

日夜复合热与人群血压水平的关联研究

李致兴^{1,2a}, 林顺伟^{2a}, 许晓君^{2b}, 孟瑞琳^{2b}, 何冠豪^{2a}, 胡建雄^{2a}, 周鹤^{2a}, 曾韦霖^{2a},
李杏^{2a}, 肖建鹏^{2a}, 刘涛^{1,2a}, 马文军^{1,2a}

1. 暨南大学基础医学与公共卫生学院, 广东广州 510632

2. 广东省疾病预防控制中心 a. 广东省公共卫生研究院 b. 慢性病非传染性疾病预防控制所, 广东广州 511430



DOI 10.11836/JEOM21455

摘要：

[背景] 随着全球气候变暖, 预计本世纪内日夜复合热的发生频率、强度以及持续时间可能会持续增加。

[目的] 分析日夜复合热事件与人群血压水平的关系, 识别相关敏感人群。

[方法] 本研究为横断面调查, 研究对象来源于 2002—2015 年共 6 次广东省居民慢性病或营养调查。通过问卷调查人口统计学资料、吸烟饮酒情况等, 并测量身高、体重、血压等。本研究选取 5、9、10 月的数据进行日夜复合热事件与人群血压关联的研究, 其中日夜复合热指的是一个炎热的夜晚伴随一个炎热的白天的持续高温状态。同时期的气象数据来源于中国气象科学数据共享服务平台, 利用反距离加权插值法获取各研究地点的气温及湿度数据。运用分布滞后非线性模型探究日夜复合热事件与人群血压的关联, 并按性别、年龄、城乡、体重指数 (BMI)、是否吸烟及饮酒进行分层分析, 识别敏感人群。通过调整日夜复合热在滞后维度的自由度以及去除相对湿度进行敏感性分析。

[结果] 本研究共纳入 10967 名研究对象, 均无高血压史, 其平均收缩压和舒张压分别为 120.8、74.5 mmHg。在所有研究对象中, 经受日热、夜热或日夜复合热的比例分别为 9.34%、17.95% 及 2.90%。相比日热, 夜热和日夜复合热均与人群血压水平的降低有统计学关联, 且日夜复合热使得血压下降的幅度更大, 收缩压变化值及其 95%CI 为 -6.2(-10.3~-2.1) mmHg; 舒张压变化值及其 95%CI 为 -2.7(-5.2~-0.2) mmHg。日夜复合热可使男性、≥65 岁、BMI < 24 kg·m⁻² 者收缩压水平降低, 其 OR(95%CI) 分别为 -6.2(-10.7~-1.6)、-19.1(-33.0~-5.1)、-6.7(-11.8~-1.6) mmHg, 另外 ≥65 老年人的舒张压也呈下降状态, 其 OR(95%CI) 为 -8.4(-15.6~-1.1) mmHg。对地区进行分层分析, 发现日夜复合热对农村人群血压 (收缩压及舒张压) 的效应表现为下降状态, 其 OR(95%CI) 分别为 -10.5(-16.6~-4.5) 和 -4.4(-7.7~-1.1) mmHg, 而城市人群的收缩压则上升, 其 OR(95%CI) 为 9.7(2.9~16.5) mmHg。根据吸烟及饮酒情况进行分层分析, 发现未吸烟人群的舒张压 [-3.7(-6.6~-0.8) mmHg]、未饮酒人群的收缩压 [-4.8(-9.4~-0.2) mmHg] 和舒张压 [-3.4(-6.0~-0.9) mmHg] 均下降。

[结论] 日夜复合热可能会降低人群收缩压水平, 其中男性、65 岁及以上的老年人、BMI < 24 kg·m⁻² 的人群可能是相关敏感人群。

关键词： 血压; 日夜复合热; 分布滞后非线性模型; 极端气候

Association of compound hot extreme with blood pressure in Guangdong province LI Zhixing^{1,2a}, LIN Shunwei^{2a}, XU Xiaojun^{2b}, MENG Ruilin^{2b}, HE Guanhao^{2a}, HU Jianxiong^{2a}, ZHOU He^{2a}, ZENG Weilin^{2a}, LI Xing^{2a}, XIAO Jianpeng^{2a}, LIU Tao^{1,2a}, MA Wenjun^{1,2a} (1. School of Medicine, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510632, China; 2.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)

Abstract:

[Background] It is projected that the frequency, density, and duration of compound hot extreme may increase in the 21st century in the context of global warming.

