

PM_{2.5} 暴露影响终止高血压饮食模式与中心性肥胖的相关性

张焕文^a, 乔婷婷^{a,b}, 陈珍^a, 罗涛^a, 张泽文^a, 王璐^a, 戴江红^a

新疆医科大学 a. 公共卫生学院 b. 护理学院, 新疆 乌鲁木齐 830017

摘要:

[背景] PM_{2.5} 及其组分暴露是否影响终止高血压饮食(DASH)模式与中心性肥胖之间的关系尚缺乏证据。

[目的] 探讨 PM_{2.5} 及其组分暴露对 DASH 模式与中心性肥胖患病相关性的影响。

[方法] 数据来源于“新疆多民族自然人群队列建设及健康随访研究”乌鲁木齐市人群基线调查。根据 8 种食物组摄入频率计算 DASH 评分, 推荐摄入的食物组摄入频率由低到高分别为 1~5 分, 而限制摄入的食物组摄入频率由高到低分别为 1~5 分, 总分即为 DASH 评分, 评分越高, 研究对象对 DASH 模式的依从性越好; 对应用卫星获得的 PM_{2.5} 和全球大气化学传输模式(GEOS-Chem)估计的有机碳(OC)、黑炭(BC)、硫酸盐(SO₄²⁻)、硝酸盐(NO₃⁻)、铵盐(NH₄⁺)及扬尘进行暴露评估; 以男性腰围≥90 cm 或女性腰围≥85 cm 定义为中心性肥胖(WS/T 428—2013《成人体重判定》)。采用 logistic 回归模型分析 DASH 模式、PM_{2.5} 及其组分对中心性肥胖的影响, 采用分层分析探讨 PM_{2.5} 及其组分对 DASH 模式和中心性肥胖关联的影响。

[结果] 研究共纳入 9565 名城市居民, 年龄(62.30±9.42)岁, 中心性肥胖患病率为 60.75%。调整混杂因素后, DASH 评分 Q5 组比 Q1 组中心性肥胖患病可能性降低 17.5%(*OR*=0.825, 95%CI: 0.720~0.947)。PM_{2.5} 及其组分 OC、BC、SO₄²⁻、NH₄⁺、扬尘与中心性肥胖患病呈正相关, 未见组分 NO₃⁻暴露与中心性肥胖有关联。分层分析发现, 暴露于低浓度 PM_{2.5} 及其组分 NO₃⁻、NH₄⁺、扬尘的研究对象中, DASH 评分 Q5 组中心性肥胖患病可能性降低, 而暴露于高浓度 PM_{2.5} 及其组分 NO₃⁻、NH₄⁺、扬尘的研究对象中, DASH 模式对中心性肥胖的保护效应消失。

[结论] PM_{2.5} 及其组分 NO₃⁻、NH₄⁺、扬尘暴露会削弱 DASH 模式对中心性肥胖的保护效应。

关键词: 终止高血压饮食 ; PM_{2.5} ; 中心性肥胖 ; 细颗粒物组分

Correlation between dietary approaches to stop hypertension pattern and central obesity affected by PM_{2.5} exposure ZHANG Huanwen^a, QIAO Tingting^{a,b}, CHEN Zhen^a, LUO Tao^a, ZHANG Zewen^a, WANG Lu^a, DAI Jianghong^a (a. School of Public Health b. School of Nursing, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830017, China)

Abstract:

[Background] There is a lack of evidence on whether exposure to PM_{2.5} and its constituents would affect the relationship between the dietary approaches to stop hypertension (DASH) and central obesity.

[Objective] To investigate the effect of exposure to PM_{2.5} and its constituents on the correlation between the DASH dietary pattern and the prevalence of central obesity.

[Methods] The data were obtained from the baseline survey of the “Xinjiang Multi-Ethnic Natural Population Cohort Construction and Health Follow-Up Study” in Urumqi. A DASH score was calculated according to intake frequency of 8 food groups, and summed from intake frequency of recommended food groups scored from 1 to 5 from low to high, and intake frequency of restricted food groups scored from 1 to 5 from high to low. A higher DASH score indicates better compliance with the DASH dietary pattern. We estimated exposure using satellite-derived PM_{2.5} and a chemical transport model (GEOS-Chem) for its constituents, including organic carbon (OC), black carbon (BC), sulfate (SO₄²⁻), nitrate (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺), and soil dust. Central obesity was defined by waist circumference: ≥90 cm for men or ≥85 cm for women according to *Criteria of weight for adults* (WS/T 428—2013). A logistic regression model was used to analyze the effects of the



DOI 10.11836/JEOM21502

基金项目

国家重点研发计划项目(2017YFC0907203); 国家自然科学基金项目(82160640); 新疆维吾尔自治区研究生创新项目(XJ2022G182)

作者简介

张焕文(1995—), 女, 硕士生;
E-mail: 1021551342@qq.com

通信作者

戴江红, E-mail: epi102@sina.com

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2021-10-17

录用日期 2022-09-25

文章编号 2095-9982(2022)11-1262-07

中图分类号 R12

文献标志码 A

▶引用

张焕文, 乔婷婷, 陈珍, 等. PM_{2.5} 暴露影响终止高血压饮食模式与中心性肥胖的相关性[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(11): 1262-1268.

▶本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21502

Funding

This study was funded.

