日温差对湖南省居民寿命损失年影响的时间序列研究

许意清[1]，蔡敏[2]，陈思齐[2]，吕玲双[1]，周纯良[1]

1. 湖南省疾病预防控制中心环境与健康科，湖南 长沙 410005
2. 广东省疾病预防控制中心广东省公共卫生研究院，广东 广州 511430

摘要：

[背景] 温度变化是影响人类健康的重要因素之一。昼夜日温差（*DTR*）是衡量温度变化的重要指标之一，了解其健康效应有助于制定人群适应气候变化的策略。

[目的] 了解湖南省 *DTR* 对居民寿命损失年（*YLLs*）的影响。

[方法] 采用分布滞后非线性模型分析湖南省 69 个区县 2013—2017 年 *DTR* 与每 10 万人寿命损失年率（*YLLsR*）的暴露 - 反应关系，然后利用多变量 meta 分析合并每个县区的效应，并分冷暖季、亚组人群和 *DTR* 区间计算疾病负担。

[结果] 研究共涉及 5 000 多万人口。各研究点非意外总死亡日均 *YLLsR* 为（22.6±13.4）/10 万，暖季（5—10 月）*DTR* 中位数（8.1 ℃）高于冷季（11 月 — 次年 4 月）（6.4 ℃）。暖季 *DTR* 与 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系呈 "U" 形，较高 *DTR* 增加非意外总死亡（*DTR* ≥ 14.3 ℃）和呼吸系统死亡（*DTR* ≥ 15.8 ℃）*YLLs* 的归因分值（*AF*）分别为 0.2%（95% *CI*：0.0%~0.5%）和 0.1%（95% *CI*：0.0%~0.3%）。女性和 ≥ 65 岁老年人为暖季敏感人群。冷季 *DTR* 与 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系呈 "J" 形，最小归因 *YLLsR* 对应的 *DTR*（*MYD*）在 2.1~2.2 ℃之间。冷季归因 *YLLs* 高于暖季，*DTR*<*MYD* 和 *DTR*>*MYD* 均增加居民非意外总死亡和心脑血管疾病死亡归因 *YLLs*。在冷季，各亚组人群 *DTR* 的非意外总死亡 *AF* 均大于 0 且有统计学意义，男性 *AF*（13.8%，95% *CI*：4.5%~23.0%）高于女性（12.3%，95% *CI*：1.7%~22.9%）；≥ 65 岁人群的归因 *YLLsR* 及其 95% *CI* 为［13.1/10 万（2.7/10 万 ~23.6/10 万）］高于 0~64 岁人群［1.8/10 万（0.5/10 万 ~3.1/10 万）］，但 0~64 岁人群 *AF* 值更大，达 14.6%（95% *CI*：4.1%~25.0%）。

[结论] *DTR* 变化能增加湖南省居民 *YLLs*。女性和老年人为暖季脆弱人群，冷季则人群普遍受影响，且危害效应较暖季更大。

关键词： 日温差；分布滞后非线性模型；meta 分析；时间序列；寿命损失年；归因分值

Effect of diurnal temperature range on years of life lost in Hunan Province: A time-series analysis

XU Yi-qing[1], CAI Min[2], CHEN Si-qi[2], LÜ Ling-shuang[1], ZHOU Chun-liang[1] (1.Department of Environment and Health, Hunan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Changsha, Hunan 410005, China; 2.Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 511430, China)

Abstract:

[Background] Temperature change has become an important factor affecting human health. Exploring the health effect of diurnal temperature difference (*DTR*), one of the important indicators to measure temperature change, is conducive to develop strategies for population adaptation to climate change.

[Objective] This study aims to evaluate the effect of *DTR* on years of life lost (*YLLs*) in Hunan Province.

[Methods] The exposure-response relationship between *DTR* and years of life lost rate (*YLLsR,* per 100 000 population) among 69 counties from 2013 to 2017 in Hunan Province was evaluated by distributed lag nonlinear model (DLNM). The pooled effect was estimated by multivariate meta-analysis. Selected category-specific disease burdens due to *DTR* were estimated including warm or cold season, gender, age groups and *DTR* intervals.

[Results] Over 50 million population was covered in this study, and the mean daily *YLLsR* of

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20085

组稿专家
马文军（广东省疾病预防控制中心广东省公共卫生研究院），E-mail：mawj@gdiph.org.cn

基金项目
湖南省自然科学基金面上项目（2020JJ4388）

作者简介
许意清（1989—），女，硕士，医师；
E-mail：xu0510yiqing@163.com

通信作者
周纯良，E-mail：hncdc4305761@sina.com

伦理审批 已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2020-03-03
录用日期 2020-05-28

文章编号 2095-9982(2020)07-0650-07
中图分类号 R122
文献标志码 A

▸引用
许意清，蔡敏，陈思齐，等. 日温差对湖南省居民寿命损失年影响的时间序列研究 [J]. 环境与职业医学，2020，37（7）：650-656.

▸本文链接
www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20085

Funding
This study was funded.

Correspondence to
ZHOU Chun-liang, E-mail: hncdc4305761@sina.com

Ethics approval Obtained
Competing interests None declared
Received 2020-03-03
Accepted 2020-05-28

▸To cite
XU Yi-qing, CAI Min, CHEN Si-qi, et al. Effect of diurnal temperature range on years of life lost in Hunan Province: A time-series analysis[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(7): 650-656.

