气温对代谢综合征的影响及其路径分析

胡婕[1a]，罗佳丽[1a]，陈子慧[1a]，陈思齐[1a]，纪桂元[1a]，许晓君[1b]，孟瑞琳[1b]，肖建鹏[1a]，何冠豪[1a]，孟浩蓉[1a]，胡建雄[1a]，曾韦霖[1a]，李杏[1a]，郭凌川[1a]，马文军[1a,2]

1. 广东省疾病预防控制中心 a. 广东省公共卫生研究院 b. 慢性非传染性疾病预防控制所，广东 广州 511430
2. 暨南大学基础医学与公共卫生学院，广东 广州 510630

CC BY NC ND

DOI 10.11836/JEOM21472

摘要：

[背景] 近年来我国代谢综合征（MS）的发生率呈显著增加趋势。有研究发现气温与单种代谢指标有关，但缺乏气温对 MS 影响的机制路径研究。

[目的] 基于广东省数据，研究气温对人群 MS 的影响及影响路径。

[方法] 2015 年 10 月至 2016 年 1 月在广东省通过多阶段随机抽样获得 8 524 个样本，通过问卷和体格检查收集了基本特征、行为特征、健康状况及体力活动水平，通过气象监测站点获得气象数据。个体调查数据根据体检日期及地点和当日及滞后 14 d 的气温暴露数据匹配。使用广义相加模型探索气温与 MS 及其指标的暴露-效应关系，计算效应值并探索单日滞后气温的滞后效应。基于文献资料和广义相加模型分析的结果采用路径分析探索气温影响 MS 的路径。

[结果] 当日及滞后 14 d 日均气温与 MS 的发生风险无统计学相关。当日日均气温升高 1 ℃，空腹血糖（FBG）、收缩压（SBP）、舒张压（DBP）、高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）的变化值分别为 −0.033（95%*CI*：−0.040~−0.026）mmol·L^{-1}、−0.662（95%*CI*：−0.741~−0.583）mmHg、−0.277（95%*CI*：−0.323~-0.230）mmHg 和−0.005（95%*CI*：−0.007~−0.004）mmol·L^{-1}。日均气温对 FBG、血压、HDL-C 和腰围的影响持续至滞后 14 d。日均气温与 SBP 和 DBP 的影响效应值在滞后当日是最大的。当日日均气温对 FBG 和 SBP 有直接和间接影响，气温对 TG 有间接影响，中介变量为腰围和 FBG，其间接效应为−0.011（95%*CI*：−0.020~−0.002）。当日日均气温对 SBP、FBG、TG 的间接效应弱。

[结论] 气温与 MS 的发生风险无相关性，当日日均气温会显著影响血压与 FBG 的水平，且存在滞后效应。当日日均气温存在通路间接影响 FBG 和 TG 水平。

关键词：气温；代谢综合征；路径分析；暴露-效应关系；广义相加模型

Effects of ambient temperature on metabolic syndrome and pathway analysis HU Jie[1a], LUO Jiali[1a], CHEN Zihui[1a], CHEN Siqi[1a], JI Guiyuan[1a], XU Xiaojun[1b], MENG Ruilin[1b], XIAO Jianpeng[1a], HE Guanhao[1a], MENG Haorong[1a], HU Jianxiong[1a], ZENG Weilin[1a], LI Xing[1a], GUO Lingchuan[1a], MA Wenjun[1a,2] (1.a. Guangdong Provincial Institute of Public Health b. Institute of Chronic and Noncommunicable Disease Control and Prevention, Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 511430, China; 2. School of Medicine, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510630, China)

Abstract:

[Background] In recent years, the incidence of metabolic syndrome (MS) is increasing significantly in China. Some studies have found that temperature is related to single metabolic index, but there is a lack of research on associated mechanism and identifying path of the influence of temperature on MS.

[Objective] Based on the data of Guangdong Province, to investigate the effect of temperature on MS and its pathway.

[Methods] A total of 8 524 residents were enrolled by multi-stage random sampling from October 2015 to January 2016 in Guangdong. Basic characteristics, behavioral characteristics, health status, and physical activity level were obtained through questionnaires and physical

组稿专家
马文军（暨南大学基础医学与公共卫生学院），E-mail：mawj@gdiph.org.cn

基金项目
国家重点研发计划项目（2018YFA0606200）；国家自然科学基金项目（42075173）；广东省重点领域研发计划项目（2019B020230001）

作者简介
胡婕（1995—），女，硕士生；
E-mail：13027735975@163.com

通信作者
马文军，E-mail：mawj@gdiph.org.cn

伦理审批 已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2021-09-30
录用日期 2022-01-12

文章编号 2095-9982(2022)03-0253-08
中图分类号 R12
文献标志码 A

▸引用
胡婕，罗佳丽，陈子慧，等. 气温对代谢综合征的影响及其路径分析 [J]. 环境与职业医学，2022，39（3）：253-260.

▸本文链接
www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21472

Funding
This study was funded.

Correspondence to
MA Wenjun, E-mail: mawj@gdiph.org.cn

Ethics approval Obtained
Competing interests None declared
Received 2021-09-30
Accepted 2022-01-12

▸ To cite
HU Jie, LUO Jiali, CHEN Zihui, et al. Effects of ambient temperature on metabolic syndrome and pathway analysis[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(3): 253-260.

▸ Link to this article
www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21472

examinations, and meteorological data were obtained from meteorological monitoring sites. We matched individual data both with the temperature data of the physical examination day and of a lag of 14 d. A generalized additive model was used to explore the exposure-effect relationship between temperature and MS and its indexes, calculate effect values, and explore the effects of single-day lag temperature. Based on the literature and the results of generalized additive model analysis, a path analysis was conducted to explore the pathways of temperature influencing MS.