Correspondence to

DAI Jianghong, E-mail: epi102@sina.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2021-10-17

Accepted 2022-09-25

▶ To cite

ZHANG Huanwen, QIAO Tingting, CHEN Zhen, et al. Correlation between dietary approaches to stop hypertension pattern and central obesity affected by PM_{2.5} exposure[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(11): 1262-1268.

▶ Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21502

DASH dietary pattern as well as PM_{2.5} and its constituents on central obesity, and a stratified analysis was used to explore the effects of PM_{2.5} and its constituents on the association between the DASH dietary pattern and central obesity.

[Results] The study included 9 565 urban residents, aged (62.30±9.42) years, with a central obesity prevalence rate of 60.75%. After adjusting for selected confounders, the DASH score Q5 group had a 17.5% lower risk of central obesity than the Q1 group ($OR=0.825$, 95%CI: 0.720-0.947). PM_{2.5} and its constituents OC, BC, SO₄²⁻, NH₄⁺, and soil dust were positively associated with the prevalence of central obesity, but no association was observed between constituent NO₃⁻ exposure and central obesity. The stratified analysis revealed that the prevalence of central obesity was reduced in the DASH score Q5 group in participants exposed to low concentrations of PM_{2.5} and its constituents NO₃⁻, NH₄⁺, and soil dust, while the protective effect of the DASH pattern on central obesity disappeared in subjects exposed to high concentrations of PM_{2.5} and its constituents NO₃⁻, NH₄⁺, and soil dust.

[Conclusion] Exposure to PM_{2.5} and its constituents NO₃⁻, NH₄⁺, and soil dust could attenuate the protective effect of the DASH pattern on central obesity.

Keywords: dietary approaches to stop hypertension; PM_{2.5}; central obesity; fine particulate matter constituent

中心性肥胖是因机体能量失衡而导致的腹部脂肪堆积,是肥胖的一种类型,同时也是高血压、糖尿病、代谢综合征等多种慢性非传染性疾病的危险因素^[1]。根据涵盖我国31省份的2014年体质监测数据显示,以男性腰围≥90 cm或女性腰围≥85 cm为诊断标准的20~59岁中国成年人中心性肥胖患病率为24.9%^[2]。终止高血压饮食(dietary approaches to stop hypertension, DASH)模式以较多摄入水果、蔬菜、坚果、豆类、全谷物和乳制品,少量摄入红肉、加工肉、含糖饮料、油脂为特征。现有证据显示,坚持DASH模式会降低中心性肥胖的风险^[3-4]。而一项人群干预研究表明,DASH模式可通过改善全身炎症反应而减轻肥胖^[5]。

细颗粒物(fine particulate matter, PM_{2.5})是以有机碳(organic carbon, OC)、黑炭(black carbon, BC)、硫酸盐(sulfate, SO₄²⁻)、硝酸盐(nitrate, NO₃⁻)、铵盐(ammonium, NH₄⁺)和扬尘等为主要化学组分的复杂混合物^[6-7]。我国多民族队列研究显示,城市和农村居民长期接触PM_{2.5}与全身性肥胖和中心性肥胖发病风险增加之间均存在关联^[8],在我国老年人队列研究和河南省农村居民研究中亦发现相似结果^[9-10],其生物学机制涉及全身炎症反应^[11]。PM_{2.5}的主要组分对人体健康也造成了严重危害^[6-7]。

环境空气污染造成的全球疾病负担持续增加,尽管各地政府为减排做出了努力,但许多地区仍然遭受严重空气污染,2018年数据估计世界上90%人口所生活的地区空气质量水平超过世界卫生组织标准^[12]。膳食在一定程度上也会影响慢性非传染性疾病如肥胖的发生和发展^[1, 13-14],空气污染和膳食暴露不可避免地共同存在于人们的日常生活中,且DASH模式、PM_{2.5}暴露对中心性肥胖的影响涉及共同生物学机制^[5, 11],但是长期空气污染暴露是否影响膳食习惯与健康结

局之间的关系尚缺乏证据。本研究通过对“新疆多民族自然人群队列建设及健康随访研究”中乌鲁木齐市居民中心性肥胖流行病学调查数据进行分析,探讨DASH模式、PM_{2.5}暴露与中心性肥胖的相关性,并进一步探寻暴露于PM_{2.5}对DASH模式和城市居民中心性肥胖相关性的影响,为空气污染暴露下中心性肥胖的预防提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 数据来源

研究对象来自国家重点研发计划课题“新疆多民族自然人群队列建设及健康随访研究”(项目号:2017YFC0907203)乌鲁木齐市人群队列基线。2018年7月至2019年4月,当地社区卫生服务中心和乡镇卫生院向所在辖区居民发布队列招募信息以招募研究对象,共收集10 124份调查问卷,有效问卷10 017份,有效率为98.94%。研究通过新疆维吾尔自治区中医药研究院伦理委员会审核批准(编号:2018XE0108),所有研究对象均签署知情同意书。

基于人群队列研究基线资料,本研究纳入标准:无任何精神疾病、无认知交流障碍的居民,同时要求在调查点附近居住三年及以上;排除患有恶性肿瘤($n=63$)及缺失膳食信息($n=328$)、腰围值缺失($n=58$)和因居住地址缺失而无法估计PM_{2.5}暴露($n=3$)的居民。经筛选后,最终纳入9 565名居民进行分析。基线调查包括问卷调查、体格检查及血液标本采集。通过统一标准化问卷^[15]收集研究对象人口学信息(性别、年龄、婚姻等)、生活行为方式(吸烟、身体活动等)、膳食状况等。

