隔日温差对居民寿命损失年的影响及其归因分值：基于2013—2017年云南省数据

朱秋艳[1]，胡建雄[2]，陈思齐[2]，秦明芳[1]，肖义泽[1]

1. 云南省疾病预防控制中心慢性非传染性疾病防制所，云南 昆明 650022
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] 在全球气候变暖的大背景下，温度变异对人体健康的影响受到关注。

[目的] 探讨隔日温差（*TCN*）对居民非意外死亡寿命损失年（*YLL*）的影响，定量评估可归因于 *TCN* 的人群寿命损失年百分比。

[方法] 收集云南省2013—2017年56个区县的每日非意外死亡数据与气象数据资料，根据寿命表计算 *YLL* 率（每10万人口 *YLL* 值），采用分布滞后非线性模型和meta分析结合的两阶段分析方法，以4—9月份为暖季，其余时间为冷季，分别建立冷、暖季 *TCN* 与人群 *YLL* 率的暴露反应关系，并计算归因分值（*AF*）。

[结果] 冷、暖季 *TCN* 中位数均为0.1℃。与 *TCN*=0℃相比：暖季 *TCN* 平均每降低1℃，*YLL* 率及其95% *CI* 降低2.00/10万（0.28/10万~8.71/10万）；隔日升温1.4℃以内时可引起 *YLL* 率的增加，*TCN*=1.4℃时 *YLL* 率及其95% *CI* 增加2.15/10万（0.04/10万~4.26/10万）。冷季隔日降温9.2℃以内时可引起 *YLL* 率的降低，*TCN*=9.2℃时 *YLL* 率及其95% *CI* 降低8.78/10万（0.64/10万~16.45/10万）。老年人（≥65岁）较中青年人（0~64岁）更易受 *TCN* 的影响，暖季 *TCN* 平均每变化1℃，中青年和老年人的 *YLL* 率平均改变1.18/10万、5.18/10万，冷季则分别为0.79/10万和8.82/10万。暖季 *TCN* 下降对男性的作用大于女性，冷季 *TCN* 下降幅度超过7.61℃后对女性的影响更大。隔日降温引起可归因于 *TCN* 的 *YLL* 下降，隔日升温均引起归因 *YLL* 上升，中等降温（*TCN* 为 $P_{2.5}$~0℃）的影响最大（暖季 *AF*=-5.76%，95% *CI*：-7.10%~-4.49%；冷季 *AF*=-3.98%，95% *CI*：-5.83%~-2.07%）。

[结论] 隔日温度升高对居民寿命损失存在不良影响。

关键词：隔日温差；寿命损失年；归因分值；分布滞后非线性模型；meta分析

Effect of temperature change between neighboring days on years of life lost and attribution in Yunnan Province, 2013–2017

ZHU Qiu-yan[1], HU Jian-xiong[2], CHEN Si-qi[2], QIN Ming-fang[1], XIAO Yi-ze[1] (1.Institute for Prevention and Control of Chronic Non-communicable Diseases, Yunnan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Kunming, Yunnan 650022, China; 2.Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangzhou 511430, China)

Abstract:

[Background] In the context of global climate change, the health effect of temperature change has been a focus.

[Objective] This study is designed to investigate the impact of temperature change between neighboring days (*TCN*) on the years of life lost (*YLL*) of residents in Yunnan Province, and quantitatively assess the proportion of *YLL* attributed to *TCN*.

[Methods] We collected the daily non-accidental death records and meteorological data of 56 districts or counties in Yunnan Province from 2013 to 2017, and calculated the *YLL* rate (*YLL* per 10^5 inhabitants) based on the life table. We defined April through September as warm season and the other months as cold season, then we established exposure-response relationships between *TCN* and *YLL* respectively in the two seasons and calculated attributable fraction (*AF*) by using two-stage analysis method combining a distributed lag nonlinear model and a meta-analysis.

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20078

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

作者简介
朱秋艳（1991—），女，硕士，医师；
E-mail：15825287947@163.com

通信作者
肖义泽，E-mail：xyz6292@sina.com

伦理审批 已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2020-03-01
录用日期 2020-05-20

文章编号 2095-9982(2020)07-0643-07
中图分类号 R12
文献标志码 A

▸引用
朱秋艳，胡建雄，陈思齐，等.隔日温差对居民寿命损失年的影响及其归因分值：基于2013—2017年云南省数据[J].环境与职业医学，2020，37(7)：643-649.

▸本文链接
www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20078

Funding
This study was funded.

