

北京市空气质量指数与人群肱踝脉搏波传导速度的关联

许宗锴¹, 魏彤¹, 韩泽¹, 王金麒¹, 金瑞¹, 刘悦¹, 武志远¹, 陈硕², 陶丽新¹

1. 首都医科大学, 公共卫生学院流行病与卫生统计学系/北京市临床流行病学重点实验室, 北京 100069

2. 北京市体检中心信息中心, 北京 100050

摘要:

[背景] 目前基于中国人群的空气污染与动脉硬化关联研究较少且结论不一致。各空气污染物间存在多重共线性问题。

[目的] 探讨北京市空气质量指数(AQI)与人群肱踝脉搏波传导速度(baPWV)的关联。

[方法] 本研究收集了2015年1月1日—2019年12月31日来自北京健康管理队列中60岁以下且尚未退休的2971例体检者的数据, 体检者最新一次的体检数据用于分析。收集了2014年1月1日—2019年12月31日北京市35个空气污染监测点的AQI数据以及16个气象监测站的气象因素(气压、气温、风速和相对湿度)数据。采用反距离加权方法计算每个研究对象体检日期前365 d的平均AQI暴露水平。采用多重线性回归分析方法, 调整年龄、性别、体重指数、平均动脉压、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、甘油三酯、空腹血糖、气压、气温、风速、相对湿度、糖尿病用药史、高血压用药史、心血管疾病患病情况、教育水平、吸烟状况、饮酒状况和体育锻炼强度等混杂因素, 探究北京市AQI与人群baPWV的关联, 并按年龄、性别、是否患糖尿病和是否患高血压进行亚组分析。

[结果] 研究期间, AQI整体呈现下降趋势, 并且在北京市范围内呈现北部较低、南部较高的情况。调整全部混杂因素后, AQI每增加10, 全人群baPWV增加6.18(95%CI: 1.25~11.10) cm·s⁻¹, 年龄<50岁组baPWV增加8.05(95%CI: 2.32~13.79) cm·s⁻¹, 女性组baPWV增加15.82(95%CI: 8.33~23.31) cm·s⁻¹, 无糖尿病组baPWV增加10.10(95%CI: 4.66~15.55) cm·s⁻¹, 无高血压组baPWV增加9.41(95%CI: 4.21~14.62) cm·s⁻¹, 年龄≥50岁组、男性组、糖尿病组和高血压组中, AQI与baPWV的关联无统计学意义($P>0.05$)。

[结论] 长期AQI水平的上升与动脉硬化程度的升高有关。<50岁、女性、未患高血压和未患糖尿病人群是在空气污染暴露下动脉硬化的易感人群。改善空气质量可能有助于预防动脉硬化。

关键词: 空气质量指数; 肱踝脉搏波传导速度; 动脉硬化; 反距离加权法

Association between air quality index and brachial-ankle pulse wave velocity in Beijing XU Zongkai¹, WEI Tong¹, HAN Ze¹, WANG Jinqi¹, JIN Rui¹, LIU Yue¹, WU Zhiyuan¹, CHEN Shuo², TAO Lixin¹ (1. Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health/Beijing Key Laboratory of Clinical Epidemiology, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 2. Information Department, Beijing Physical Examination Center, Beijing 100050, China)

Abstract:

[Background] Few studies have investigated the association between air pollution and arterial stiffness in Chinese population, and the findings are inconsistent. The problem of multicollinearity exists when modeling multiple air pollutants simultaneously.

[Objective] To investigate potential association between air quality index (AQI) and population brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) in Beijing.

[Methods] This study retrieved medical examination data of 2971 participants from the Beijing Health Management Cohort, who were under 60 years old and not yet retired, from January 1, 2015 to December 31, 2019. The most recent medical examination data available were utilized for this analysis. AQI data from 35 air pollution monitoring sites in Beijing and meteorological data (including atmospheric pressure, air temperature, wind speed, and relative humidity) from 16



DOI 10.11836/JEOM23036

基金项目

国家自然科学基金项目(82073668, 81872708)

作者简介

许宗锴(1997—), 男, 硕士生;
E-mail: xuzongkai1997@163.com

通信作者

陶丽新, E-mail: taolixin@ccmu.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 2023-02-11
录用日期 2023-05-19

文章编号 2095-9982(2023)08-0871-06

中图分类号 R122.7

文献标志码 A

补充材料

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM23036

►引用

许宗锴, 魏彤, 韩泽, 等. 北京市空气质量指数与人群肱踝脉搏波传导速度的关联 [J]. 环境与职业医学, 2023, 40(8): 871-876.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM23036

Funding

This study was funded.