[Objective] To explore the association between compound hot extreme and blood pressure, and identify sensitive populations.

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); 广东省医学科学技术研究基金项目 (A2021340)

作者简介

李致兴 (1994—), 男, 硕士生; E-mail: lizhixingjn@126.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 2021-09-26

录用日期 2022-02-09

文章编号 2095-9982(2022)03-0247-07

中图分类号 R122

文献标志码 A

补充材料

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21455

► 引用

李致兴, 林顺伟, 许晓君, 等. 日夜复合热与人群血压水平的关联研究 [J]. 环境与职业医学, 2022, 39(3): 247-252, 260.

► 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21455

Funding

This study was funded.

Correspondence to

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

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2021-09-26

Accepted 2022-02-09

Supplemental material

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21455

► To cite

LI Zhixing, LIN Shunwei, XU Xiaojun, et al. Association of compound hot extreme with blood pressure in Guangdong province [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(3): 247-252, 260.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21455

[Methods] This was a cross-sectional study. The study subjects were from six Guangdong Province Chronic Disease and Nutrition Surveys during 2002 through 2015. A questionnaire was administered to the participants with questions about demographic information, drinking and smoking status, and measurements on their height, weight, and blood pressure were also collected. We chose the data of May, September, and October to explore the association between compound hot extreme and blood pressure. Compound hot extreme means a hot day with a proceeding hot night. Daily meteorological data were obtained from China Meteorological Data Service Centre. We employed inverse distance weighting to interpolate the temperature and relative humidity values for each participant. A distributed lag non-linear model was used to estimate the association between compound hot extreme and blood pressure. Stratified analyses by sex, age, area, body mass index (BMI), smoking status, and drinking status were also performed to identify sensitive populations. A sensitivity analysis was conducted by adjusting the degrees of freedom for lag spline and removing relative humidity.

[Result] A total of 10967 participants without history of hypertension were included in this study. The average systolic blood pressure (SBP) was 120.8 mmHg and the average diastolic blood pressure (DBP) was 74.5 mmHg. The proportion of participants who experienced hot day, hot night, or compound hot extreme were 9.34%, 17.95% and 2.90%, respectively. Compared to hot day, hot night and compound hot extreme were related with decreased blood pressure, and the effect of compound hot extreme was stronger: the changes and 95%CI for SBP was -6.2 (-10.3 – -2.1) mmHg, and for DBP was -2.7 (-5.2 – -0.2) mmHg. Compound hot extreme induced decreased SBP among male, population ≥ 65 years, and those whose BMI < 24 kg·m⁻², and their ORs (95%CIs) were -6.2 (-10.7 – -1.6), -19.1 (-33.0 – -5.1), and -6.7 (-11.8 – -1.6) mmHg, respectively, and also decreased DBP among population ≥ 65 years, and its OR (95%CI) was -8.4 (-15.6 – -1.1) mmHg. During compound hot extremes, participants living in rural areas showed decreased SBP and DBP, and the ORs (95%CIs) were -10.5 (-16.6 – -4.5) and -4.4 (-7.7 – -1.1) mmHg respectively, while those living in urban areas showed increased SBP, and the OR (95%CI) was 9.7 (2.9 – 16.5) mmHg. A significant decrease in blood pressure [OR (95%CI)] was also found in non-smokers [DBP, -3.7 (-6.6 – -0.8) mmHg] and non-drinkers [SBP, -4.8 (-9.4 – -0.2) mmHg; DBP, -3.4 (-6.0 – -0.9) mmHg].

[Conclusion] Compound hot extreme is negatively associated with SBP, and being male, aged 65 years and over, and having BMI < 24 kg·m⁻² may be more sensitive to compound hot extreme.

Keywords: blood pressure; compound hot extreme; distributed lag non-linear model; extreme climate

联合国政府间气候变化委员会发布的第五次评估报告表明,自 1880 年到 2012 年间,全球地表平均气温升高 0.85 °C,预计在代表浓度路径(representative concentration pathway, RCP) 4.5 情境下,2030—2052 年间全球地表平均气温将持续升高 1.5 °C 到 2.0 °C^[1],这意味着未来人们的热暴露将持续上升。国内外许多研究发现,人群血压水平波动受气温影响^[2-7],但研究结果并不完全一致。流行病学研究发现,气温与血压呈负相关,即随着气温增加,血压水平下降^[4, 6-7]。2011—2016 年在唐山市开展的一项队列研究则表明气温与人群血压呈 V 型关系,高温和低温均可使血压水平上升^[8]。