Correspondence to
XIAO Yi-ze, E-mail: xyz6292@sina.com

Ethics approval Obtained
Competing interests None declared
Received 2020-03-01
Accepted 2020-05-20

▸To cite
ZHU Qiu-yan, HU Jian-xiong, CHEN Si-qi, et al. Effect of temperature change between neighboring days on years of life lost and attribution in Yunnan Province, 2013–2017[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(7): 643-649.

▸Link to this article
www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20078

[Results] The medians of *TCN* in both cold and warm seasons were 0.1 ℃ . Compared with *TCN*=0 ℃ , in warm season, for every 1 ℃ decrease of *TCN*, the *YLL* rate was decreased by 2.00/10^5 (95% *CI*: 0.28/10^5-8.71/10^5); temperature increase between neighboring days (⩽1.4℃) increased the *YLL* rate, and when *TCN*=1.4℃ , the *YLL* rate was increased by 2.15/10^5 (95% *CI*: 0.04/10^5-4.26/10^5). In cold season, temperature decrease between neighboring days (⩽9.2℃) reduced the *YLL* rate, and when *TCN*=9.2℃ , the *YLL* rate was decreased by 8.78/10^5 (95% *CI*: 0.64/10^5-16.45/10^5). The elderly (⩾ 65 years old) were more likely to be affected by *TCN* than the young (0-64 years old). For every 1℃ change of *TCN*, the *YLL* rates of the young and elderly residents changed 1.18/10^5 and 5.18/10^5 in warm season on average respectively, while 0.79/10^5 and 8.82/10^5 in cold season respectively. *TCN* decrease between neighboring days in warm season had a greater impact on males than on females; however, when the *TCN* decreased more than 7.61℃ in cold season, females were more susceptible. Temperature decrease between neighboring days gave rise to the *YLL* decrease attributable to *TCN*, and temperature increase between neighboring days caused the *YLL* increase attributable to *TCN*. Moderate cooling (*TCN*: $P_{2.5}$-0℃) had the greatest effect on *AF* (warm season, *AF*=–5.76%, 95% *CI*: –7.10%--4.49%; cold season, *AF*=–3.98%, 95% *CI*: –5.83%--2.07%).

[Conclusion] Temperature increase between neighboring days has an adverse impact on the years of life lost in selected residents.

Keywords: temperature change between neighboring days; year of life lost; attributable fraction; distributed lag nonlinear model; meta-analysis

全球气候变暖已成为大众关注的热点问题，国内外有关气温与不同健康结局的研究越来越多，但针对温度变异对人体健康影响的研究相对较少[1-3]。流行病学研究发现，隔日温差（temperature changes between neighboring days，*TCN*）可能影响人群健康。*TCN* 变化可能与人群非意外死亡、心脑血管疾病及呼吸系统疾病的死亡风险有关，且这种关联可能受到 *TCN* 变化的大小、方向、季节和地理位置的影响[4-6]。目前针对温度变化与健康的研究多以死亡数作为健康结局指标[6-9]，忽略了不同年龄对气温及气温变化的敏感性差异，可能存在高估健康风险的现象。居民寿命损失年（year of life lost，*YLL*）是基于寿命表进行计算的指标，考虑不同年龄死亡的区别，可更准确地评估健康作用[10]。*YLL* 受到地区人口数量的影响，不同区域难以直接对比，可基于人口换算为 *YLL* 率（如每 10 万人 *YLL* 值）进行研究。

云南省地处低纬高原，位于北纬 21°8′~29°15′，东经 97°31′~106°11′，自然地理环境复杂多样，属于热带、亚热带季风气候，干湿季节差异明显，独特的地形地貌使气温、降水等气象要素复杂多变。本研究通过收集云南省居民死因监测资料和同期气象资料，基于分布滞后非线性模型（distribution lag nonlinear model，DLNM）和 meta 分析结合的二阶段分析方法[11-12]，利用暴露-反应关系和归因分值（attributable fraction，*AF*）[13] 评价 *TCN* 的健康作用和归因风险，为探索温度变异的健康作用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 人口和死亡资料 基于云南省疾病预防控制中心死因登记报告信息系统，收集 2013—2017 年云南省区（县）每年的年末人口数和死亡个案数据，包括性别、年龄、死亡日期、居住地点和根本死因等信息，并按照区县进行统计。为保证统计学功效，仅纳入人口数⩾20 万或年死亡率⩾4‰ 的 56 个区（县）[10]。根据第 10 版国际疾病分类（International Classification of Disease 10th Revision，ICD-10）编码，非意外总死亡编码为 A00~R99，其中心脑血管系统疾病为 I00~I99，呼吸系统疾病为 J00~J99；本研究将除此两类外的死因统一为其他死因。本研究经广东省疾病预防控制中心医学科研伦理委员会评审通过（评审号：2019025）。

