时，＜65岁人群急性心脑血管事件发病风险分别增加7.0%（*RR*=1.070，95%*CI*：1.004~1.140）、8.5%（*RR*=1.085，95%*CI*：1.007~1.169）和9.6%（*RR*=1.096，95%*CI*：1.012~1.186）。**结论** 昌吉市PM_{10}、NO_2质量浓度与急性心脑血管事件发病风险存在正向关联，且存在滞后效应；女性和＜65岁人群更易感。

关键词：可吸入颗粒物；二氧化氮；急性心脑血管事件；广义相加模型

中图分类号：R54 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-5087（2026）10-1047-04

Effect of air pollutants on the incidence of acute cardiovascular and cerebrovascular events in Changji City

DING Yongqi[1], YANG Lin[2], Adila Sulidan[3], Kaisaier Wusiman[3], Xiamusiye Muyiduli[3], Maidina Abudusilimu[3], ZHANG Jun[3], LING Chunmei[3], ZHANG Rong[3]

1.School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830017, China;
2.Mulei Kazakh Autonomous County Center for Disease Control and Prevention, Mulei, Xinjiang 831900, China;
3.Xinjiang Uygur Autonomous Region Center for Disease Control and Prevention, Urumqi, Xinjiang 830002, China

Abstract: Objective To analyze the effects of fine particulate matter, inhalable particulate matter (PM_{10}), sulfur dioxide, nitrogen dioxide (NO_2), carbon monoxide and ozone on the incidence of acute cardiovascular and cerebrovascular events in Changji City, Xinjiang Uygur Autonomous Region, so as to provide evidence for optimizing prevention and control strategies for acute cardiovascular and cerebrovascular events. **Methods** Data on the incidence of acute cardiovascular and cerebrovascular events in Changji City from 2023 to 2024 were collected through the China Surveillance Information System of Cardiovascular and Cerebrovascular Events, and corresponding data on ambient air pollutants were ob-

DOI：10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2026.10.015

作者简介：丁咏琪，硕士研究生在读，公共卫生专业

通信作者：张荣，E-mail：zhangrxj@163.com

tained from the China Air Quality Online Monitoring Platform. A generalized additive model (GAM) was used to analyze the lag effects between air pollutants and the incidence of acute cardiovascular and cerebrovascular events. Subgroup analyses were conducted by sex and age. **Results** A total of 3 796 cases of acute cardiovascular and cerebrovascular events were reported in Changji City from 2023 to 2024. The median daily number of incident cases was 4.00 (interquartile range, 5.00). The results of GAM analysis showed that at lag day 3, each 10 μg/m^3 increase in PM_{10} concentration was associated with a 0.9% increase in the risk of acute cardiovascular and cerebrovascular events (*RR*=1.009, 95%*CI*: 1.000-1.018). At lag day 1, each 10 μg/m^3 increase in NO_2 concentration was associated with a 5.3% increase in the risk of acute cardiovascular and cerebrovascular events (*RR*=1.053, 95%*CI*: 1.001-1.108). Subgroup analysis showed that, for PM_{10}, the risk of acute cardiovascular and cerebrovascular events among women increased by 1.3% at lag day 0 (*RR*=1.013, 95%*CI*: 1.001-1.024), 1.3% at lag day 3 (*RR*=1.013, 95%*CI*: 1.002-1.024), and 1.7% over the cumulative lag period of 0-3 days (*RR*=1.017, 95%*CI*: 1.002-1.032). For NO_2, the risk among women increased by 7.2% at lag day 1 (*RR*=1.072, 95%*CI*: 1.004-1.144), 7.5% at lag day 2 (*RR*=1.075, 95%*CI*: 1.009-1.145), 10.0% over the cumulative lag period of 0-2 days (*RR*=1.100, 95%*CI*: 1.014-1.194), and 9.6% over the cumulative lag period of 0-3 days (*RR*=1.096, 95%*CI*: 1.005-1.195). Among people aged <65 years, the risk of acute cardiovascular and cerebrovascular events increased by 7.0% at lag day 1 (*RR*=1.070, 95%*CI*: 1.004-1.140), 8.5% over the cumulative lag period of 0-1 day (*RR*=1.085, 95%*CI*: 1.007-1.169), and 9.6% over the cumulative lag period of 0-2 days (*RR*=1.096, 95%*CI*: 1.012-1.186). **Conclusions** PM_{10} and NO_2 concentrations in Changji City were positively associated with the risk of acute cardiovascular and cerebrovascular events, with lag effects observed. Women and people aged <65 years were more susceptible to the effects of these air pollutants.

