

## · 现场调查 ·

## 广州市 2006—2009 年气温与居民每日死亡人数的时间序列研究

严青华 张永慧 马文军 许燕君 许晓君 蔡秋茂 潘波 曾四清

【摘要】 目的 研究 2006—2009 年广州市气温与居民死亡人数的关系。方法 应用泊松分布的广义相加模型分析时间序列资料,控制时间的长期趋势(季节)、星期几效应、空气污染、其他气象因素等的混杂后,分析广州市日平均气温与每日死亡人数之间的关系。结果 广州市日平均气温与每日总死亡人数呈“U”形。广州市最适宜日平均气温为 19.7℃,高于 19.7℃时,平均气温每升高 1℃,每日总死亡的风险增加 3.0%( $RR=1.030$ , 95% $CI$ : 1.011~1.050);当日平均气温不超过 19.7℃时,平均气温每升高 1℃,每日总死亡的风险减少 3.3%( $RR=0.967$ , 95% $CI$ : 0.936~0.997),循环系统疾病死亡风险减少 3.6%( $RR=0.964$ , 95% $CI$ : 0.935~0.994)。结论 广州市日平均气温与居民每日死亡人数有关系,应该采取有效的预防措施减少气温相关死亡的发生。

【关键词】 气温;死亡率;时间序列;广义相加模型

Association between temperature and daily mortality in Guangzhou, 2006–2009: a time-series study YAN Qing-hua, ZHANG Yong-hui, MA Wen-jun, XU Yan-jun, XU Xiao-jun, CAI Qiu-mao, PAN Bo, ZENG Si-qing. Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou 510300, China

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

【Abstract】 Objective To study the association between temperature and daily mortality from June 1, 2006 to December 31, 2009 in Guangzhou. Methods Time series approach was used to estimate the impact of temperature on the rates of total and cause-specific daily mortality. We fitted generalized additive Poisson regression using non-parametric smooth functions to control for the long-term time trend, day of week, air pollution and other weather variables. Results A slight sloping U-like relationship between the total mortality and temperature was found, with an optimum average temperature (temperature with lowest mortality risk) value of 19.7℃ in Guangzhou. For temperature above the optimum value, the relative risk of total mortality increased by 3.0% ( $RR=1.030$ , 95% $CI$ : 1.011–1.050) for each increase of degree in Celsius. For average temperature below the optimum value, the relative risk of total mortality and diseases of circulatory system had a 3.3% ( $RR=0.967$ , 95% $CI$ : 0.936–0.997) decrease and a 3.6% ( $RR=0.964$ , 95% $CI$ : 0.935–0.994) increase, for each degree of Celsius increase, respectively. Conclusion Our findings showed that the temperature had an impact on the daily mortality in Guangzhou. Countermeasures needed to be taken to reduce the temperature related mortality.

【Key words】 Temperature; Mortality; Time-series; General additive model

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)预测 21 世纪气温将继续升高 1.1~6.4℃<sup>[1]</sup>。许多研究表明每日温度与死亡人数存在“U”、“V”、“J”形关系<sup>[2-4]</sup>,即每日死亡人数与气温的关系是非线性的,当气温升高或者降低至某个临界气温,死亡明显增加。近年来在量化短期的环境温度和每日死亡率的关系上,时间序列研究去除了序列中的长期趋势(如季节)和其他混杂因素的影响,被认为是最好的

统计方法。本研究利用广州市气象、空气污染和死因登记资料,应用时间序列的广义相加模型分析气温与居民每日死亡人数的关系。

## 资料与方法

1. 资料来源:从气象部门获得广州市 2006 年 1 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日的气象资料,包括气温、湿度;从广州市环境保护局网站上收集越秀区和荔湾区的麓湖、西村、吉祥路 3 个监测站的空气污染数据,包括二氧化氮( $NO_2$ ),二氧化硫( $SO_2$ )、可吸入性颗粒物( $PM_{10}$ );从广东省疾病预防控制中心(CDC)

收集同时期广州市越秀区和荔湾区的全人群死因登记资料,根据国际疾病分类(ICD-10),本研究所用总死亡是指除中毒伤害等外因引起死亡外的所有疾病死亡。循环系统疾病死亡的编码为 I00-I99;呼吸系统疾病死亡的编码为 J00-J99。