1.1.2 气象资料 研究期间的气象数据资料来源于中国气象信息共享中心（http://cdc.cma.gov.cn），收集日平均气温、相对湿度等数据。为进一步获取每个区（县）精准的气象资料，基于薄板样条函数，将经纬度作为自变量，海拔高度作为协变量进行空间插值，分别获得分辨率为 0.01°×0.01° 的每日平均气温和相对湿度栅格数据。10 折交叉显示，日平均温度的决定系数和均方根误差分别为 0.96 和 2.37，相对湿度分别为 0.81 和 7.70。随后提取出云南省 56 个区（县）的每日的平均气温和相对湿度数据。

1.2 统计学分析

1.2.1 *YLL* 率计算 依据 2010 年第六次人口普查的数据[14]，计算云南省期望寿命表，并按照死亡年龄和性别与死亡登记资料进行匹配。然后汇总为每日的总 *YLL* 及不同性别、年龄、疾病类型的 *YLL* 值，除以对应区（县）在该年份的人口数再乘以 10 万，获得每日的每 10 万人口 *YLL* 值（下文简称 *YLL* 率）。

1.2.2 *TCN* 计算 *TCN* 为当日的平均气温与前一日的平均气温之差。*TCN* 为正表示隔日平均温度升高，*TCN*

为负表示隔日平均温度降低。

1.2.3 建立模型 考虑到 *TCN* 与健康结局的关系受季节影响，本研究根据月平均气温，将4—9月份作为暖季，其余时间作为冷季，两个季节分别建立模型。选择两阶段分析（two-stage analysis）方法[11-12]，先在每个地区建立模型获得估计的系数，随后将每个地区的系数汇总，获得总体的暴露-反应关系。

第一阶段，对每个地区分别建立以高斯分布连接的DLNM，以 *TCN*=0℃为参照（即不存在隔日温差）。暴露变量 *TCN* 以交叉基的形式纳入，交叉基选取滞后时间为21 d；滞后-反应曲线和温度-反应曲线均选用自然三次样条函数，前者选取标度对数转换的3个等距位置作为内部节点，后者选取温度分布的5个等距位置作为内部节点。每日平均相对湿度、平均气温和时间变量等通过三次样条函数平滑，自由度（*u*）分别为3、3、8 年$^{-1}$。模型的公式为：

$$E[YLLr_t]=\alpha+\beta\cdot TCN_{basic}+ns(RH,u)+ns(TM,u)+ns(t,u)+DOW+offset(Height)$$

式中：$YLLr_t$ 为第 *t* 天的 *YLL* 率值；α 为模型截距项；TCN_{basic} 为每日 *TCN* 的交叉基，β 为交叉基系数；*ns* 为自然样条函数；*RH* 为相对湿度；*TM* 为日平均气温；*u* 为自由度；*t* 为时间变量，用于控制长期趋势和季节趋势；*DOW* 为星期几变量；*offset*（*Height*）表示地区海拔高度的offset项。

第二阶段，将每个地区表示暴露-滞后-反应关系的二维系数，降维为表达累积暴露-反应关系的一维系数。随后，对降维模型中每个地区气温基矩阵的一维系数和协方差矩阵进行提取。基于正态分布的假设，利用提取的多个地区的结果，进行随机效应单变量meta分析。在meta分析中，考虑结果之间的相关性，通过最大似然法得到多地区合并的系数和协方差，即合并的 *TCN* 与 *YLL* 率的暴露-反应关系。最后，以最佳线性无偏预测（best linear unbiased prediction，BLUP）方法，对每个地区的暴露-反应关系进行调整。BLUP在每个地区的系数和合并系数之间进行权衡，这种方法允许每日死亡率较小或序列较短的地区（通常表现为系数估计的不准确），从具有相似特征的较大人口中借用信息。

1.2.4 计算归因风险 基于 *TCN* 与 *YLL* 率变化的暴露-反应关系，获得每日可归因于 *TCN* 的 *YLL*。对研究期间冷、暖季的可归因 *YLL* 进行累加，计算其占总 *YLL* 的比例，获得 *AF*[13]。本研究进一步计算冷、暖季不同 *TCN* 区间的 *AF*。*TCN* 划分为极端降温、中等降温、中等升温和极端升温，分别以 *TCN* 的 $P_{2.5}$、0℃、*TCN* 的 $P_{97.5}$ 作为组间界值。