[Results] The association between daily average temperature on the current day or lag 14 day and MS risk was not statistically significant. When daily average temperature increased by 1 ℃, the change values of fasting blood-glucose (FBG), systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), and high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) were −0.033 (95%*CI*: −0.040-−0.026) mmol·L^{-1}, −0.662 (95%*CI*: −0.741-−0.583) mmHg, −0.277 (95%*CI*: −0.323-−0.230) mmHg, and −0.005 (95%*CI*: −0.007-−0.004) mmol·L^{-1} respectively. The effects of average daily temperature on FBG, blood pressure, HDL-C, and waist circumference lasted until lag 14 day. The effects of daily average temperature on SBP and DBP were the largest on the current day. Daily average temperature of current day had direct and indirect effects on FBG and SBP. Temperature had an indirect effect on TG, and the intermediate variables were waist circumference and FBG, with an indirect effect value of −0.011 (95%*CI*: −0.020-−0.002). The indirect effects of daily average temperature on SBP, FBG, and TG were weak.

[Conclusion] There is no significant correlation between temperature and risk of MS, and daily average temperature of current day could significantly affected blood pressure and FBG with a lag effect. Daily average temperature of current day has indirect effects on FBG and TG.

Keywords: ambient temperature; metabolic syndrome; path analysis; exposure-effect relationship; generalized additive model

代谢综合征(metabolic syndrome, MS)是一组集合腹部肥胖、胰岛素抵抗、动脉粥样硬化的血脂异常、血栓前状态等多种代谢异常因素的病理状态[1]。多种代谢异常因素聚集显著增加心血管疾病和糖尿病的发病风险,恶化动脉粥样硬化患者的长期预后,增加心血管死亡风险,甚至还会增加多种癌症的发病风险[2–4]。广东省经济发展迅速,居民慢性病的危险因素如蔬菜水果摄入不足,锻炼少,超重肥胖的发生率逐渐上升[5]。居民慢性病的患病率也快速上升,2018 年我国心血管疾病报告显示,广东省城市高血压患病率在全国排第 5 位[6],MS 患病率也大幅增加[7]。目前,全球气温不断变暖,极端气候事件频率和强度增加,可能会广泛影响人群健康。国内外研究发现气温会影响 MS 的一些指标。例如,一项美国的研究发现人群冬季空腹血糖(fasting blood-glucose, FBG)水平高于春季[8];韩国一项全国性研究发现年平均气温与体重指数(body mass index, BMI)、腰围呈正相关[9];血压具有季节性,人群血压随着气温的升高而降低[10]。因此气温可能通过影响 MS 成分而影响其发病风险。但是多种慢性代谢疾病可能会相互影响,从而导致气温对某些代谢指标有间接影响,而目前缺乏相关的研究。因此,本研究旨在分析广东省气温对人群 MS 的影响,并用路径分析方法探索气温影响 MS 的通路。

1 对象与方法

1.1 研究对象和数据收集

2015 年 10 月至 2016 年 1 月,广东省地区根据地域和城乡等因素分布的均衡性及现有工作条件和基础选取 13 个监测点,包括深圳、云浮、广州、韶关等地区。调查对象定义为调查前 12 个月内在监测地区居住 6 个月及以上,年龄为 18 岁及以上的中国居民,采用多阶段随机抽样方法抽取调查对象。问卷调查收集居民的基本特征(包括性别、年龄等信息)、行为特征(包括是否吸烟、过去 12 月是否饮酒)、健康情况(包括疾病患病史等信息)和体力活动水平。体力活动代表研究对象在过去一周内的身体活动水平,依据相关文献将人群分为高、中、低三级水平[11]。体格检查收集体重、血压、血糖、血脂等相关健康信息。气象数据通过当地气象监测站点获得,包括日均气温、日最高气温、日最低气温、日平均相对湿度、日平均风速等。根据研究对象的监测点城市、体检日期与当日的气象数据匹配。所有研究对象都签署了知情同意书,本研究通过广东省疾病预防控制中心医学伦理委员会审核(编号:2019025)。

1.2 统计学分析

1.2.1 气温对 MS 的影响分析 根据我国 2017 年 2 型糖尿病防治指南中 MS 的最新诊断标准[12] 对人群进行诊断。有文献分析气温对 MS 指标的滞后影响在 10 d 内[13–14],本研究根据体检日期将调查数据与当日至滞后 14 d 的气温暴露数据匹配,分析当日至滞后 14 d 气温的影响。本研究采用广义相加模型(generalize additive model, GAM)分析日均气温与 MS 及其诊断指标的关系,计算效应值,探索单日滞后气温对 MS 的影响。首先计算 Pearson 矩阵相关系数观察两两变量间

的相关关系和影响方向，使用方差膨胀因子剔除可能引起共线性问题的变量。气温与 MS 模型控制的混杂因素包括相对湿度、性别、年龄、是否吸烟、是否饮酒、体力活动水平和静息时间，气温与诊断指标模型控制的混杂因素包括相对湿度、性别、年龄、是否吸烟、是否饮酒、是否患慢性病、BMI、体力活动水平和静息时间[15–16]。由于本研究时间为 2015 年 10 月至 2016 年 1 月，因此未考虑季节变化的影响。本研究调查人群样本量大，疾病诊断指标默认服从正态分布，用高斯函数链接；MS 患病情况为二分类结局，使用 logistic 函数链接。使用光滑样条函数平滑温度变量，自由度设置为 3，进行模型分析并绘图，根据广义交叉验证（generalized cross validation, GCV）得分确定日均温度为分析变量。