在全球持续变暖的背景下,日夜复合热成为一个备受关注的话题,即夜间和日间的持续高温状态。有研究表明,在过去半个世纪,青藏高原及周边地区的夜间平均气温上升幅度远大于日间平均气温的增幅^[9],这意味着未来出现炎热夜晚的频率可能越来越高。也有研究报告,本世纪内日夜复合热的发生频率、强度以及持续时间可能会持续增加^[10],但目前未见关于日夜复合热事件与血压关联的研究。本研究基于 2002—2015 年广东省居民慢性病或营养调查数据,利用分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)探究日夜复合热事件对人群血压水平的急性效应,为采取适应措施和进一步探究极端气温

与人群健康关联的潜在机制提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究为横断面调查。研究对象来源于 2002—2015 年共 6 次广东省居民慢性病或营养调查对象,其中 2002 年为广东省居民营养与健康状况调查;2004、2007、2010、2013 年为广东省慢性病及其危险因素监测,该监测始于 2004 年,每三年进行一次现场调查;2015 年血压数据则来源于广东省居民慢性病与营养监测数据库。2002 年广东省居民营养与健康状况调查抽样方法如下:第一阶段利用系统抽样的方法分别在城市和农村两类地区确定 14 个调查县/区,第二阶段从抽样的县/区中随机抽取 3 个乡/街道,第三阶段则从中随机抽取 2 个村/居委会,第四阶段以 30 户为单位将每个村/居委会分成几个群,随机抽取 3 个群进行调查。其余年份的抽样方法略有不同,调查点名单由中国疾病预防控制中心确定:第一阶段抽样在每个监测点随机抽取数个乡镇,第二阶段抽样在每个乡镇随机抽取数个行政村或居委会,第三阶段抽样在每个行政村或居委会内以不少于 N 户将居民户划分为村民/居民小组,并随机抽取 1 个小组;第四阶段抽样在每个村民/居民小组中,随机选取 N 户开展调查(不同年份调查在各个阶段抽取的数量并不一致,因此无法细

化到详细数值,用“N”统一替代)。每个调查对象均严格按照编码规范制定个人唯一标识符,因此不存在调查对象重复的情况。同时,为了避免服用降压药等因素的干扰,本研究在纳入对象时已剔除正在服用或者未服用药物的高血压确诊患者,所有调查对象均已签署知情同意书。本研究旨在探究日夜复合热与人群血压水平的关联,由于调查时间未涵盖夏季,故选取其中温度较高的5、9、10月的数据开展研究。本研究已通过广东省疾病预防控制中心伦理委员会的审查评估,伦理审批号为2019025。

1.2 调查内容

调查内容主要包括问卷调查和人体测量两个部分,并收集调查地区的社会经济、文化卫生等资料。问卷调查内容包括人口统计学资料、吸烟饮酒情况等。人体测量包括身高、体重、血压等。血压的测量均在上午进行,测量现场要求独立、安静、温暖,被测量者在测量前1 h内应避免剧烈运动或锻炼等,前30 min应停止吸烟,在安静休息5 min后进行血压测定。使用标准汞柱式血压计或电子血压计测量血压,每个研究对象均进行3次血压测量,每次间隔1 min,取3次测量结果的平均值作为其最终血压测量值。脉压差为收缩压与舒张压的差值。吸烟指吸食过任一种烟草产品,饮酒指在过去12个月中饮用过购买或自制的含有酒精成分的饮料。

1.3 气象数据

从中国气象科学数据共享平台获取2002—2015年广东省内35个气象站点的气温和相对湿度数据。由于气象监测站点未完全覆盖本研究的监测点,故采用反距离加权法进行空间气象插值^[11],将日最高温、日最低温及相对湿度插值形成分辨率为1 km×1 km的栅格数据,然后将各个研究地点的经纬度与栅格数据进行匹配,提取相应地点的气象数据。为了确保气象插值得到的气温及湿度数据具有较高的准确度,使用十折交叉验证的方法进行验证^[12]。结果显示日最高温、日最低温及相对湿度的 R^2 分别为0.92、0.93、0.78,说明准确度较高。

