

高血压风险与水汽压的关联性初步探究

杨 杨¹, 雷雨欣¹, 黄 悦¹, 马晓璐¹, 黎檀实², 马 盼^{1*}

¹成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

²中国人民解放军总医院, 北京

收稿日期: 2022年10月22日; 录用日期: 2022年11月22日; 发布日期: 2022年11月30日

摘 要

大气的水汽含量可以对人体的散热机制、水盐平衡等方面产生影响, 是仅次于气温的、对人体血液循环系统有显著影响的气象因子。水汽压(vapor pressure, 常用 e 表征)表征大气中水汽的分压, 单位百帕(hPa)。本研究采用偏相关分析与分布-滞后时间序列模型, 探索性研究了北京市2008~2012年水汽压与几家三甲医院高血压急诊人数的关系, 并按年龄、性别划分亚组。结果发现, 在排除了气温影响的偏相关分析中, 高血压发病风险与水汽压之间呈显著负相关($R = -0.127, P < 0.01$); 而控制了水汽压影响时, 气温的相关性几乎不显著。构造模型揭示, 对全人群而言, 水汽压-高血压风险的关系曲线呈“V”型, 以21~22 hPa为分界, 两侧水汽压的效应均呈增加趋势; 男性患者对低水汽压更敏感($e = 3 \text{ hPa}, RR = 1.299, 95\%CI: 1.069\sim 1.578$), 而女性对高水汽压更敏感($e = 16.8 \text{ hPa}, RR = 1.124, 95\%CI: 1.018\sim 1.241$)。年龄分组显示, 老年人受高水汽压的累积影响最大($RR = 1.122, 95\%CI: 1.005\sim 1.251$), 说明老年人脆弱性更强, 需注意防范不利天气。大气对人体的影响是综合性、多因子交叉的, 水汽、大气压等因子的潜在影响也应受到重视, 本研究初步揭示了水汽压与高血压风险的可能关联性。

关键词

高血压, 气象诱因, 水汽压, 非线性, 滞后性

Exploration on the Association between Water Vapor Pressure with Hypertension Risk

Yang Yang¹, Yuxin Lei¹, Yue Huang¹, Xiaolu Ma¹, Tanshi Li², Pan Ma^{1*}

¹College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

²Chinese PLA General Hospital, Beijing

Received: Oct. 22nd, 2022; accepted: Nov. 22nd, 2022; published: Nov. 30th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 杨杨, 雷雨欣, 黄悦, 马晓璐, 黎檀实, 马盼. 高血压风险与水汽压的关联性初步探究[J]. 自然科学, 2022, 10(6): 1187-1197. DOI: 10.12677/ojns.2022.106132

Abstract

The moisture content of the atmosphere affects the heat dissipation mechanism, water-salt balance, and other aspects of the human body. It has significant impacts on the circulatory system of human body, which is only second to the air temperature. Water vapor pressure (expressed by “e”, unit: hPa) indicates the partial pressure of water vapor in the atmosphere. The partial correlation analysis and distributed-lag nonlinear model were applied to study the exposure-response relationship between number of emergency room (ER) visits for hypertension and vapor pressure, from 2008 to 2012 in Beijing, China. In contrast to relative humidity, vapor pressure could characterize the absolute moisture of atmosphere. With regard to the whole patients, the exposure-response curve was V-shaped on lag, immediate influences on ER visits of both high and low water vapor pressure were revealed. Besides, the cumulative RR of water vapor pressure 20~21 hPa was the smallest for both gender groups. In addition, the males were more vulnerable to low water vapor pressure than high circumstances (3 hPa, RR = 1.299, 95%CI: 1.069~1.578), while the females were sensitive to high water pressure (e = 16.8 hPa, RR = 1.124, 95%CI: 1.018~1.241). The elderly over 65 years were more sensitive to the cumulative effect of moisture atmosphere (cum RR = 1.122, 95%CI: 1.005~1.251), indicating that the elderly group were more vulnerable and should take measures to prevent adverse weather. The impact of atmosphere on human body is comprehensive and multifactorial, the potential impact of water vapor, atmospheric pressure, and other factors also should be took more attention. In a word, this study preliminarily revealed the possible correlation between water vapor pressure and hypertension risk.

Keywords

Hypertension, Meteorological Inducer, Water Vapor Pressure, Nonlinear, Lag Effect

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高血压是威胁我国人民健康的头号风险因素之一，并与多种慢性心脑血管疾病显著相关[1]。一项2018年的全国性统计显示，我国成人高血压患病率约为23.2%（约2.445亿），另有41.3%（约4.533亿）人口处于高血压前期[2]。此外，研究发现我国北方地区高血压发病率显著偏高，特别是首都北京，其患病率居全国首位，高达35.9% [3] [4]。在国内外的病因学研究中，90%以上的高血压病例属于病因不明的原发性高血压，气象、环境等自然因素是潜在的重要危险因素[5] [6]。再者，在不同国家或区域，发现人群的血压基底值存在季节性变化[7] [8] [9]，主要体现为冬季基底血压值显著高于夏季，且在老人和儿童中更显著[10] [11]。现有研究多认为与环境温度的季节变化有关，尤以低温的影响显著[12] [13] [14] [15]。一项近期研究揭示气候冷胁迫同样对高血压风险存在显著影响[16]。但是，人置身于自然环境中，所受气象要素的影响是多方面的，多种要素间很可能存在交叉协同效应，单一地考虑温度因子并不完善。

