

中国四城市温度对居民心脑血管疾病死亡影响的时间序列研究

曾韦霖 李光春 肖义泽 许燕君 许晓君 刘涛 罗圆 肖建鹏 马文军

【摘要】 目的 了解中国昆明、长沙、广州和珠海四城市温度在不同滞后日对心脑血管疾病(ICD-10: I00~I99)死亡的影响。方法 收集四城市心脑血管疾病死亡与气象资料、大气污染物数据,利用分布滞后非线性模型研究不同城市温度与死亡关系,分析低温、中间温度、高温在不同滞后期对心脑血管疾病死亡的累积效应,并用一般线性阈值模型评估温度对死亡的累积冷热效应。结果 四城市温度与死亡关系呈非线性,四城市居民最小死亡风险对应温度分别为长沙22.0℃、昆明20.0℃、广州26.0℃、珠海25.5℃;在研究滞后期间内低温所致最大累积死亡风险值(95%CI)四城市分别为1.858(1.089~3.170)、1.537(1.306~1.809)、2.121(1.771~2.540)和1.934(1.469~2.548),高温分别为1.100(0.816~1.483)、1.061(0.956~1.177)、1.134(1.047~1.230)和1.259(1.104~1.436)。温度当天热效应大于冷效应,但随着滞后日增加,热效应迅速下降,而冷效应急剧上升,并持续至3~4周。结论 温度与心脑血管疾病死亡呈非线性关系。低温和高温均可增加心脑血管疾病的死亡风险,以低温的影响更显著。冷效应持续时间长,热效应短暂急促。

【关键词】 心脑血管疾病; 温度; 死亡; 时间序列研究

The impact of temperature on cardiovascular disease deaths in 4 cities, China: a time-series study ZENG Wei-lin¹, LI Guang-chun², XIAO Yi-ze³, XU Yan-jun⁴, XU Xiao-jun⁴, LIU Tao^{1,4}, LUO Yuan^{1,4}, XIAO Jian-peng^{1,4}, MA Wen-jun^{1,4}. 1 Guangdong Institute of Public Health, Guangzhou 510300, China; 2 Hunan Provincial Centers for Disease Control and Prevention; 3 Yunnan Provincial Centers for Disease Control and Prevention; 4 Guangdong Provincial Centers for Disease Control and Prevention

Corresponding author: MA Wen-jun, Email: mwj68@tom.com

This work was supported by a grant from the Project Adapting to Climate Change in China (No. ACCC/20100528).

【Abstract】 **Objective** To estimate the effects of temperature on cardiovascular disease (CVD) deaths in 4 cities—Kunming, Changsha, Guangzhou and Zhuhai, from southern part of China. **Methods** Daily CVD deaths, meteorological and air pollution data were used to explore the association between temperature and mortality. Distributed lag non-linear model was fitted for each city to access the delayed and cumulative effects of low, median and high temperature on CVD deaths. Cold and hot effects of temperature on CVD deaths were then accessed, based on the linear threshold model. **Results** The city-specific exposure-response functions appeared to be non-linear. Temperatures that associated with the lowest mortality for Changsha, Kunming, Guangzhou and Zhuhai were 22.0℃, 20.0℃, 26.0℃, and 25.5℃. The greatest cumulative RRs (95%CI) for CVD deaths of low temperature during the delayed period of the study in the 4 cities were 1.858 (1.089–3.170), 1.537 (1.306–1.809), 2.121 (1.771–2.540) and 1.934 (1.469–2.548), while 1.100 (0.816–1.483), 1.061 (0.956–1.177), 1.134 (1.047–1.230) and 1.259 (1.104–1.436) for high temperatures in Changsha, Kunming, Guangzhou and Zhuhai respectively. The hot effect was greater than the cold effect on the current days. The hot effect was restricted to the first week, whereas the cold effect increased over the lag days, and then last for 3–4 weeks. **Conclusion** The city-specific exposure-response functions appeared to be non-linear. Both high and cold temperatures were associated with increased CVD deaths, but the impact of low temperature was more notable. Cold effect was delayed by several days but last for a longer period than the hot effect did.