Keywords: inhalable particulate matter; nitrogen dioxide; acute cardiovascular and cerebrovascular event; generalized additive model

急性心脑血管事件主要包括急性心肌梗死、脑卒中和心源性猝死，具有高发病率、高致残率和高死亡率的特点[1]。《中国心血管健康与疾病报告2024》数据显示，心脑血管疾病居我国城乡居民死因首位，其中急性心肌梗死的死亡率呈持续上升趋势[2]。《中国脑卒中防治报告 2024》数据显示，我国脑卒中疾病负担严重且持续上升，呈现年轻化特点[3]。研究发现，心脑血管事件与遗传、生活方式和生活环境等因素密切相关[4]。流行病学研究表明，大气污染物可增加心脑血管事件发病和死亡风险，但其影响存在地域差异[5]。新疆维吾尔自治区昌吉市地处天山北麓与准噶尔盆地南缘，受半封闭地形及温带大陆性干旱气候双重制约，大气污染物易在山前堆积；加之当地昼夜与季节温差大、降水稀少且冬季风力微弱，进一步加剧大气污染物所致的健康风险。本研究采用广义相加模型（generalized additive model，GAM）分析昌吉市大气污染物对急性心脑血管事件发病的影响，为优化急性心脑血管事件防控策略提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

2023—2024 年昌吉市急性心脑血管事件发病资料来源于中国居民心脑血管事件监测信息系统。大气污染物资料来源于中国空气质量在线监测平台（https://www.aqistudy.cn）。气象资料来源于羲和能源气象大数据平台（https://xihe-energy.com）。本研究通过新疆维吾尔自治区疾病预防控制中心伦理审查委员会审查（2025-31）。

1.2 方法

1.2.1 资料收集

根据《疾病和有关健康问题的国际统计分类（第十次修订本）》（ICD-10），本研究急性心脑血管事件包括急性心肌梗死、脑卒中、心绞痛和心源性猝死，编码分别为 I21~I22、I60~I64（不包括 I62）、I20 和 I46.1。通过中国居民心脑血管事件监测信息系统收集 2023 年 1 月 1 日—2024 年 12 月 31 日昌吉市急性心脑血管事件发病资料，包括年龄、性别、现住址、诊断日期和疾病编码等。通过中国空气质量在线监测平台收集同期昌吉市大气污染物资料，包括细颗粒物（$PM_{2.5}$）、可吸入颗粒物（PM_{10}）、二氧化硫（SO_2）、二氧化氮（NO_2）和一氧化碳（CO）的日均质量浓度，以及臭氧（O_3）日均最大 8 h 质量浓度。通过羲和能源气象大数据平台收集气象资料，包括气温（T）、气压（AP）、相对湿度（RH）和风速（WS）的日均数据。

1.2.2 GAM 构建

构建 GAM 分析大气污染物对急性心脑血管事

件发病的影响。急性心脑血管事件发病属于小概率事件，近似服从泊松分布，采用广义泊松回归建立模型[6]。大气污染物以连续变量引入模型，采用平滑样条函数控制时间效应和气象因素等非线性混杂因素，采用分类函数控制星期几和节假日效应。根据赤池信息量准则的最小值和参考文献［7］选取自由度（ν），时间趋势的 ν 为 8，T 和 AP 的 ν 为 3，RH 和 WS 的 ν 为 4。最大滞后时间设置为 7 d[8]，按性别和年龄（<65 岁和≥65 岁）进行亚组分析，分别计算各大气污染物的单日滞后效应和累积滞后效应。模型表达式为：$\log[E(Y_t)] = \alpha+\beta X_t+s(\text{time},\nu)+s(\text{T},\nu)+s(\text{AP},\nu)+s(\text{RH},\nu)+s(\text{WS},\nu)+\text{as.factor(holiday)}+\text{as.factor(dow)}$。式中：$E(Y_t)$ 为第 t 日急性心脑血管事件发病例数；α 为残差；β 表示 GAM 的回归系数；X_t 为第 t 日某大气污染物质量浓度；s 为平滑样条函数；time 为时间效应；as.factor 为分类函数；holiday 为节假日；dow 为星期几。

采用相对危险度（relative risk，RR）及其 95%*CI* 评估大气污染物与急性心脑血管事件发病的滞后效应。*RR* 表示大气污染物质量浓度每升高 10 μg/m³（$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、NO_2 和 O_3）或 10 mg/m³（CO）时，急性心脑血管事件发病风险的相对变化。

1.3 统计分析

采用 R 4.5.1 软件统计分析。定量资料不服从正态分布的采用中位数和四分位数间距［$M(Q_R)$］描述；定性资料采用相对数描述。采用 R 4.5.1 软件中 mgcv 程序包拟合 GAM，分析各大气污染物的滞后效应。检验水准 α=0.05。