Correspondence to

TAO Lixin, E-mail: taolixin@ccmu.edu.cn

Editorial Board Members' authorship No

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2023-02-11

Accepted 2023-05-19

Supplemental material

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM23036

► To cite

XU Zongkai, WEI Tong, HAN Ze, et al. Association between air quality index and brachial-ankle pulse wave velocity in Beijing [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2023, 40(8): 871-876.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM23036

meteorological monitoring stations from January 1, 2014 to December 31, 2019 were collected. An average AQI exposure level for 365 d before the date of physical examination for each participant was computed using inverse distance weighting. Multiple linear regression analysis was employed to investigate the relationship between AQI and baPWV in Beijing, after adjusting for confounding variables including age, gender, body mass index, mean arterial pressure, high-density lipoprotein cholesterol, low-density lipoprotein cholesterol, triglycerides, fasting blood glucose, atmospheric pressure, temperature, wind speed, relative humidity, medication history of diabetes, medication history of hypertension, cardiovascular disease, education, smoking status, drinking status, and physical activity intensity. Subgroup analysis was performed by age, sex, presence of diabetes, and presence of hypertension.

[Results] AQI demonstrated an overall decreasing trend during the study period and was lower in the northern regions and higher in the southern regions of Beijing. After adjusting the confounding variables, each 10 unit increase in AQI was associated with 6.18 (95%CI: 1.25, 11.10) $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ increase in baPWV in all participants, 8.05 (95%CI: 2.32, 13.79) $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ increase in the participants < 50 years, 15.82 (95%CI: 8.33, 23.31) $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ increase in the female group, 10.10 (95%CI: 4.66, 15.55) $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ increase in the participants without diabetes, and 9.41 (95%CI: 4.21, 14.62) $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ increase in the participants without hypertension. However, there was no statistically significant association observed between AQI and baPWV in the age group ≥ 50 years, the male group, the diabetic group, and the hypertensive group ($P > 0.05$).

[Conclusion] An increase in long-term AQI levels is associated with an elevation in the degree of arterial stiffness. Individuals under 50 years old, females, without hypertension or diabetes are susceptible populations to arterial stiffness when being exposed to air pollution. Improving air quality may contribute to prevent arterial stiffness.

Keywords: air quality index; brachial-ankle pulse wave velocity; arterial stiffness; inverse distance weighting method

空气污染是近些年中国面临的重要公共卫生问题之一^[1]。2021 年世界卫生组织发布了最新修订的《全球空气质量指南》，进一步强调了改善空气污染的重要性^[2]。既往研究中最常用的暴露指标是单一污染物的浓度，为了研究多种污染物的联合效应，有研究将两种或多种污染物共同纳入模型^[3]。然而由于多种污染物之间存在共线性问题，导致效应估计不稳定^[4]。空气质量指数(air quality index, AQI)是定量描述空气质量的无量纲指标，《环境空气质量指数技术规定》中将 AQI 定义为各个污染物空气质量分指数的最大值^[5]。使用 AQI 分析多种空气污染物的综合健康效应，能够避免多重共线性问题。

动脉硬化是心肌梗死、心律失常等心脑血管疾病的重要病理基础之一^[6]。脉搏波传导速度是反映动脉硬化程度的指标，其中颈股脉搏波传导速度(carotid-femoral pulse wave velocity, cfPWV)和肱踝脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)的应用最为广泛。baPWV 与 cfPWV 密切相关^[7]，cfPWV 是测量中央动脉硬化的金标准^[8]，但 cfPWV 测量易引起被测者的不适且检测技术难度高，不适用于大规模人群检测。而 baPWV 可由临床医生使用专业设备测得，测量难度小并且测量过程无创，因此在亚洲国家使用更为广泛^[9]。根据《同步四肢血压和臂踝脉搏波速度测量临床应用中国专家共识》^[10]， $\text{baPWV} = (\text{La} - \text{Lb}) / \Delta T$ ，其中 La 表示踝-主动脉瓣距离，Lb 表示肱-主动脉瓣距离， ΔT 表示踝-肱动脉的压力波传导时间差，baPWV 数值越大代表动脉硬化程度越高。baPWV < 1400 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 属于正常范围，1400 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1} \leq \text{baPWV} \leq 1800 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 属于