1.4 统计学分析

本研究提取调查当天及其前后7 d以及研究期间(2002—2015年)相同时间段的气温序列,并按由低到高进行排序。日夜复合热的定义参考Jun等^[12]和Chen等^[13]的研究,如果某天的日最高温或日最低温超过这段历史同期气温序列的第85百分位数,那么这天就被称为“日热”或者“夜热”。基于上面的定义,本

研究将热事件分为三类:日热,即一个正常的夜晚伴随一个炎热的白天;夜热,即一个炎热的夜晚伴随一个正常的白天;日夜复合热,即一个炎热的夜晚伴随一个炎热的白天。非炎热天指的是除日夜、夜热及日夜复合热外的天数,取非炎热天作为对照。

由于气温与人群血压水平之间呈非线性关系,且气温对血压的影响存在滞后性,故本研究采用DLNM研究日夜复合热与血压的关联。该模型通过引入交叉基函数,使其能同时描述应变量在自变量维度和滞后维度的分布,从而评估日夜复合热与血压的非线性关系及滞后反应关系^[14]。

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_T M_{Temp} + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + e$$

式中: \hat{Y} 指血压值; β_T 指日夜复合热事件的回归系数; M_{Temp} 为日夜复合热事件与滞后时间的二维矩阵; $\beta_1 \dots \beta_n$ 为协变量的回归系数, $X_1 \dots X_n$ 为需要控制的协变量,包括相对湿度、性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、吸烟及饮酒情况等; e 为残差项。既往研究表明高温对人体的健康影响表现为急性效应,在参考以往研究^[15-16]的基础上,本研究选择最大滞后天数为3 d来构建模型,日夜复合热在滞后维度的自由度设为3。为了了解在不同亚组人群中日夜复合热事件与血压的关联以及确定相关敏感人群,按照性别(男、女)、年龄(<25、25~64、≥65岁)、地区(城市、农村)、BMI(<24、≥24 kg·m⁻²)、饮酒(是、否)及吸烟(是、否)进行分层分析。同时,为了保证结果的稳定性,通过改变日夜复合热事件在滞后维度的自由度以及去除相对湿度进行敏感性分析。

定性资料采用例数及百分比进行描述;定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 描述,血压分布列出均数、最小值、最大值。

采用R 3.6.1软件进行统计分析,利用“dlnm”程序包拟合DLNM,利用“ggplot2”程序包作图^[17]。均采用双侧检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 研究对象基本特征描述

本次研究共纳入10967人,研究对象覆盖广东省21个地市(见补充材料图S1)。其中男性8196人,女性2771人,男女占比为2.96:1。研究对象年龄为(46.29±15.53)岁;以25~64岁年龄段人群为主,占总人数的78.61%,其次为65岁及以上老年人,占比为12.68%。在研究对象中以农村人口居多,农村与城市人口比例为1.50:1。研究对象BMI为(21.97±3.33) kg·m⁻²,超重肥胖(≥24 kg·m⁻²)人口占总调查人数的25.27%。见表1。

表 1 2002—2015 年 6 次广东省居民慢性病或营养调查中研究对象特征描述 (n=10967)

Table 1 Demographic information of study population in six Guangdong Chronic Disease and Nutrition Surveys (n=10967)

特征(Characteristics)	n	构成比/(Proportion)/%
性别 (Sex)		
男 (Male)	8 196	74.73
女 (Female)	2 771	25.27
年龄/岁 (Age/years)		
<25	955	8.71
25~64	8 621	78.61
≥65	1 391	12.68
地区 (Area)		
农村 (Rural)	6 584	60.03
城市 (Urban)	4 383	39.97
BMI/(kg·m ⁻²)		
<24	8 196	74.73
≥24	2 771	25.27
饮酒 (Drinking)		
是 (Yes)	1 468	13.39
否 (No)	9 499	86.61
吸烟 (Smoking)		
是 (Yes)	3 065	27.95
否 (No)	7 902	72.05

研究对象平均收缩压和舒张压分别为 120.8、74.5 mmHg, 最高分别达 237.0、132.3 mmHg, 最低分别达 70.0、34.0 mmHg。在所有研究对象中, 经受日热、夜热及日夜复合热的比例分别为 9.34%、17.95%及 2.90%, 夜热的比例大于日热; 另外, 非炎热天、日热、夜热及复合热的平均温度分别为 23.7、25.2、27.0、27.5 °C。见表 2。

