

网络出版时间: 2019-3-22 16:45 网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.R.20190321.1437.021.html

# 合肥市蜀山区 2015 ~ 2016 年昼夜温差 影响死亡风险的时间序列研究

徐峰生<sup>1</sup>, 田余红<sup>2</sup>, 梁金凤<sup>2</sup>, 阚俊玲<sup>2</sup>, 祖萍<sup>2</sup>, 苏虹<sup>1</sup>

**摘要** 目的 探索昼夜温差对合肥市蜀山区每日死亡的影响。方法 收集气象部门和环保部门 2015 ~ 2016 年每日主要监测数据,包括温度、相对湿度、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO 和 O<sub>3</sub>,并收集同期蜀山区居民每日死亡监测数据。采用泊松广义线性回归模型结合分布滞后非线性模型(DLNM)分析昼夜温差对死亡发生的影响。结果 本地区昼夜温差同 PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 等主要空气污染物浓度呈正相关。昼夜温差增大会增加死亡发生的风险,此效应在暴露后第 1 天出现,并可持续多天,在暴露后第 3 天达到最大。按死因、性别、年龄、婚姻状况和学历分层分析结果显示:患有心血管疾病、65 岁以上老年人、已婚者、高中以上学历者更容易受到昼夜温差的影响,男性和女性死亡者之间尚未发现差异。结论 昼夜温差增大会增加人群死亡发生的风险,并存在一定滞后性。所以要降低主要空气污染物的排放,并在昼夜温差较大时适当的做好防护措施,以降低其对健康的负面影响。

**关键词** 昼夜温差;死亡;时间序列

中图分类号 R 654.2

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2019)03-0443-05  
doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2019.03.021

气候变化已成为影响人类健康最重要因素之一,环境温度过高或过低都会对人体体温调节系统造成冲击,导致死亡风险的增加<sup>[1]</sup>。尤其是在人口老龄化的背景下,从公共卫生角度评估气候变化对死亡的负担具有重要意义。既往研究主要是关注最高温度、最低温度、平均温度和平均湿度等,而已有报道提示环境温度的突然变化是气象相关死亡的重要因素<sup>[2]</sup>,其中的昼夜温差作为衡量温度变化的一个重要指标,近年来被认为是危害人群健康的重要因素<sup>[3]</sup>而备受关注。

昼夜温差指当天最高温度与最低温度的差值。

有研究<sup>[4]</sup>显示昼夜温差增大,人群非意外死亡的风险会增加;在英格兰和威尔士的一项研究<sup>[5]</sup>显示昼夜温差对于短期死亡率的影响受纬度、区域和气候环境影响,不同纬度和气候条件下昼夜温差对死亡的影响呈现不同的模式。Cohen et al<sup>[6]</sup>研究发现,空气污染物是人群死亡的重要诱因。但是,既往研究在评估昼夜温差对人群死亡风险影响时,忽略了空气污染物对人群非意外死亡的效应,该研究旨在控制空气污染影响的前提下,定量分析昼夜温差对人群非意外死亡的影响,为适时采取干预措施提供科学依据,并以期提高人们对昼夜温差与死亡风险的关注及正确应对能力。

## 1 材料与方法

**1.1 病例资料** 收集合肥市 2015 ~ 2016 年气象和空气污染物资料,包括温度、相对湿度、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、SO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub>。同期收集蜀山区每日死亡登记数据,其死亡原因包括呼吸道疾病(ICD-10: J99)、心血管系统疾病(ICD-10: I00-499)等,排除因意外死亡的数据。

**1.2 分析方法** 死亡信息资料先采用 EXCEL 2007 进行整理,用 R(2.15.3) 版本软件分析数据。秩相关分析主要空气污染物与气象因素的相关性,滞后非线性模型探讨昼夜温差对死亡风险的影响。

利用赤池信息准则(AIC)和残差分析来综合评价模型的拟合度和自由度的选择。基本模型如下:

$$Y_t = \text{Poisson}(\mu_t)$$

$$\text{Log}(\mu_t) = \alpha + \beta DTR_{t,j} + ns(\text{Pollution confounders } \beta) + ns(T_1 \beta) + ns(RH_{t,j} \beta) + ns(\text{Time}_t \gamma) + \eta DOW_t$$