本研究所有统计分析均基于R软件（3.6.0），使用“dnmn”和“mvmeta”工具包建立统计模型，分析均采用双侧检验，检验水准 α=0.05。

2 结果

2.1 基本情况

2013—2017年云南省56个区（县）暖季非意外总死亡每日 *YLL* 率中位数为18.41/10万，冷季为20.92/10万。研究期间：暖季 *TCN* 变化范围为-11.10~6.60℃，冷季变化范围为-16.00~10.60℃，冷、暖季 *TCN* 的中位数均为0.10℃；暖季、冷季日均温度的中位数分别为20.50℃、12.70℃；暖季、冷季相对湿度的中位数分别为77.92%、72.91%。见表1。

表1 2013—2017年云南省冷、暖季 *YLL* 率及气象条件基本情况

Table 1 *YLL* rates and meteorological variables in warm and cold seasons of Yunnan Province, 2013–2017

组别（Group）	暖季（Warm season）（*n*=51 240）				冷季（Cold season）（*n*=51 016）			
	P_{25}	P_{50}	P_{75}	范围（Range）	P_{25}	P_{50}	P_{75}	范围（Range）
YLL 率/×10^{-5}（*YLL* rate/×10^{-5}）								
非意外总死亡（Total non-accidental deaths）	10.80	18.41	28.03	0.00~292.62	12.76	20.92	31.18	0.00~322.81
男性（Male）	9.48	20.14	33.96	0.00~378.94	11.93	23.05	37.80	0.00~440.19
女性（Female）	5.07	13.08	24.35	0.00~217.80	6.63	15.30	27.11	0.00~203.61
0~64岁（0-64 years old）	3.60	10.57	19.87	0.00~222.47	5.05	11.86	21.48	0.00~231.34
≥65岁（≥65 years old）	51.27	90.64	136.59	0.00~1896.51	64.20	106.76	156.93	0.00~1687.74
心脑血管疾病（Cardiovascular disease）	3.35	8.84	16.74	0.00~360.45	4.69	10.78	19.23	0.00~258.32
呼吸系统疾病（Respiratory disease）	0.00	1.78	4.46	0.00~72.49	0.00	2.36	5.47	0.00~102.14
其他死因（Other causes of death）	2.31	7.41	14.34	0.00~116.74	2.83	7.99	15.09	0.00~155.80

续表 1

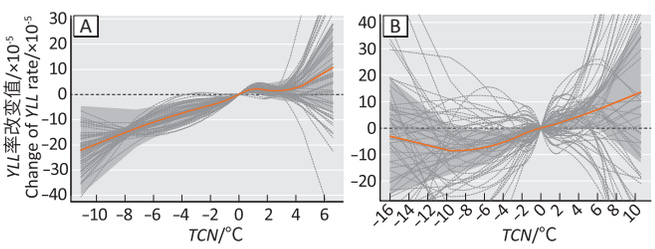
组别（Group）	暖季（Warm season）（*n*=51 240）				冷季（Cold season）（*n*=51 016）			
	P_{25}	P_{50}	P_{75}	范围（Range）	P_{25}	P_{50}	P_{75}	范围（Range）
气象因素（Meteorological factors）								
隔日温差/°C（Temperature changes between neighboring days/°C）	-0.70	0.10	0.90	-11.10~6.60	-0.90	0.10	10.00	-16.00~10.60
日均温度/°C（Average daily temperature/°C）	18.49	20.50	22.26	4.90~30.10	9.60	12.70	15.90	-8.90~24.40
相对湿度/%（Relative humidity/%）	68.77	77.92	83.13	18.24~100.00	62.78	72.91	79.80	18.24~100.00

［注］4—9 月份为暖季，其余时间为冷季；*n* 为样本量，表示天数×区县数。

［Note］April to September are defined as warm season and other months as cold season; *n* stands for sample size, that equals to days multiplied by the number of districts and counties.

2.2 *TCN* 与 *YLL* 率的关系

图 1 显示了冷、暖季 *TCN* 与人群 *YLL* 率变化的暴露-反应关系。与 *TCN*=0°C相比：暖季 *TCN* 平均每降低 1°C，*YLL* 率降低 2.00/10 万（95% *CI*：0.28/10 万~8.71/10 万）；隔日升温 1.4°C以内时，对 *YLL* 率影响具有统计学意义，当 *TCN*=1.4°C时可引起 *YLL* 率增加 2.15/10 万（95% *CI*：0.04/10 万~4.26/10 万）。冷季隔日降温 9.2°C以内相对于不降温的影响具有统计学意义，当 *TCN*=9.2°C时 *YLL* 率降低 8.78/10 万（95% *CI*：0.64/10 万~16.45/10 万）；冷季隔日升温段引起的 *YLL* 率增加则均无统计学意义。