表 2 不同类型高温事件下的人数分布

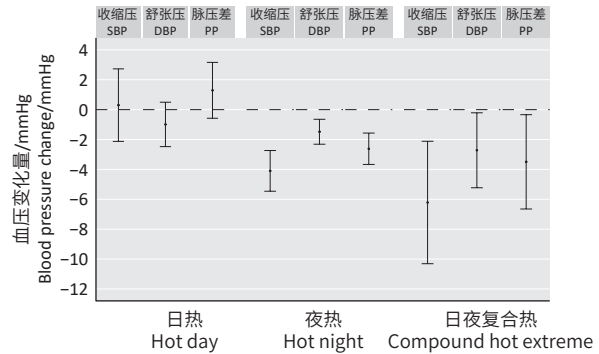
Table 2 Distribution of participants during different types of hot extreme

热事件 Hot extreme	频数 Frequency	构成比/% Proportion/%	平均温度/°C Mean Temperature/°C
非炎热天(Normal day)	7 656	69.81	23.7
日热(Hot day)	1 024	9.34	25.2
夜热(Hot night)	1 969	17.95	27.0
复合热(Compound hot extreme)	318	2.90	27.5
合计(Total)	10 967	100.00	—

2.2 日夜复合热与血压的关联

图 1 为不同类型热事件滞后 3 d 与人群血压的累积效应。如图所示, 日热可稍微增加血压水平, 但没有统计学意义, 而夜热和日夜复合热均与人群血压水平的降低有统计学关联。与夜热 [收缩压变化值及其 95%CI 为 -4.1(-5.5~-2.7) mmHg; 舒张压变化值及其 95%CI 为 -1.5(-2.3~-0.7) mmHg] 相比, 日夜复合热使得血压下降的幅度更大 [收缩压变化值及其 95%CI 为

-6.2(-10.3~-2.1) mmHg; 舒张压变化值及其 95%CI 为 -2.7(-5.2~-0.2) mmHg]。相比舒张压, 日夜复合热作用于收缩压的效应更大。夜热与日夜复合热均可降低脉压差, 但日夜复合热的效应更大。夜热条件下, 脉压差变化值及其 95%CI 为 -2.6(-3.7~-1.6) mmHg; 日夜复合热条件下, 脉压差变化值及其 95%CI 为 -3.5(-6.7~-0.3) mmHg。



[注] 收缩压: Systolic blood pressure; 舒张压: Diastolic blood pressure; 脉压差: Pulse pressure.

[Note] SBP: Systolic blood pressure; DBP: Diastolic blood pressure; PP: Pulse pressure.

图 1 不同类型热事件对人群血压的影响 (滞后 3 d)

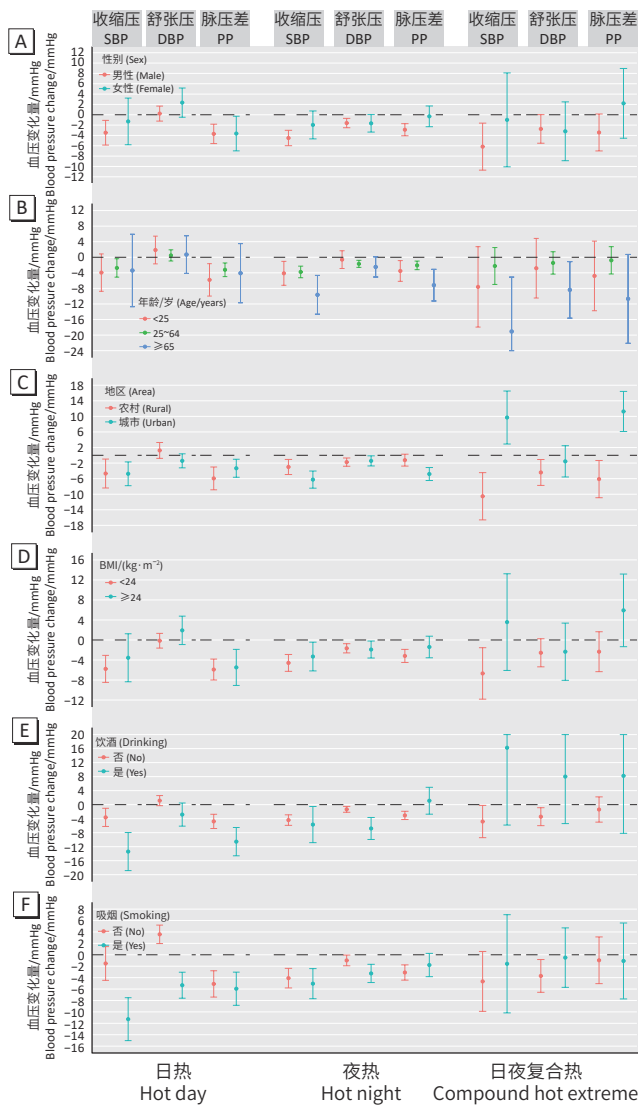
Figure 1 Cumulative effects of hot extreme on blood pressure (lag 3 d)