动脉硬化可疑范围，baPWV > 1800 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 属于动脉硬化病理范围。既往有关空气污染与动脉硬化之间关联的研究中，结果并不一致^[11-14]，一项在中国 15 个城市开展的纵向研究显示，细颗粒物短期暴露与脉搏波传导速度升高有关^[11]，然而另一项在中国西南部进行的多中心纵向研究发现颗粒物短期暴露与 cfPWV 没有关联^[12]。一项英国的随机临床试验显示，参与者在空气污染水平较高区域活动后动脉硬化程度升高^[13]。另一项尼泊尔的观察性研究发现，室内空气颗粒物浓度与 cfPWV 呈正相关^[14]。目前多种空气污染物长期暴露对动脉硬化的综合影响尚未明确，需要进一步开展流行病学研究。此外，空气污染的影响在不同种族间存在差异性^[15]，其他国家或地区的研究结果不能完全适用于中国人群。本研究拟分析中国北京地区 AQI 与人群 baPWV 水平的关联，为预防动脉硬化疾病和推进环境空气污染治理提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 资料来源

本研究收集了 2015 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日北京健康管理队列(Beijing Health Management Cohort, BHMC)中 60 岁以下且尚未退休的 2971 例体检者资料，体检者最新一次的体检数据用于分析。BHMC 是基于北京市固定功能社区单位建立并完善的北京市成年人自然人群队列^[16]，其体检参与者每年进行健康检查，项目包括体格检查、实验室指标测定和问卷调查，其中问卷调查符合知情同意原则。本研究获得了北京市体检中心医学伦理委员会的批准(批准

号: 2022 年科研伦理第 002 号)。本研究纳入的参与者具有固定的工作单位和工作时间。

2014 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日北京市 35 个空气污染监测点的 AQI 数据来源于北京环境保护监测中心(<https://www.bjmemc.com.cn>), 16 个气象监测站点的数据来自国家气象科学数据中心(<https://data.cma.cn>)。

1.2 研究方法

本研究为横断面研究, 收集的变量包括年龄、性别、身高、体重、baPWV、收缩压(systolic blood pressure, SBP)、舒张压(diastolic blood pressure, DBP)、甘油三酯(triglycerides, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)和空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)等体检指标, 以及教育水平、吸烟、饮酒、体育锻炼强度、疾病史、糖尿病用药史和高血压用药史等个人行为因素资料。

使用日本欧姆龙健康医疗公司的 Omron Colin BP-203RPE III 全自动动脉硬化检测仪测量 baPWV。在体检者采用仰卧位休息 5 min 后, 将血压传感袖带缠绕于双上臂及双踝关节, 然后连接至传感器进行测量并记录。为减少测量误差, 在每侧(右侧和左侧)至少进行两次测量, 确保每侧两次测量之间的 baPWV 差异小于 $50 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, 取左右两侧 baPWV 中较大值用于分析。体重指数(body mass index, BMI)=体重(kg)/身高²(m²), 平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)= $1/3 \times \text{SBP}(\text{mmHg}) + 2/3 \times \text{DBP}(\text{mmHg})$ 。

将年龄分为 <50 岁和 ≥50 岁两组。将教育水平分为高中、大专及以下, 大学本科和研究生及以上三组。将吸烟情况分为是(曾有吸烟史)和否(无吸烟史)两组。将饮酒情况分为是(每周饮酒 1 次及以上)和否(每周小于 1 次)两组。将体育锻炼情况分为低强度(每周 1~2 次)、中强度(每周 3~5 次)和高强度(每周 5 次以上)三组。心血管疾病分为是和否两组, 将具有医生诊断的冠心病、风湿性心脏病、先天性心脏病、心肌炎和心律失常中任意一种疾病者判定为心血管疾病患者。高血压分为是和否两组, 将 SBP ≥ 140 mmHg 或 DBP ≥ 90 mmHg 或有高血压病史者判定为高血压患者。糖尿病分为是和否两组, 将 FBG ≥ 7 mmol·L⁻¹ 或有糖尿病史者判定为糖尿病患者。

应用 ArcGis 10.6 软件, 采用反距离加权方法^[17]对北京市每日 AQI 水平进行空间插值, 绘制空间分布栅格。基于工作单位地址, 计算每个体检者 AQI 和气象