▸Link to this article
www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20085

non-accidental deaths was (22.6±13.4)/10^5, and the median *DTR* in warm season (from May to October) (8.1℃) was higher than that in cold season (from November to next April) (6.4 ℃). In warm season, the pooled relationship between *DTR* and attributable *YLLsR* was nearly U-shaped, and the attributable fractions (*AF*) of *YLLs* increased by high level of *DTR* in total non-accidental deaths (*DTR*≥14.3℃) and respiratory system disease deaths (*DTR*≥15.8℃) were 0.2% (95% *CI*: 0.0%-0.05%) and 0.1% (95% *CI*: 0.0%-0.3%), respectively. Women and seniors (≥65 years old) were the vulnerable subgroups in warm season. In cold season, the pooled relationship between *DTR* and attributable *YLLsR* was nearly J-shaped, and the minimum attributable *YLLsR* diurnal temperature differences (*MYD*) were found between 2.1-2.2℃. The attributable *YLLs* of cold season were higher than that of warm season, and both *DTR*<*MYD* and *DTR*>*MYD* increased residents' *YLLs* from total non-accidental deaths and respiratory system disease deaths. The *AF* of total non-accidental deaths in each subgroup was significantly larger than zero in cold season. The *AF* of men (13.8%, 95% *CI*: 4.5%~23.0%) was larger than that of women (12.3%, 95% *CI*: 1.7%-22.9%). The attributable *YLLsR* among the ≥65 years old subgroup [13.1 (95% *CI*: 2.7-23.6)/10^5] was significantly higher than that of the 0-64 years old subgroup [1.8 (95% *CI*: 0.5-3.1)/10^5], but the *AF* of the latter [14.6% (95% *CI*: 4.1%-25.0%)] was larger.

[Conclusion] The change of *DTR* exposure would increase the *YLLs* of residents in Hunan Province. Women and the elderly are vulnerable groups in warm season, while general residents in cold season are generally affected, and the adverse effect size in cold season is larger than that in warm season.

Keywords: diurnal temperature range; distributed lag nonlinear model; meta-analysis; time-series; years of life lost; attributable fraction

越来越多的流行病学研究证实，气温过高或过低均能增加不同地区人群死亡风险，且存在数天至数周的滞后期[1-4]。目前，大量研究关注日平均温度与死亡的暴露-反应关系，但对日温差（diurnal temperature difference，*DTR*）（日最高气温与最低气温的差值）变化的健康效应研究不多，且多局限于单个城市[5-7]。了解*DTR*的健康效应对更好制定人群适应气候变化的策略意义重大。相比死亡数，寿命损失年（years of life lost，*YLLs*）考虑了不同特征人群的期望寿命，以其作为健康结局变量可能具有更高的价值[8]。为此，本研究选择湖南省69个区县作为研究点，分析*DTR*对*YLLs*的影响，并计算*DTR*的疾病负担。这不仅对湖南省制定相应的气温适应措施有指导意义，同时对其他地区也有参考价值。

1 材料与方法

1.1 资料收集

选择湖南省人口数≥200 000或年死亡率≥4‰的69个区县为研究点。各研究点2013—2017年死亡个案信息（性别、年龄、死亡日期、根本死因等）来源于中国疾病预防控制中心死因监测系统，按照国际疾病分类第十版分为非意外总死亡（A00~R99）、心脑血管疾病死亡（I00~I99）和呼吸系统疾病死亡（J00~J99）。各研究点人口数据来源于中国疾病预防控制中心基本信息系统。同期的日平均气温、日最高温、日最低温、日平均相对湿度数据来源于中国气象科学数据共享服务系统。该研究获得湖南省疾病预防控制中心伦理委员会批准（编号：湘疾控IRB2020018）。

1.2 分析方法

1.2.1 *YLLs*的计算 采用简略寿命表计算方法[9]，利用2010年中国普查的人口信息和死亡数据信息计算期望寿命表。通过匹配死亡个案的性别和年龄，计算个体*YLLs*，然后分别汇总每日总*YLLs*以及不同性别、年龄、疾病类型的*YLLs*。由于各个研究点*YLLs*与人口数相关，为了合并各研究点的效应及比较不同区域的效应，故用各研究点*YLLs*除以其人口数再乘以10万，得到每10万人口的寿命损失年率（years of life lost rate，*YLLsR*）作为健康结局指标。计算公式如下：$YLLsR_i = YLLs_i$/研究点*i*人口数×100 000。

1.2.2 气象因素空间插值 由于国控气象站点并未完全覆盖这69个研究点，故采用气候空间插值方法，基于薄板样条函数理论，引入多个影响因子作为协变量进行气象要素空间插值。运用Anusplin 4.2，利用全国698个气象站点的日均温度，以经纬度作为自变量，海拔作为协变量，插值形成分辨率为每日0.01°×0.01°的全国日均温度的栅格数据，从中提取69个研究点的日均温度，整理形成时间序列数据。采用同样的方法获取日最高温、日最低温和日相对湿度。