2.3 不同亚组人群中日夜复合热与血压水平的关联

如图 2 所示, 对不同亚组人群的分析可发现与上述全人群的结果基本一致。相比日热和夜热, 日夜复合热事件对不同亚组人群血压的影响更大。日夜复合热可使男性、≥65 岁、BMI < 24 kg·m⁻² 人群收缩压水平降低, 其 OR(95%CI) 分别为 -6.2(-10.7~-1.6)、-19.1(-33.0~-5.1)、-6.7(-11.8~-1.6) mmHg, 另外 ≥65 岁老年人的舒张压也呈下降状态, 其 OR(95%CI) 为 -8.4(-15.6~-1.1) mmHg。对地区进行分层分析, 发现日夜复合热对农村人群血压(收缩压及舒张压)的效应表现为下降状态, 其 OR(95%CI) 分别为 -10.5(-16.6~-4.5) 和 -4.4(-7.7~-1.1) mmHg, 而城市人群的收缩压则上升, 其 OR(95%CI) 为 9.7(2.9~16.5) mmHg。根据吸烟及饮酒情况进行分层分析, 发现未吸烟人群的舒张压 [-3.7(-6.6~-0.8) mmHg]、未饮酒人群的收缩压 [-4.8(-9.4~-0.2) mmHg] 和舒张压 [-3.4(-6.0~-0.9) mmHg] 均下降。详见补充材料表 S1。

2.4 敏感性分析

去除模型中的相对湿度, 或将日夜复合热事件在滞后维度的自由度 (u_{diff}) 分别改为 4、5、6 后, 重新拟合模型, 敏感性分析结果显示模型的结果较为稳定, 见表 3。



[注] A: 性别; B: 年龄; C: 地区; D: BMI; E: 饮酒; F: 吸烟。收缩压: Systolic blood pressure; 舒张压: Diastolic blood pressure; 脉压差: Pulse pressure.

[Note] A: Sex; B: Age; C: Area; D: BMI; E: Drinking; F: Smoking. SBP: Systolic blood pressure; DBP: Diastolic blood pressure; PP: Pulse pressure.

图2 不同类型热事件对亚组人群血压的影响(滞后3 d)

Figure 2 Cumulative effects of hot extreme on blood pressure by subgroups (lag 3 d)

表3 日夜复合热对血压影响的敏感性分析结果 [OR(95%CI)]

模型参数 Model parameter	收缩压/mmHg Systolic blood pressure/mmHg	舒张压/mmHg Diastolic blood pressure/mmHg	脉压差/mmHg Pulse pressure/mmHg
滞后维度lag=3, $U_{df}=3$	-6.2(-10.3,-2.1)	-2.7(-5.2,-0.2)	-3.5(-6.7,-0.3)
滞后维度lag=3, $U_{df}=4$	-6.9(-11.1,-2.7)	-2.8(-5.4,-0.2)	-4.1(-7.3,-0.9)
滞后维度lag=3, $U_{df}=5$	-6.2(-10.3,-2.1)	-2.7(-5.2,-0.2)	-3.5(-6.7,-0.3)
滞后维度lag=3, $U_{df}=6$	-6.9(-11.1,-2.7)	-2.8(-5.4,-0.2)	-4.1(-7.3,-0.9)
去除相对湿度 Remove relative humidity	-5.5(-9.6,-1.5)	-3.2(-5.6,-0.7)	-2.4(-5.5,-0.8)

3 讨论

在全球持续变暖的背景下, 极端气候事件发生的频率和强度持续增加, 威胁着人类的生命健康。目前关于气温与人群死亡关联的研究较多, 但关联的机制并不明确^[12], 探究这种关联的潜在机制路径, 能够更有针对性地进行干预, 降低人群健康风险。为此本研究基于广东省 2002—2015 年居民慢性病或营养调查数据, 运用 DLNM 探究日夜复合热与人群血压水平的关联。