1.2.2 气温对 MS 影响的路径分析　基于结构方程建模工具（analysis of moment structure, AMOS）分析路径模型，首先根据 GAM 分析结果和 MS 指标影响的相关文献研究情况做出理论模型假设。然后利用样本数据估计参数指标，用模型适配度指标评价整体模型拟合情况，最后分解模型效应，计算直接和间接影响效应值[17]。

本研究中 MS 指标间相互影响的假设为：腰围对甘油三酯（triglyceride, TG）、FBG、收缩压（systolic blood pressure, SBP）产生正向影响。有研究认为肥胖为 MS 的始发动因，内脏肥胖也是胰岛素抵抗的主要原因，肥胖人群脂肪细胞因子以及相关慢性炎症反应有助于胰岛素抵抗的发生发展[18–19]。脂肪分解可提高机体游离脂肪酸和 TG 的血浆浓度。肥胖易引发高甘油三酯血症，这可能与肥胖人群较高的瘦素水平有关。肥胖状态下易产生瘦素抵抗[20]。肥胖能提升动脉血压，减小毛细血管密度。微循环功能障碍程度随着肥胖的增加而增加，促进高血压的发生[21–22]。因此肥胖也会升高血压。FBG 对 TG、SBP 产生正向影响。TG 与 FBG 呈正相关[23]，人群口服葡萄糖后测试有更高的 TG 水平[24]。高血压与糖尿病相互关联，糖尿病患者高血压的发病率是非糖尿病患者的两倍，胰岛素抵抗导致的高血糖可能会升高血压[25]。SBP 与 TG 相关，血压与血脂存在相互关联，影响方向不明[26]。

2 结果

2.1 研究对象的基本特征

如表 1 所示，研究共计 8 524 名调查对象。MS 发生率为 18.1%。男性 3 789 名，女性 4 735 名，调查对象平均年龄为（51.9±15.0）岁，其中 65 岁以下人群占 67.8%。人群中不吸烟和不饮酒者约为总调查人数的 2/3。人群中高、中、低水平体力活动人数分别占 50.9%、27.3%、21.8%。有高血压病史的研究对象较多，而有高血脂和糖尿病史的研究对象少。调查对象的 SBP 和 DBP 均数分别为 130.2 mmHg 和 77.3 mmHg，FBG 均值为 5.5 mmol·L^{-1}，腰围和 BMI 的均数分别为 80.3 cm 和 23.3 kg·m^{-2}。

表 1　研究对象的基本特征 (n=8 524)

Table 1　Basic characteristics of the study population (n=8 524)

指标(Index)	n	构成比/%或$\bar{x}\pm s$ Proportion/% or $\bar{x}\pm s$
性别(Gender)		
男(Male)	3 789	44.5
女(Female)	4 735	55.5
年龄/岁(Age/years)		
<65	5 782	67.8
≥65	2 742	32.2
吸烟情况(Smoking)		
现在吸烟者(Current smoker)	2 250	26.4
不吸烟者(Non-smoker)	6 274	73.6
饮酒情况(Drinking)		
12月内饮酒者 Drinkers within 12 months	3 286	38.6
不饮酒者(Non-drinker)	5 236	61.4
体力活动(Physical activity)		
高水平(High level)	4 340	50.9
中等水平(Middle level)	2 323	27.3
低水平(Low level)	1861	21.8
MS		
是(Yes)	1 544	18.1
否(No)	6 980	81.9
高血压(Hypertension)		
是(Yes)	1 084	12.7
否(No)	7 440	87.3
糖尿病(Diabetes)		
是(Yes)	305	3.6
否(No)	8 219	96.4
高血脂(Hyperlipidemia)		
是(Yes)	503	5.9
否(No)	8 021	94.1
血压(Blood pressure)/mmHg		
SBP	8 524	130.2±21.5
DBP	8 524	77.3±11.4
血脂水平 (Serum lipid level)/(mmol·L^{-1})		
TG	8 524	1.3±1.0
HDL-C	8 524	1.3±0.4
腰围(Waist circumference)/cm	8 524	80.3±9.9
BMI/(kg·m^{-2})	8 524	23.3±3.5
FBG水平(FBG level)/(mmol·L^{-1})	8 524	5.5±1.7
静坐时间(Sedentary time)/h	8 524	4.9±2.9

2.2 调查期间气象因素情况

2015 年 10 月至 2016 年 1 月日均气温呈下降趋势，日均气温最低为 3.6 ℃，日均气温平均为 18.4 ℃，日均气温最高为 27.4 ℃。当日降水、湿度和风速均值分别为 2.2 mm、80.5%和 2.1 m·s^{-1}。见表 2。