1.2.3 暴露-反应关系拟合 暴露-反应关系拟合分两阶段。第一阶段在每个研究点建立分布滞后非线性模型（distributed lag nonlinear model，DLNM），连接高斯函数，估计出每个研究点的*YLLsR*与*DTR*的暴露-反应关系。将日平均气温、日平均相对湿度作为控制变量，同时加入时间趋势项、星期哑变量控制长期趋势和星期效应。$E(YLLsR_i) = \alpha + \beta_{1t} \cdot DTR_{t,l} + \beta_{2t} \cdot Temp_{t,l} + NS(RH, \upsilon) + NS(Time, \upsilon) + DOW + \varepsilon$，式中：$E(YLLsR_i)$为研究点*i*日期望$YLLsR_i$；$\alpha$为截距；$DTR_{t,l}$为*DTR*与滞后时间的交叉基；$Temp_{t,l}$为日均气温与滞后时间的交叉基；$\beta_{1t}$、$\beta_{2t}$分别为对应不同*DTR*和*Temp*值的回归

系数；*NS* 为自然立方样条函数；*u* 为自由度；*RH* 为日平均湿度，*Time* 为时间变量；*DOW* 为星期几虚拟变量。

前期研究证实平均温度、*DTR* 暴露与健康效应间存在数天的滞后效应[7]。研究设置滞后最长时间为 21 d，并通过比较不同滞后期效应，选定平均温度滞后为 21 d、*DTR* 滞后为 12 d；根据类赤池信息准则（quasi-Akaike Information Criterion，QAIC）最小原则，结合拟合效果，确定 *DTR* 和日平均温度为在分布的 10%、50% 和 90% 三个结点拟合的二次多项式“bs”样条函数，时间滞后项为 *u*=4 等结距拟合的二次多项式“bs”样条函数。$DTR_{t,l}$ 和 $Temp_{t,l}$ 分别为 *DTR* 和日平均温度与时间滞后项建立交叉基，通过拟合 DLNM，经降维，获得每个研究点 *DTR* 与 *YLLsR* 的累积暴露 - 反应关系。模型中 *RH* 和 *Time* 以自然立方样条函数纳入模型，*RH* 的 *u*=3，*Time* 的自由度全年分析设置为 8 年$^{-1}$，冷、暖季设置为 4 年$^{-1}$。本研究将月平均温度较高的 5—10 月定义为暖季，将 11 月 — 次年 4 月定义为冷季。

第二阶段通过 meta 分析合并全部 69 个研究点的 *DTR* 与 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系。以最小 *YLLsR* 对应的 *DTR*（the minimum attributable *YLLsR* diurnal temperature difference，*MYD*）为参照 *DTR*，获得每个 *DTR* 对应的归因 *YLLsR*。并按照下式计算归因分值（attributable fraction，*AF*）：$AF=\sum_{i=1}^{n}$ 归因 $YLLsR_i$× 研究点 *i* 人口数 /（$100\,000\times\sum_{i=1}^{n}YLLs_i$）。

1.3 统计学分析

采用 R 3.5.1 软件进行数据整理和统计描述，并采用 dlnm 程序包构建 DLNM 模型。采用 mvmeta 程序包进行 meta 分析。

2 结果

2.1 描述性分析

研究共纳入了 69 个符合入选条件的区县，涉及人口数超 5 000 万，累积 *YLLs* 为 209.7×10^5 人年。2013 年 1 月 1 日 —2017 年 12 月 31 日各研究点死于非意外总死亡的日均 *YLLsR* 为（22.6±13.4）/10 万，男性［（26.5±18.2）/10 万］高于女性［（18.6±14.8）/10 万］（$P<0.05$），≥65 岁人群［（113.7±72.3）/10 万］高于 0~64 岁人群［（12.2±10.5）/10 万］（$P<0.05$）；死于心脑血管疾病和呼吸系统疾病的日均 *YLLsR* 分别为（10.1±7.5）/10 万和（2.3±3.2）/10 万。全年 *DTR*、日平均温度和相对湿度的中位数（P_{25}，P_{75}）分别为 7.4（4.7，10.1）℃、18.5（10.4，24.7）℃和 78.9%（70.5%，86.1%）；暖季 *DTR* 和日平均温度中位数均高于冷季（$P<0.05$）。见表 1。

表 1 2013—2017 年湖南省日平均 *YLLsR* 和气象因素的基本描述

Table 1 Daily average *YLLsR* and meteorological factors during 2013 to 2017 in Hunan Province

指标 Variable	均值 $\bar{x}$	标准差 s	百分位数 Percentile				
			P_0	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{100}
寿命损失年率 /×10^{-5} *YLLsR*/×10^{-5}							
非意外总死亡 Total non-accidental death	22.6	13.4	0	13.5	20.7	29.3	343.6
男 Male	26.5^a	18.2	0	13.9	23.4	35.3	405.6
女 Female	18.6^a	14.8	0	8.2	15.8	25.7	297.3
0-64 岁 0-64 years old	12.2^a	10.5	0	4.9	10.3	17.4	257.6
≥ 65 岁 ≥ 65 years old	113.7^a	72.3	0	66.2	102.5	147.2	2 428.5
心脑血管疾病死亡 Cardiovascular and cerebrovascular disease death	10.1	7.5	0	5.0	8.8	13.7	225.5
呼吸系统疾病死亡 Respiratory system disease death	2.3	3.2	0	0	1.4	3.4	65.5
全年气象因素 Meteorological factors in whole year							
日温差 /°C Diurnal temperature range/°C	7.6	3.6	0	4.7	7.4	10.1	23.2
日平均温度 /°C Mean daily temperature/°C	17.7	8.3	-3.5	10.4	18.5	24.7	34.5
平均相对湿度 /% Mean relative humidity/%	77.8	11.0	30.7	70.5	78.9	86.1	100
暖季气象因素 Meteorological factors in warm season							
日温差 /°C Diurnal temperature range/°C	8.0	3.0	0.1	5.7	8.1^c	10.1	18.9
日平均温度 /°C Mean daily temperature/°C	24.4	4.4	7.8	21.5	24.6^d	27.6	34.5
平均相对湿度 /% Mean relative humidity/%	78.4	9.8	42.8	71.5	79.0	85.8	100.0
冷季气象因素 Meteorological factors in cold season							
日温差 /°C Diurnal temperature range/°C	7.2	4.1	0	3.8	6.4^c	10.2	23.2
日平均温度 /°C Mean daily temperature/°C	11.0	5.4	-3.5	7.0	10.4^d	14.9	28.6
平均相对湿度 /% Mean relative humidity/%	77.2	12.1	30.7	69.3	78.8	86.5	100.0