2. 统计学分析:由于每天死亡人数相对监测人群整体是小概率事件,其实际分布接近泊松分布。因此,采用泊松分布的广义相加模型(generalized additive model, GAM)控制时间的长期趋势、星期几效应、湿度、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>影响后,对气温与居民每日死亡人数关系进行拟合,基本模型为:

$$\log[E(Y_t)] = \alpha + \sum \beta_i X_i + \sum s_j(Z_j, df) + DOW$$
式中,  $Y_t$  为观察日  $t$  的当天死亡人数,对于每个  $t$ ,  $Y_t$  服从总体均数为  $E(Y_t)$  的泊松分布;  $E(Y_t)$  为观察日  $t$  的死亡人数期望值;  $X$  为对应变量产生线性影响的解释变量,这里指空气污染物质 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>;  $\beta$  为回归模型中的解释变量系数;  $s(\cdot)$  非参数平滑函数,  $Z$  为对应变量发生非线性影响的变量,包括时间、湿度、气温等,  $df$  为非参数平滑函数的自由度,根据文献[5, 6],本研究选择  $df(\text{time}) = 8/\text{年}$ ,  $df(\text{tm}) = 3$ ,  $df(\text{rh}) = 3(\text{tm}$  为温度,  $\text{rh}$  为湿度);  $DOW$  为星期哑元变量,处理星期几效应问题。首先,为了排除气温影响的各死亡终点,建立基本模型,即:  $\log[E(Y_t)] = \alpha + s(\text{time}, 24) + s(\text{rh}, 3) + \text{NO}_2 + \text{SO}_2 + \text{PM}_{10}$ , 然后对基本模型中残差和气温进行分析。为定量分析气温的影响,进一步采用一般线性阈值模型,即假定在超过最适宜气温后死亡风险以线性方式增加。对总死亡率和疾病别死亡率进行分析,分别计算气温每增加 1℃ 对死亡人数影响的相对风险(RR 值)及其 95% 可信区间(95% CI)。本研究所有统计学分析均在 Excel 与 R 2.11.0 软件中实现,使用 gam 统计包拟合 GAM 模型。

结 果

1. 每日死亡人数、气象指标及大气污染的分布情况: 2006—2009 年广州市越秀区和荔湾区共有 48 037 人死亡,平均每天 32.88 人;日平均气温为 22.97℃,日平均湿度为 70.86%;每日 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub> 的平均浓度分别为 43.30、47.69、59.49 μg/m<sup>3</sup>(表 1)。

2. 日均气温与死亡人数的关系:总死亡风险从最低气温处开始下降,在折点处(即最适宜气温, 19.7℃)开始回升,呈“U”形(图 1)。控制时间的长期趋势、星期几效应、湿度、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub> 的影响后,日平均气温与居民每日总死亡、循环系统疾病、

呼吸系统疾病死亡人数呈暴露-反应关系,循环系统疾病、呼吸系统疾病略有不同,分别在日均气温为 20.0℃、22.2℃ 时死亡风险最低(图 2)。

表 1 2006—2009 年广州市居民每日死亡人数、气象资料及空气污染情况

| 项目                       | <i>M</i> | <i>P</i> <sub>50</sub> | <i>s</i> | 低值    | 高值     |
|--------------------------|----------|------------------------|----------|-------|--------|
| 每日平均死亡人数                 |          |                        |          |       |        |
| 合计                       | 32.88    | 32.00                  | 7.83     | 11.00 | 81.00  |
| 呼吸系统                     | 5.70     | 5.00                   | 2.65     | 0.00  | 18.00  |
| 循环系统                     | 11.47    | 11.00                  | 4.36     | 2.00  | 36.00  |
| 气象资料                     |          |                        |          |       |        |
| 日平均气温(℃)                 | 22.97    | 24.50                  | 6.20     | 5.00  | 34.00  |
| 湿度(%)                    | 70.86    | 72.00                  | 13.09    | 25.00 | 94.00  |
| 污染物质(μg/m <sup>3</sup> ) |          |                        |          |       |        |
| SO <sub>2</sub>          | 43.30    | 43.67                  | 21.24    | 2.33  | 106.00 |
| NO <sub>2</sub>          | 47.69    | 39.00                  | 26.41    | 15.00 | 163.00 |
| PM <sub>10</sub>         | 59.49    | 57.33                  | 24.25    | 11.00 | 186.00 |