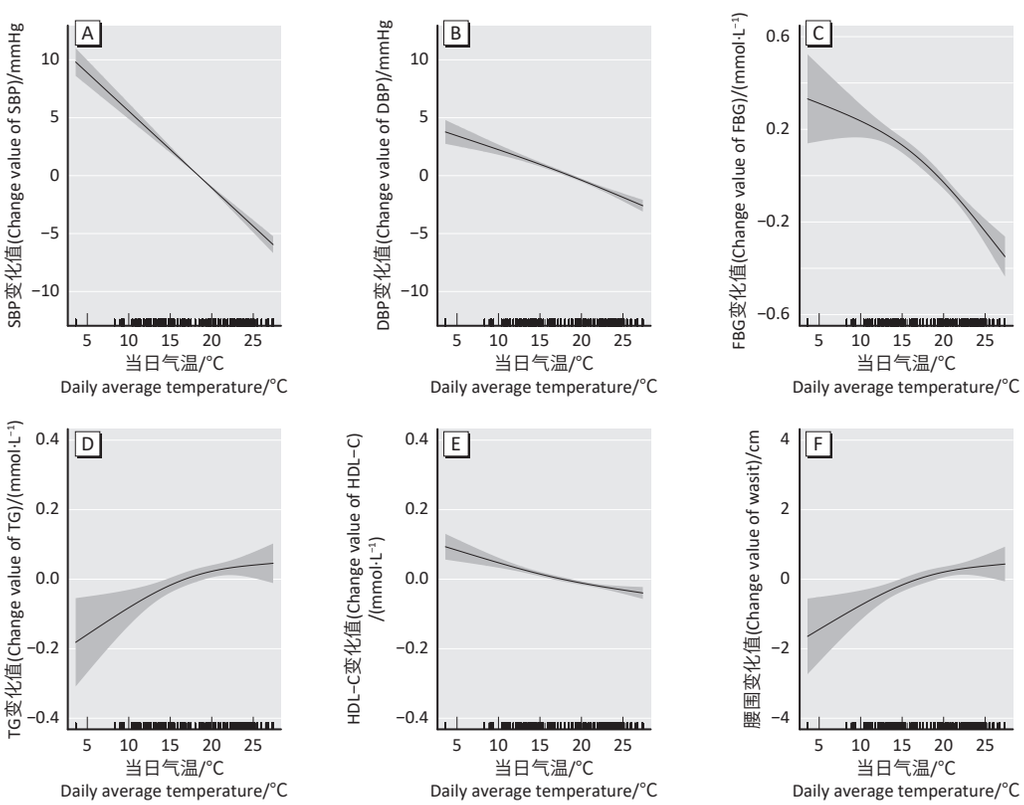
2.3 气温与 MS 及其各成分的关系

日均气温与 MS 患病风险不存在统计学相关关系。日均气温与 MS 各因素的暴露-效应关系如图 1 所示。气温与 FBG、SBP、DBP 的暴露-效应关系呈负向线性关系，气温影响 SBP 的效应值大于 DBP。日均气温升高 1 ℃ 时，人群 FBG、SBP 和 DBP 的变化值分别为−0.033（95%*CI*：−0.040~−0.026）mmol·L^{-1}、−0.662（95%*CI*：−0.741~−0.583）mmHg 和−0.277（95%*CI*：−0.323~−0.230）mmHg。日均气温与 HDL-C、腰围的暴露-效应关系趋向于线性关系，气温升高 1 ℃，HDL-C 浓度变化为−0.005（95%*CI*：−0.007~−0.004）mmol·L^{-1}，腰围增加 0.069（95%*CI*：0.027~0.110）cm。人群 TG 与当日日均气温的暴露-效应关系效应值无统计学意义。

表 2 调查期间气象因素情况

Table 2 Meteorological factors during the survey period

变量(Variable)	均数(Mean)	最小值(Minimum)	P_{25}	中位数(Median)	P_{75}	最大值(Maximum)
日均气温(Daily mean temperature)/℃	18.4	3.6	14.3	18.8	23.2	27.4
日均降水量(Daily precipitation)/mm	2.2	0.0	0.0	0.0	1.0	67.4
日均湿度(Daily humidity)/%	80.5	35.0	74.0	80.0	87.0	99.0
日均风速(Daily wind speed)/(m·s^{-1})	2.1	0.6	1.3	1.9	2.5	6.2



[注] A、B、C、D、E、F 分别为 SBP、DBP、FBG、TG、HDL-C 和腰围受气温影响的变化值。

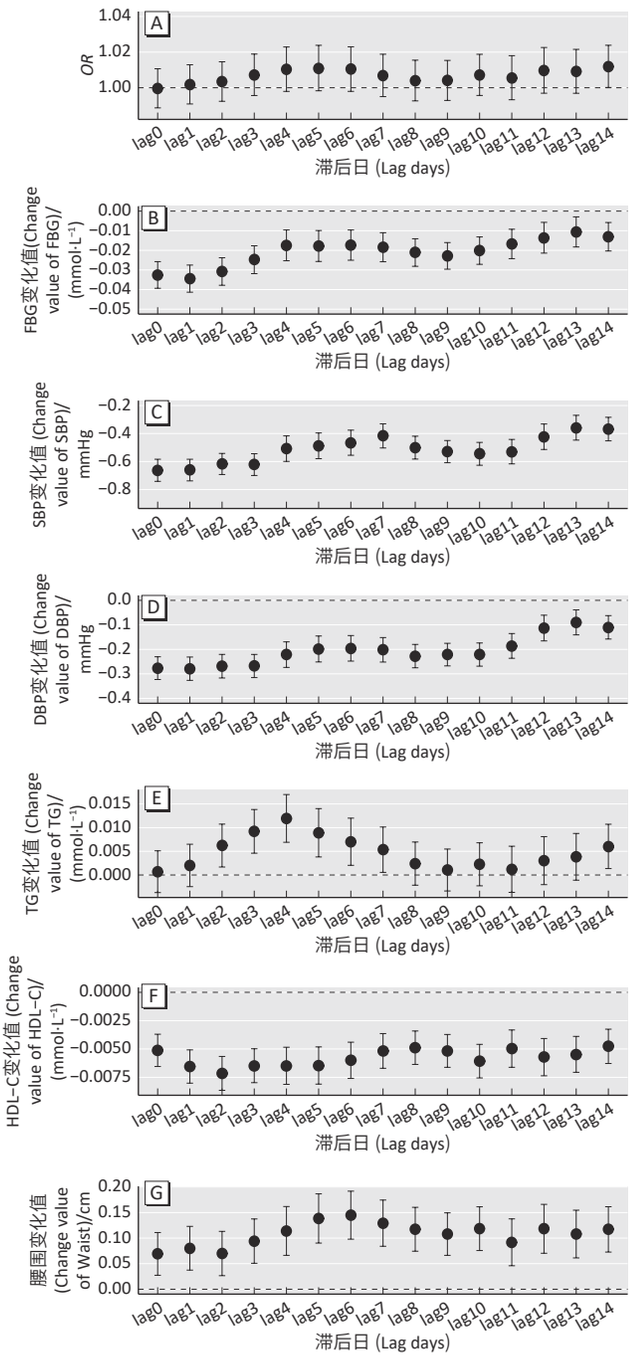
[Note] A, B, C, D, E, and F are the change values of SBP, DBP, FBG, TG, HDL-C and waist circumference affected by daily average temperature, respectively.