人的心率、血压、外围血管的舒张、身体核心温度调节，以及呼吸和体表的水汽损失、激素分泌和情绪状态等，都与大气中的水汽存在紧密联系[17] [18]。截止目前，国内外针对大气湿度状况对循环系统疾病风险的研究仍较少见，且结果并不一致[19]。如 Yang 等[20]发现相对湿度与高血压性尿路疾病间存在正向关联；而相对湿度与卒中间未发现明确关系[21]。究其原因，一方面气象要素与疾病过程的关系复

杂, 气温常被默认具有主导性影响, 而大气湿度是否存在独立效应尚不清楚; 另一方面, 湿度变量的选择可能直接导致研究结果的偏倚。气象 - 医学交叉领域中常使用相对湿度(RH)表征水汽条件对健康结局的影响[22], 却忽视该变量仅代表特定温度下大气的相对饱和程度, 其定义本身包含气温影响, 不代表绝对水汽含量。然而, 水汽压(e)代表低层大气中水汽的分压, 与气温无关, 可更好代表大气的绝对水汽量。研究还发现, 水汽压一般不如相对湿度变化迅速[23], 其日均值的代表性更优。

北京市高血压发病率显著高于全国平均水平, 且人口基数庞大, 并面临老龄化加剧趋势的加剧(<http://www.stats.gov.cn/>)。同时, 北京为季风性半湿润大陆气候, 四季分明, 气象要素的年内变化突出, 对人体健康的影响显著[24]。因此, 本研究选取北京市几家大型医院的高血压急诊资料, 按年龄、性别分层进行定量的非线性关联分析。既可加深对相关循环系统疾病气象成因的理解; 又能通过指导大众和脆弱性人群进行科学预防, 有助于更好更快地实现“健康中国”战略。

2. 资料与方法

2.1. 数据来源

根据 2010 年的国家指南, 定义高血压为收缩压 ≥ 140 mmHg 或舒张压 ≥ 90 mmHg [2]。所有高血压就诊资料按国际疾病分类法第十版(ICD-10)进行分类(ICD-10: I10-I15), 删除定期取药、重复账号、诊断缺失及不明的记录。2008 年 1 月 1 日至 2012 年 12 月 31 日, 北京市三家综合性医院共收治高血压急诊 38,469 例, 其中并发脑血管病 5145 例、心血管病 10,825 例、糖尿病或肾病共 2423 例。此外, 急诊病例还包括高血压引起的急性症状, 包括严重头晕、胸闷、心悸等。资料包括急诊原因、年龄、性别、初步诊断和家庭住址, 居住在北京以外的游客被排除在外。所有患者按性别(男性, 女性)和年龄组(<45、45~65 和 >65 岁)进行分层。

北京市 2008 年 1 月 1 日至 2012 年 12 月 31 日的气象数据从中国气象数据网(<http://cdc.nmic.cn/home.do>)获取。气象要素包括每日平均/最大/最小气压、水汽压、相对湿度、日照时数、日平均/最大/最低温度和风速。

水汽压定义为 $e = r / (\varepsilon + r) p$, 其中混合比 $r = m_v / m_d$, 即水汽的质量与干空气质量之比; $\varepsilon = M_v / M_d = 0.622$, M_v 和 M_d 分别为水汽和干空气的摩尔质量; p 为气压。

北京的空气污染数据包括 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 的日均浓度, 来自中国环境监测总站(<http://www.cnemc.cn/zjji/>)。

2.2. 统计分析

偏相关分析是在对其他协同变量的影响进行控制的条件下, 衡量多个变量中某两个变量之间的线性相关程度的指标, 专门考察两个特定变量的净相关关系[25]。由于多种气象要素间强烈的共线性, 在控制混杂因素后, 使用偏相关系数来描述水汽压 - 急诊人数间的内在联系会更合理。

为定量评估水汽压对高血压急诊的影响, 选用泊松分布的半参数广义相加模型(Generalized additive model, GAM) [26]与分布 - 滞后非线性模型(Distributed lag-nonlinear model, DLNM) [27]。

首先, 建立水汽压的二维交叉基函数, 两个维度上分别采用自然样条函数和多项式函数[28]; 依据赤池信息准则(AIC), 水汽压及其滞后效应的自由度(df)分别设为 4 和 3 [29]。进行多次敏感性试验, 将最大滞后天数定为 12 d, 可涵盖水汽压在整个滞后期的影响, 同时保证模型的稳定性。

其次, 为控制气温的混杂效应, 建立日均气温的交叉基函数引入模型。并引入分层函数控制日照时数的混杂影响, 临界点分别选为 1、8 和 10。

再者, 为了消除急诊人数的长期波动, 拟合平滑样条(df = 4*5)对时间趋势进行了调整。模型中还包含了哑变量, 用于标记假日(holiday)和星期几(day of the week, DOW); 为了区分供暖期与非供暖期, 设置哑变量 Heat 为 1 和 0。

最后，鉴于室外空气污染同样是北京不可忽视的公共卫生问题[30]，并与高血压风险增加有关，因此日均 SO₂，NO₂，PM₁₀ 浓度也采用平滑样条函数(df = 3)引入模型。

最终建立的 GAM 模型可表示为[24]：

$$E(Y_t) = \text{basis.e} + \text{basis.T} + \text{str}(\text{Solar}) + s(\text{trend}, df = 4 * 5) + \text{DOW} + \text{holiday} + \text{HEAT} + s(\text{SO}_2) + s(\text{NO}_2) + s(\text{PM}_{10}) + \alpha \tag{1}$$