【Key words】 Cardiovascular disease; Temperature; Mortality; Time series study

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2012.10.006

基金项目:中英瑞适应气候变化项目(ACCC/20100528)

作者单位:510300 广州,广东省公共卫生研究院(曾韦霖、刘涛、罗圆、肖建鹏、马文军);湖南省疾病预防控制中心(李光春);云南省疾病预防控制中心(肖义泽);广东省疾病预防控制中心(许燕君、许晓君、刘涛、罗圆、肖建鹏、马文军)

曾韦霖、李光春同为第一作者

通信作者:马文军, Email: mwj68@vip.tom.com

心脑血管疾病是死亡的主要原因之一,2008年全球估计有1730万人死于心脑血管病,占全球死亡的30.0%^[1]。心脑血管疾病死亡不仅与饮食习惯、缺乏运动等因素有关,也受气象因素变化的影响。温度与人群心脑血管疾病死亡呈非线性关系,且温度的影响还存在滞后效应^[2-4]。目前国内已有少量关于温度对心脑血管疾病死亡影响的研究,但较少考虑温度的滞后效应,且多局限于某个城市^[5]。温度对心脑血管疾病死亡的影响可能与地域、气候类型以及人群特征有关,也可能与不同研究的选择方法不同有关。因此,本研究收集四个城市心脑血管疾病死亡与气象资料数据,分析城市温度对人群心脑血管疾病的死亡效应大小,从而为开展多个城市的研究提供科学依据。

资料与方法

1. 研究资料:从长沙市、昆明市和广东省疾病预防控制中心(CDC)收集2006—2009年长沙市、昆明市和2006—2010年广州市、珠海市四城市的居民逐日死亡资料。心脑血管疾病(ICD-10: I00~I99)指心脏和血管疾病,包括冠心病、脑血管病、周围血管病、心脏病等。其中长沙市包括天心区,广州市包括越秀区和荔湾区,昆明和珠海市包括全市数据。相应时段主要的气象数据(逐日平均气温、平均相对湿度、平均气压)分别来源于各城市气象局;相应时段逐日空气污染指数(air pollution index, API)资料分别来源于各城市环境保护局网站。API是将常规监测的SO₂, NO₂, PM₁₀三种空气污染物浓度简化成单位的概念性指数形式,用于评估空气质量状况。

2. 统计学分析:利用R 2.14.2软件dlnm软件包拟合分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)研究温度在不同滞后天数对居民心脑血管疾病逐日死亡人数的影响。该模型由Gasparrini等^[6]于2010年提出,可同时考虑暴露-反应的非线性关系及暴露变量的滞后作用。同时控制时间和季节趋势、相对湿度、气压、星期几效应以及空气污染物等混杂因素,基本公式为:

$$\log E[Y_i] = \alpha + \beta T_{i,l} + \sum_{i=1}^m NS_i(Z_i, df) + DOW_i + API_i$$

其中:Y_i为第*t*天城市*c*的心脑血管逐日死亡人数实测值;α为模型系数;T_{i,l}为日平均温度矩阵,*l*为滞后日,β为T_{i,l}的系数;NS为自然样条函数;df为自由度,根据赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)^[7]确定;Z_i为与因变量非线性相关的

协变量,包括时间和季节趋势、日相对湿度、日平均气压;DOW_i为星期几哑元变量;API_i为第*t*天城市*c*的空气污染指数。

各城市的阈值温度是指死亡风险最小时所对应的温度(minimum mortality temperature, MMT)。通过拟合温度与心脑血管疾病死亡的暴露-反应关系曲线确定各城市的MMT。为研究各城市不同温度在不同滞后日对心脑血管死亡的累积效应,以MMT为参照,分别计算各城市低温(逐日平均温度的第5百分位数)、中间温度(逐日平均温度的中位数)和高温(逐日平均温度的第95百分位数)三个温度在0、6、13、20和27 d等不同滞后日的累积效应,用相对风险(RR)表示。为进一步比较不同城市温度对死亡的冷热效应大小,以各城市MMT为临界点,采用一般线性阈值模型,分别计算温度每降低或增加1℃对死亡影响的RR值。以上过程先对单个城市进行分析,然后用Meta分析对多个城市进行效应合并。