$t$  指观察的时间,  $Y_t$  为每日发生非意外死亡数,  $\alpha$  为模型截距,  $\beta$  是关于 DLNM <sub>$t,j$</sub>  的系数向量,  $DTR_{t,j}$  是使用 DLNM 时获得的关于昼夜温差的矩阵,  $j$  指滞后天数。  $ns(\text{Pollution confounders } \beta)$  表示用自由度等于 3 的自然立方样条曲线控制空气主要污染物。  $ns(T_1 \beta)$  和  $ns(RH_{t,j} \beta)$  指分别使用自由度等于 3 的自然立方样条曲线控制平均温度和相对湿度的影响。  $ns(\text{Time}_t \gamma) + \eta DOW_t$  分别用于控制星期

2018-12-03 接收

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 81773518)

作者单位: <sup>1</sup> 安徽医科大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系, 合肥 230032

<sup>2</sup> 合肥市蜀山区疾病预防控制中心结防科, 合肥 230030

作者简介: 徐峰生, 男, 硕士研究生;

苏虹, 女, 教授, 博士生导师, 责任作者, E-mail: suhong5151@sina.com

几效应和节假日效应。

为了分析温度骤变作用下发生死亡风险的易感人群,按照死因、性别、年龄、婚姻状况、教育水平将研究对象划分为:①心血管系统(I00-I99)、呼吸系统(J00-J99);②男性和女性;③0~64岁、≥65岁;④已婚和未婚;⑤初中以下、高中以上。

**1.3 敏感性分析** 由于模型中不同参数的设置以及相应变量的控制可能影响模型的拟合结果,本研究应用多种敏感性分析去探讨模型的稳定性:①改变控制长期趋势的自由度( $df=6\sim 8$ );②改变控制主要空气污染物( $PM_{2.5}$ )( $df=3\sim 5$ );③改变平均温度的自由度( $df=3\sim 5$ )。

## 2 结果

### 2.1 基本情况 共收集到合肥市蜀山区 2015 ~

2016 年非意外死亡 5 750 例的信息,其中男性占 61% (3484/5750),大于 65 岁的占 77% (4430/5750) 本区每天平均非意外死亡 7.4 人,其中大于 65 岁的 6.1 人,男性平均每天死亡 4.8 人,平均每天因心血管疾病死亡有 3.3 人。气象、污染物和非意外死亡数据的基本情况见表 1。昼夜温差、平均温度及死亡病例数的时间分布呈现出一定的季节性,详见图 1。

**2.2 气象因素与空气污染物之间相关性分析** 对各气象因素与主要空气污染物进行 Spearman 相关分析,结果显示昼夜温差与  $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$  等均呈现正相关( $PM_{2.5}$ :  $r_s = 0.24, P < 0.01$ ;  $SO_2$ :  $r_s = 0.31, P < 0.01$ ;  $NO_2$ :  $r_s = 0.28, P < 0.01$ ;  $O_3$ :  $r_s = 0.43, P < 0.01$ )。见表 2。