其中，*t* 代表观察日的时间顺序；*E*(*Y_t*)表示模型估计的第 *t* 日高血压急诊人数的期望值；basis.e 为水汽压的二维交叉基；“trend”，“holiday”与“DOW”分别为长期趋势、节假日和星期几；s()表征了几种主要污染物的样条函数；str()为日照时数的分层函数，α 表示模型残差。

结果用相对危险度(Relative risk, RR)表征，即水汽压变化单位量(1 hPa)导致的高血压风险与未暴露条件下的比值，表示影响的强弱。RR > 1 表示风险增加，取 RR 的 95% 置信区间。模型拟合采用 R3.6.1 软件(<http://www.R-project.org>)中的“mgcv”和“dlnm”程序包。偏相关分析在 SPSS 25.0(IBM)中进行。

3. 结果

3.1. 变量的基本分布特征

表 1 所示为研究时段高血压逐日急诊人数和相应气象、环境变量的描述性统计结果。

Table 1. The statistical description of related variables

表 1. 研究所涉变量的描述性统计特征

	平均值	中位数	SD	Min	Max
总急诊数	21.06	22.0	9.94	0	52
男性	10.86	11.0	5.49	0	31
女性	10.20	10.0	5.50	0	31
<45 岁	4.60	4.0	2.87	0	15
45~65 岁	8.50	8.0	4.61	0	24
>65 岁	7.96	8.0	4.69	0	24
平均气压/hPa	1012.37	1011.8	10.22	989.7	1039.3
平均气温/°C	13.15	15.10	11.44	-12.5	34.50
日最高气温/°C	18.29	20.60	11.66	-8.50	40.60
日最低气温/°C	8.44	9.60	11.31	-16.7	29.20
水汽压/hPa	10.17	7.30	8.428	0.40	33.20
相对湿度/%	50.90	52.00	20.155	9.00	97.00
日照时数/小时	6.69	7.80	3.999	0.00	14.00
降水量/mm	1.688	0.00	7.142	0.00	82.90
风速/m/s	2.225	2.10	0.915	0.50	6.40
SO ₂ /μg/m ³	31.76	19.45	31.47	4.82	201.64
NO ₂ /μg/m ³	53.44	49.40	23.55	9.00	167.36
PM ₁₀ /μg/m ³	117.34	102.36	78.03	6.40	801.55

高血压的日均急诊人数为 21.06，男性略高于女性，比例为 1.06:1。在所有就诊中，中年人(45~65 岁)和老年人(65 岁以上)占绝大部分，比重分别为 40.36% 和 37.80%。45 岁以下的青年高血压患者也有一定比重，不容忽视。

研究期间，北京年平均气温、气压、相对湿度、水汽压、日照时数、风速范围分别为 $-12.5^{\circ}\text{C}\sim 34.5^{\circ}\text{C}$ 、989.7~1039.3 hPa、9%~97%、0.4~33.2 hPa、0.0~14.0 h、0.5~6.4 m/s。水汽压的中位数和平均值分别为 7.3 和 10.17 hPa。三种污染物的日均浓度分别为 31.76、53.44 和 117.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

图 1 所示为北京市水汽压与日均气温的散点分布，总体上水汽压与气温同向变化，体现其水、热同向变化的特征。用对数函数拟合二者的关系为： $T = 10.018 \ln e - 5.6349$ ，其解释方差 R^2 高达 0.819 (图 1)。

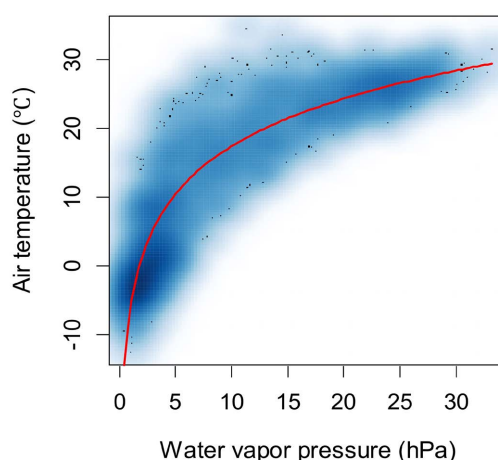


Figure 1. The relationship between air temperature and vapor pressure in Beijing

图 1. 北京市水汽压与日均气温的关系

考虑到湿度变量和温度指标有内在关联性，简单的二元相关不能体现气象条件和发病的真实关系，故进行急诊数和气象变量之间的偏相关性分析，以排除因素间的交叉影响(表 2)。发现排除了平均气温作用后，高血压急诊人次与湿度变量、特别是水汽压之间呈显著负相关($R = -0.127$, $P < 0.01$)。然而，若控制了水汽压的影响后，气温与发病之间的相关性几乎不显著(表 2)。此外，消除温度效应后，日照时数与高血压发病呈显著正相关(表 2)。

Table 2. The partial correlations between HBP ER-visits and meteorological variables

表 2. 高血压急诊人数与气象要素的偏相关分析

控制变量		总人数	男性	女性	<45 岁	45~65 岁	>65 岁
平均温度($^{\circ}\text{C}$)	e	R	-0.024	0.000	-0.044	0.004	-0.049*
		Sig.	0.297	0.988	0.059	0.857	0.038
	P, e, S, V	R	0.034	0.041	0.020	0.011	0.009
		Sig.	0.149	0.082	0.393	0.626	0.704
水汽压(hPa)	T	R	-0.127**	-0.133**	-0.096**	-0.130**	-0.097**
		Sig.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	T, P, S, V	R	-0.124**	-0.13**	-0.092**	-0.129**	-0.094**
		Sig.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Continued