1.2 DASH模式及其评分的建立

DASH模式是一种包含特定食物和饮食成分组合的饮食结构,该饮食强调增加水果、蔬菜、坚果、豆类、

乳制品和全谷物的摄入,减少含糖饮料、红肉、加工肉类和油脂的摄入,从而达到预防和控制疾病的目的^[16]。

DASH 评分是针对 DASH 模式的评估方法,能反映 DASH 模式暴露情况^[16]。本研究中全谷物被定义为除大米和面食以外的所有其他粮食作物,包括玉米、高粱、小米、青稞、燕麦、荞麦等;乳制品被定义为低脂乳制品和全脂乳制品,包括牛奶、羊奶、酸奶和奶酪等。

既往研究中 DASH 评分是根据每种食物组摄入量五分位数进行赋分,对推荐摄入的食物组,摄入量五分位数由低到高分别为 1~5 分,而对建议减少的食物组,摄入量五分位数由高到低分别为 1~5 分^[17]。本研究结合所用膳食调查问卷,根据 DASH 模式包含的 8 种食物组过去一年摄入频率进行赋分,对于水果、蔬菜、坚果、豆类、乳制品和全谷物这类推荐摄入的食物组,对其摄入频率进行正向赋分,“不吃或极少吃”为 1 分,“1~3 次·月⁻¹”为 2 分,“1~3 次·周⁻¹”为 3 分,“4~6 次·周⁻¹”为 4 分,“每天都吃”为 5 分;对于含糖饮料、红肉和加工肉类、油脂这类建议减少的食物组,对其摄入频率进行负向赋分,“每天都吃”为 1 分,“4~6 次·周⁻¹”为 2 分,“1~3 次·周⁻¹”为 3 分,“1~3 次·月⁻¹”为 4 分,“不吃或极少吃”为 5 分。

1.3 PM_{2.5} 及其组分的评估方法

采用在 PM_{2.5} 精准暴露领域新方法,利用卫星遥感技术反演的气溶胶光学厚度(aerosol optical depth, AOD)、气象参数、同化数据和土地利用等数据,基于随机森林方法在 1 km×1 km 空间分辨率水平预测地面 PM_{2.5} 年均浓度^[18]。利用不包含 AOD 的随机森林模型实现研究范围内 PM_{2.5} 预测 100%时空覆盖,同时整合包含 AOD 的随机森林模型来进一步提升预测准确度,然后根据研究对象居住地址地理编码估计研究对象 PM_{2.5} 暴露水平。应用全球大气化学传输模式(GEOS-Chem),将 PM_{2.5} 划分为六个组成部分,即 OC、BC、SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺和扬尘,在 1 km×1 km 空间分辨率水平上与研究对象居住地址的地理编码进行匹配,以获得每个研究对象 PM_{2.5} 组分暴露情况^[19]。使用 3 年(2016—2018 年)PM_{2.5} 年均暴露水平均值反映研究对象 PM_{2.5} 长期暴露水平,以 OC、BC、SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺和扬尘的暴露水平作为研究对象 PM_{2.5} 组分长期暴露水平。

1.4 中心性肥胖的判定方法

采用精确度为 0.1 cm 的腰围尺,平静呼气时取两侧髋骨上缘至肋骨下缘中间点测量腰围。参照 WS/T 428—2013《成人体重判定》对中心性肥胖的定义^[20],

男性腰围≥90 cm、女性腰围≥85 cm 者被定义为中心性肥胖。

1.5 其他变量

研究对象的年龄、性别、职业、婚姻、吸烟、体育锻炼、空气污染防护措施、睡眠等均在基线问卷调查中获得。体育锻炼定义为过去一年内研究对象业余时间(即 8 h 上班以外的时间里)所从事体育锻炼的频率。吸烟分为从不吸烟、过去吸烟、目前吸烟,从不吸烟指调查时研究对象自我报告现在和过去均为偶尔吸烟或不吸烟,过去吸烟指调查时偶尔吸烟或不吸烟但过去曾经大部分天数或每天都吸烟,目前吸烟指调查时报告大部分天数或每天都吸烟。根据健康中国行动(2019—2030 年)^[21]将睡眠情况分为不足、适宜、过多,睡眠不足指每天睡眠时间(包括午睡) < 7 h, 睡眠适宜指每天睡眠时间(包括午睡) 7~8 h, 睡眠过多指每天睡眠时间(包括午睡) > 8 h。

1.6 统计学分析

采用 R 4.1.0 软件进行数据分析和处理,所有统计学分析以 $\alpha=0.05$ (双侧)为检验水准, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。连续性变量采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,并使用 t/F 检验进行组间比较;分类变量采用构成比或率表示。采用 logistic 回归模型分析 DASH 模式、PM_{2.5} 及其组分对中心性肥胖的影响。分层分析时,将低于 PM_{2.5} 及其组分浓度 P_{50} 的研究对象作为低浓度组,高于 PM_{2.5} 及其组分浓度 P_{50} 的研究对象作为高浓度组,探讨不同浓度组中 DASH 模式与中心性肥胖的关联,并采用含有交互项的 logistic 回归模型进行检验。模型 1 为未校正模型,模型 2 校正了性别、年龄、职业、婚姻、吸烟、空气污染防护措施、体育锻炼、睡眠。