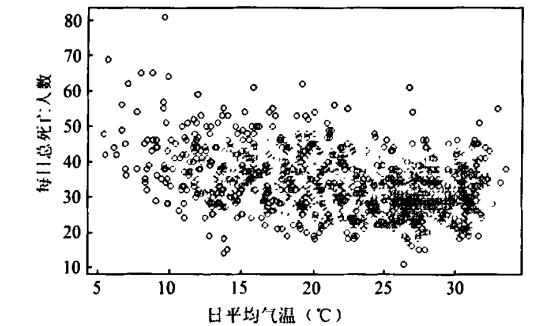


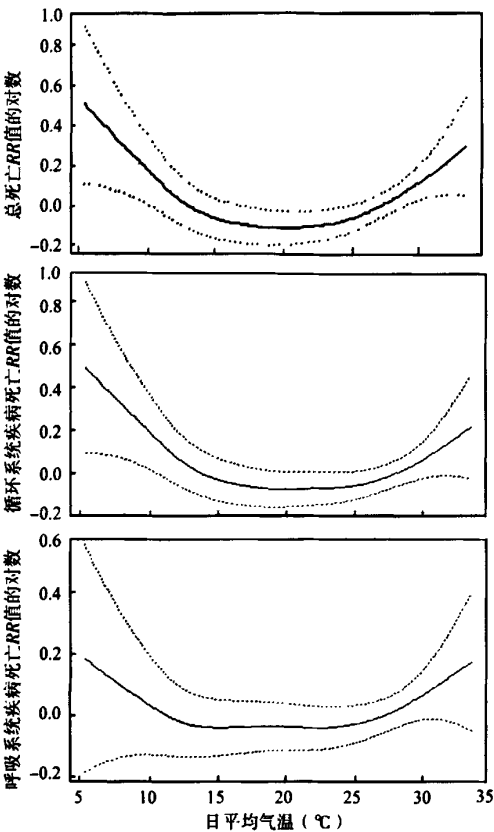
图 1 2006—2009 年广州市日平均气温与每日总死亡人数的散点图

3. 模型的评价:对模型的残差进行正态性检验 ( $P > 0.05$ ),提示残差呈白噪音分布(图 3)。

4. 日平均气温与死亡人数的定量关系分析:为了定量分析气温的影响,将气温分为 2 类:热期(> 19.7℃)和冷期(≤ 19.7℃),然后应用一般线性模型分别拟合不同气温与每日死亡人数的关系。对于总死亡,在热期平均气温每升高 1℃,死亡风险增加 3.0%;在冷期平均气温每升高 1℃,每日总死亡的风险减少 3.3%。对于循环系统疾病,在冷期,气温每升高 1℃死亡风险下降 3.6%。而循环系统疾病在热期的死亡风险在温度变化时差异无统计学意义,呼吸系统疾病在热期、冷期的死亡风险之间的差异均无统计学意义(表 2)。

讨 论

本研究采用了广义相加模型来研究气温对总死亡、循环系统疾病、呼吸系统疾病日死亡人数的影响,用非参数平滑函数控制了时间序列资料的长期



注:虚线部分为 95%CI

图 2 2006—2009 年广州市日平均气温与每日总死亡、循环系统、呼吸系统死亡人数的暴露—反应关系

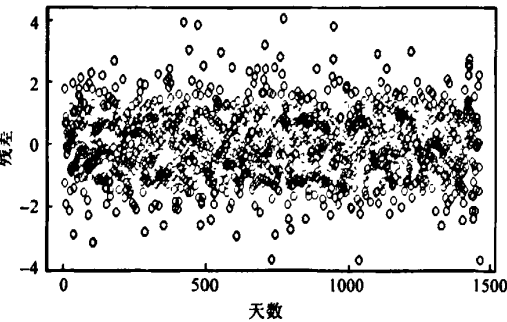


图 3 模型拟合的残差图

表 2 2006—2009 年广州市不同时期日平均气温对死亡人数影响的 RR 值及 95%CI

|        | 热期(>19.7℃) |               | 冷期(≤19.7℃) |               |
|--------|------------|---------------|------------|---------------|
|        | RR 值       | 95%CI         | RR 值       | 95%CI         |
| 总死亡    | 1.030*     | 1.011 ~ 1.050 | 0.967*     | 0.936 ~ 0.997 |
| 循环系统疾病 | 1.017      | 0.997 ~ 1.037 | 0.964*     | 0.935 ~ 0.994 |
| 呼吸系统疾病 | 1.017      | 0.999 ~ 1.037 | 0.998      | 0.970 ~ 1.025 |