### 2.3 昼夜温差对人群非意外死亡的影响

表 1 合肥市蜀山区 2015 ~ 2016 年气象、污染物和非意外死亡的基本信息

组别	$\bar{x} \pm s$	最小值	$P_{25}$	$P_{50}$	$P_{75}$	最大值
气象与污染物						
昼夜温差 (°C)	8.3 ± 3.8	1.1	5.3	8.2	11.1	21.2
平均温度 (°C)	16.8 ± 9.0	-5.9	8.8	18.0	24.4	33.7
相对湿度 (%)	75.8 ± 12.6	33.0	68.0	76.0	85.0	100.0
$PM_{2.5}$	61.6 ± 36.2	6.0	37.0	54.0	77.0	242
$PM_{10}$	86.8 ± 42.3	11.0	57.0	82.0	109.0	311
$SO_2$	15.6 ± 7.2	4.0	10.0	14.0	19.0	56
$NO_2$	39.3 ± 15.9	12.0	28.0	36.0	47.0	121.0
CO	1.0 ± 0.3	0.4	0.8	0.9	1.2	2.5
$O_3$	95.2 ± 42.8	15.0	62.0	88.0	124.0	233
死亡病例						
非意外 (A00-R99)	7.4 ± 2.9	0.0	5.0	7.0	9.0	16.0
心血管系统 (I00-I99)	3.3 ± 1.8	0.0	2.0	3.0	4.0	10.0
呼吸系统 (J00-J99)	0.6 ± 0.8	0.0	0.0	0.0	1.0	6.0
男性	4.8 ± 2.4	0.0	3.0	5.0	6.0	16.0
女性	3.1 ± 1.7	0.0	2.0	3.0	4.0	9.0
0~64 岁	1.8 ± 1.3	0.0	1.0	2.0	3.0	7.0
≥65 岁	6.1 ± 2.6	0.0	4.0	6.0	8.0	14.0
已婚	5.4 ± 2.5	0.0	4.0	5.0	7.0	14.0
未婚	2.4 ± 1.6	0.0	1.0	2.0	3.0	9.0
初中以下	6.1 ± 2.6	0.0	4.0	6.0	8.0	14.0
高中以上	1.7 ± 1.3	0.0	1.0	2.0	2.0	7.0

表 2 合肥市蜀山区 2015 - 2016 年各气象因子与污染物的 Spearman 相关系数

变量	昼夜温差	平均温度	相对湿度	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$	$SO_2$	$NO_2$	CO	$O_3$
昼夜温差	1.00								
平均温度	0.03	1.00							
相对湿度	-0.58**	0.05	1.00						
$PM_{2.5}$	0.24**	-0.43**	-0.19**	1.00					
$PM_{10}$	0.51**	-0.17**	-0.48**	0.83**	1.00				
$SO_2$	0.31**	-0.63**	-0.42**	0.63**	0.58**	1.00			
$NO_2$	0.28**	-0.20**	-0.17**	0.42**	0.51**	0.37**	1.00		
CO	0.16**	-0.33**	0.03	0.80**	0.65**	0.51**	0.54**	1.00	
$O_3$	0.43**	0.62**	-0.33**	-0.08*	0.17**	-0.23**	0.14**	-0.14**	1.00