结 果

1. 基本情况:四城市按纬度位置从高到低依次为:长沙(28°11'N)、昆明(25°02'N)、广州(23°06'N)、珠海(22°30'N)。各城市居民心脑血管疾病死亡、气象资料和空气污染指数的基本情况见表1。心脑血管疾病日均死亡人数长沙市较低(2人/日),昆明市较高(26人/日)。昆明全年气候较为温和,逐日平均温度均值较低(16.0±4.5)℃;长沙四季分明,冬冷夏热;广州和珠海常年气温较高(逐日平均温度均值分别为22.9℃和23.1℃)。四城市的逐日平均相对湿度相近,逐日平均气压值昆明较低,API值珠海市较低。

2. 温度在不同滞后日与心脑血管疾病死亡风险关系:四城市MMT分别为长沙22.0℃、昆明20.0℃、广州26.0℃、珠海25.5℃。各城市温度在不同滞后日与死亡风险关系呈非线性,但曲线形状不尽相同。温度滞后0 d时,广州和珠海市温度≥30℃时死亡效应最大,在持续1~2 d左右下降至较低水平。随着滞后日增加,各城市低温效应逐渐增加,在滞后3 d左右达到峰值(图1)。

3. 温度在不同滞后日对心脑血管疾病死亡的累积效应:表2显示,四城市不同温度在不同滞后日对心脑血管疾病死亡的最大累积效应RR值(95%CI)分别为:低温1.858(1.089~3.170)、1.537(1.306~1.809)、2.121(1.771~2.540)和1.934(1.469~2.548),高温分别为1.100(0.816~1.483)、1.061(0.956~

表 1 四城市居民心脑血管疾病死亡、气象资料、空气污染指数基本情况

变量	$\bar{x} \pm s$	P ₂₅	M	P ₇₅	最小值	最大值
逐日死亡人数(例)						
长沙	2±2	1	2	3	0	9
昆明	26±9	20	25	32	8	61
广州	11±4	8	10	13	1	36
珠海	4±2	2	4	5	1	15
逐日平均温度(℃)						
长沙	18.5±9.2	10.0	20.0	26.5	-2.6	34.1
昆明	16.0±4.5	12.3	17.1	19.8	2.2	24.6
广州	22.9±6.2	18.6	24.4	27.8	5.4	33.5
珠海	23.1±5.5	19.0	24.3	27.6	6.5	32.1
逐日相对湿度(%)						
长沙	76.4±11.7	69	77	85	29	99
昆明	69.4±14.7	61	72	79	27	100
广州	71.1±13.0	64	72	81	25	99
珠海	76.6±13.0	71	78	86	24	100
逐日平均气压(kPa)						
长沙	100.9±0.9	100.1	100.8	101.6	98.5	103.3
昆明	81.0±0.3	80.8	81.0	81.3	80.3	82.2
广州	100.8±0.7	100.3	100.7	101.3	98.9	102.7
珠海	100.7±0.6	100.2	100.6	101.1	98.7	102.4
逐日 API						
长沙	76.4±27.8	59	73	91	16	443
昆明	62.4±14.6	53	61	71	21	146
广州	61.3±23.9	46	59	74	11	179
珠海	45.9±21.6	28	43	60	3	129