相对湿度(%)	T	R	-0.073**	-0.082**	-0.049	-0.105**	-0.055*	-0.034
		Sig.	0.002	0.001	0.036	0.000	0.018	0.141
日照时数(小时)	T	R	0.061**	0.065**	0.045	0.071**	0.049*	0.037
		Sig.	0.009	0.005	0.052	0.002	0.036	0.110
风速(m/s)	T	R	-0.028	-0.021	-0.029	0.033	-0.041	-0.038
		Sig.	0.240	0.371	0.222	0.160	0.083	0.104

注: R—相关系数; Sig.—显著性水平; P—平均气压; T—平均温度; e—水汽压; S—日照时数; V—风速。**表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著。

北京市水汽压的频率分布见图 2, 第 50 分位数以上的高水汽压天数分布相对均匀, 而绝对水汽含量低于 25 百分位数(3.0 hPa)的天数频次显著偏高, 这体现北京低湿度的天数相对偏多。

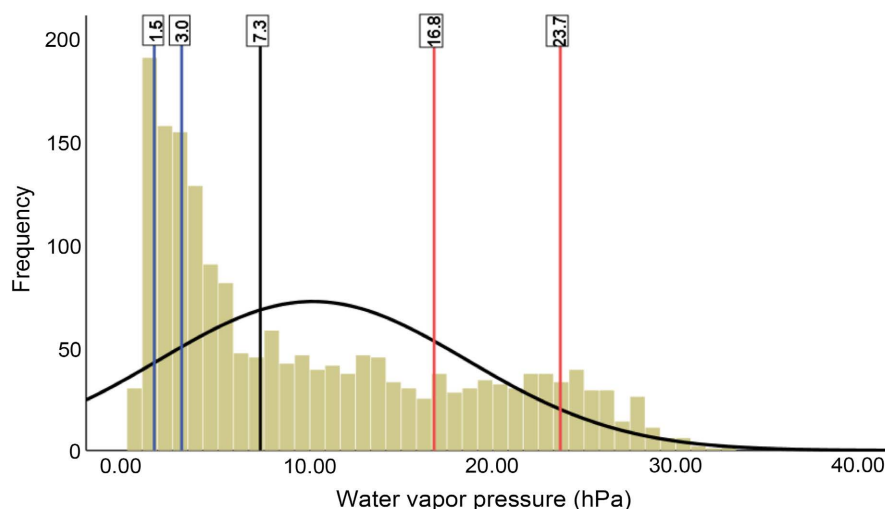


Figure 2. The frequency distribution of vapor pressure during 2008~2012

图 2. 2008~2012 年北京市水汽压的频率分布

3.2. 水汽压 - 高血压风险的非线性关系

基于相关分析结果(表 2), 在同时控制多项混杂因素的基础上, 采用非线性时间序列模型, 拟合出水汽压与高血压急诊之间的定量关联(图 3(a))及其总体效应(图 3(b))。

图 3(a)显示, 低和高的水汽压对高血压发病均产生即时性的强烈影响(高 RR), 就诊当日总体效应呈“V”形, RR 最低的水汽压阈值范围约 18~20 hPa。此外, 在滞后 6~10 天, 极端高水汽压出现一定的滞后效应; 而低水汽压的影响随时间减弱(图 3(a))。滞后 12d 时, 所有水汽压效应减弱消失。图 3(b)揭示 21~22 hPa 对应高血压急诊风险最低点, 暴露 - 反应曲线总体呈 V 型。

由于人体生理机制和行为习惯存在性别差异, 分别做出滞后累积 12 d 时水汽压对男、女性的总体效应(图 4)。表 3 所示为选取的水汽压典型百分位数(第 5、10、50、90 和 95 分位数, 分别对应 1、2、7、24 和 26 hPa)在不同滞后时间下对各组人群的累积影响。由图 4 和表 3 可知, 水汽压对两性的总体效应有一定区别, 极端和偏低的水汽压均对男性存在显著影响, 而高湿度的效应不显著, 阈值范围在 18~22 hPa; 女性对高水汽压更为敏感, 20 hPa 以上的水汽压效应大致呈线性增加。