与对照组比较: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$

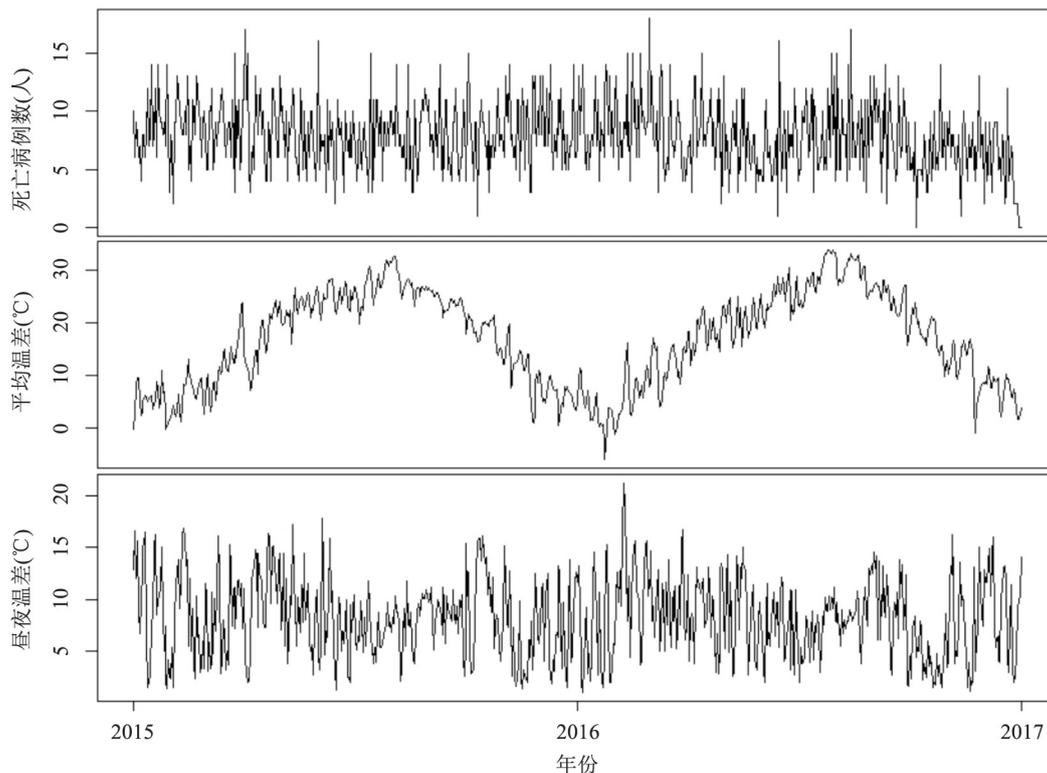


图1 合肥市蜀山区 2015 - 2016 年非意外死亡和各温度指标的时间分布

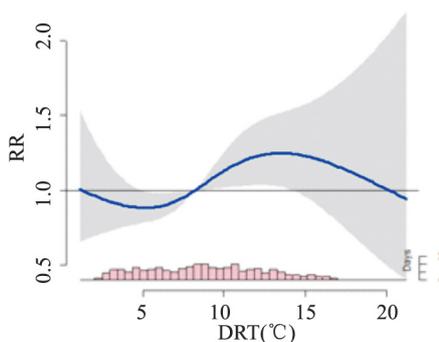


图2 昼夜温差与非意外死亡关系的剂量反应图

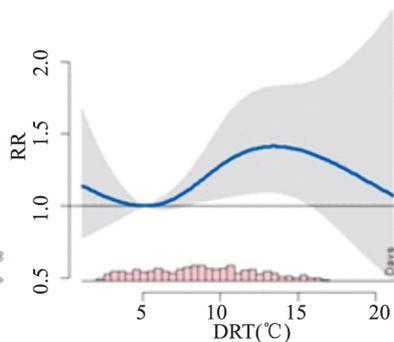


图3 昼夜温差与非意外死亡关系剂量反应图

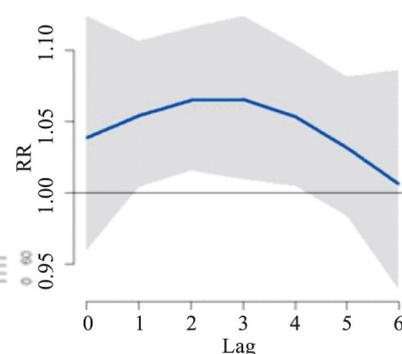


图4 第75百分位数不同滞后时间对死亡影响

2.3.1 昼夜温差与人群非意外死亡的线性关系 以昼夜温差的中位数(8.2 °C)作为比较基准,昼夜温差与人群死亡风险呈非线性关系,且随着昼夜温差的增加,人群死亡风险增大,见图2。

2.3.2 昼夜温差与人群非意外死亡的关系 以最低危险度对应的温度(5.2 °C)作为比较基准,昼夜温差同非意外死亡发生风险呈抛物线性关系,即开始随着昼夜温差的增加,人群死亡风险增大,之后逐渐有减少趋势,但总体相对危险度均大于1,见图3。

2.3.3 昼夜温差增加对死亡风险的滞后影响 以

最低危险度对应的温度(5.2 °C)作为比较基准,昼夜温差第75百分位(11.2 °C)与最低危险度(5.2 °C)比较,在滞后的第3天死亡风险达到最大,见图4;滞后效应持续至滞后5 d。