图 1 日均气温与 MS 指标的暴露-效应关系曲线

Figure 1 Exposure-effect curves of daily mean temperature and components of metabolic syndrome

1~14 d 滞后气温与 MS 及其因素的相关效应值如图 2 所示。滞后日气温与 MS 患病风险的效应值均无统计学意义。气温对 FBG、血压、HDL-C 和腰围的影响持续至滞后 14 d（lag14）。滞后日气温与 FBG 的效应值有减小的趋势，lag13 气温对 FBG 的影响最小，当气温升高 1 ℃ 时，FBG 浓度变化值为−0.011（95%*CI*：−0.020~

−0.006）mmol·L^{-1}。当日日均气温对 SBP 和 DBP 的影响最大。滞后 2~7 d 气温与 TG 呈正向相关，效应值大小呈“倒 U 型”变化，lag4 日气温的效应值最大，lag4 气温升高 1 ℃，TG 变化值为 0.013（95%*CI*：0.008~0.018）mmol·L^{-1}。



[注] A 为滞后 14 d 的日均气温与 MS 发病风险的 *OR* 值；B~G 分别为滞后 14 d 的日均气温与 FBG、SBP、DBP、TG、HDL-C 和腰围的影响效应值。

[Note] A is the *OR* value between daily average temperature with a lag of 14 days and the risk of MS; B-G are the effect values of daily average temperature with a lag of 14 days on FBG, SBP, DBP, TG, HDL-C, and waist circumference respectively.

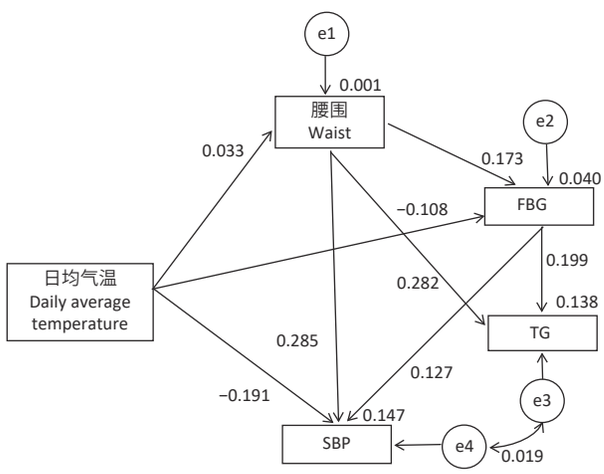
图 2 气温与 MS 及其成分的滞后影响效应

Figure 2 Lag effects of temperature on MS and its components

2.4 路径分析

2.4.1 路径模型假设及整体适配度评价

假设路径图如图 3 所示，使用样本数据拟合适配度指标评价模型。本研究使用了绝对适配度统计量、增值适配度统计量和简约适配度统计量来评价拟合的模型。模型的卡方值为 1.759，*P* 值为 0.185，实际数据与理论模型拟合较好。大部分适配度指标拟合情况理想，模型估计的标准化参数绝对值小于 1，误差均方值均大于 0，彼此相关的参数统计量绝对值小于 1，因此理论模型适配度良好。



[注] 箭头上为标准化路径系数估计值，变量右上角为多重相关系数平方值，e1~e4 为变量的测量误差。

[Note] The estimated value of standardized path coefficient is on the arrow, the square value of multiple correlation coefficient is on the upper right corner of the variable, and e1-e4 are the measurement errors of variables.

图 3 气温对 MS 影响的路径模型

Figure 3 A path model of temperature affecting MS

2.4.2 路径系数估计及效应计算

模型路径系数使用 bootstrap 法估计。标准化路径系数估计值如图 3 所示。所有的路径系数估计值均有统计学意义（$P<0.001$），路径系数的绝对值均在 0.1~0.3 内，假设成立。

拟合路径图发现，气温对 FBG 有直接和间接影响，中介变量为腰围，多重相关系数平方值小（R^2=4%），表明气温变化、腰围对 FBG 变化的解释度小。气温对 TG 仅有间接影响，两个中介变量分别为腰围和 FBG。气温对 SBP 有直接和间接影响，气温通过影响腰围影响 SBP，气温亦通过影响腰围影响 FBG 影响 SBP，R^2=14.7%。气温对 MS 各指标的直接与间接效应值如表 3 所示。与直接效应相比，气温对 SBP、FBG、TG 的间接影响弱，气温对 SBP 的间接影响无统计学意义，气温对 FBG 的间接效应对其直接效应有遮蔽作用。