因素暴露水平, 以最后一次体检日前 365 d 的平均值作为年均 AQI 及气象因素暴露水平用于分析。

1.3 统计学分析

研究中定性资料用 $n(\%)$ 表示, 定量资料用平均数($\bar{x}$)、标准差(s)、第 25 百分位数(P_{25})、第 50 百分位数(P_{50})和第 75 百分位数(P_{75})表示。不同特征人群 baPWV 水平比较采用两组或多组资料比较的秩和检验。采用多重线性回归分析北京市 AQI 与人群 baPWV 的关联, 结果报告为 AQI 每增加 10, baPWV 水平的变化。将混杂因素逐步纳入模型, 分别建立以下 3 个模型: 模型 1, 不调整任何混杂因素; 模型 2, 调整年龄、性别、BMI、MAP、HDL-C、LDL-C、TG、FBG、气压、气温、风速和相对湿度; 模型 3, 进一步调整糖尿病用药史、高血压用药史、患心血管病史、教育水平、吸烟状况、饮酒状况和体育锻炼强度。按性别、年龄、是否患糖尿病和是否患高血压进行亚组分析。应用 R 4.2.1 软件进行统计分析, 采用双侧检验, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 不同特征人群 baPWV 水平比较

本研究共纳入 2971 例体检者, 其中 1762 例(59.31%)体检者 baPWV 属于正常范围($<1400 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$), 1125 例(37.87%)体检者 baPWV 属于动脉硬化可疑范围($1400 \sim 1800 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$), 84 例(2.82%)体检者 baPWV 属于动脉硬化病理范围($>1800 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$)。不同年龄($Z=-18.93, P<0.001$)、性别($Z=-16.68, P<0.001$)、饮酒($Z=-2.59, P=0.010$)、糖尿病患病($Z=-15.27, P<0.001$)、高血压患病($Z=-20.88, P<0.001$)情况组间 baPWV 水平的差异有统计学意义; 不同教育水平($H=2.95, P=0.228$)、体育锻炼强度($Z=1.33, P=0.515$)、吸烟($Z=-1.50, P=0.134$)和心血管疾病患病($H=-1.66, P=0.097$)情况组间 baPWV 水平的差异无统计学意义(表 1)。

表 1 2015—2019 年北京健康管理队列中 2971 名体检者不同特征组之间 baPWV 的比较

Table 1 Comparison of baPWV of 2971 participants in the Beijing Health Management Cohort by selected characteristics from 2015 to 2019

特征(Characteristic)	$n(\%)$	baPWV/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	Z/H	P
年龄/岁(Age/years)			-18.93	<0.001
<50	1551(52.20)	1330.14±144.25		
≥50	1420(47.80)	1452.96±189.17		
性别(Sex)			-16.68	<0.001
男性(Male)	2159(72.67)	1420.31±178.30		
女性(Female)	812(27.33)	1305.16±148.07		

续表 1

特征(Characteristic)	n(%)	baPWV/(cm·s ⁻¹)	Z/H	P
教育水平(Education)			2.95	0.228
高中、大专及以下 (High school, junior college, and below)	81(2.73)	1396.93±180.00		
大学本科 (Undergraduate)	2684(90.34)	1387.77±179.41		
研究生及以上 (Master and above)	206(6.93)	1399.66±159.68		
体育锻炼强度(Physical activity intensity)			1.33	0.515
低(Low)	2732(91.96)	1390.18±179.57		
中(Middle)	170(5.72)	1379.21±169.39		
高(High)	69(2.32)	1359.43±134.11		
饮酒(Drinking)			-2.59	0.010
是(Yes)	277(9.32)	1410.45±169.89		
否(No)	2694(90.68)	1386.62±178.81		
吸烟(Smoking)			-1.50	0.134
是(Yes)	105(3.53)	1401.13±163.87		
否(No)	2866(96.47)	1388.39±178.62		
心血管疾病 (Cardiovascular disease)			-1.66	0.097
是(Yes)	244(8.21)	1420.28±214.28		
否(No)	2727(91.79)	1386.03±174.27		
糖尿病(Diabetes)			-15.27	<0.001
是(Yes)	825(27.77)	1472.42±199.48		
否(No)	2146(72.23)	1356.71±157.85		
高血压(Hypertension)			-20.88	<0.001
是(Yes)	884(70.25)	1496.81±196.11		
否(No)	2087(29.75)	1343.11±147.83		
糖尿病用药史 (Medication history of diabetes)			-10.23	<0.001
是(Yes)	193(93.50)	1537.42±228.40		
否(No)	2778(6.50)	1378.52±169.35		
高血压用药史 (Medication history of hypertension)			-15.13	<0.001
是(Yes)	642(21.61)	1485.78±197.70		
否(No)	2329(78.39)	1362.12±162.48		