本研究结果表明, 日夜复合热事件与人群血压水平降低有关联, 这一发现与其他一些关于气温与血压关系的研究结果一致。例如 2011—2016 年在江苏省苏州市开展的定组研究发现气温与血压呈“抛物线状”的曲线关系, 即随着气温的升高, 血压呈下降趋势^[16]。高温导致血压下降的生理机制较为复杂, 大致可以通过以下两条途径: 其一, 人体在高温暴露下, 血管扩张, 血管阻力下降, 庞大的皮肤血管床可容纳大量血液, 从而导致血压下降^[18]; 其二, 持续的高温暴露可致人体大量出汗, 血液中大量钠、钾离子丢失, 血容量减少, 血压下降^[19]。随着我国高血压患病率以及心血管疾病发病率的升高^[20-21], 已有的研究多关注低温暴露下人群血压的升高^[16, 22], 少有研究关注高温暴露导致血压下降的健康影响。但对于部分敏感人群, 血压的瞬时下降可导致头晕、跌倒、急性肾衰竭等不良反应, 因此有必要关注高温暴露下人群血压波动可能带来的不良健康影响。以往许多研究发现高温和低温均可增加人群心血管死亡的风险^[23-24], 部分研究表明气温与血压呈 U 型关系^[8], 这可以更好解释气温增加人群心血管死亡风险。但本研究发现日夜复合热事件降低人群血压水平, 可能是由于本研究使用的数据主要集中在 5、9、10 月份, 这些月份不覆盖夏季, 所以难以观测到极端高温与血压的真正关联, 因此未来需要收集更多炎热季节的数据以进一步探索日夜复合热事件是否改变人体血压水平。

在分层分析中, 结果表明男性血压更容易受日夜复合热事件的影响, 且大量研究表明, 高温下男性血压下降的幅度大于女性^[7, 25-26]。这可能与男性的社会特征及工作性质等因素有关。相比女性, 男性高温暴露的机会更多。本研究还发现, 暴露于日夜复合热的老年人收缩压累积下降幅度高达 19.1 mmHg(见补充材料表 S1)。在其他研究中有类似发现, 老年人群血压往往更容易受气温的影响^[7, 27-29]。老年人体温调节能力较差, 在遭受日夜复合热的持续热暴露过程中,

血管扩张以及大量出汗可导致血压下降,更容易发生头晕、跌倒等情况^[30]。目前关于 BMI 是否对气温与血压的关联存在修饰作用的研究结果并不一致^[3, 28, 31],但本研究发现相比超重肥胖人群, BMI 正常或偏低人群的血压更为敏感,其中机制尚未明确,有待于进一步探究。由于农村地区社会经济发展相对滞后,人群遭受热暴露的机会大于城市。有研究表明,相比城市地区,农村人群对高温更加敏感^[32]。本研究也发现,在农村地区,日夜复合热与人群血压的效应呈下降关系;相反,在城市地区,日夜复合热暴露可增加人群血压。其可能的解释是由于城市地区空调覆盖率远高于农村,在炎热的季节,人们更倾向呆在凉爽的室内,从而导致城乡间存在暴露差异。

本研究率先分析了日夜复合热事件与血压的关联,明确了敏感人群,有一定的创新性。同时,研究对象覆盖面广,调查时间长,样本量较大。研究也存在一定的局限性。首先,研究没有纳入包括颗粒物、臭氧等空气污染物,既往研究表明,个体空气污染物暴露可能与人体血压之间存在关联^[33-34]。其次,空调覆盖率在城乡差别较大,空调的使用能够有效降低高温健康风险^[35-36],由于缺乏相关数据,在上述分析中并未控制该混杂变量。第三,本研究缺乏精确的个体气温暴露数据,使用空间插值的气象数据替代个体暴露,可能导致结果存在一定偏差。第四,各调查使用不同的血压测量工具,可能导致测量结果存在一定的误差。