2.3.4 昼夜温差增加对死亡风险的分层分析 按照年龄进行分层,发现65岁以上人群更容易受到昼夜温差的影响,其危害效应在滞后第2天达到最大1.07(95% CI: 1.01 ~ 1.12),同时发现高中以上学历者较初中以下学历者更容易受到昼夜温差的影响,见表3。

表3 合肥市蜀山区第75百分位数昼夜温差对非意外死亡影响的相对危险度(RR)(参照:5.2℃)

特征	当天	滞后1 d	滞后2 d	滞后3 d	滞后4 d	滞后5 d	滞后6 d
非意外(A00-R99)	1.04(0.96~1.12)	1.05(1.00~1.10)*	1.06(1.01~1.11)*	1.06(1.00~1.10)*	1.05(1.00~1.10)*	1.03(0.98~1.08)	1.00(0.93~1.08)
心血管系统(I00-I99)	1.02(0.89~1.15)	1.05(0.97~1.13)	1.07(1.00~1.15)*	1.08(0.99~1.18)	1.06(0.98~1.14)	1.02(0.95~1.09)	0.97(0.86~1.09)
呼吸系统(J00-J99)	1.03(0.78~1.36)	1.10(0.93~1.31)	1.15(0.98~1.37)	1.17(0.97~1.42)	1.15(0.97~1.37)	1.09(0.93~1.30)	1.03(0.79~1.1.35)
男性	1.04(0.95~1.16)	1.06(0.99~1.13)	1.06(1.00~1.13)*	1.06(1.00~1.14)*	1.05(1.00~1.13)*	1.05(1.00~1.11)*	1.03(0.93~1.13)
女性	1.02(0.90~1.16)	1.04(0.96~1.13)	1.06(1.00~1.14)*	1.06(1.00~1.16)*	1.04(1.00~1.12)*	1.01(0.93~1.09)	0.97(0.86~1.09)
0~64岁	1.16(0.98~1.37)	1.10(1.00~1.22)*	1.06(0.96~1.10)	1.04(0.93~1.17)	1.05(0.96~1.16)	1.09(0.99~1.20)	1.13(0.97~1.34)
≥65岁	1.00(0.92~1.10)	1.04(0.98~1.10)	1.07(1.01~1.12)*	1.05(1.00~1.11)*	1.05(1.00~1.11)*	1.02(0.96~1.07)	0.97(0.89~1.06)
已婚	1.07(0.97~1.18)	1.07*(1.01~1.14)	1.07*(1.01~1.13)	1.06*(1.00~1.14)	1.05*(1.00~1.11)	1.04(0.98~1.10)	1.02(0.93~1.12)
未婚	0.97(0.84~1.12)	1.01(0.92~1.11)	1.05(0.96~1.14)	1.06(0.96~1.17)	1.05(0.96~1.14)	1.02(0.94~1.11)	0.98(0.85~1.12)
初中以下	1.01(0.93~1.11)	1.03(0.98~1.01)	1.05(0.99~1.11)	1.05(0.99~1.12)	1.05(0.99~1.10)	1.02(0.97~1.08)	0.99(0.91~1.09)
高中以上	1.13(0.95~1.34)	1.12(1.01~1.24)*	1.11(1.00~1.23)*	1.10(0.97~1.23)	1.07(0.97~1.19)	1.05(0.95~1.17)	1.03(0.87~1.21)

与对照组比较: \* P < 0.05

2.4 敏感性分析结果 为了检测本研究结果的稳定性,通过改变控制季节性和长期趋势的自由度(df:6~8),以及改变控制主要空气污染物(PM<sub>2.5</sub>)和平均温度的自由度(df:3~5)时,对模型拟合的结果几乎没有影响(对模型进行均和分析 and 似然比检验,差异均无统计学意义 P > 0.05)。