［注］具有相同字母者差异有统计学意义，$P<0.05$。

［Note］Statistical significant differences between two groups marked with same superscript letters, $P<0.05$.

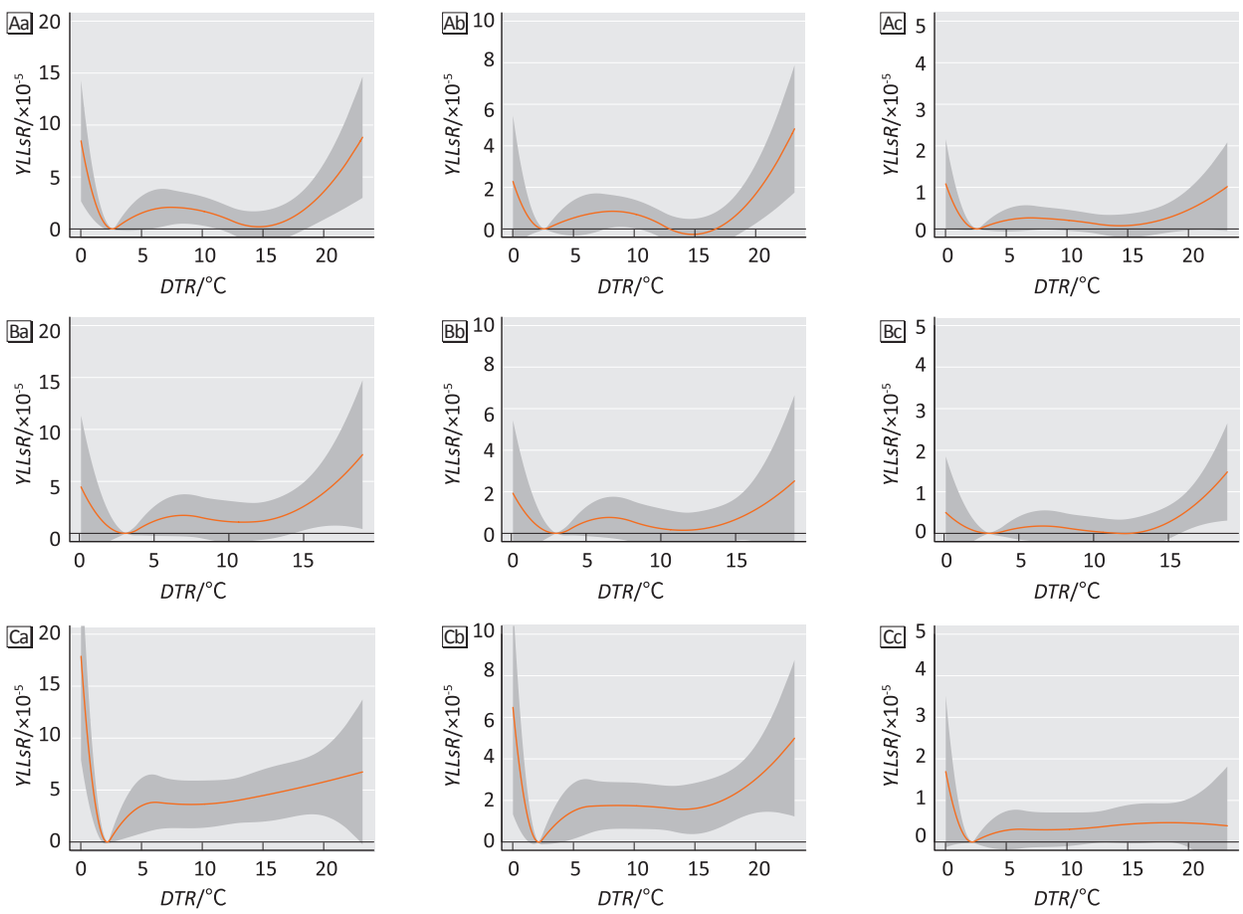
2.2 *DTR* 与归因 *YLLsR* 的关系

图 1、图 2 分别为在全年、暖季和冷季，分死因和亚组人群（男性、女性、0~64 岁人群和≥65 岁人群）拟合的 *DTR* 与归因 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系。总体而言，全年暴露 - 反应关系变动趋势较为一致，均呈 "U" 形，高 *DTR* 或低 *DTR* 均会引起 *YLLsR* 升高。考虑到冷暖季节可能存在差异，故分季节进行拟合：(1) 暖季 *DTR* 与归因 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系拟合图呈两端高中间低的 "U" 形，*MYD* 在 3.0~3.1℃之间（详见表 2）。仅在较大 *DTR* 值区间，非意外总死亡、呼吸系统疾病死亡、女性和≥65 岁人群非意外总死亡的归因 *YLLsR* 总体均值不为 0 且有统计学意义，且随着 *DTR* 升高，效应增加。(2) 冷季 *DTR* 与归因 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系拟合图呈 "J" 形，*MYD* 在 2.1~2.2℃之间（详见表 2）。在 *DTR*<*MYD* 区间内，*DTR* 越小，归因 *YLLsR* 越大；而在 *DTR*>*MYD* 区间内，*DTR* 越大，归因 *YLLsR* 越大。除 *MYD*±0.2℃外，非意外总死亡和心脑血管疾病死亡归因 *YLLsR* 总体均值均不为 0 且有统计学意义。

研究进一步估算了冷、暖季各死因和亚组人群非 *MYD* 的 *DTR* 下的归因 *YLLsR*（表 2），结果表明：(1) 相比暖季，冷季 *DTR* 的归因 *YLLsR* 较高；(2) 暖季仅≥65 岁人群的非意外总死亡归因 *YLLsR* 有统计学意义。(3) 冷季日均非意外总死亡归因 *YLLsR* 及其 95% *CI* 为 3.1/10 万（1.0/10 万 ~5.2/10 万），心脑血管疾病死亡归因 *YLLsR* 为 1.4/10 万（0.3/10 万 ~2.4/10 万），均有统计学意义（$P<0.05$）。非 *MYD* 的 *DTR* 对各亚组人群非意外总死亡的归因 *YLLsR*（男性、女性、≥65 岁人群和 0~64 岁人群）均有统计学意义（$P<0.05$）。

2.3 *DTR* 所致 *AF*

研究进一步根据 *DTR* 与归因 *YLLsR* 暴露反应关系特征，冷季选取总体均值不为 0 的区间，暖季则以 *MYD* 为分界值进行区间 *AF* 的计算。