2 结果

2.1 基本情况

共纳入 9565 名研究对象,年龄(62.30 ± 9.42)岁,中心性肥胖者 5811 名,占 60.75%。研究对象中以女性(60.76%)、农民/工人(28.95%)、已婚(87.32%)、从不吸烟(85.14%)、空气污染时紧闭门窗进行防护(46.81%)、每天或几乎每天进行体育锻炼(44.72%)及睡眠时间适宜(63.60%)者居多。不同性别、年龄、职业、婚姻、吸烟、空气污染防护措施、体育锻炼、睡眠及中心性肥胖的 DASH 评分差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

2.2 DASH 模式与中心性肥胖患病关系

在模型 1 中,坚持 DASH 模式与中心性肥胖呈负

相关($P < 0.05$)。调整相关混杂因素后,与 DASH 评分 Q1 组相比,DASH 评分 Q5 组中心性肥胖患病可能性降低 17.5%($OR=0.825$, 95%CI: 0.720~0.947),且关联具有线性趋势($P_{\text{趋势}} < 0.05$),DSAII 评分每增加 10 分,中心性肥胖患病可能性降低 12.2%($OR=0.878$, 95%CI: 0.777~0.992)。见表 2。

表 1 不同人口学特征研究对象间 DASH 评分比较

Table 1 Comparison of DASH score among participants grouped by different basic characteristics

基本特征	变量赋值	人数(构成比/%)	DASH评分		
			$\bar{x} \pm s$	t/F	P
性别			10.767	<0.001	
女	0	5 812(60.76)	30.33±3.51		
男	1	3 753(39.24)	29.54±3.53		
年龄/岁			2.001	0.045	
<65	0	4 188(43.78)	30.10±3.44		
≥65	1	5 377(56.22)	29.96±3.61		
职业			10.755	<0.001	
农民/工人	1	2 769(28.95)	29.69±3.90		
行政/专业技术人员	2	840(8.78)	30.57±3.66		
服务行业	3	749(7.83)	30.21±4.08		
家务/待业	4	2 711(28.34)	30.06±3.05		
其他	5	2 494(26.07)	30.09±3.36		
婚姻			3.342	0.035	
已婚	1	8 352(87.32)	30.04±3.54		
丧偶/分居/离婚	2	1 153(12.05)	29.80±3.53		
未婚	3	56(0.59)	30.68±3.65		
吸烟			5.251	0.005	
从不吸烟	1	8 139(85.14)	30.04±3.53		
过去吸烟	2	361(3.78)	29.43±3.67		
目前吸烟	3	1 059(11.08)	30.07±3.53		
空气污染防治措施			4.854	<0.001	
无防护措施	0	125(1.31)	29.74±4.21		
减少外出	1	1 972(20.62)	29.76±3.63		
佩戴口罩	2	2 406(25.15)	29.98±3.63		
紧闭门窗	3	4 477(46.81)	30.15±3.49		
开启空气净化器等设备	4	482(5.04)	30.24±2.80		
其他	5	103(1.08)	29.32±3.73		
体育锻炼			125.871	<0.001	
从不或几乎从不参加	1	3 321(34.72)	29.27±3.67		
每月1~3次	2	693(7.25)	29.08±3.46		
每周1~2次	3	511(5.34)	29.23±3.59		
每周3~5次	4	750(7.84)	29.86±3.12		
每天或几乎每天	5	4 277(44.72)	30.88±3.31		
睡眠			29.828	<0.001	
适宜	0	6 072(63.60)	30.15±3.51		
不足	1	2 980(31.21)	29.94±3.62		
过多	2	495(5.18)	28.91±3.07		
中心性肥胖			6.496	0.011	
否	0	3 754(39.25)	30.13±3.55		
是	1	5 811(60.75)	29.94±3.53		

表 2 DASH 评分对中心性肥胖的影响

Table 2 Effects of DASH score on central obesity

DASH评分	模型1		模型2	
	OR(95%CI)	P	OR(95%CI)	P
每增加10分	0.860(0.765~0.966)	0.011	0.878(0.777~0.992)	0.038
Q1	1.000	—	1.000	—
Q2	0.972(0.855~1.105)	0.663	0.997(0.874~1.138)	0.968
Q3	0.952(0.843~1.075)	0.430	0.970(0.855~1.100)	0.635
Q4	0.990(0.872~1.125)	0.883	1.013(0.889~1.154)	0.846
Q5	0.818(0.717~0.934)	0.003	0.825(0.720~0.947)	0.006
$P_{\text{趋势}}$	0.018		0.045	

[注]模型 1 为未校正模型,模型 2 校正了性别、年龄、职业、婚姻、吸烟、空气污染防治措施、体育锻炼、睡眠; $P_{\text{趋势}}$ 为趋势性检验 P 值。

2.3 PM_{2.5} 及其组分与中心性肥胖患病关系

在模型 1 中,PM_{2.5} 及其组分均与中心性肥胖的相关性有统计学意义($P < 0.05$)。调整相关混杂因素后,PM_{2.5} 每升高 1 个四分位数间距(interquartile range, IQR),中心性肥胖患病可能性增加 5.5%($OR=1.055$, 95%CI: 1.006~1.107);对 PM_{2.5} 组分与中心性肥胖的关联分析发现,OC、BC、SO₄²⁻、NH₄⁺及扬尘暴露每增加 1 个 IQR,中心性肥胖患病可能性分别增加 6.9%($OR=1.069$, 95%CI: 1.001~1.143)、7.9%($OR=1.079$, 95%CI: 1.020~1.142)、10.9%($OR=1.109$, 95%CI: 1.045~1.178)、7.6%($OR=1.076$, 95%CI: 1.018~1.137)、6.0%($OR=1.060$, 95%CI: 1.032~1.089),但未观察到 NO₃⁻暴露与中心性肥胖的关联(表 3)。