### 3 讨论

本研究显示,控制主要空气污染物影响后,随着昼夜温差的增大,人群非意外死亡风险增加,总效应在暴露后的第一天即可出现,并持续到第四天。进一步的易感人群研究结果显示,随着人群年龄和学历水平的不同,昼夜温差与非意外死亡的关联也各不相同。

本研究定量评估昼夜温差对非意外死亡的影响,并将主要空气污染物作为混杂因子进行控制,增加了结果的稳定性,这在国内同类研究中尚属首次。关于昼夜温差对人群非意外死亡的影响已受到国内外学者的广泛关注,Tang et al<sup>[7]</sup>研究发现,昼夜温差增加会提高人群死亡风险,效应从暴露当天一直持续到暴露后第6天,在暴露后第4天这种效应最明显;程健等<sup>[4]</sup>研究显示暴露于昼夜温差发生死亡风险增加发生于当天,而死亡风险在暴露后第5天达到最大;在伊朗的一项研究<sup>[8]</sup>指出,暴露于较大的昼夜温差,暴露风险从开始暴露一直持续到第6天,且在第6天风险最大。以上研究均支持昼夜温差是人群非意外死亡的重要诱因。而本研究发现昼夜温差对死亡发生的风险开始于滞后第1天,持续到滞后4 d,这同既往研究结果不同。本研究目前在国内外较少,无法与同类研究比较。可能是该研究控制了空气污染物这一混杂因子,导致暴露效应发生时间出现延迟。同时,也有研究<sup>[5]</sup>指出在不同的气

候条件和地理位置条件下,昼夜温差对人群非意外死亡的效应不尽相同。该研究发现昼夜温差与每日死亡率之间呈现非线性关联,这与之前报道呈线性关系的几项研究<sup>[9]</sup>不一致,但也有相关研究<sup>[10]</sup>支持这一结果,这可能受不同的地理环境和气候条件的影响,同时不同的研究模型对研究结果也会造成影响。

对于昼夜温差能增加人群非意外死亡风险的原因尚不明确,但较大的昼夜温差可以增加人体的血压和对氧的摄入量,从而增加呼吸和循环系统疾病发生的概率<sup>[11]</sup>。温度变化超过人体正常代偿能力,也会造成身体健康的损害。

该研究还得出64岁以下人群暴露第2天非意外死亡风险增加而65岁以上老年人在暴露后第3天到第5天发生死亡风险明显增加。可能是较高的昼夜温差更能增加老年人非意外死亡的风险<sup>[12]</sup>。通过对教育水平分层分析发现,高中以上学历者较初中以下学历者更容易受到昼夜温差的影响。针对该现象的解释,尚无明确定论。本篇研究认为可能与较低学历者更多从事户外工作有关。相对高学历者常坐办公室,较低学历者多从事户外体力工作,身体素质和对外界环境温度变化适应能力更强,进而在暴露较大温度改变时发生死亡风险更小。目前国内针对教育水平对死亡修饰效应的研究不多且结论不一致。例如:Zhang et al<sup>[13]</sup>在武汉的研究同样也发现较高学历者相对较低学历者更易受到温度骤变的影响;然而,Lim et al<sup>[14]</sup>在韩国开展的研究却得出相反的结论。不一致的原因目前尚不明确,可能与不同地区的人群特征、社会经济状况等因素有关,未来需要更多类似的研究加以阐明。

### 参考文献

[1] Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, et al. Mortality risk attribut-