2.2 AQI、气象因素水平及体检指标情况

体检参与者的年均 AQI 中位数为 108.13, 年均气

压中位数为 1002.30 hpa, 年均气温中位数为 12.28 °C, 年均风速中位数为 1.84 m·s⁻¹, 年均相对湿度中位数为 54.83%。BMI 中位数为 25.39 kg·m⁻², MAP 中位数为 88.33 mmHg, baPWV 中位数为 1361.00 cm·s⁻¹, HDL-C 中位数为 1.24 mmol·L⁻¹, LDL-C 中位数为 3.10 mmol·L⁻¹, TG 中位数为 1.34 mmol·L⁻¹, FBG 中位数为 5.18 mmol·L⁻¹ (表 2)。研究期间, 随着时间的变化, AQI 整体呈现下降趋势, 并且在北京市范围内呈现北部较低、南部较高的趋势, 结果见补充材料图 S1。

2.3 北京市 AQI 与人群 baPWV 的关联

年均 AQI 与 baPWV 水平呈正相关(表 3)。AQI 每增加 10, 模型 1、模型 2 和模型 3 中全人群 baPWV 分别增加 13.81(95%CI: 8.85~18.76)、6.64(95%CI: 1.67~11.62)和 6.18(95%CI: 1.25~11.10)cm·s⁻¹。亚组分析结果显示, 年龄 < 50 岁、女性、无糖尿病和无高血压人群效应更强, 在模型 3 中 AQI 每增加 10, baPWV 分别增加 8.05(95%CI: 2.32~13.79)、15.82(95%CI: 8.33~23.31)、10.10(95%CI: 4.66~15.55)和 9.41(95%CI: 4.21~14.62)cm·s⁻¹。

表 2 2015—2019 年北京健康管理队列中 2971 名体检者的 AQI、气象因素暴露水平及体检指标

Table 2 AQI, meteorological exposure levels, and medical examination indicators of 2971 participants in the Beijing Health Management Cohort from 2015 to 2019

变量(Variable)	$\bar{x}$	s	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅
AQI	105.18	12.87	93.53	108.13	114.74
气压(Atmospheric pressure)/hpa	998.16	12.16	989.89	1002.30	1003.06
气温(Temperature)/°C	12.38	0.87	11.83	12.28	13.02
风速(Wind speed)/(m·s ⁻¹)	1.85	0.14	1.77	1.84	1.96
相对湿度(Relative humidity)/%	54.71	2.50	53.85	54.83	56.17
BMI/(kg·m ⁻²)	25.64	3.59	23.39	25.39	27.55
MAP/mmHg	88.71	11.13	80.33	88.33	96.00
baPWV/(cm·s ⁻¹)	1388.84	178.10	1271.00	1361.00	1479.00
HDL-C/(mmol·L ⁻¹)	1.30	0.34	1.05	1.24	1.49
LDL-C/(mmol·L ⁻¹)	3.13	0.81	2.56	3.10	3.64
TG/(mmol·L ⁻¹)	1.66	1.56	0.93	1.34	1.97
FBG/(mmol·L ⁻¹)	6.43	17.33	4.83	5.18	5.67

表 3 2015—2019 年北京健康管理队列中 2971 名体检者 AQI 与 baPWV 的关联 (AQI 每增加 10)

Table 3 Association between AQI and baPWV among 2971 participants in the Beijing Health Management Cohort from 2015 to 2019 (per 10 increase in AQI)

人群(Population)	模型1(Model 1)		模型2(Model 2)		模型3(Model 3)	
	b(95%CI)	P	b(95%CI)	P	b(95%CI)	P
全人群(All)	13.81(8.85~18.76)	<0.001	6.64(1.67~11.62)	0.009	6.18(1.25~11.10)	0.014
年龄/岁(Age/years)						
<50	7.35(1.85~12.86)	0.009	8.44(2.74~14.14)	0.004	8.05(2.32~13.79)	0.006
≥50	-1.23(-9.43~6.97)	0.769	8.81(0.04~17.58)	0.049	6.45(-2.26~15.16)	0.147