的累积冷热效应见图 2。冷效应表现为持久缓慢，而热效应表现为短暂急促。在温度不滞后(lag0)时，热效应大于冷效应，随着滞后天数的增加，冷效应逐渐增大，热效应逐渐减小。在温度滞后 1 周(lag0-6)时，累积冷效应明显增大，而热效应下降(昆明市除外)。在温度滞后 2 周(lag0-13)后，累积冷效应继续增加，但增幅放缓，而累积热效应均无统计学意义。

讨 论

目前关于温度与死亡关系研究大多在欧美等发达地区，国内研究多局限于单个城市。不同研究在模型类型、参数和混杂因素等选择的不一致容易出现研究间异质性^[8]，因此同时开展多个地区的研究十分必要。本研究采用分布滞后非线性模型，分析中国南方多个城市温度与心脑血管疾病死亡的非线性关系及温度的滞后效应，结果具有可比性。

本研究表明，温度与心脑血管疾病死亡呈非线性关系，长沙(22.0℃)、昆明(20.0℃)心脑血管疾病的 MMT 比广州(26.0℃)、珠海(25.5℃)高，这与 Curriero 等^[9]提出的低纬度地区 MMT 较高一致。较低纬度地区夏季炎热时间长，人群受生理和行为适应性及文化因素、相关政策影响，对热适应较好。虽同属南方城市，但各城市温度死亡曲线形状不同(图

1.177)、1.134(1.047~1.230)和 1.259(1.104~1.436)。分析结果显示，低温的影响表现为长期效应，随着滞后日增加而增大。昆明、珠海市低温在滞后 20 d 时死亡效应最大，而长沙、广州市滞后 27 d 时效应最大。与低温不同，高温表现为急性效应。广州和珠海市均在高温当天的死亡效应最大，长沙在滞后 6 d 时效应最大。高温与低温比较，除了不滞后(lag0)外，其他滞后日的累积效应，低温的死亡效应均比高温强(表 2)。