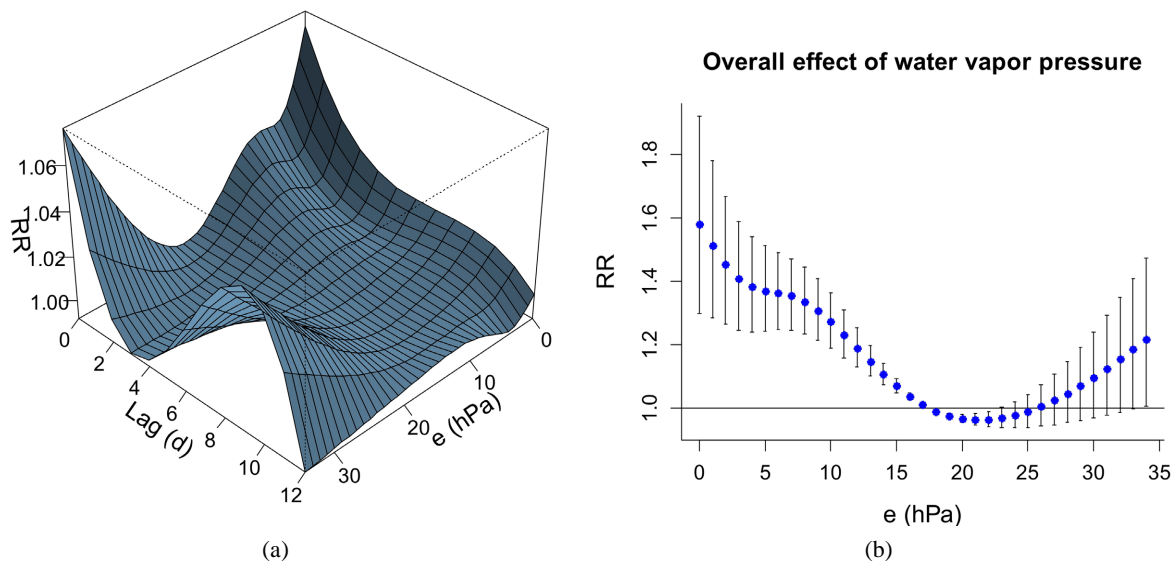


Figure 3. The lag effect of vapor pressure on ER admissions for high blood pressure

图3. 水汽压与全人群高血压风险的滞后关联性

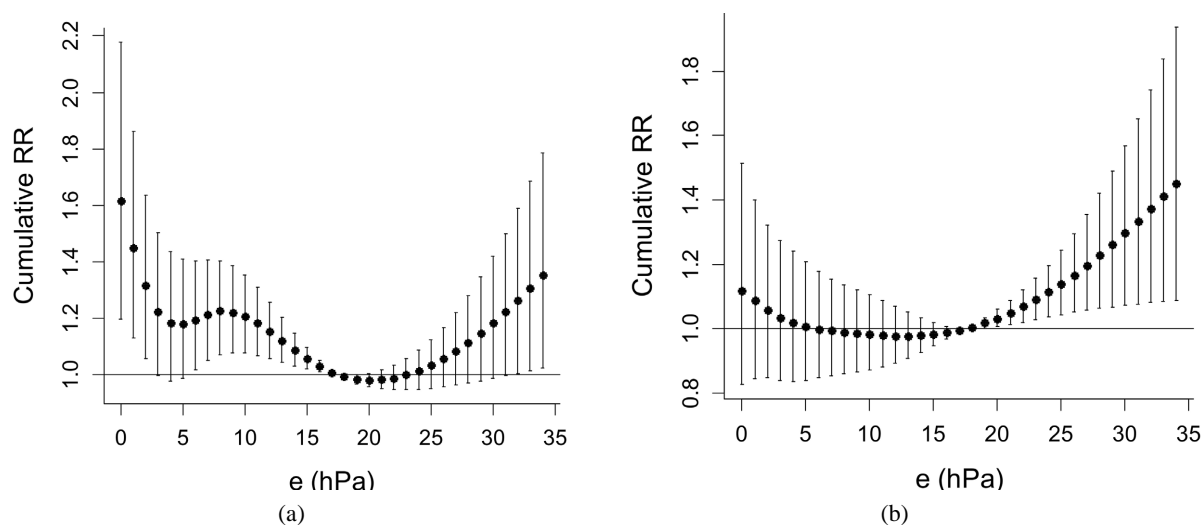


Figure 4. The cumulative effect of vapor pressure on sub-groups ((a) Male, (b) Female) for HBP

图4. 水汽压对性别亚组高血压风险的累积滞后影响

Table 3. Effect of typical vapor pressure on hypertension risk under different lag periods

表3. 典型水汽压值在不同滞后期对高血压风险的影响

RR	P ₅	P ₁₀	P ₅₀	P ₉₀	P ₉₅	
总人数	Lag 0~2 d	1.127 (1.007~1.261)	1.097 (0.995~1.210)	1.071 (1.000~1.146)	1.007 (0.966~1.049)	1.021 (0.963~1.082)
	Lag 0~7 d	1.210 (1.050~1.394)	1.151 (1.016~1.305)	1.097 (1.003~1.200)	1.010 (0.963~1.060)	1.030 (0.962~1.103)
	Lag 0~12 d	1.266 (1.056~1.517)	1.187 (1.012~1.392)	1.099 (0.988~1.222)	1.158 (1.007~1.112)	1.102 (1.025~1.185)
男性	Lag 0~2 d	1.148 (0.985~1.337)	1.108 (0.971~1.265)	1.089 (0.993~1.194)	0.983 (0.929~1.041)	0.990 (0.913~1.074)
	Lag 0~7 d	1.299 (1.069~1.578)	1.218 (1.026~1.446)	1.133 (1.002~1.282)	0.961 (0.899~1.027)	0.963 (0.875~1.058)
	Lag 0~12 d	1.450 (1.130~1.861)	1.315 (1.057~1.637)	1.215 (1.050~1.406)	1.016 (0.949~1.087)	1.058 (0.957~1.169)