续表 3

人群(Population)	模型1(Model 1)		模型2(Model 2)		模型3(Model 3)	
	b(95%CI)	P	b(95%CI)	P	b(95%CI)	P
性别(Sex)						
男性(Male)	6.88(0.92~12.83)	0.024	2.41(-3.89~8.71)	0.453	1.87(-4.39~8.12)	0.558
女性(Female)	14.97(7.30~22.65)	<0.001	16.23(8.66~23.80)	<0.001	15.82(8.33~23.31)	<0.001
糖尿病(Diabetes)						
是(Yes)	12.60(2.54~22.65)	0.014	-0.04(-10.80~10.72)	0.995	-0.80(-11.51~9.92)	0.884
否(No)	17.46(12.19~22.72)	<0.001	10.52(5.11~15.93)	<0.001	10.10(4.66~15.55)	<0.001
高血压(Hypertension)						
是(Yes)	2.24(-7.88~12.37)	0.664	-0.24(-11.24~10.76)	0.966	-0.79(-11.79~10.21)	0.888
否(No)	15.15(10.27~20.04)	<0.001	9.44(4.22~14.67)	<0.001	9.41(4.21~14.62)	<0.001

[注] 模型 1: 不调整混杂因素; 模型 2: 调整年龄、性别、BMI、MAP、HDL-C、LDL-C、TG、FBG、气压、气温、风速和相对湿度; 模型 3: 进一步调整糖尿病用药史、高血压用药史、患心血管疾病情况、教育水平、吸烟状况、饮酒状况和体育锻炼强度。亚组分析未调整相应分组变量。

[Note] Model 1: No adjustment; Model 2: Adjusting for age, sex, BMI, MAP, HDL-C, LDL-C, TG, FBG, air pressure, temperature, wind speed, and relative humidity; Model 3: Further adjusting for medication history of diabetes, medication history of hypertension, cardiovascular disease status, education level, smoking status, alcohol consumption status, and physical activity intensity. Subgroup analysis is not adjusted for corresponding grouping variables.

3 讨论

此项研究基于 BHMC 的体检人群, 采用多重线性回归的方法分析了年均 AQI 与 baPWV 水平的关联。在调整混杂因素后发现, 年均 AQI 与 baPWV 水平呈正相关, 并且在年龄 < 50 岁组、女性组、非糖尿病患者组和非高血压患者组中关联更强。

近年来, 空气污染对动脉硬化的影响引起了广泛的关注, 但缺乏基于中国人群的相关研究。一项基于欧洲老年人群的研究表明 5 d 平均细颗粒物质量浓度每增加 $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 可吸入颗粒物质量浓度每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 脉搏波传导速度分别增加 0.96% 和 2.13%^[18]。另一项基于美国人群的研究结果表明, 短期和长期细颗粒物、黑炭、氮氧化物等单一污染物暴露对 cfPWV 无显著影响, 但多种污染物混合物的长期暴露对 cfPWV 具有显著影响^[19]。有国外研究使用 AQI 作为暴露指标, 研究空气污染与心血管疾病的关系^[20-21]。本研究也使用 AQI 来代替单一的污染物作为暴露, 其优势在于 AQI 能反映各种污染物的综合影响, 且不会带来污染物之间的多重共线性问题。与既往研究结果类似, 本研究发现年均 AQI 增加与北京市人群 baPWV 水平增加有关, 这提示多种空气污染物的联合暴露可能加重动脉硬化程度。

空气污染暴露可能通过炎症反应或氧化应激等途径导致动脉硬化。动物实验表明, 空气污染可诱导全身炎症反应和氧化应激, 进而导致动脉僵硬度增加^[22]。暴露于环境细颗粒物会影响小鼠的血管收缩功能以及导致蛋白质硝化^[23]。基于人群的研究也表明空气污染暴露可能导致全身炎症反应, 促进动脉粥样硬

化斑块和血栓形成^[24]。

本研究发现, 年龄 < 50 岁组、女性组、非糖尿病患者组和非高血压患者组的 baPWV 水平更低, 动脉硬化程度更低, 这与既往研究结果一致^[25-27]。亚组分析结果显示, 在年龄 < 50 岁组、女性组、非糖尿病患者组和非高血压患者组中, AQI 与 baPWV 的关联更强。一项研究表明, 空气污染可能在心血管疾病进展的早期阶段发挥重要作用^[28]。此外, 有研究显示, 生活阶段可能影响空气污染健康效应的性别差异, 在成年阶段, 女性对空气污染的影响更为敏感^[29]。同时, 糖尿病患者和高血压患者所服用的药物, 如二甲双胍和阿司匹林等, 可能对空气污染的健康危害具有预防作用^[30-32]。因此, 在空气污染暴露下, 年龄 < 50 岁、女性、非糖尿病患者和非高血压患者可能成为动脉硬化的易感人群。