注: \*P<0.05

形状,这与国内外其他研究结果一致<sup>[2,4,5]</sup>,Curriero 等<sup>[3]</sup>对美国东部 11 个城市的研究发现气温与每日死亡呈反“J”形关系;国内阚海东等<sup>[4]</sup>对上海市的研究也得出同样的结论;Chung 等<sup>[7]</sup>对韩国汉城、日本东京、中国北京和台北 4 个城市的研究发现,不同城市气温与每日死亡人数的关系曲线也不尽相同,总体呈“U、J、V”形。死亡人数最少时所对应的气温即为最适宜气温。很多研究表明不同的地区这个最适宜气温不同<sup>[5,8]</sup>,Dessai<sup>[9]</sup>发现葡萄牙首都里斯本的最适宜气温是 29℃;在荷兰,日平均气温 16.5℃是最适宜温度<sup>[2]</sup>;阚海东等<sup>[4]</sup>研究表明上海市的最适宜日均气温是 26.7℃,本研究发现广州市最适宜日均气温为 19.7℃,气温高于或低于此温度时,死亡人数均呈上升趋势。在全球气候变暖和城市热岛效应的影响下,热浪已成为世界范围内夏季频发的极端天气灾害事件,造成人类大量的超额死亡<sup>[10-12]</sup>,而不同地区、国家人群对高温的耐受能力不同,最适宜温度也不同。因此,在建立高温预警预报系统时要因地制宜,尽量发展适合本城市、小区域的预警系统,更加有效的减少高温热浪带来的伤亡。

当用一般线性模型定量分析气温与死亡人数的关系时发现,对于热期,气温每增加 1℃居民死亡的风险增加 3.0%;而对于冷期,气温每增加 1℃居民死亡的风险减少 3.3%。Hajat 等<sup>[13]</sup>对英国伦敦的研究表明当平均气温超过 21.5℃时,气温每增加 1℃死亡风险增加 3.34%;Revich 和 Shaposhnikov<sup>[14]</sup>对俄罗斯莫斯科的研究发现当平均气温超过 18℃,气温每增加 1℃死亡人数增加 2.8%,当低于 18℃时,气温每下降 1℃死亡风险增加 0.49%;当上海市的平均气温在 26.7℃时,气温每增加 1℃死亡风险增加 1.21%,当低于 26.7℃时,气温每下降 1℃死亡风险增加 0.73%<sup>[4]</sup>。本研究结果与上述研究基本一致。

对不同病因进行分层分析时发现,气温对不同疾病的影响是不同的,在冷期,气温对循环系统疾病死亡的影响具有统计学意义,这可能是由于低温可引起血压的变化、血管的收缩以及血液黏稠度、红细胞数量、胆固醇和纤维蛋白原的增加,从而容易促发心血管事件,如心脏病发作或者中风等。在对气温与呼吸系统疾病的死亡进行分段线性拟合时,两者差异无统计学意义,这可能是由于样本量不足等原因引起。在进行气温对疾病影响的干预时,除了要对全人群进行健康宣教、加强监测等干预外,还要有针对性的采取措施,保护脆弱人群,如在冬季寒流期间,要更注意患有循环系统疾病者的身体状况,

趋势、气象因素和空气污染的影响。本研究的结果表明气温与死亡呈非线性关系,呈两头高中间低的

实施相应的保暖措施,减少极端气温对健康的影响。由于广州市没有建立全市死因登记系统,死亡样本量略显不足,特别以疾病别进行分层分析时,可信区间较宽。所以,为了应对气候变化,今后应建立和完善疾病与生命统计系统。

### 参 考 文 献

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.
- [2] Huynen MM, Martens P, Schram D, et al. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environ Health Perspect*, 2001, 109(5): 463-470.
- [3] Alberdi JC, Diaz J, Montero JC, et al. Daily mortality in Madrid community 1986-1992: relationship with meteorological variables. *Eur J Epidemiol*, 1998, 14(6): 571-578.
- [4] Kan HD, Jia J, Chen BH. Temperature and daily mortality in Shanghai: a time-series study. *Biomed Environ Sci*, 2003, 16(2): 133-139.
- [5] 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): 80-87.
- [6] Barnett AG, Tong S, Clements ACA. What measure of temperature is the best predictor of mortality? *Environ Res*, 2010, 110(6):

604-611.