表 3 气温影响 MS 各代谢变量的路径效应值

Table 3 Path effect values of daily average temperature on MS components

变量(Variables)	直接效应(95%*CI*) Direct effect	间接效应(95%*CI*) Indirect effect	总效应(95%*CI*) Total effect
气温(Temperature)→SBP	−0.191(−0.211~−0.171)*	−0.004(−0.011~0.004)	−0.195(−0.215~−0.174)*
气温(Temperature)→腰围(Waist)	0.033(0.012~0.056)*	—	0.033(0.012~0.056)*
气温(Temperature)→FBG	−0.108(−0.127~−0.088)*	0.006(0.002~0.010)*	−0.102(−0.122~−0.082)*
气温(Temperature)→TG	—	−0.011(−0.02~−0.002)*	−0.011(−0.020~−0.002)*

[注(Note)] *：*P*<0.05。

3 讨论

基于 2015 年 10 月—2016 年 1 月广东省慢性病与营养监测调查的人群资料，研究发现气温与 MS 的发生风险无统计学相关。这与既往研究一致，如有学者[27] 对美国老年男性的纵向研究数据进行了回顾分析，发现气温与 MS 的患病风险相关性无统计学意义。但也与一些研究结果不同。Carlstrom 等[28] 分别在 6 月和 12 月对日本男性进行了健康检查，发现冬季人群 MS 患病率高于夏季。结果差异的原因可能是研究地区和人群的差异性。MS 的发病具有种族和地区差异，MS 病因复杂，不仅受到环境的影响，个体间也有遗传易感性差异。不同地区的气温差异可能造成人群 MS 患病情况对气温变化的反应不同。目前气温变化速率加快，居民慢性病患病率上升，应及时监测人群 MS 患病情况，以采取措施促进人群健康。滞后分析发现气温对血压和 FBG 有即时效应，近期暴露的效应值大，提示气温预报可能预测个体血压及血糖水平的波动大小，这在极端气温下对高血压、糖尿病患者的监测管理、高危人群代谢异常疾病的防治有一定的意义。

分析发现当日日均气温降低，血压和 FBG 值升高，MS 患病风险增加；而 HDL-C 水平升高，腰围减小，MS 患病风险降低。因此气温变化时，MS 成分间的变化存在拮抗效应。路径分析比较标准化路径系数发现气温对血压的影响最大，因此气温急剧变化时，影响血压较明显，如果气温降低，血压值可能明显升高，增加 MS 的患病风险，有研究表明低温易诱导产生四肢冷的超敏反应，其释放的激素会影响女性 MS 的患病风险[29]。本研究低温日数少，研究期间日均气温大多在 10~25 ℃ 间，因此 MS 成分变化幅度小，气温与 MS 发生风险无统计学意义。

气温与 SBP 呈负相关，这与国内外的研究一致[30]。高血压为我国常见的慢性病，疾病前期无症状或症状不明显，但长时间的高压状态会损伤血管，造成心、脑、肾等多器官的损害，增加心血管疾病的发病患病风险[31]。气温变化会影响交感神经系统活性和血浆肾素活性，低气温还会对氧化应激和抗氧化防御系统造成影响[32]。因此为有效预防高血压，延缓高血压患者的病情发展，在进行高血压日程管理中要考虑气温因素。

气温与 FBG 呈负相关，这与之前的研究结果相似。例如 Li 等[33] 收集 2006—2011 年的数据，发现冬春季 FBG 水平高于秋夏季，低温下 FBG 水平较高。在寒冷的天气如冬、春季时，血糖水平升高，人群糖尿病的患病风险增加。血糖水平变化可能由于气温变化影响了机体酶的活性，从而影响了胰岛素敏感性[34]。

本研究发现气温与腰围呈正相关，而腰围对 FBG、TG、SBP 有正向影响，存在中介效应。气温影响腰围可能与能量消耗有关[35]。气温较低时人群相较于过去不会摄入过多的能量，可以借助暖气、地暖等工具适应寒冷，温较高时适应环境所需的能量减少，能量摄入大于消耗，易发生肥胖。腰围的中介效应可能会遮蔽气温对 FBG 的影响，使气温对 FBG 的负向影响减弱。气温通过影响腰围影响 FBG 值可能与褐色脂肪组织有关。冷环境暴露会增加褐色脂肪组织的活性并分泌激素蛋白，如脂联素、瘦素，从而影响胰岛素敏感性[36]。因此人群肥胖情况会影响气温与人群血糖及糖尿病患病风险相关流行病学调查结果的准确性，结果提示在探索气温对人群血糖及糖尿病患病风险的影响时需考虑人群肥胖率的影响。中心性肥胖可能会通过激活肾素-血管紧张素，损伤肾小球功能，引起相关的血流动力学变化等机制增加高血压的患病风险[37−38]。但分析发现腰围的中介效应在气温影响 SBP 中不明显，可能由于本研究调查期间温度变化范围较窄，需进一步研究验证。

本研究存在一些不足。首先可能存在测量偏倚，气象数据来源于各个调查点城市的气象站点，气温数据与调查街道气温可能存在差异。同时，由于调查期

较短，温度变化范围窄，而且调查未在夏季进行，缺乏高气温数据。最后，模型分析控制的因素不全面，人群代谢情况同样会受到空气污染、膳食摄入的影响，本研究缺乏相关数据而没有进行控制，需进一步开展研究。

综上所述，本研究显示气温与 MS 发生风险无显著关联。当日日均气温存在间接通路影响 FBG 和 TG 水平，但效应弱。当日与滞后 14 d 气温显著影响血压与 FBG 的水平，因此当气温急剧变化时，可对糖尿病和高血压人群开展健康监测，采取预防措施减小指标水平变化带来的负面影响。

参考文献

[1] Components of Metabolic Syndrome[M]//Mittal S. The Metabolic Syndrome in Clinical Practice. London: Springer London, 2008:21-82

[2] DALY CA, HILDEBRANDT P, BERTRAND M, et al. Adverse prognosis associated with the metabolic syndrome in established coronary artery disease: data from the EUROPA trial[J]. Heart, 2007, 93(11): 1406-1411.