2 结 果

2.1 基本情况

2023—2024 年昌吉市报告急性心脑血管事件 3 796 例，每日发病例数 $M(Q_R)$ 为 4.00（5.00）例。男性 2 542 例，占 66.97%；女性 1 254 例，占 33.03%。年龄<65 岁 1 665 例，占 43.86%；年龄≥65 岁 2 131 例，占 56.14%。$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、NO_2、O_3 和 CO 日均质量浓度 $M(Q_R)$ 分别为 18.00（38.00）、54.00（60.00）、7.00（2.00）、28.00（20.00）、98.00（56.00）μg/m³ 和 0.60（0.60）mg/m³。T、AP、RH 和 WS 的 $M(Q_R)$ 分别为 3.48（17.72）℃、778.43（4.20）hPa、55.01（17.79）%和 2.36（0.89）m/s。

2.2 大气污染物与急性心脑血管事件发病的滞后效应分析

单日滞后效应结果显示，滞后第 3 d 时，PM_{10} 质量浓度每升高 10 μg/m³，急性心脑血管事件发病风险增加 0.9%（*RR*=1.009，95%*CI*：1.000～1.018）；滞后第 1 d 时，NO_2 质量浓度每升高 10 μg/m³，急性心脑血管事件发病风险增加 5.3%（*RR*=1.053，95%*CI*：1.001～1.108）；$PM_{2.5}$、SO_2、O_3 和 CO 的单日滞后效应对急性心脑血管事件发病影响无统计学意义（均 $P>0.05$）。各大气污染物的累积滞后效应对急性心脑血管事件发病影响无统计学意义（均 $P>0.05$）。

2.3 亚组分析

2.3.1 性别亚组

单日滞后效应结果显示，滞后当日、第 3 d 时，PM_{10} 质量浓度每升高 10 μg/m³，女性急性心脑血管事件发病风险分别增加 1.3%（*RR*=1.013，95%*CI*：1.001～1.024）、1.3%（*RR*=1.013，95%*CI*：1.002～1.024）；滞后第 1 d、第 2 d 时，NO_2 质量浓度每升高 10 μg/m³，女性急性心脑血管事件发病风险分别增加 7.2%（*RR*=1.072，95%*CI*：1.004~1.144）、7.5%（*RR*=1.075，95%*CI*：1.009~1.145）。累积滞后效应结果显示，累积滞后 0~3 d 时，PM_{10} 质量浓度每升高 10 μg/m³，女性急性心脑血管事件发病风险增加 1.7%（*RR*=1.017，95%*CI*：1.002~1.032）；累积滞后 0～2 d、0～3 d 时，NO_2 质量浓度每升高 10 μg/m³，女性急性心脑血管事件发病风险分别增加 10.0%（*RR*=1.100，95%*CI*：1.014~1.194）、9.6%（*RR*=1.096，95%*CI*：1.005~1.195）。各大气污染物的单日滞后效应和累积滞后效应对男性急性心脑血管事件发病影响无统计学意义（均 $P>0.05$）。

2.3.2 年龄亚组

单日滞后效应结果显示，滞后第 1 d 时，NO_2 质量浓度每升高 10 μg/m³，<65 岁人群急性心脑血管事件发病风险增加 7.0%（*RR*=1.070，95%*CI*：1.004~1.140）。累积滞后效应结果显示，累积滞后 0～1 d、0～2 d 时，NO_2 质量浓度每升高 10 μg/m³，<65 岁人群急性心脑血管事件发病风险分别增加 8.5%（*RR*=1.085，95%*CI*：1.007~1.169）、9.6%（*RR*=1.096，95%*CI*：1.012~1.186）。各大气污染物的单日滞后效应和累积滞后效应对≥65 岁人群急性心脑血管事件发病影响无统计学意义（均 $P>0.05$）。

3 讨 论

本研究结果显示，2023—2024年昌吉市PM_{10}和NO_2的单日滞后效应对急性心脑血管事件发病产生影响，与其他研究结果[9-10]一致。昌吉市地处天山北坡城市群，其PM_{10}主要来源于燃煤、工业和机动车排放等，且夹杂较高比例的扬尘、沙尘和矿物粗颗粒。研究发现，PM_{10}暴露会加速动脉粥样硬化斑块的形成，还会增加斑块内巨噬细胞和脂质堆积，从而导致血管破裂[11]，继而引发急性心脑血管事件。NO_2主要来自机动车尾气和化石燃料燃烧，具有较强氧化性，可在较短时间内引起气道炎症、氧化应激、血管内皮功能障碍及交感神经兴奋，因此可能在暴露后1 d内诱发血压波动和心肌缺血等症状，从而增加急性心脑血管事件发病风险[12]。本研究未发现$PM_{2.5}$、SO_2、CO和O_3的滞后效应，可能与不同地区污染特征、气象条件及人群暴露模式存在差异有关，共同影响污染物健康效应的时间滞后特征，未来仍需结合多地区、多季节及长期数据进一步验证相关结果。