4. 温度在不同滞后日对心脑血管疾病死亡的累积冷热效应：四城市温度在不同滞后日对心脑血管疾病死亡

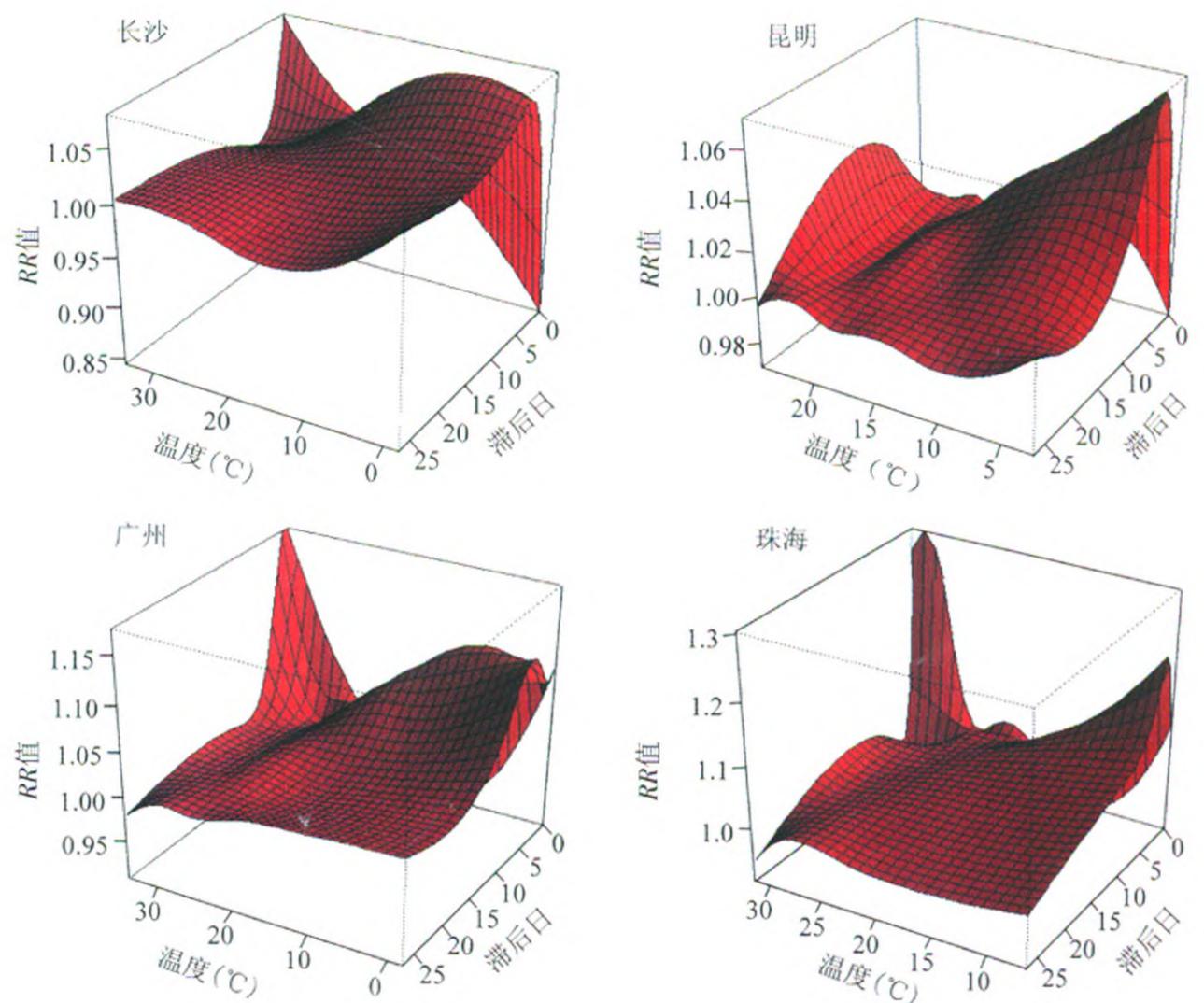


图 1 四城市温度在不同滞后天数时与心脑血管疾病死亡风险关系三维图

表 2 四城市温度在不同滞后日对心脑血管疾病死亡的累积效应[RR 值(95%CI)]

温 度	长 沙	昆 明	广 州	珠 海
低温				
lag0	0.972(0.696 ~ 1.358)	1.143(1.038 ~ 1.258)	1.226(1.102 ~ 1.364)	1.103(0.935 ~ 1.300)
lag0-6	1.202(0.824 ~ 1.753)	1.365(1.212 ~ 1.537)	1.703(1.497 ~ 1.938)	1.541(1.242 ~ 1.911)
lag0-13	1.683(1.110 ~ 2.552)	1.485(1.283 ~ 1.720)	1.915(1.653 ~ 2.219)	1.822(1.422 ~ 2.336)
lag0-20	1.522(0.945 ~ 2.452)	1.537(1.306 ~ 1.809)	2.054(1.737 ~ 2.430)	1.934(1.469 ~ 2.548)
lag0-27	1.858(1.089 ~ 3.170)	1.523(1.270 ~ 1.827)	2.121(1.771 ~ 2.540)	1.883(1.407 ~ 2.521)
中间温度				
lag0	1.020(0.973 ~ 1.068)	0.985(0.946 ~ 1.025)	1.007(0.981 ~ 1.034)	1.013(0.976 ~ 1.051)
lag0-6	1.036(0.976 ~ 1.100)	1.027(0.966 ~ 1.092)	1.061(1.025 ~ 1.099)	1.040(0.990 ~ 1.092)
lag0-13	1.095(1.020 ~ 1.174)	1.046(0.968 ~ 1.130)	1.070(1.026 ~ 1.115)	1.049(0.990 ~ 1.112)
lag0-20	1.062(0.979 ~ 1.152)	1.078(0.985 ~ 1.180)	1.065(1.014 ~ 1.118)	1.042(0.974 ~ 1.115)
lag0-27	1.086(0.991 ~ 1.190)	1.072(0.967 ~ 1.189)	1.063(1.003 ~ 1.127)	1.048(0.968 ~ 1.135)
高温				
lag0	1.082(0.859 ~ 1.364)	0.992(0.955 ~ 1.030)	1.134(1.047 ~ 1.230)	1.259(1.104 ~ 1.436)
lag0-6	1.100(0.816 ~ 1.483)	1.003(0.949 ~ 1.061)	1.081(0.976 ~ 1.197)	1.140(0.965 ~ 1.347)
lag0-13	0.954(0.681 ~ 1.337)	1.030(0.954 ~ 1.112)	1.001(0.890 ~ 1.126)	1.102(0.909 ~ 1.336)
lag0-20	1.032(0.709 ~ 1.500)	1.047(0.955 ~ 1.147)	0.957(0.842 ~ 1.088)	1.010(0.820 ~ 1.244)
lag0-27	0.974(0.652 ~ 1.456)	1.061(0.956 ~ 1.177)	0.927(0.808 ~ 1.064)	0.960(0.768 ~ 1.201)