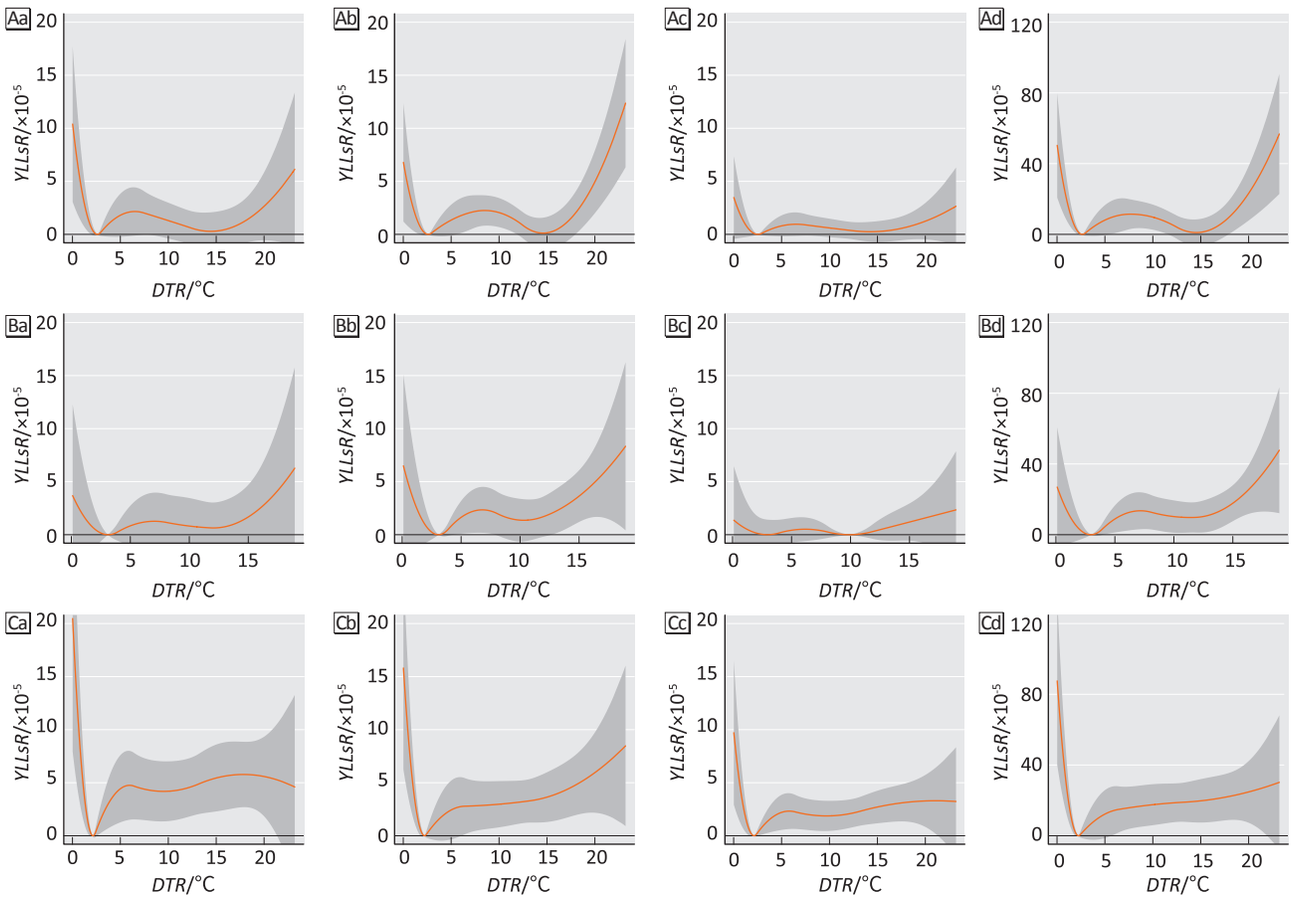


[注] A：全年；B：暖季；C：冷季；a：非意外总死亡；b：心脑血管疾病死亡；c：呼吸系统疾病死亡。

[Note] A: Whole year; B: Warm season; C: Cold season; a: Non-accidental deaths; b: Cardiovascular and cerebrovascular disease deaths; c: Respiratory system disease deaths.

图 1 *DTR* 与各死因归因 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系拟合图（以 *MYD* 为参考）

Figure 1 Exposure-response relationship of *DTR* and death cause-specific *YLLsR* (with *MYD* as reference)



[注] A：全年；B：暖季；C：冷季；a：男性；b：女性；c：0~64 岁；d：≥65 岁。

[Note] A: Whole year; B: Warm season; C: Cold season; a: Male; b: Female; c: 0-64 years old; d: ≥65 years old.

图 2 *DTR* 与各亚组人群非意外总死亡归因 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系拟合图（以 *MYD* 为参考）

Figure 1 Exposure-response relationship of *DTR* and death cause-specific *YLLsR* among selected subgroups (with *MYD* as reference)

表 2 各死因和亚组人群 *MYD* 及 *DTR* 归因 *YLLsR*

Table 2 *MYD* and attributable *YLLsR* due to *DTR* grouped by selected death causes and subgroups

死因及亚组 Death cause and subgroup	*MYD*/°C和百分位数 *MYD*/°C and percentile			*DTR*≠*MYD* 的归因 *YLLsR* 及 95% *CI*/×10^{-5} Attributable *YLLsR* and 95% *CI* due to non-*MYD*/×10^{-5}		
	全年 Whole year	暖季 Warm season	冷季 Cold season	全年 Whole year	暖季 Warm season	冷季 Cold season