[3] ESPINOLA-KLEIN C, RUPPRECHT HJ, BICKEL C, et al. Impact of metabolic syndrome on atherosclerotic burden and cardiovascular prognosis[J]. Am J Cardiol, 2007, 99(12): 1623-1628.

[4] UZUNLULU M, TELCI CAKLILI O, OGUZ A. Association between metabolic syndrome and cancer[J]. Ann Nutr Metab, 2016, 68(3): 173-179.

[5] 宋秀玲, 效拟, 许晓君, 等. 广东省居民慢性病危险因素聚集性及其影响因素分析[J]. 华南预防医学, 2018, 44(3): 216-220.
SONG XL, XIAO N, XU XJ, et al. Clustering of chronic disease risk factors and influencing factors among residents in Guangdong Province[J]. South China J Prev Med, 2018, 44(3): 216-220.

[6] 胡盛寿, 高润霖, 刘力生, 等.《中国心血管病报告2018》概要[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(3): 209-220.
HU SS, GAO RL, LIU LS, et al. Summary of the 2018 report on cardiovascular diseases in China[J]. Chin Circ J, 2019, 34(3): 209-220.

[7] LAO XQ, ZHANG YH, WONG MC S, et al. The prevalence of metabolic syndrome and cardiovascular risk factors in adults in southern China[J]. BMC Public Health, 2012, 12: 64.

[8] SUAREZ L, BARRETT-CONNOR E. Seasonal variation in fasting plasma glucose levels in man[J]. Diabetologia, 1982, 22(4): 250-253.

[9] YANG HK, HAN K, CHO J, et al. Ambient temperature and prevalence of obesity: a nationwide population-based study in Korea[J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0141724.

[10] VAN DEN HURK K, DE KORT WL AM, DEINUM J, et al. Higher outdoor temperatures are progressively associated with lower blood pressure: a longitudinal study in 100, 000 healthy individuals[J]. J Am Soc Hypertens, 2015, 9(7): 536-543.

[11] 许燕君, 马文军, 许晓君, 等. 广东省成年居民体力活动状况及其影响因素分析[J]. 华南预防医学, 2009, 35(5): 13-16.
XU YJ, MA WJ, XU XJ, et al. Patterns and intluencing factors of plnysical activity among residents in Guangdong Province[J]. South China J Prev Med, 2009, 35(5): 13-16.

[12] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2017年版)[J]. 中国实用内科杂志, 2018, 38(4): 292-344.
Chinese Diabetes Society. Guidelines for the prevention and control of type 2 diabetes in China (2017 Edition)[J]. Chin J Pract Intern Med, 2018, 38(4): 292-344.

[13] LI Y, LAN L, WANG Y, et al. Extremely cold and hot temperatures increase the risk of diabetes mortality in metropolitan areas of two Chinese cities[J]. Environ Res, 2014, 134: 91-97.

[14] HALONEN JI, ZANOBETTI A, SPARROW D, et al. Outdoor temperature is associated with serum HDL and LDL[J]. Environ Res, 2011, 111(2): 281-287.

[15] LAKKA TA, LAAKSONEN DE. Physical activity in prevention and treatment of the metabolic syndrome[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 2007, 32(1): 76-88.

[16] MADANIYAZI L, ZHOU Y, LI S, et al. Outdoor temperature, heart rate and blood pressure in Chinese adults: effect modification by individual characteristics[J]. Sci Rep, 2016, 6: 21003.

[17] 陈琦, 梁万年, 孟群. 结构方程模型及其应用[J]. 中国卫生统计, 2004, 21(2): 70-74.
CHEN Q, LIANG WN, MENG Q. Structural Equation Modeling (SEM) in medical practice: introduction and application[J]. Chin J Health Stat, 2004, 21(2): 70-74.

[18] 陈名道. 脂肪细胞产物与肥胖和代谢综合征[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2003, 19(3): 161-163.
CHEN MD. Products of adipocytes and obesity/metabolic syndrome[J]. Chin J Endocrinol Metab, 2003, 19(3): 161-163.

[19] MESHKANI R, ADELI K. Hepatic insulin resistance, metabolic syndrome and cardiovascular disease[J]. Clin Biochem, 2009, 42(13/14): 1331-1346.

[20] OSWAL A, YEO G. Leptin and the control of body weight: a review of its diverse central targets, signaling mechanisms, and role in the pathogenesis of obesity[J]. Obesity, 2010, 18(2): 221-229.

[21] KOTSIS V, STABOULI S, PAPAKATSIKA S, et al. Mechanisms of obesity-induced hypertension[J]. Hypertens Res, 2010, 33(5): 386-393.

[22] DE BOER MP, MEIJER RI, WIJNSTOK NJ, et al. Microvascular dysfunction: a potential mechanism in the pathogenesis of obesity-associated insulin resistance and hypertension[J]. Microcirculation, 2012, 19(1): 5-18.

[23] BALDEWEG SE, GOLAY A, NATALI A, et al. Insulin resistance, lipid and fatty acid concentrations in 867 healthy Europeans[J]. Eur J Clin Invest, 2000, 30(1): 45-52.

[24] LAWS A, REAVEN GM. Evidence for an independent relationship between insulin resistance and fasting plasma HDL-cholesterol, triglyceride and insulin concentrations[J]. J Intern Med, 1992, 231(1): 25-30.

[25] BARNETT AH. Diabetes and hypertension[J]. Br Med Bull, 1994, 50(2): 397-407.