注:黑体数字为该城市 3 种温度于不同滞后日对心脑血管疾病死亡累积效应最大值

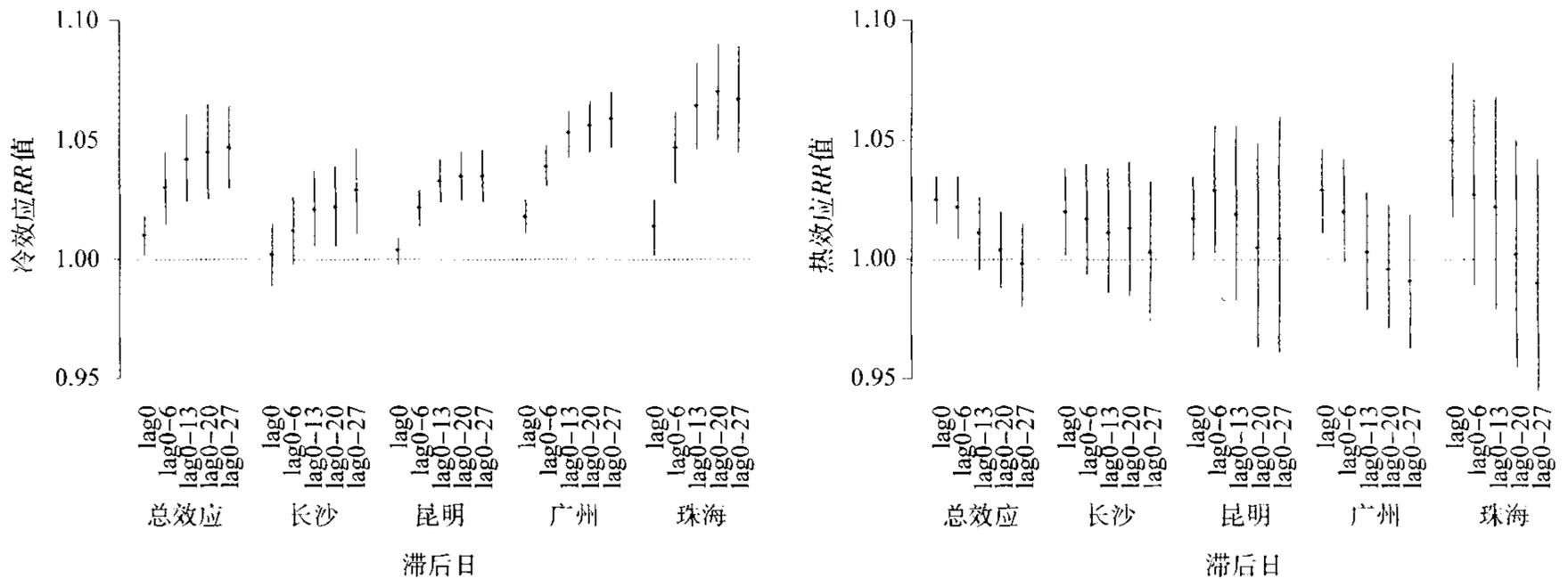


图 2 四城市温度在不同滞后日对心脑血管疾病死亡的累积冷热效应

1)。昆明市四季如春,气候温和,曲线较为平缓;长沙市四季分明,冷效应更为明显;广州和珠海市均为亚热带季风气候,常年高温,温度 $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时死亡效应最大。各城市的暴露-效应曲线不同可能反映了城市间人口、文化、社会经济以及人群适应能力的差异。这提示,地域和气候类型是进行温度与死亡关系研究需要考虑的因素。

低温和高温均可增加心脑血管疾病的死亡风险。一项对欧洲 15 个南方城市研究显示人群对低温天气更脆弱^[10]。Lin 等^[11]发现低温和高温对台湾老年人心血管疾病死亡所致效应值分别为 1.20 (1.12 ~ 1.30) 和 1.08 (1.02 ~ 1.10)。研究显示,四城市在研究滞后期间内低温的最大累积死亡效应均大于高温(表 2)。这表明中国南方城市低温天气对心

脑血管死亡风险的影响比高温天气更为显著。四城市均处于低纬度地区,人群对热较适应,对冷较敏感。当外界环境温度较低,可刺激机体血管壁收缩,血流受限,心肌耗氧量增加,使高血压发病率升高^[12]。心脑血管疾病患者更易因暴露于寒冷天气形成动脉血栓,发生脑梗塞和心肌梗塞而死亡。因此应针对心脑血管疾病患者采取相关预防措施进行重点保护,如提醒其注意天气变化,入冬前做好防寒取暖工作,积极开展耐寒锻炼,建立冷适应;严寒期间尽量不要外出等。

Braga 等^[13]研究美国 12 个城市温度对心血管疾病死亡的滞后影响,发现高温仅影响当天或随后一天的死亡,而低温的影响可持续数日。而本研究表明,温度当天热效应大于冷效应,随着滞后日增加,