Continued

	Lag 0~2 d	1.081 (0.924~1.265)	1.056 (0.921~1.212)	1.032 (0.937~1.137)	1.054 (0.993~1.118)	1.085 (0.998~1.181)
女性	Lag 0~7 d	1.120 (0.918~1.367)	1.083 (0.908~1.292)	1.058 (0.931~1.202)	1.075 (1.003~1.152)	1.124 (1.018~1.241)
	Lag 0~12 d	1.087 (0.844~1.400)	1.059 (0.847~1.322)	0.994 (0.856~1.155)	1.114 (1.036~1.197)	1.167 (1.051~1.297)
	Lag 0~2 d	1.342 (1.060~1.699)	1.285 (1.048~1.575)	1.088 (0.945~1.252)	0.992 (0.906~1.086)	0.989 (0.869~1.127)
<45 岁	Lag 0~7 d	1.550 (1.159~2.072)	1.518 (1.176~1.960)	1.212 (1.009~1.455)	0.946 (0.852~1.051)	0.926 (0.795~1.079)
	Lag 0~12 d	1.760 (1.229~2.520)	1.750 (1.281~2.391)	1.403 (1.140~1.726)	0.923 (0.831~1.025)	0.908 (0.776~1.061)
	Lag 0~2 d	1.137 (0.954~1.355)	1.089 (0.935~1.267)	1.050 (0.944~1.168)	0.972 (0.911~1.037)	0.970 (0.884~1.063)
45~65 岁	Lag 0~7 d	1.059 (0.851~1.318)	1.000 (0.824~1.214)	0.992 (0.862~1.141)	0.993 (0.920~1.071)	0.998 (0.896~1.112)
	Lag 0~12 d	1.169 (0.888~1.539)	1.080 (0.849~1.375)	1.008 (0.858~1.185)	1.093 (1.011~1.182)	1.148 (1.025~1.287)
	Lag 0~2 d	1.041 (0.866~1.251)	1.042 (0.889~1.222)	1.107 (0.990~1.237)	1.045 (0.978~1.117)	1.087 (0.989~1.194)
>65 岁	Lag 0~7 d	1.253 (0.994~1.578)	1.178 (0.961~1.444)	1.175 (1.016~1.359)	1.059 (0.981~1.144)	1.122 (1.005~1.251)
	Lag 0~12 d	1.213 (0.904~1.629)	1.112 (0.858~1.440)	1.079 (0.908~1.283)	1.097 (1.012~1.189)	1.170 (1.041~1.315)

注：表中粗体表示 RR 通过了显著性水平为 0.05 的检验。

图 5 为各年龄段高血压风险与水汽压的滞后关系。发现中、青年人群受低湿度的即时性影响较突出，高湿度效应滞后(图 5(a)、图 5(b)，表 3)；65 岁以上的老年人受高湿度的影响更大，在就诊当天最强(图 5(c))，累积滞后 12 d 时依然显著。

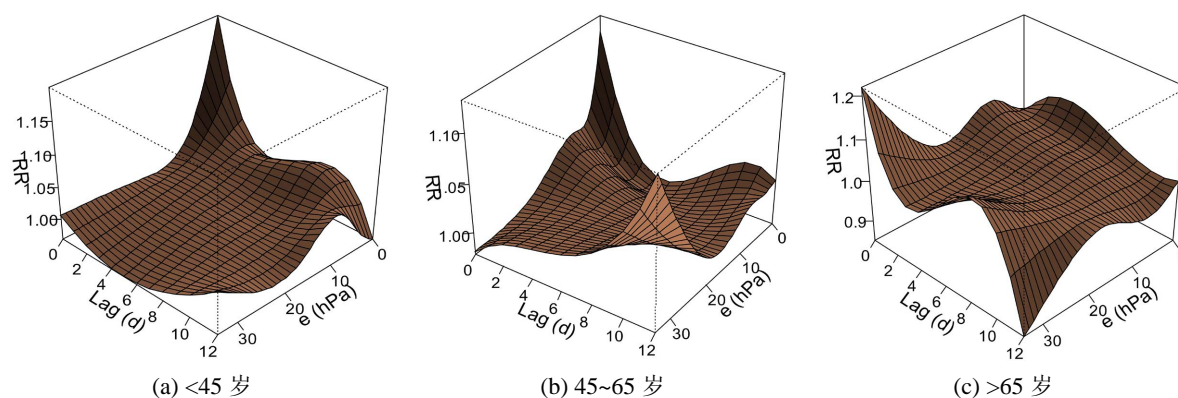


Figure 5. The 3-dimensional exposure-response relationships between hypertension risk with vapor pressure by age stratification

图 5. 按年龄分层的高血压风险 - 水汽压的暴露 - 响应关系三维图

4. 讨论

在考虑气温和空气污染物等混杂因素的基础上，本研究首次量化了水汽压对北京地区高血压急诊风险的影响。综观现阶段交叉学科研究，对于气象条件对循环系统疾病的影响，极少关注大气湿度，而其效应可能被低估，且湿度变量的选择可能直接影响结果[23]。水汽压与其他气象要素相对独立，能较好地代表大气绝对湿度条件。再者，相较于气温，水汽压在室内、外更容易达到动态平衡。

偏相关分析去除了气温的作用后，揭示水汽压与高血压急诊人数间存在显著关系。非线性时间序列模型显示，就总人群而言，极端偏高或偏低的水汽压均有显著影响，且即时性强，随滞后时间而减弱。

由于北京特定气候背景下水汽压的频率分布并不均匀, 偏向于低湿度一侧, 因此干燥大气总体上造成的高血压风险更强。

目前, 气象因子增加高血压风险的确切机制尚不十分清楚, 一般认为引起交感神经系统和肾素血管紧张素系统兴奋, 导致血管收缩因子升高和心肌细胞兴奋, 进而增强心肌收缩力, 使心率上升、心肌耗氧量增加, 诱发血压升高[5] [31]。此外, 水汽和气温同时影响人体体温调节中枢, 高湿环境容易引起热调节障碍, 在低温下加剧热散发速率, 体表循环进一步向脏器集中; 而高温下的高水汽会阻碍汗液蒸发, 体表血液循环增加, 引起脱水、热衰竭, 甚至全身炎症反应[5]。