非意外总死亡（Total non-accidental death）	2.6 ($P_{7.5}$)	3.1 ($P_{5.1}$)	2.2 ($P_{8.2}$)	1.4 (0.0~2.7) [a]	1.3 (-0.5~3)	3.1 (1.0~5.2) [a]
男（Male）	2.6 ($P_{7.5}$)	3.1 ($P_{5.1}$)	2.1 ($P_{7.1}$)	1.3 (-0.3~3.0)	0.9 (-1.4~3.2)	3.8 (1.2~6.3) [a]
女（Female）	2.6 ($P_{7.5}$)	3.1 ($P_{5.1}$)	2.2 ($P_{8.2}$)	1.4 (0.2~2.7) [a]	1.7 (-0.1~3.5)	2.4 (0.3~4.5) [a]
0~64 岁（0-64 years）	2.5 ($P_{6.5}$)	3.0 ($P_{4.6}$)	2.1 ($P_{7.1}$)	0.6 (-0.2~1.5)	0.3 (-0.5~1.1)	1.8 (0.5~3.1) [a]
≥65 岁（≥65 years）	2.6 ($P_{7.5}$)	3.0 ($P_{4.6}$)	2.2 ($P_{8.2}$)	7.6 (0.7~14.6) [a]	10.2 (1.7~18.7) [a]	13.1 (2.7~23.6) [a]
心脑血管疾病死亡 Cardiovascular and cerebrovascular disease death	2.6 ($P_{7.5}$)	3.0 ($P_{4.6}$)	2.1 ($P_{7.1}$)	0.5 (-0.2~1.2)	0.4 (-0.4~1.3)	1.4 (0.3~2.4) [a]
呼吸系统疾病死亡 Respiratory system disease death	2.6 ($P_{7.5}$)	3.0 ($P_{4.6}$)	2.2 ($P_{8.2}$)	0.2 (-0.1~0.4)	0.1 (-0.2~0.4)	0.3 (-0.1~0.6)

[注（Note）] a：$P<0.05$。

在暖季，仅较大 *DTR* 值区间归因 *YLLsR* 总体均值不为 0 且有统计学意义：*DTR*≥14.3 °C 时，*DTR* 所致非意外总死亡归因 *YLLs* 占总 *YLLs* 的 *AF* 为 0.2%（95% *CI*：0.0%~0.5%）；女性和≥65 岁者为敏感人群，*DTR*≥12.7°C所致女性非意外总死亡的 *AF* 为 1.0%（95% *CI*：0.2%~1.7%），*DTR*≥12.2 °C 所致≥65 岁者非意外总死亡的 *AF* 为 1.1%（95% *CI*：0.3%~1.9%）；*DTR*≥15.8°C时，*DTR* 所致呼吸系统疾病死亡的 *AF* 为 0.1%（95% *CI*：0.0%~0.3%）。见表 3。