综上所述,日夜复合热可能会降低人群血压水平,未来需要收集更多数据以进一步探索其中的机制。同时研究结果提示,在遭遇复合热天气时,男性、65岁及以上的老年人、BMI < 24 kg·m⁻²的敏感人群采取必要的防护措施,可能对预防因复合热暴露导致血压波动而带来的健康影响有一定积极意义。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013-the physical science basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] ZHENG S, ZHU W, WANG M, et al. The effect of diurnal temperature range on blood pressure among 46, 609 people in Northwestern China[J]. *Sci Total Environ*, 2020, 730: 138987.
- [3] WANG Q, LI C, GUO Y, et al. Environmental ambient temperature and blood pressure in adults: A systematic review and meta-analysis[J]. *Sci Total Environ*, 2017, 575: 276-286.
- [4] JENNIFER R, DANIEL N, ROSS G, et al. Inverse correlation between daily outdoor temperature and blood pressure in six US cities[J]. *Blood Press Monit*, 2018, 23(3): 148-152.
- [5] MADSEN C, NAFSTAD P. Associations between environmental exposure and blood pressure among participants in the Oslo Health Study (HUBRO)[J]. *Eur J Epidemiol*, 2006, 21(7): 485-491.
- [6] HU J, SHEN H, TENG CG, et al. The short-term effects of outdoor temperature on blood pressure among children and adolescents: finding from a large sample cross-sectional study in Suzhou, China[J]. *Int J Biometeorol*, 2019, 63(3): 381-391.
- [7] ZHENG S, WANG MZ, CHENG ZY, et al. Effects of outdoor temperature on blood pressure in a prospective cohort of northwest China[J]. *Biomed Environ Sci*, 2021, 34(2): 89-100.
- [8] MADANIYAZI L, ZHOU Y, LI S S, et al. Outdoor temperature, heart rate and blood pressure in Chinese adults: effect modification by individual characteristics[J]. *Sci Rep*, 2016, 6(1): 21003.
- [9] DING J, CUO L, ZHANG Y, et al. Monthly and annual temperature extremes and their changes on the Tibetan Plateau and its surroundings during 1963-2015[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 11860.
- [10] LI Y, DING Y, LI W. Observed trends in various aspects of compound heat waves across China from 1961 to 2015[J]. *J Meteorol Res*, 2017, 31(3): 455-467.
- [11] LI Z, HU J, MENG R, et al. The association of compound hot extreme with mortality risk and vulnerability assessment at fine-spatial scale[J]. *Environ Res*, 2021, 198: 111213.
- [12] WANG J, CHEN Y, TETT S F B, et al. Anthropogenically-driven increases in the risks of summertime compound hot extremes[J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1): 528.
- [13] CHEN Y, ZHAI P. Revisiting summertime hot extremes in China during 1961-2015: Overlooked compound extremes and significant changes[J]. *Geophys Res Lett*, 2017, 44(10): 5096-5103.
- [14] GASPARRINI A. Distributed lag linear and non-linear models in R: the package dlnm[J]. *J Stat Softw*, 2011, 43(8): 1-20.
- [15] BROOK RD, WEDER AB, RAJAGOPALAN S. "Environmental hypertension" the effects of environmental factors on blood pressure in clinical practice and research[J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2011, 13(11): 836-842.
- [16] XU D, ZHANG Y, WANG B, et al. Acute effects of temperature exposure on blood pressure: an hourly level panel study[J]. *Environ Int*, 2019, 124: 493-500.
- [17] TEAM R C. R: a language and environment for statistical computing[CP/OL]. [2021-07-01]. <https://mran.microsoft.com/snapshot/2020-12-31/doc/manuals/r-release/fullrefman.pdf>.
- [18] JAUCHEM JR, FREI MR. Heart rate and blood pressure changes during radiofrequency irradiation and environmental heating[J]. *Comp Biochem Physiol A Comp Physiol*, 1992, 101(1): 1-9.
- [19] SZÉKELY M, GARAI J. Thermoregulation and age[J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 156: 377-395.
- [20] LEWINGTON S, LACEY B, CLARKE R, et al. The burden of hypertension and associated risk for cardiovascular mortality in China[J]. *JAMA Int Med*, 2016, 176(4): 524-532.
- [21] LIU S, LI Y, ZENG X, et al. Burden of cardiovascular diseases in China, 1990-2016: findings from the 2016 global burden of disease study[J]. *JAMA Cardiol*, 2019, 4(4): 342-352.
- [22] UMISHIO W, IKAGA T, KARIO K, et al. Cross-sectional analysis of the relationship between home blood pressure and indoor temperature in winter: a nationwide smart wellness housing survey in Japan[J]. *Hypertension*, 2019, 74(4): 756-766.
- [23] CHEN R, YIN P, WANG L, et al. Association between ambient temperature and mortality risk and burden: time series study in 272 main Chinese cities[J]. *BMJ*, 2018, 363: k4306.