分层研究显示, 性别和年龄对水汽压 - 急诊人数间关系都有明显修正效应。具体表现为, 男性和青年人受低水汽压的影响极强, 且即时产生; 女性和 65 岁以上的老年人对高水汽压的响应更强, 具有即时性和短期滞后性。生理结构、激素水平、生活习惯、户外活动时间、体力劳动强度等方面的差异可能导致上述区别。一般认为, 女性和老年人更容易受到环境因素的影响[32]; Lewington 等[33]研究也显示, 在中国 10 个不同地区, 老年人收缩压的季节性差异较大。

此外, 日照时数在偏相关分析中与高血压就诊人数显著正相关, 其可能影响为: 首先, 人体的热感觉对直接辐射敏感, 导致体表毛细血管收缩或松弛[34]。其次, 阳光通过调节荷尔蒙分泌(如褪黑素)也会影响睡眠质量, 进而影响血压。第三, 日照很大程度上决定户外活动的概率和时间。尽管风速会改变体表与环境之间的传热效率, 但在相关分析中没有显示出关联性, 长期处于室内环境和衣物调节可能会显著削弱这种影响。

虽然气象条件对疾病的影响是相对间接的, 但仍可能加剧相关风险或诱发急症, 需要提高预防意识。此外, 考虑到部分高血压病人存在并发症, 下一步将对特定亚群进行更有针对性的分析。

5. 结论

1) 本研究率先揭示水汽压与高血压急诊风险之间的显著关联性, 充实了该领域医疗气象学的研究。发现水汽压效应独立于其它气象因子, 其与高血压急诊风险的暴露 - 响应曲线呈“V”型分布;

2) 分层研究发现, 水汽压偏低对男性和青年组发病的影响显著, 女性和老年人对偏高水汽压的敏感性更强;

3) 极端水汽压在就诊当天对高血压风险产生即时性影响, 且极端偏低水汽压的累积滞后效应更强。

致 谢

感谢国家人口与健康科学数据中心“气象环境与健康专题服务”中心提供数据。

基金项目

商洛气候适应型城市重点实验室开放基金项目(SLSYS2019004); 成都信息工程大学大学生创新训练项目(202210621007)。

参考文献

- [1] Zhou, M., Wang, H., Zeng, X., *et al.* (2019) Mortality, ER Visits, and Risk Factors in China and Its Provinces, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, **394**, 1145-1158. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30427-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30427-1)
- [2] Wang, Z., Chen, Z., Zhang, L., *et al.* (2018) Status of Hypertension in China: Results from the China Hypertension Survey, 2012-2015. *Circulation*, **137**, 2344-2356. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.032380>
- [3] Wang, X., Bots, M.L., Yang, F., *et al.* (2014) Prevalence of Hypertension in China: A Systematic Review and Meta-Regression Analysis of Trends and Regional Differences. *Journal of Hypertension*, **32**, 1919-1927.