本研究的创新性在于以 AQI 作为综合暴露指标, 反映污染物长期综合暴露对动脉硬化的影响。此外, 本研究采用反距离加权方法进行暴露估计, 能够基于监测站点数据估计参与者个体的暴露水平。本研究具有一定局限性: 由于相关隐私保护政策, 本研究未能获得参与者的居住地址, 而是基于工作单位地址进行暴露估计。为了更高程度上反映研究对象的真实暴露情况, 本研究根据既往研究的经验^[16], 仅纳入了 60 岁以下具有固定工作地址和工作时间的人群。然而, 该人群的选择可能会引入选择偏倚。尽管本研究采用了多元分析方法来控制混杂因素以减小偏倚的影响, 但对分析结果仍应当谨慎解释和外推。为了克服这些局限性, 未来的研究应当使用随机化抽样方法, 并考虑

研究对象的活动模式,以便更精确地估计暴露水平。

综上所述,基于对 BHMC 队列人群的研究发现,长期 AQI 水平的上升与人群的 baPWV 水平增高相关,这表明长期暴露于空气污染物会加重动脉硬化程度。在空气污染暴露下, <50 岁、女性、未患高血压和未患糖尿病人群是动脉硬化的易感人群。这些研究结果提示改善空气质量可能有助于预防动脉硬化。