表 3 PM_{2.5} 及组分对中心性肥胖的影响

Table 3 Effects of PM_{2.5} and its constituents on central obesity

PM _{2.5} 及组分	模型1		模型2	
	OR(95%CI)	P	OR(95%CI)	P
PM _{2.5}	1.071(1.022~1.122)	0.004	1.055(1.006~1.107)	0.029
OC	1.078(1.010~1.150)	0.023	1.069(1.001~1.143)	0.048
BC	1.085(1.026~1.147)	0.004	1.079(1.020~1.142)	0.008
SO ₄ ²⁻	1.106(1.043~1.172)	0.001	1.109(1.045~1.178)	0.001
NO ₃ ⁻	1.062(1.003~1.125)	0.039	1.055(0.995~1.119)	0.073
NH ₄ ⁺	1.078(1.021~1.138)	0.007	1.076(1.018~1.137)	0.009
扬尘	1.055(1.028~1.083)	<0.001	1.060(1.032~1.089)	<0.001

[注]模型 1 为未校正模型,模型 2 校正了性别、年龄、职业、婚姻、吸烟、空气污染防治措施、体育锻炼、睡眠。

2.4 PM_{2.5} 暴露对 DASH 模式与中心性肥胖关联的影响

根据 PM_{2.5} 及其组分浓度对 DASH 模式与中心性肥胖风险的关系进行了分层分析,并检验了交互作用。调整了相关混杂因素后,发现 PM_{2.5} 及其组分 NO₃⁻、

NH_4^+ 、扬尘和 DASH 模式对中心性肥胖的风险均有交互作用($P_{\text{交互}} < 0.05$)。PM_{2.5} 及其组分 NO₃⁻、NH₄⁺、扬尘的低浓度组中, DASH 评分 Q5 组分别与中心性肥胖患病可能性降低 22.7% ($OR=0.773$, 95%CI: 0.626~0.954)、30.9% ($OR=0.691$, 95%CI: 0.567~0.841)、29.8% ($OR=$

0.702, 95%CI: 0.574~0.859)、24.8% ($OR=0.752$, 95%CI: 0.618~0.916) 相关, 而在 PM_{2.5} 及其组分 NO₃⁻、NH₄⁺、扬尘的高浓度组中, DASH 模式与中心性肥胖患病可能性无关。未观察到组分 OC、BC、SO₄²⁻ 与 DASH 模式对中心性肥胖的交互作用($P_{\text{交互}} > 0.05$)。见表 4。

表 4 按 PM_{2.5} 及其组分分层的 DASH 模式与中心性肥胖的关系 [$OR(95\%CI)$]

Table 4 Associations of the DASH dietary pattern with the risk for central obesity stratified by PM_{2.5} and its constituents [$OR(95\%CI)$]

分组	DASH模式评分					$P_{\text{交互}}$
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	
PM _{2.5}						0.010
低浓度组	1.000	1.104(0.902~1.352)	0.987(0.815~1.194)	0.982(0.807~1.195)	0.773(0.626~0.954)	
高浓度组	1.000	0.914(0.767~1.089)	0.921(0.780~1.087)	1.001(0.841~1.191)	0.848(0.708~1.016)	
OC						0.345
低浓度组	1.000	1.018(0.844~1.228)	0.939(0.784~1.125)	0.892(0.741~1.074)	0.717(0.590~0.871)	
高浓度组	1.000	0.941(0.777~1.141)	0.976(0.816~1.167)	1.164(0.964~1.407)	0.953(0.782~1.162)	
BC						0.084
低浓度组	1.000	0.997(0.823~1.208)	0.898(0.748~1.079)	0.888(0.735~1.071)	0.684(0.562~0.832)	
高浓度组	1.000	0.958(0.796~1.152)	0.970(0.816~1.154)	1.096(0.913~1.316)	0.959(0.791~1.164)	
SO ₄ ²⁻						0.093
低浓度组	1.000	0.997(0.822~1.210)	0.925(0.767~1.114)	0.891(0.736~1.080)	0.702(0.573~0.861)	
高浓度组	1.000	0.957(0.795~1.153)	0.989(0.832~1.175)	1.141(0.951~1.368)	0.954(0.791~1.152)	
NO ₃ ⁻						0.031
低浓度组	1.000	1.049(0.866~1.269)	0.964(0.804~1.157)	0.908(0.753~1.095)	0.691(0.567~0.841)	
高浓度组	1.000	0.936(0.777~1.127)	0.963(0.808~1.147)	1.124(0.936~1.351)	0.976(0.805~1.184)	
NH ₄ ⁺						0.012
低浓度组	1.000	1.001(0.826~1.214)	0.945(0.785~1.137)	0.908(0.750~1.099)	0.702(0.574~0.859)	
高浓度组	1.000	0.957(0.795~1.152)	0.962(0.809~1.144)	1.113(0.928~1.335)	0.959(0.793~1.159)	
扬尘						0.012
低浓度组	1.000	1.043(0.863~1.262)	0.999(0.832~1.199)	1.002(0.831~1.207)	0.752(0.618~0.916)	
高浓度组	1.000	0.990(0.821~1.195)	0.974(0.818~1.160)	1.086(0.902~1.309)	0.950(0.782~1.154)	