在冷季，*DTR*<*MYD* 和 *DTR*>*MYD* 所致非意外总死

亡、心脑血管疾病死亡和各亚组人群非意外总死亡的 *AF* 总体均值均不为 0 且有统计学意义，*DTR*<*MYD* 所致归因 *YLLs* 约占总归因 *YLLs* 的 2.4%~4.5%；男性 *AF*（13.8%）高于女性（12.3%）；0~64 岁人群的 *AF*（14.6%）高于≥65 岁人群（11.1%）。见表 4。在暖季，仅极个别 *DTR* 值对应的 *YLLR* 的置信区间无统计学意义，剔除后对结果影响不大。

表 3 暖季 *DTR* 所致 *YLLs* 的 *AF*

Table 3 Attributable fraction of attributable *YLLs* due to *DTR* in warm season

死因及亚组 Death cause and subgroup	日温差区间/°C *DTR* intervals/°C	*AF* (95%*CI*) / %
非意外总死亡（Total non-accidental death）	≥14.3	0.2 (0.0~0.5) [a]
女（Female）	≥12.7	1.0 (0.2~1.7) [a]
≥65 岁（≥65 years old）	≥12.2	1.1 (0.3~1.9) [a]
呼吸系统疾病死亡（Respiratory system disease death）	≥15.8	0.1 (0.0~0.3) [a]

[注（Note）] a：$P<0.05$。

表 4 冷季各死因和亚组人群 *DTR* 的 *AF*

Table 4 Attributable fraction of attributable *YLLs* due to *DTR* grouped by selected death causes and subgroups in cold season %

死因和亚组 Death cause and subgroup	*DTR*≠*MYD* 总 *AF* 及 95%*CI* Total *AF* and 95%*CI*	*DTR*<*MYD*		*DTR*>*MYD*	
		AF (95%*CI*)	占总 *AF* 的比例 Proportion to total *AF*	*AF* (95%*CI*)	占总 *AF* 的比例 Proportion to total *AF*
非意外总死亡（Total non-accidental death）	13.2 (4.4~22.0) [a]	0.5 (0.1~0.8) [a]	3.8	12.7 (4.3~21.2) [a]	96.2
男（Male）	13.8 (4.5~23.0) [a]	0.4 (0.1~0.8) [a]	2.9	13.3 (4.4~22.3) [a]	96.4
女（Female）	12.3 (1.7~22.9) [a]	0.5 (0.1~0.9) [a]	4.1	11.8 (1.6~22.0) [a]	95.9
0~64 岁（0-64 years old）	14.6 (4.1~25.0) [a]	0.4 (0.1~0.8) [a]	2.7	14.1 (4.0~24.2)	96.6
≥65 岁（≥65 years old）	11.1 (2.2~20.0) [a]	0.5 (0.2~0.8) [a]	4.5	10.6 (2.1~19.2)	95.5
心脑血管疾病死亡 Cardiovascular and cerebrovascular disease death	12.5 (2.9~22.0) [a]	0.3 (0.0~0.7) [a]	2.4	12.1 (2.9~21.3)	96.8
呼吸系统疾病死亡 Respiratory system disease death	10.7 (-4.0~25.4)	0.4 (-0.1~1.0)	3.7	10.2 (-3.9~24.4)	95.3

[注（Note）] a：$P<0.05$。

3 讨论

本研究基于湖南省 69 个区县进行长达 5 年、覆盖超过 5 000 万人口的长时间序列分析，累计 *YLLs* 达 209.7×10^5 人年。研究再次证实在控制日平均温度等混杂因素影响后，*DTR* 是增加居民 *YLLs* 的危险因素之一，且证实了在冷季和暖季 *DTR* 与归因 *YLLsR* 的关系和危害效应存在差异。

既往研究表明，气温对居民非意外死亡率、心脑血管疾病死亡率等会造成影响，温度的骤然改变更为如此。Lim 等 [10] 证实 *DTR* 每增加 1°C，会增加 0.27% 美国大型社区居民非意外总死亡率；在另一项韩国 6 个城市的研究中，危害效应达 0.5% [11]。Kan 等 [12] 在上海的一项研究中发现，*DTR* 每增加 1°C，会增加 1.37% 非意外总死亡率、1.86% 心脑血管疾病死亡率、1.29% 呼吸系统疾病死亡率。Lim 等 [13]、Graudenz 等 [14] 研究表明，*DTR* 可能是通过影响人体心率、血压变化以及加重免疫抑制和炎症反应，诱发或加速心脑血管等疾病的死亡。本研究考虑了不同性别和年龄人群的寿命减损，定量评估了以 *MYD* 为参照，*DTR* 变化对湖南居民造成的疾病负担：在暖季 *DTR* 变化增加每 10 万 65 岁以上老年人群 10.2 人年的日均非意外总死亡寿命减损；在冷季人群普遍受影响，*DTR* 变化增加每 10 万人 3.1 人年的日均非意外总死亡和 1.4 人年的心脑血管疾病死亡寿命减损，*AF* 分别为 13.2% 和 12.5%。危害效应不容忽视。

本研究发现 *DTR* 与居民 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系为非线性，近似 “U” 形或 “J” 形，这与国内外部分研究相一致。张慧玲等 [15] 在银川市发现 *DTR* 与居民死亡率呈 “L” 形，Lim 等 [11] 在韩国发现 *DTR* 与每日死亡数呈 “U” 形。而 Lim 等 [10] 对美国大型社区居民的研究和 Kan 等 [12] 在上海的研究则发现 *DTR* 与死亡率呈线性关系，这可能与地域差异有关 [15]。