参考文献

- [1] WANG Y, WANG Y, XU H, et al. Ambient air pollution and socioeconomic status in China [J]. *Environ Health Perspect*, 2022, 130(6): 067001.
- [2] CARVALHO H. New WHO global air quality guidelines: more pressure on nations to reduce air pollution levels [J]. *Lancet Planet Health*, 2021, 5(11): e760-e761.
- [3] ZHANG K, WANG H, HE W, et al. The association between ambient air pollution and blood lipids: a longitudinal study in Shijiazhuang, China [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 752: 141648.
- [4] EVANGELOPOULOS D, KATSOUYANNI K, SCHWARTZ J, et al. Quantifying the short-term effects of air pollution on health in the presence of exposure measurement error: a simulation study of multi-pollutant model results [J]. *Environ Health*, 2021, 20(1): 94.
- [5] XU W, TIAN Y, LIU Y, et al. Understanding the spatial-temporal patterns and influential factors on air quality index: the case of North China [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(16): 2820.
- [6] MITCHELL GF, HWANG SJ, VASAN RS, et al. Arterial stiffness and cardiovascular events: the Framingham Heart Study [J]. *Circulation*, 2010, 121(4): 505-511.
- [7] TANAKA H, MUNAKATA M, KAWANO Y, et al. Comparison between carotid-femoral and brachial-ankle pulse wave velocity as measures of arterial stiffness [J]. *J Hypertens*, 2009, 27(10): 2022-2027.
- [8] LAURENT S, COCKCROFT J, VAN BORTEL L, et al. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications [J]. *Eur Heart J*, 2006, 27(21): 2588-2605.
- [9] KIM H L, KIMS H. Pulse wave velocity in atherosclerosis [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2019, 6: 41.
- [10] 中国医疗保健国际交流促进会难治性高血压与周围动脉病分会专家共识起草组. 同步四肢血压和踝臂脉搏波速度测量临床应用中国专家共识 [J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(6): 521-528.
Expert Consensus Drafting Group, Branch of Resistant Hypertension and Peripheral Arterial Disease, China International Exchange and Promotion Association for Medical and Healthcare. 2020 Chinese expert consensus on clinical application of simultaneously measurement of four-limb blood pressure and brachial-ankle pulse wave velocity [J]. *Chin Circul J*, 2020, 35(6): 521-528.
- [11] HU J, LI W, GAO Y, et al. Fine particulate matter air pollution and subclinical cardiovascular outcomes: a longitudinal study in 15 Chinese cities [J]. *Environ Int*, 2022, 163: 107218.
- [12] BAUMGARTNER J, CARTER E, SCHAUER JJ, et al. Household air pollution and measures of blood pressure, arterial stiffness and central haemodynamics [J]. *Heart*, 2018, 104(18): 1515-1521.
- [13] SINHARAY R, GONG J, BARRATT B, et al. Respiratory and cardiovascular responses to walking down a traffic-polluted road compared with walking in a traffic-free area in participants aged 60 years and older with chronic lung or heart disease and age-matched healthy controls: a randomised, crossover study [J]. *Lancet*, 2018, 391(10118): 339-349.
- [14] PRATALI L, MARINONI A, COGO A, et al. Indoor air pollution exposure effects on lung and cardiovascular health in the High Himalayas, Nepal: an observational study [J]. *Eur J Intern Med*, 2019, 61: 81-87.
- [15] ERQOU S, CLOUGHERTY JE, OLAFIRANYE O, et al. Particulate matter air pollution and racial differences in cardiovascular disease risk [J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2018, 38(4): 935-942.
- [16] ZHANG L, AN J, TIAN X, et al. Acute effects of ambient particulate matter on blood pressure in office workers [J]. *Environ Res*, 2020, 186: 109497.
- [17] LIU Y, PAN J, ZHANG H, et al. Short-term exposure to ambient air pollution and asthma mortality [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 200(1): 24-32.
- [18] SCHEERS H, NAWROT TS, NEMERY B, et al. Changing places to study short-term effects of air pollution on cardiovascular health: a panel study [J]. *Environ Health*, 2018, 17(1): 80.
- [19] LJUNGMAN P L S, LI W, RICE M B, et al. Long- and short-term air pollution exposure and measures of arterial stiffness in the Framingham Heart Study [J]. *Environ Int*, 2018, 121(Pt 1): 139-147.
- [20] LEILI M, NADALI A, KARAMI M, et al. Short-term effect of multi-pollutant air quality indexes and PM_{2.5} on cardiovascular hospitalization in Hamadan, Iran: a time-series analysis [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2021, 28(38): 53653-53667.
- [21] KHAJAVI A, KHALILI D, AZIZI F, et al. Impact of temperature and air pollution on cardiovascular disease and death in Iran: a 15-year follow-up of Tehran Lipid and Glucose Study [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 661: 243-250.
- [22] DU X, JIANG S, ZENG X, et al. Air pollution is associated with the development of atherosclerosis via the cooperation of CD36 and NLRP3 inflammatory in ApoE^{-/-} mice [J]. *Toxicol Lett*, 2018, 290: 123-132.
- [23] SUN Q, WANG A, JIN X, et al. Long-term air pollution exposure and acceleration of atherosclerosis and vascular inflammation in an animal model [J]. *JAMA*, 2005, 294(23): 3003-3010.
- [24] XU H, WANG T, LIU S, et al. Extreme levels of air pollution associated with changes in biomarkers of atherosclerotic plaque vulnerability and thrombogenicity in healthy adults [J]. *Circ Res*, 2019, 124(5): e30-e43.
- [25] ZHENG M, ZHANG X, CHEN S, et al. Arterial stiffness preceding diabetes: a longitudinal study [J]. *Circ Res*, 2020, 127(12): 1491-1498.
- [26] LU Y, PECHLANER R, CAI J, et al. Trajectories of age-related arterial stiffness in Chinese men and women [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(8): 870-880.
- [27] WU S, JIN C, LI S, et al. Aging, arterial stiffness, and blood pressure association in Chinese adults [J]. *Hypertension*, 2019, 73(4): 893-899.
- [28] ZHANG S, QIAN Z M, CHEN L, et al. Exposure to air pollution during pre-hypertension and subsequent hypertension, cardiovascular disease, and death: a trajectory analysis of the UK biobank cohort [J]. *Environ Health Perspect*, 2023, 131(1): 017008.
- [29] CLOUGHERTY JE. A growing role for gender analysis in air pollution epidemiology [J]. *Environ Health Perspect*, 2010, 118(2): 167-176.
- [30] SEPOSO X, UEDA K, SUGATA S, et al. Short-term effects of air pollution on daily single- and co-morbidity cardiorespiratory outpatient visits [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 729: 138934.
- [31] GAO X, COULL B, LIN X, et al. Nonsteroidal antiinflammatory drugs modify the effect of short-term air pollution on lung function [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2020, 201(3): 374-378.
- [32] GAO J, YUAN J, WANG Q, et al. Metformin protects against PM_{2.5}-induced lung injury and cardiac dysfunction independent of AMP-activated protein kinase $\alpha 2$ [J]. *Redox Biol*, 2020, 28: 101345.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 汪源)