热效应迅速下降,而冷效应急剧上升,后持续至 3~4 周(图 2)。这表明,热效应的滞后短暂急促,而冷效应的滞后持续时间长。近几十年来气候恶化,温暖的南方城市也频频发生冰冻雨雪灾害,2008 年我国长江中下游至江南地区遭遇史上罕见的大范围寒潮天气侵袭,期间上海医院门诊总人次增加 38.0% (35.0%~40.0%),心脑血管疾病和呼吸系统疾病分别增加 33.0% (28.0%~37.0%) 和 32.0% (24.0%~40.0%)^[14],由此带来的健康损害不容忽视。因此,在南方除了重视夏季降温避暑,对冬季防寒御冷也不可忽略。对心脑血管疾病人群在低温天气的预防保护措施应延长数周;而高温天气应着重在高温发生初期。

气候对健康的影响在一定程度上可以预防。有研究指出冷热相关的死亡均有下降趋势^[15,16],这一变化跟公共基础设施、技术手段、社会服务支持以及整体医疗的提高有关。极端天气暴露所致的不良健康结局,在一定程度上反映目前公共卫生的缺陷。心脑血管疾病有隐蔽性、突发性、死亡率高等特点,尤其脑梗、心梗急性发作时,溶栓治疗受时间窗、医疗急救能力等限制^[17]。中国地域广阔,各地自然条件,社会、经济水平、医疗条件以及急救技术均有很大的差异。由于数据局限性,本研究没有控制这些因素,但结果也有一定的启示作用。四城市经济较为发达,均显示心脑血管疾病死亡受温度影响。因此,各地区建立天气预警系统,提高卫生服务质量,尤其在面对极端天气灾害时启动紧急医疗救护系统,可缩短院前时间,使心脑血管疾病患者在最佳时机得到快速转运接受治疗。

本研究只局限于南方的少数几个城市;研究中没有控制流感和传染病等的混杂作用;对人群没有进行年龄、性别分层等,今后仍需进一步完善。

参 考 文 献

[1] World Health Organization (WHO). Cardiovascular disease (CVDs) [DB/OL]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/zh/index.html>, 2011-09. (in Chinese)
世界卫生组织. 心血管病 [DB/OL]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/zh/index.html>, 2011-09.