- able to high and low ambient temperature: a multicountry observational study [J]. *Lancet*, 2015, 386(9991): 369–75.
- [2] Vutecovici M, Goldberg M S, Valois M F. Effects of diurnal variations in temperature on non-accidental mortality among the elderly population of Montreal, Quebec, 1984–2007 [J]. *Int J Biometeorol*, 2014, 58(5): 843–52.
- [3] Mo Z, Fu Q, Zhang L, et al. Acute effects of air pollution on respiratory disease mortalities and outpatients in Southeastern China [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 3461.
- [4] 程健, 许祥青, 朱瑞, 等. 2008–2012年马鞍山市某地区的昼夜温差与每日死亡的时间序列研究 [J]. *中华疾病控制杂志* 2014, 18(4): 312–6.
- [5] Zhang Y, Peng M, Wang L et al. Association of diurnal temperature range with daily mortality in England and Wales: a nationwide time-series study [J]. *Sci Total Environ* 2018, (619–620): 291–300.
- [6] Cohen A J, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 [J]. *Lancet* 2017, 389(10082): 1907–18.
- [7] Tang J, Xiao C C, Li Y R, et al. Effects of diurnal temperature range on mortality in Hefei city, China [J]. *Int J Biometeorol*, 2018, 62(5): 851–60.
- [8] Sharafkhani R, Khanjani N, Bakhtiari B, et al. Diurnal temperature range and mortality in Urmia, the Northwest of Iran [J]. *J Therm Biol* 2017, 69: 281–7.
- [9] Bao J, Wang Z, Yu C, et al. The influence of temperature on mortality and its lag effect: a study in four Chinese cities with different latitudes [J]. *BMC Public Health* 2016, 16(1): 375.
- [10] Ding Z, Li L, Xin L, et al. High diurnal temperature range and mortality: Effect modification by individual characteristics and mortality causes in a case-only analysis [J]. *Sci Total Environ*, 2016, 544: 627–34.
- [11] Lim Y H, Kim H, Kim J H, et al. Effect of diurnal temperature range on cardiovascular markers in the elderly in Seoul, Korea [J]. *Int J Biometeorol*, 2013, 57(4): 597–603.
- [12] 赵永谦, 王黎君, 罗圆, 等. 中国66个县/区日温差对人群死亡影响的时间序列研究 [J]. *中华流行病学杂志*, 2017, 38(3): 290–6.
- [13] Zhang Y, Yu C, Yang J et al. Diurnal temperature range in relation to daily mortality and years of life lost in Wuhan, China [J]. *Int J Environ Res Public Health* 2017, 14(8): 891.
- [14] Lim Y H, Park A K, Kim H. Modifiers of diurnal temperature range and mortality association in six Korean cities [J]. *Int J Biometeorol*, 2012, 56(1): 33–42.

## A time-series study on diurnal temperature range and mortality risk in Shushan district of Hefei city 2015 ~ 2016

Xu Fengsheng<sup>1</sup>, Tian Yuhong<sup>2</sup>, Liang Jinfeng<sup>2</sup>, et al

(<sup>1</sup>Dept of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Anhui Medical University, Hefei 230032;

<sup>2</sup>Dept of Tuberculosis Prevention and Control Shushan District Center for Disease Control and Prevention Hefei 230030)

**Abstract Objective** To explore the effect of diurnal temperature range (DTR) on death. **Methods** The main daily meteorological data was collected from 2015 to 2016, including temperature, relative humidity, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, and daily death monitoring data of residents in Shushan District during the same period was collected. A Poisson generalized linear regression model combined with distributed lag non-linear model was used to estimate the impact of DTR on mortality. By controlling the average temperature, relative humidity, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and other variables, we analyzed the cumulative effect and lag effect of DTR on the occurrence of death. **Results** The DTR in this area was positively correlated with the concentrations of main air pollutants such as PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. The increase in DTR would increase the risk of death. This effect appeared on the first day after exposure, and could last for many days, reach the maximum on the third day after exposure. According to the analysis of cause of death, gender, age, marital status and academic stratification, the results showed that cardiovascular disease, elderly people over 65 years old, married people, and high school education were more susceptible to the temperature difference between day and night, male and female deaths displayed no significant differences. **Conclusion** The increase of DTR will increase the risk of death of the population, and there is a certain lag. Therefore, it is necessary to reduce the emission of major air pollutants, and properly preventive measures to reduce the negative impact on health when the temperature difference between day and night is large.

**Key words** diurnal temperature range; mortality; time-series