[注]模型校正性别、年龄、职业、婚姻、吸烟、空气污染防护措施、体育锻炼、睡眠; $P_{\text{交互}}$ 为交互作用 P 值。

3 讨论

本研究中心性肥胖患病率为 60.75%, 高于上海市 18~98 岁成年居民中心性肥胖率 43.44%^[22], 可能与研究对象年龄及地域有关。本文中研究对象年龄为 (62.30±9.42) 岁, 研究对象年龄较大可能是中心性肥胖患病率较高原因之一^[23]。其次, 我国中心性肥胖患病率呈现北方高、南方低、西部高、东部低特点, 乌鲁木齐市位于我国西北部, 属寒冷地区, 中心性肥胖可能是因适应寒冷气候而产生的结果^[23]; 此外, 西北地区居民以面食为主、食肉较多、蔬菜较少, 而蔬菜摄入较少与肥胖的不良健康效应已有研究, 饮食习惯差异也可能是中心性肥胖患病率较高的原因。

DASH 模式强调水果、蔬菜、坚果、豆类、全谷物

和乳制品的摄入, 并限制红肉、加工肉、含糖饮料及油脂的摄入^[16], 本研究结果支持坚持 DASH 模式可降低中心性肥胖患病风险, 与其他研究的结果相类似。Phillips 等^[3] 和 Barak 等^[13] 研究均发现坚持 DASH 模式可能降低中心性肥胖的风险; Soltani 等^[24] 对 DASH 模式和身体成分进行 meta 分析, 结果显示坚持 DASH 模式不仅可降低体重和体重指数, 而且可显著降低腰围。不同研究均提示 DASH 模式会降低中心性肥胖的风险, 可能是由于其食物组分中的水果和蔬菜中富含多酚, 可抑制还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶活化并激活过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (peroxisome proliferators-activated receptors γ , PPAR γ), PPAR γ 被认为可拮抗核因子 κ B 活化, 从而减轻与肥胖相关的氧

化应激和炎症^[25-26]; 坚果富含不饱和脂肪酸, 因其具有产热作用可能会减少脂肪积累^[27]。

本研究结果支持 $PM_{2.5}$ 暴露可增加中心性肥胖的风险。既往在儿童、成年、老年人、城市居民、农村居民研究中均发现, $PM_{2.5}$ 暴露可增加中心性肥胖患病可能性^[8-10, 28-29], 这与本研究结果一致。全身炎症反应可能是 $PM_{2.5}$ 致中心性肥胖的生物学途径, 在大鼠模型中, 发现暴露于高浓度 $PM_{2.5}$ 会诱导大鼠肺中 Toll 样受体 2/4 依赖性炎症激活和脂质氧化, 进而诱导全身炎症反应, 导致代谢功能障碍和体重增加, 尤其是腹部脂肪增加^[11]。 $PM_{2.5}$ 对疾病的影响并不仅取决于其本身, 其组分可能在不良健康效应中发挥重要作用^[6-7]。然而, 鲜有研究将 $PM_{2.5}$ 组分与中心性肥胖联系起来。对 $PM_{2.5}$ 组分分析结果显示, 暴露于 OC、BC、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 及扬尘与中心性肥胖患病可能性增加有关。本研究为 $PM_{2.5}$ 组分与中心性肥胖之间的联系提供了证据。 $PM_{2.5}$ 组分可能会增加全身炎症, 这可能是 $PM_{2.5}$ 组分增加中心性肥胖患病风险的原因^[30]。

一项动物实验表明, 标准饮食组小鼠的血小板因子 4(platelet factor 4, PF4) 水平低于高脂饮食组, 而在暴露于高浓度 $PM_{2.5}$ 后, 标准饮食组小鼠 PF4 水平升高, 即 $PM_{2.5}$ 暴露可能逆向升高膳食相关的炎症因子水平^[31]。另一项实验研究发现类似结果, 联合补充鱼油和维生素 E 后经气管滴注 $PM_{2.5}$ 的大鼠 C-反应蛋白水平高于不暴露于 $PM_{2.5}$ 的大鼠^[32]。同时, 肥胖被认为是一种炎症状态^[33], 提示 $PM_{2.5}$ 暴露可能改变膳食与肥胖的关系。本研究结果支持 $PM_{2.5}$ 及其组分 NO_3^- 、 NH_4^+ 、扬尘暴露会削弱 DASH 模式对中心性肥胖的保护作用, 这可能与全身炎症反应有关。坚持 DASH 模式, 如水果、蔬菜等的高消费和脂肪的低消费会降低机体炎症水平^[10, 34-35], 而可诱导全身炎症反应的 $PM_{2.5}$ 进入机体^[36-37], 可能会刺激 DASH 模式降低的炎症反应逆向增加, DASH 模式对中心性肥胖的保护作用降低或消失。此外, $PM_{2.5}$ 是一种复杂的混合物, 其对膳食和疾病之间关系的影响可能因其组分含量而不同。本研究为 $PM_{2.5}$ 组分影响膳食和中心性肥胖关联性提供了证据。尽管遵循健康饮食会减轻机体不良健康效应, 但污染物暴露会降低此保护作用。有必要进一步研究, 以阐明其潜在的机制。

本研究从膳食整体层面出发分析 DASH 模式和中心性肥胖的关系, 与基于食物组层面分析与中心性肥胖的关系相比, 其结果更具有实际意义^[38]; 此外, 从交互作用角度探讨 DASH 模式和 $PM_{2.5}$ 及其组分与中心