此外本研究发现，*DTR* 与居民 *YLLsR* 的暴露 - 反应关系、效应大小在冷暖季间均存在较大差异，冷季危害效应高于暖季。张慧玲等 [15] 研究发现 *DTR* 在银川冷季效应不明显，这可能是由于位于北方的银川冷季全面供暖，且居民寒冷季节多在室内活动，受外部温度影响较小，而湖南省虽然地处南方，但冷季平均温度较低，且尚未全面供暖，冷季室内温度控制措施效果不佳。

在暖季，仅较高 *DTR* 增加女性和老年人群 *YLLs*，而在冷季暴露 - 反应关系呈 “J” 形，*MYD* 在 2.1~2.2°C 之间，*DTR*<*MYD* 和 *DTR*>*MYD* 均会增加居民 *YLLs*。该暴露 - 反应关系与既往的一些研究存在差异。Zhang 等 [6] 研究发现 *DTR* 越大，*YLLs* 损失越大，而本研究表明在冷季 *DTR*<*MYD* 时，*DTR* 越小，危害效应越大。赵永谦

等[16]在一项纳入中国66个县/区的研究中发现极低*DTR*危害效应不显著，而本研究结果表明，在冷季极低*DTR*（<*MYD*）也带来了0.5%的非意外总死亡寿命损失和0.3%的心脑血管疾病死亡寿命损失。这一方面可能是由于本研究考虑了季节影响，另一方可能是由于地区差异，湖南省*DTR*小于*MYD*的天数更多，赵永谦等[16]研究区域第5百分位数*DTR*为2.7℃，高于湖南的1.9℃，也高于湖南的*MYD*。

由于生理调节能力、基础疾病、社会角色、应对温度变化采取保暖降温措施等差异，不同性别和年龄组人群对昼夜*DTR*骤变的敏感性存在差异[14]。与既往研究结果一致，≥65岁老年人对*DTR*变化最为敏感[17]，冷季≥65岁老年人群归因*YLLsR*高达13.1/10万，暖季也高达10.2/10万。与以忽略年龄权重的日死亡数为健康效应指标的研究相比[16]，本研究除发现*DTR*会给老年人带来较大的归因*YLLsR*损失外，还发现在冷季0~64岁人群*DTR*的*AF*更大，这警示面对温度的骤然变化，年轻人也应及时采取温度骤变应对措施。

本研究存在一定的局限性：(1) 由于数据难以获取，未将空气污染和地区医疗卫生水平、经济因素纳入分析；(2) 死亡病例存在一定的漏报率；(3) 研究属于生态学研究，为群体水平研究，相关结论推论到个体水平易产生偏倚。

综上所述，本研究证明*DTR*变化能增加湖南省居民寿命损失年，女性和老年人为暖季脆弱人群，冷季则人群普遍受影响，且危害效应较暖季更大，不容忽视，应引起重视。

参考文献

[1] YE X，WOLFF R，YU W，et al. Ambient temperature and morbidity：a review of epidemiological evidence [J]. Environ Health Perspect，2012，120 (1)：19-28.

[2] XU Z，FITZGERALD G，GUO Y，et al. Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions：a systematic review and meta-analysis [J]. Environ Int，2016，89-90：193-203.

[3] ZHANG B，LI G，MA Y，et al. Projection of temperature-related mortality due to cardiovascular disease in Beijing under different climate change，population，and adaptation scenarios [J]. Environ Int，2018，162：152-159.

[4] 黄仁发，李如，李建华，等. 分布滞后非线性模型评估气温对赣州市流感发病的影响 [J]. 实用预防医学，2019，26 (5)：525-527.

[5] SHARAFKHANI R，KHANJANI N，BAKHTIARI B，et al. Diurnal temperature range and mortality in Urmia，the Northwest of Iran [J]. J Therm Biol，2017，69：281-287.

[6] 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.

[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)：851-860.

[8] YANG J，OU C Q，GUO Y，et al. The burden of ambient temperature on years of life lost in Guangzhou，China [J]. Sci Rep，2015，5：12250.

[9] 项坚煜，王静. 简略寿命表的快速计算 [J]. 价值工程，2011，30 (28)：138-139.

[10] LIM Y H，REID C E，MANN J K，et al. Diurnal temperature range and short-term mortality in large US communities [J]. Int J Biometeorol，2015，59 (9)：1311-1319.

[11] LIM Y H，PARK A K，KIM H，et al. Modifiers of diurnal temperature range and mortality association in six Korean cities [J]. Int J Biometeorol，2012，56 (1)：33-42.

[12] KAN H，LONDON S J，CHEN H，et al. Diurnal temperature range and daily mortality in Shanghai，China [J]. Environ Res，2007，103 (3)：424-431.

[13] 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.

[14] GRAUDENZ G S，LANDGRAF R G，JANCAR S，et al. The role of allergic rhinitis in nasal responses to sudden temperature changes [J]. J Allergy Clin Immunol，2006，118 (5)：1126-1132.

[15] 张慧玲，汪庆安，杨艺，等. 银川市日内温差与居民心血管病死亡人数的时间序列研究 [J]. 中华疾病控制杂志，2018，22 (1)：23-28.

[16] 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)：290-296.

[17] YANG J，LIU H Z，OU C Q，at al. Global climate change：impact of diurnal temperature range on mortality in Guangzhou，China [J]. Environ Pollut，2013，175：131-136.

（英文编辑：汪源；责任编辑：汪源）