- <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000000252>
- [4] Reynolds, K., Gu, D., Muntner, P., *et al.* (2003) Geographic Variations in the Prevalence, Awareness, Treatment and Control of Hypertension in China. *Journal of Hypertension*, **21**, 1273-1281. <https://doi.org/10.1097/00004872-200307000-00014>
- [5] 韦性富, 郑山, 翁俊, 等. 甘肃省金昌市气温变化对高血压门诊急诊就诊人数影响的时间序列分析[J]. 环境与职业医学, 2019, 36(5): 452-458.
- [6] Yang, L., Li, L., Lewington, S., *et al.* (2015) Outdoor Temperature, Blood Pressure, and Cardiovascular Disease Mortality among 23,000 Individuals with Diagnosed Cardiovascular Diseases from China. *European Heart Journal*, **36**, 1178-1185. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv023>
- [7] Sega, R., Cesana, G., Bombelli, M., *et al.* (1998) Seasonal Variations in Home and Ambulatory Blood Pressure in the Pamela Population. *Journal of Hypertension*, **16**, 1585-1592. <https://doi.org/10.1097/00004872-199816110-00004>
- [8] Brennan, P.J., Greenberg, G., Miall, W.E., *et al.* (1982) Seasonal Variation in Arterial Blood Pressure. *British Medical Journal*, **285**, 919-923. <https://doi.org/10.1136/bmj.285.6346.919>
- [9] Minami, J., Ishimitsu, T., Kawano, Y., *et al.* (1998) Seasonal Variations in Office and Home Blood Pressures in Hypertensive Patients Treated with Antihypertensive Drugs. *Blood Pressure Monitoring*, **3**, 101-106.
- [10] Vandongen, R., Jenner, D.A. and English, D.R. (1989) Determinants of Blood Pressure in Childhood and Adolescence. *Journal of Hypertension*, **7**, S3-S5. <https://doi.org/10.1097/00004872-198902001-00002>
- [11] Woodhouse, P.R., Khaw, K.T. and Plummer, M. (1993) Seasonal Variation of Blood Pressure and Its Relationship to Ambient Temperature in an Elderly Population. *Journal of Hypertension*, **11**, 1267-1274. <https://doi.org/10.1097/00004872-199311000-00015>
- [12] Rose, G. (1961) Seasonal Variation in Blood Pressure in Man. *Nature*, **189**, 235. <https://doi.org/10.1038/189235a0>
- [13] Brook, R.D., Weder, A.B. and Rajagopalan, S. (2011) "Environmental Hypertensionology" the Effects of Environmental Factors on Blood Pressure in Clinical Practice and Research. *The Journal of Clinical Hypertension*, **13**, 836-842. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7176.2011.00543.x>
- [14] Madaniyazi, L., Zhou, Y., Li, S., *et al.* (2016) Outdoor Temperature, Heart Rate and Blood Pressure in Chinese Adults: Effect Modification by Individual Characteristics. *Scientific Reports*, **6**, Article No. 21003. <https://doi.org/10.1038/srep21003>
- [15] Wang, Q., Li, C., Guo, Y., *et al.* (2017) Environmental Ambient Temperature and Blood Pressure in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Science of the Total Environment*, **575**, 276-286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.019>
- [16] Rafał, S., Rakesh, J., Ewa, D., *et al.* (2019) UCI as a Bio-Meteorological Tool in the Assessment of Cold-Induced Stress as a Risk Factor for Hypertension. *Science of the Total Environment*, **688**, 970-975. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.280>
- [17] Abrignani, M.G., Corrao, S., Biondo, G.B., *et al.* (2012) Effects of Ambient Temperature, Humidity, and Other Meteorological Variables on Hospital Admissions for Angina Pectoris. *European Journal of Preventive Cardiology*, **19**, 342-348. <https://doi.org/10.1177/1741826711402741>
- [18] 王敏珍, 郑山, 王式功, 等. 气温与湿度的交互作用对呼吸系统疾病的影响[J]. 中国环境科学, 2016, 36(2): 581-588.
- [19] Jehn, M., Appel, L.J., Sacks, F.M., *et al.* (2002) The Effect of Ambient Temperature and Barometric Pressure on Ambulatory Blood Pressure Variability. *American Journal of Hypertension*, **15**, 941-945. [https://doi.org/10.1016/S0895-7061\(02\)02999-0](https://doi.org/10.1016/S0895-7061(02)02999-0)
- [20] Yang, B.Y., Zhang, Y., Xu, C.Y., *et al.* (2013) Effects of Meteorological Elements on Admission Rates of Cerebral Infarction Patients with Hypertensive Nephropathy from Nine Hospitals in Changchun City, Jilin Province. *Chinese Medical Journal (English)*, **126**, 1934-1938.
- [21] Goggins, W.B., Woo, J., Suzanne, H., *et al.* (2012) Weather, Season, and Daily Stroke Admissions in Hong Kong. *International Journal of Biometeorology*, **56**, 865-872. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0491-9>
- [22] 曾洁, 张学海, 林爱华, 等. 2010-2013 年浙江省相对湿度对呼吸系统疾病死亡的影响[J]. 中华疾病控制杂志, 2018, 22(5): 455-458, 463.
- [23] Davis, R.E., McGregor, G.R. and Enfield, K.B. (2015) Humidity: A Review and Primer on Atmospheric Moisture and Human Health. *Environmental Research*, **144**, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.10.014>
- [24] Ma, P., Zhou, J., Wang, S., *et al.* (2018) Differences of Hemorrhagic and Ischemic Strokes in Age Spectra and Responses to Climatic Thermal Conditions. *Science of the Total Environment*, **644**, 1573-1579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.080>
- [25] 赵否曦, 刘涛. 偏相关分析在脉压相关因素研究中的运用[J]. 中国卫生统计, 2016, 33(3): 497-499.

-
- [26] Hastie, T. and Tibshirani, R. (1995) Generalized Additive Models for Medical Research. *Statistical Methods in Medical Research*, **4**, 187-196. <https://doi.org/10.1177/096228029500400302>
- [27] Gasparrini, A. (2011) Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: The Package Dlnm. *Journal of Statistical Software*, **43**, 1-20. <https://doi.org/10.18637/jss.v043.i08>
- [28] Gu, S., Huang, C., Bai, L., *et al.* (2016) Heat-Related illness in China, Summer of 2013. *International Journal of Biometeorology*, **60**, 131-137. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1011-0>
- [29] Zhang, J. and Kai, F.Y. (1998) What's the Relative Risk: A Method of Correcting the Odds Ratio in Cohort Studies of Common Outcomes. *JAMA*, **280**, 1690-1691. <https://doi.org/10.1001/jama.280.19.1690>
- [30] Liu, C., Chen, R., Zhao, Y., *et al.* (2017) Associations between Ambient Fine Particulate Air Pollution and Hypertension: A Nationwide Cross-Sectional Study in China. *Science of the Total Environment*, **584**, 869-874. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.133>
- [31] 况正中. 热浪期间突然强降温天气对高血压疾病影响的机理研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [32] Yu, W., Vaneckova, P., Mengersen, K., *et al.* (2010) Is the Association between Temperature and Mortality Modified by Age, Gender and Socio-Economic Status? *Science of the Total Environment*, **408**, 3513-3518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.058>
- [33] Lewington, S., Li, L., Sherliker, P., *et al.* (2012) Seasonal Variation in Blood Pressure and Its Relationship with Outdoor Temperature in 10 Diverse Regions of China. *Journal of Hypertension*, **30**, 1383-1391. <https://doi.org/10.1097/HJH.0b013e32835465b5>
- [34] Hodder, S.G. and Parsons, K. (2007) The Effects of Solar Radiation on Thermal Comfort. *International Journal of Biometeorology*, **51**, 233-250. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0050-y>