性肥胖的相关性, 可为我国处于大气污染不同暴露剂量影响下人群膳食有效性评估提供科学依据。但本研究还存在一些局限性, 因缺乏 DASH 模式中所包含的部分食物组摄入量信息, 故使用膳食摄入频率对饮食进行评分, 相比于使用膳食摄入量评价饮食, 虽然避免了回忆偏倚, 但无法根据总能量调整模型。此外, 仅根据居住地址估算个体 $PM_{2.5}$ 暴露量, 未考虑日常生活中工作场所中 $PM_{2.5}$ 暴露, 然而由于研究对象多为老年人, 日常 $PM_{2.5}$ 暴露以居住地为主。中心性肥胖的发生和发展是一个缓慢的过程, 仅几年空气污染暴露可能并不能反映长期暴露对膳食和中心性肥胖相关性的影响。因此, 今后还需进行前瞻性设计来验证本研究结果, 并且在膳食调查中加强质量控制, 提高结果的准确性。

综上所述, 尽管遵循 DASH 模式会减轻中心性肥胖患病风险, 但高浓度 $PM_{2.5}$ 及其组分 NO_3^- 、 NH_4^+ 、扬尘暴露可降低 DASH 模式对中心性肥胖的有利影响。因此, 对处于 $PM_{2.5}$ 较低浓度地区居民, 可综合考虑采取膳食干预降低中心性肥胖风险; 而对于 $PM_{2.5}$ 浓度较高地区居民, 应及时采取措施降低 $PM_{2.5}$ 浓度, 以减轻居民不良健康风险。该结论还需要进一步采用前瞻性研究进行验证。

参考文献

- [1] BENDALL CL, MAYR HL, OPIE RS, et al. Central obesity and the Mediterranean diet: a systematic review of intervention trials[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2018, 58(18): 3070-3084.
- [2] TIAN Y, JIANG C, WANG M, et al. BMI, leisure-time physical activity, and physical fitness in adults in China: results from a series of national surveys, 2000-14[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2016, 4(6): 487-497.
- [3] PHILLIPS CM, HARRINGTON JM, PERRY IJ. Relationship between dietary quality, determined by DASH score, and cardiometabolic health biomarkers: a cross-sectional analysis in adults[J]. *Clin Nutr*, 2019, 38(4): 1620-1628.
- [4] JIA L, LU H, WU J, et al. Association between diet quality and obesity indicators among the working-age adults in Inner Mongolia, Northern China: a cross-sectional study[J]. *BMC Public Health*, 2020, 20(1): 1165.
- [5] RODRÍGUEZ-LÓPEZ CP, GONZÁLEZ-TORRES MC, AGUILAR-SALINAS CA, et al. DASH diet as a proposal for improvement in cellular immunity and its association with metabolic parameters in persons with overweight and obesity[J]. *Nutrients*, 2021, 13(10): 3540.
- [6] SUN X, LIU C, LIANG H, et al. Prenatal exposure to residential $PM_{2.5}$ and its chemical constituents and weight in preschool children: a longitudinal study from Shanghai, China[J]. *Environ Int*, 2021, 154: 106580.
- [7] CHEN Y, CHEN R, CHEN Y, et al. The prospective effects of long-term exposure to ambient $PM_{2.5}$ and constituents on mortality in rural East China[J]. *Chemosphere*, 2021, 280: 130740.
- [8] LIU M, TANG W, ZHANG Y, et al. Urban-rural differences in the association between long-term exposure to ambient air pollution and obesity in China