- [7] Chung JY, Honda Y, Hong YC, et al. Ambient temperature and mortality: an international study in four capital cities of East Asia. *Sci Total Environ*, 2009, 408(2): 390-396.
- [8] Gosling SN, McGregor GR, Paldy A. Climate change and heat-related mortality in six cities part 1: model construction and validation. *Int J Biometeorol*, 2007, 51(6): 525-540.
- [9] Dessai S. Heat stress and mortality in Lisbon part I model construction and validation. *Int J Biometeorol*, 2002, 47(1): 6-12.
- [10] Fouillet A, Rey G, Laurent F, et al. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *Int Arch Occup Environ Health*, 2006, 80(1): 16-24.
- [11] Johnson H, Kovats RS, McGregor G, et al. The impact of the 2003 heat wave on mortality and hospital admissions in England. *Health Stat Q*, 2005, 25: 6-11.
- [12] Conti S, Meli P, Minelli G, et al. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environmental Research*, 2005, 98(3): 390-399.
- [13] Hajat S, Kovats RS, Atkinson RW, et al. Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *J Epidemiol Community Health*, 2002, 56(5): 367-372.
- [14] Revich B, Shaposhnikov D. Temperature-induced excess mortality in Moscow, Russia. *Int J Biometeorol*, 2008, 52(5): 367-374.

(收稿日期:2010-08-30)

(本文编辑:万玉立)

## · 读者·作者·编者 ·

### 本刊对统计学方法的要求

统计学符号按GB 3358-1982《统计学名词及符号》的有关规定一律采用斜体排印,常用:①样本的算术平均数用英文小写 $\bar{x}$ (中位数用 $M$ );②标准差用英文小写 $s$ ;③标准误用英文小写 $s_x$ ;④ $t$ 检验用英文小写 $t$ ;⑤ $F$ 检验用英文大写 $F$ ;⑥卡方检验用英文小写 $\chi^2$ ;⑦相关系数用英文小写 $r$ ;⑧自由度用希文小写 $\nu$ ;⑨概率用英文大写 $P$ ( $P$ 值前应给出具体检验值,如 $t$ 值、 $\chi^2$ 值、 $q$ 值等), $P$ 值应给出实际数值,不宜用大于或小于表示,而用等号表示,小数点后保留3位数。

研究设计:应告知研究设计的名称和主要方法。如调查设计(分为前瞻性、回顾性还是横断面调查研究),实验设计(应告知具体的设计类型,如自身配对设计、成组设计、交叉设计、析因设计、正交设计等),临床试验设计(应告知属于第几期临床试验,采用了何种盲法措施等);主要做法应围绕4个基本原则(重复、随机、对照、均衡)概要说明,尤其要告知如何控制重要非试验因素的干扰和影响。

资料的表达与描述:用 $\bar{x} \pm s$ 表达近似服从正态分布的定量资料,用 $M(Q_k)$ 表达呈偏态分布的定量资料,用统计表时,要合理安排纵横标目,并将数据的含义表达清楚;用统计图时,所用统计图的类型应与资料性质相匹配,并使数轴上刻度值的标法符合数学原则;用相对数时,分母不宜小于20,要注意区分百分率与百分比。

统计学分析方法的选择:对于定量资料,应根据所采用的设计类型、资料具备的条件和分析目的,选用合适的统计学分析方法,不应盲目套用 $t$ 检验和单因素方差分析;对于定性资料,应根据所采用的设计类型、定性变量的性质和频数所具备的条件及分析目的,选用合适的统计学分析方法,不应盲目套用 $\chi^2$ 检验。对于回归分析,应结合专业知识和散布图,选用合适的回归类型,不应盲目套用直线回归分析;对具有重复实验数据检验回归分析资料,不应简单化处理;对于多因素、多指标资料,要在一元分析的基础上,尽可能运用多元统计方法,以便对因素之间的交互作用和多指标之间的内在联系做出全面、合理的解释和评价。

统计结果的解释和表达:当 $P < 0.05$ (或 $P < 0.01$ )时,应说对比组之间的差异具有统计学意义,而不应说对比组之间具有显著性(或非常显著性)差异;应写明所用统计分析方法的具体名称(如:成组设计资料的 $t$ 检验、两因素析因设计资料的方差分析、多个均数之间两两比较的 $q$ 检验等),统计量的具体值(如: $t = 3.45$ ,  $\chi^2 = 4.68$ ,  $F = 6.79$ 等);在用不等式表示 $P$ 值的情况下,一般情况下选用 $P > 0.05$ 、 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 三种表达方式即可满足需要,无须再细分为 $P < 0.001$ 或 $P < 0.0001$ 。当涉及总体参数(如总体均数、总体率等)时,在给出显著性检验结果的同时,再给出95%可信区间。