[2] Yu W, Mengersen K, Hu W, et al. Assessing the relationship between global warming and mortality: lag effects of temperature fluctuations by age and mortality categories. *Environ Pollut*, 2011, 159: 1789-1793.

[3] Guo Y, Barnett AG, Pan X, et al. The impact of temperature on mortality in Tianjin, China: a case- crossover design with a distributed lag nonlinear model. *Environ Health Perspect*, 2011,

119: 1719-1725.

[4] Yang J, Ou CQ, Ding Y, et al. Association between daily temperature and mortality in Guangzhou: a time-series study. *J Environ Health*, 2012, 29(2): 136-138. (in Chinese)
杨军, 欧春泉, 丁研, 等. 广州市逐日死亡人数与气温关系的时间序列研究. *环境与健康杂志*, 2012, 29(2): 136-138.

[5] Yan QH, Zhang YH, Ma WJ, et al. Association between temperature and daily mortality in Guangzhou, 2006-2009: a time series study. *Chin J Epidemiol*, 2011, 32(1): 9-12. (in Chinese)
严青华, 张永慧, 马文军, 等. 广州市 2006-2009 年气温与居民每日死亡人数的时间序列研究. *中华流行病学杂志*, 2011, 32(1): 9-12.

[6] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Statist Med*, 2010, 29(21): 2224-2234.

[7] Liu ZW. Akaike's Information Criterion and its significance. *Mathematics Practice Theory*, 1980, 1(3): 64-71. (in Chinese)
刘璋温. 赤池信息量准则 AIC 及其意义. *数学的实践与认识*, 1980, 1(3): 64-71.

[8] Hajat S, Kosatky T. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Epidemiol Community Health*, 2010, 64: 753-760.

[9] Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, et al. Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern United States. *Am J Epidemiol*, 2002, 155(1): 80-86.

[10] Analitis A, Katsouyanni K, Biggeri A, et al. Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *Am J Epidemiol*, 2008, 168(12): 1397-1408.

[11] Lin YK, Ho TJ, Wang YC. Mortality risk associated with temperature and prolonged temperature extremes in elderly populations in Taiwan. *Environ Res*, 2011, 111: 1156-1163.

[12] Yang XW, Ye DX. Medical meteorological research on brain-heart vascular syndrome in China. *Meteorological Sci Technol*, 2003, 6(32): 376-380. (in Chinese)
杨贤为, 叶殿秀. 我国心脑血管病的医学气象研究. *气象科技*, 2003, 6(32): 376-380.

[13] Braga ALF, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Environ Health Perspect*, 2002, 110(9): 859-863.

[14] Ma WJ, Xu XH, Li P, et al. Impact of extreme temperature on hospital admission in Shanghai, China. *Sci Total Environ*, 2011, 409: 3634-3637.

[15] Carson C, Hajat S, Armstrong B, et al. Declining vulnerability to temperature-related mortality in London over the 20th century. *Am J Epidemiol*, 2006, 164(1): 77-84.

[16] Barnett AG. Temperature and cardiovascular deaths in the US elderly: changes over time. *Epidemiology*, 2007, 18: 369-372.

[17] Bi Q, Zhang Z, Zhang WW, et al. Study on prehospital time and influencing factors of stroke patients in 15 Chinese cities. *Chin J Epidemiol*, 2006, 27(11): 996-999. (in Chinese)
毕齐, 张茁, 张微微, 等. 北京等 15 个城市脑卒中患者院前时间及影响因素研究. *中华流行病学杂志*, 2006, 27(11): 996-999.

(收稿日期: 2012-06-11)

(本文编辑: 尹廉)