- [J]. *Environ Res*, 2021, 201: 111597.
- [9] ZHANG N, WANG L, ZHANG M, et al. Air quality and obesity at older ages in China: the role of duration, severity and pollutants [J]. *PLoS One*, 2019, 14(12): e0226279.
- [10] LIU X, TU R, QIAO D, et al. Association between long-term exposure to ambient air pollution and obesity in a Chinese rural population: the Henan rural cohort study [J]. *Environ Pollut*, 2020, 260: 114077.
- [11] WEI Y, ZHANG JJ, LI Z, et al. Chronic exposure to air pollution particles increases the risk of obesity and metabolic syndrome: findings from a natural experiment in Beijing [J]. *FASEB J*, 2016, 30(6): 2115-2122.
- [12] World Health Organization. 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action [EB/OL]. [2018-09-16]. <https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>.
- [13] BARAK F, FALAHI E, KESHTELI AH, et al. Adherence to the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diet in relation to obesity among Iranian female nurses [J]. *Public Health Nutr*, 2015, 18(4): 705-712.
- [14] JOHNSTON BC, KANTERS S, BANDAYREL K, et al. Comparison of weight loss among named diet programs in overweight and obese adults: a meta-analysis [J]. *JAMA*, 2014, 312(9): 923-933.
- [15] LI C, LIU Y, SHI G, et al. Cohort profile: regional ethnic cohort study in Northwest China [J]. *Int J Epidemiol*, 2022, 51(2): e18-e26.
- [16] LIESE A D, BORTSOV A, GÜNTHER AL B, et al. Association of DASH diet with cardiovascular risk factors in youth with diabetes mellitus: the SEARCH for Diabetes in Youth study [J]. *Circulation*, 2011, 123(13): 1410-1417.
- [17] FUNG TT, CHIUVE SE, MCCULLOUGH ML, et al. Adherence to a DASH-Style diet and risk of coronary heart disease and stroke in women [J]. *Arch Intern Med*, 2008, 168(7): 713-720.
- [18] MENG X, LIU C, ZHANG L, et al. Estimating PM_{2.5} concentrations in Northeastern China with full spatiotemporal coverage, 2005-2016 [J]. *Remote Sens Environ*, 2021, 253: 112203.
- [19] VAN DONKELAAR A, MARTIN RV, BRAUER M, et al. Global estimates of fine particulate matter using a combined geophysical-statistical method with information from satellites, models, and monitors [J]. *Environ Sci Technol*, 2016, 50(7): 3762-3772.
- [20] 成人体重判定: WS/T 428—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
Criteria of weight for adults: WS/T 428—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.
- [21] 健康中国行动推进委员会. 健康中国行动(2019—2030年): 总体要求、重大行动及主要指标 [J]. *中国循环杂志*, 2019, 34(9): 846-858.
Promoting the Health of China's Action Committee. Healthy China initiative (2019-2030): overall requirements, major actions and key indicators [J]. *Chin Circ J*, 2019, 34(9): 846-858.
- [22] 周蔚, 夏蒨, 李香亭, 等. 上海成年居民膳食模式与超重/肥胖和中心型肥胖的关系 [J]. *环境与职业医学*, 2020, 37(9): 846-852.
- ZHOU W, XIA Q, LI XT, et al. Dietary patterns and their associations with overweight/obesity and central obesity among adult residents in Shanghai [J]. *J Environ Occup Med*, 2020, 37(9): 846-852.
- [23] ZHANG L, WANG Z, WANG X, et al. Prevalence of abdominal obesity in China: results from a cross-sectional study of nearly half a million participants [J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2019, 27(11): 1898-1905.
- [24] SOLTANI S, SHIRANI F, CHITSAZI MJ, et al. The effect of dietary approaches to stop hypertension (DASH) diet on weight and body composition in adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials [J]. *Obes Rev*, 2016, 17(5): 442-454.
- [25] CHUANG CC, MCINTOSH MK. Potential mechanisms by which polyphenol-rich grapes prevent obesity-mediated inflammation and metabolic diseases [J]. *Annu Rev Nutr*, 2011, 31: 155-176.
- [26] NANI A, MURTAZA B, SAYED KHAN A, et al. Antioxidant and anti-inflammatory potential of polyphenols contained in Mediterranean diet in obesity: molecular mechanisms [J]. *Molecules*, 2021, 26(4): 985.
- [27] CASAS-AGUSTENCH P, LÓPEZ-URIARTE P, BULLÓ M, et al. Acute effects of three high-fat meals with different fat saturations on energy expenditure, substrate oxidation and satiety [J]. *Clin Nutr*, 2009, 28(1): 39-45.
- [28] CAO S, GUO Q, XUE T, et al. Long-term exposure to ambient PM_{2.5} increase obesity risk in Chinese adults: a cross-sectional study based on a nationwide survey in China [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 778: 145812.
- [29] ZHANG Z, DONG B, CHEN G, et al. Ambient air pollution and obesity in school-aged children and adolescents: a multicenter study in China [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 771: 144583.
- [30] HAN B, XU J, ZHANG Y, et al. Associations of exposure to fine particulate matter mass and constituents with systemic inflammation: a cross-sectional study of urban older adults in China [J]. *Environ Sci Technol*, 2022, 56(11): 7244-7255.
- [31] LIANG S, ZHAO T, XU Q, et al. Evaluation of fine particulate matter on vascular endothelial function *in vivo* and *in vitro* [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2021, 222: 112485.
- [32] 郭伟丽. PM_{2.5}诱发的大鼠心血管毒性效应及鱼油和维生素E的干预作用 [D]. 新乡: 新乡医学院, 2017.
GUO W L. PM_{2.5}-induced cardiovascular toxic effects and intervention of fish oil and vitamin E [D]. Xinxiang: Xinxiang Medical University, 2017.
- [33] DENG T, LYON CJ, BERGIN S, et al. Obesity, inflammation, and cancer [J]. *Annu Rev Pathol Mech Dis*, 2016, 11: 421-449.
- [34] LIN H, GUO Y, DI Q, et al. Ambient PM_{2.5} and stroke: effect modifiers and population attributable risk in six low- and middle-income countries [J]. *Stroke*, 2017, 48(5): 1191-1197.
- [35] LIN H, GUO Y, DI Q, et al. Consumption of fruit and vegetables might mitigate the adverse effects of ambient PM_{2.5} on lung function among adults [J]. *Environ Res*, 2018, 160: 77-82.
- [36] SHAN M, YANG X, EZZATI M, et al. A feasibility study of the association of exposure to biomass smoke with vascular function, inflammation, and cellular aging [J]. *Environ Res*, 2014, 135: 165-172.
- [37] HOU J, LIU X, TU R, et al. Long-term exposure to ambient air pollution attenuated the association of physical activity with metabolic syndrome in rural Chinese adults: a cross-sectional study [J]. *Environ Int*, 2020, 136: 105459.
- [38] 孙长颢. 关于营养学的几点前瞻性思考 [J]. *中华预防医学杂志*, 2018, 52(2): 121-123.
SUN C H. Prospective thoughts of nutrition landscape [J]. *Chin J Prev Med*, 2018, 52(2): 121-123.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣, 丁瑾瑜)