性别亚组分析结果显示，PM_{10}和NO_2暴露对女性急性心脑血管事件发病均有影响，与相关研究结果[13]一致，提示女性可能对大气污染物暴露更易感。研究表明，女性在气道结构、颗粒沉积、免疫炎症反应及性激素调节等方面具有不同于男性的暴露-反应特征；尤其在中老年女性或绝经后女性中，雌激素对血管内皮和抗氧化系统的保护作用减弱，导致污染物易感性增强，心脑血管事件风险升高[14]。

年龄亚组分析结果显示，NO_2对<65岁人群急性心脑血管事件的发病有影响，累积滞后0~2 d内发病风险较高，可能与该年龄段人群日常通勤和交通道路污染暴露机会较多有关[15]。道路、工业区和人口密集区的NO_2质量浓度较高，活动范围广的人群更容易暴露于高浓度环境中，从而增加急性健康效应。

综上所述，昌吉市PM_{10}、NO_2质量浓度与急性心脑血管事件发病风险存在正向关联，且存在滞后效应；女性和<65岁人群更易感。建议将PM_{10}和NO_2作为昌吉市急性心脑血管事件环境健康风险防控的重点污染物，并针对女性、<65岁人群，制定差异化健康防护策略。在PM_{10}和NO_2高污染时段，通过多渠道发布健康风险预警，引导易感人群减少户外高强度活动、优化出行路线以避开交通高峰。同时，加强社区健康教育，提升居民对大气污染的自我防护意识与能力，降低急性心脑血管事件发病风险。

参考文献

[1] 厚磊，吴静，张明涛，等. 急性心脑血管事件的定义和国际疾病分类编码[J]. 中华医学杂志，2019，99（37）：2951-2954.

[2] 国家心血管病中心. 中国心血管健康与疾病报告2024[M]. 北京：中国协和医科大学出版社，2025.

[3] 王陇德，常继乐，张宗久. 中国脑卒中防治报告2019[M]. 北京：人民卫生出版社，2020.

[4] Testai F D，Gorelick P B，Chuang P Y，et al.Cardiac contributions to brain health：a scientific statement from the American heart association[J].Stroke，2024，55（12）：425-438.

[5] De Bont J，Jaganathan S，Dahlquist M，et al.Ambient air pollution and cardiovascular diseases：an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses[J].J Intern Med，2022，291（6）：779-800.

[6] Consul P C，Famoye F.Generalized poisson regression model[J]. Commun Stat Theory Meth，1992，21（1）：89-109.

[7] 李欢.2015—2022年呼和浩特市大气污染物及极端气温对居民心脑血管疾病死亡的影响[D]. 呼和浩特：内蒙古医科大学，2025：10-11.

[8] 张耀怡. 兰州市主要空气污染物与心血管疾病住院风险的关联研究[D]. 兰州：兰州大学，2024：8-9.

[9] Zhang Y F，Ma Y X，Feng F L，et al.Association between PM_{10} and specific circulatory system diseases in China[J/OL].Sci Rep，2021，11（1）[2026-08-05]. http://doi.org/10.1038/s41598-021-91637-x.

[10] 张艳丽，张培，徐承中，等. 空气污染与急性心肌梗死的相关性研究[J]. 预防医学，2021，33（5）：479-483.

[11] Suwa T，Hogg J C，Quinlan K B，et al.Particulate air pollution induces progression of atherosclerosis[J].J Am Coll Cardiol，2002，39（6）：935-942.

[12] Zhang Q L，Du X H，Li H C，et al.Cardiovascular effects of traffic-related air pollution：a multi-omics analysis from a randomized，crossover trial[J/OL].J Hazard Mater，2022，435[2026-08-05].http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129031.

[13] 时巧梅，夏俊鹏，解晔，等. 扬州市大气NO_2与脑卒中急性发病的时间序列研究[J]. 环境卫生学杂志，2024，14（12）：969-974，994.

[14] Liao M Y，Braunstein Z，Rao X Q.Sex differences in particulate air pollution-related cardiovascular diseases：a review of human and animal evidence[J/OL].Sci Total Environ，2023，884[2026-08-05].http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163803.

[15] Sun Y X，Brimblecombe P，Wei P，et al.High resolution on-road air pollution using a large taxi-based mobile sensor network[J/OL].Sensors（Basel），2022，22（16）[2026-08-05].http://doi.org/10.3390/s22166005.

收稿日期：2026-05-25　**修回日期**：2026-08-05　**本文编辑**：刘颖颖