[26] WILLIAMS RR, HUNT SC, HOPKINS PN, et al. Familial dyslipidemic hypertension. Evidence from 58 Utah families for a syndrome present in approximately 12% of patients with essential hypertension[J]. JAMA, 1988, 259(24): 3579-3586.

[27] WALLWORK RS, COLICINO E, ZHONG J, et al. Ambient fine particulate matter, outdoor temperature, and risk of metabolic syndrome[J]. Am J Epidemiol, 2017, 185(1): 30-39.

[28] CARLSTRÖM M. Seasonal variation may affect clinical diagnosis of metabolic syndrome[J]. Hypertens Res, 2010, 33(6): 531-533.

[29] PARK AY, CHA S. Effects of cold sensitivity in the extremities on circulating adiponectin levels and metabolic syndrome in women[J]. BMC Complement Altern Med, 2017, 17(1): 150.

[30] SU D, DU H, ZHANG X, et al. Season and outdoor temperature in relation to detection and control of hypertension in a large rural Chinese population[J]. Int J Epidemiol, 2014, 43(6): 1835-1845.

[31] FLAA A, EIDE IK, KJELDSEN SE, et al. Sympathoadrenal stress reactivity is a

predictor of future blood pressure: an 18-year follow-up study[J]. Hypertension, 2008, 52(2): 336-341.

[32] KAUSHIK S, KAUR J. Chronic cold exposure affects the antioxidant defense system in various rat tissues[J]. Clin Chim Acta, 2003, 333(1): 69-77.

[33] LI S, ZHOU Y, WILLIAMS G, et al. Seasonality and temperature effects on fasting plasma glucose: A population-based longitudinal study in China[J]. Diabetes Metab, 2016, 42(4): 267-275.

[34] BUNOUT D, BARRERA G, DE LA MAZA P, et al. Seasonal variation in insulin sensitivity in healthy elderly people[J]. Nutrition, 2003, 19(4): 310-316.

[35] MOELLERING D R, SMITH JR D L. Ambient temperature and obesity[J]. Curr Obes Rep, 2012, 1(1): 26-34.

[36] LEE P, SMITH S, LINDERMAN J, et al. Temperature-acclimated brown adipose tissue modulates insulin sensitivity in humans[J]. Diabetes, 2014, 63(11): 3686-3698.

[37] BINKA E, BRADY T M. Real-world strategies to treat hypertension associated with pediatric obesity[J]. Curr Hypertens Rep, 2019, 21(2): 18.

[38] HALL J E. The kidney, hypertension, and obesity[J]. Hypertension, 2003, 41(3): 625-633.

(**英文编辑**：汪源; **责任编辑**：陈姣)

（上接第 252 页）

[24] SILVEIRA I H, OLIVEIRA B F A, CORTES T R, et al. The effect of ambient temperature on cardiovascular mortality in 27 Brazilian cities[J]. Sci Total Environ, 2019, 691: 996-1004.

[25] CHEN Q, WANG J, TIAN J, et al. Association between ambient temperature and blood pressure and blood pressure regulators: 1831 hypertensive patients followed up for three years[J]. PLoS One, 2013, 8(12): e84522.

[26] WANG S, LI M, HUA Z, et al. Outdoor temperature and temperature maintenance associated with blood pressure in 438, 811 Chinese adults[J]. Blood Press, 2017, 26(4): 246-254.

[27] LEWINGTON S, LI L, SHERLIKER P, et al. Seasonal variation in blood pressure and its relationship with outdoor temperature in 10 diverse regions of China: the China Kadoorie Biobank[J]. J Hypertens, 2012, 30(7): 1383-1391.

[28] CHEN R, LU J, YU Q, et al. The acute effects of outdoor temperature on blood pressure in a panel of elderly hypertensive patients[J]. Int J Biometeorol, 2015, 59(12): 1791-1797.

[29] KENT S T, HOWARD G, CROSSON W L, et al. The association of remotely-sensed outdoor temperature with blood pressure levels in REGARDS: a cross-sectional study of a large, national cohort of African-American and white participants[J]. Environ Health, 2011, 10(1): 7.

[30] KEATINGE W R, COLESHAW S R, EASTON J C, et al. Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis[J]. Am J Med, 1986, 81(5): 795-800.

[31] BODNAR L M, DAFTARY A, MARKOVIC N, et al. Seasonal variation in gestational blood pressure[J]. Hypertens Pregnancy, 2006, 25(3): 271-283.

[32] HU K, GUO Y, HOCHRAINER-STIGLER S, et al. Evidence for urban-rural disparity in temperature-mortality relationships in Zhejiang Province, China[J]. Environ Health Perspect, 2019, 127(3): 37001.

[33] YAN M, XU J, LI C, et al. Associations between ambient air pollutants and blood pressure among children and adolescents: a systemic review and meta-analysis[J]. Sci Total Environ, 2021, 785: 147279.

[34] CAO W, DONG M, SUN X, et al. Associations of maternal ozone exposures during pregnancy with maternal blood pressure and risk of hypertensive disorders of pregnancy: A birth cohort study in Guangzhou, China[J]. Environ Res, 2020, 183: 109207.

[35] SERA F, HASHIZUME M, HONDA Y, et al. Air conditioning and heat-related mortality: a multi-country longitudinal study[J]. Epidemiology, 2020, 31(6): 779-787.

[36] NUNES B, PAIXÃO E, DIAS C M, et al. Air conditioning and intrahospital mortality during the 2003 heatwave in Portugal: evidence of a protective effect[J]. Occup Environ Med, 2011, 68(3): 218-223.

(**英文编辑**：汪源; **责任编辑**：汪源)