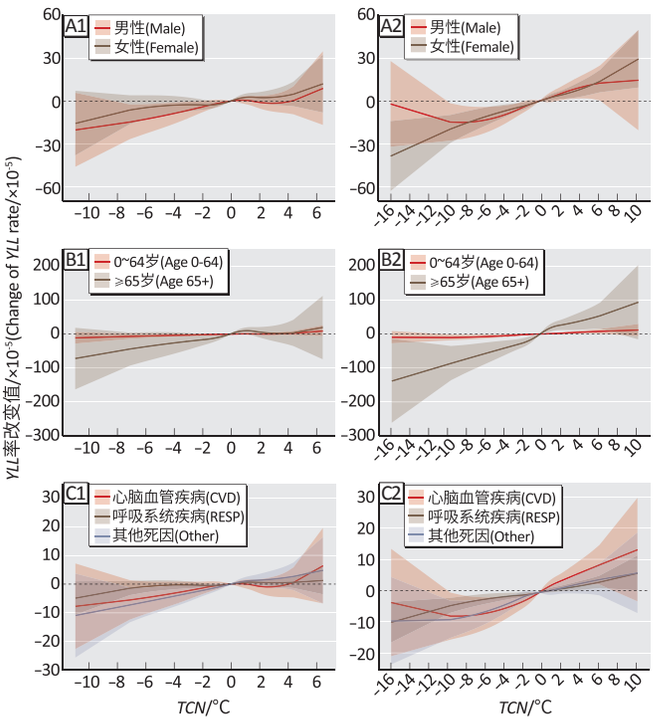
［注］A：暖季；B：冷季。灰线表示各区（县）暴露-反应关系，红线表示合并的暴露反应-反应关系，阴影部分为合并暴露-反应关系的 95% 可信区间。

［Note］A: Warm season; B: Cold season. The gray line represents the exposure-response relationship of each district or county, the red line represents the pooled exposure-response relationship, and the shaded area represents the 95% confidence interval of the pooled exposure-response relationship.

图 1 2013—2017 年云南省冷暖季 *TCN* 与人群总 *YLL* 率变化的暴露-反应关系

Figure 1 Exposure-response relationship between *TCN* and total *YLL* rate change in cold or warm season of Yunnan Province, 2013–2017

对不同特征人群的分析显示：相较于隔日平均温度不变（即 *TCN*=0°C），暖季 *TCN* 下降对男性 *YLL* 率的影响大于女性，二者最大差值为 8.68/10 万（*TCN*=-7.53°C）；冷季当 *TCN*=-7.61°C时，男性和女性的 *YLL* 率均下降 14.82/10 万，若 *TCN* 继续下降则女性受到的影响高于男性（图 2A）。相较于中青年组（0~64 岁），老年人（≥65 岁）更容易受 *TCN* 影响（图 2B）。在暖季，*TCN* 平均每变化 1°C，中青年和老年人的 *YLL* 率平均改变 1.18/10 万、5.18/10 万；冷季则分别为 0.79/10 万和 8.82/10 万。暖季 *TCN* 每改变 1°C，心脑血管疾病、呼吸系统疾病和其他疾病的 *YLL* 率平均改变 0.80/10 万、0.35/10 万和 0.89/10 万，但前二者无统计学意义；冷季 *TCN* 每变化 1°C，三类疾病的 *YLL* 率平均变化为 0.64/10 万、0.59/10 万和 0.58/10 万（图 2C）。



［注］A：性别；B：年龄；C：死因。1：暖季；2：冷季。阴影部分为 95% 可信区间。

［Note］A: Gender; B: Age; C: Cause of death. 1: Warm season; 2: Cold season. The shaded area represents the 95% confidence interval.

图 2 2013—2017 年云南省不同特征人群冷暖季 *TCN* 与 *YLL* 率变化的暴露-反应关系

Figure 2 Exposure-response relationship between *TCN* and *YLL* rate change in cold or warm season with residents grouped by selected characteristics in Yunnan Province, 2013–2017

2.3 *TCN* 暴露的 *AF*

表 2 显示暴露在 *TCN* 不同区间引起的归因风险变化。无论是暖季还是冷季，相较于隔日温度不变而言，隔日降温引起可归因于 *TCN* 的 *YLL* 下降，隔日升温均引起归因 *YLL* 上升，其中以中等降温的影响最大（暖季 *AF*=-5.76%，95% *CI*：-7.10%~-4.49%；冷季 *AF*=-3.98%，95% *CI*：-5.83%~-2.07%）。亚组分析可见：在暖季，隔日中等降温对 65 岁以上人群（*AF*=-4.84%，95% *CI*：-6.80%~-2.72%）、男性（*AF*=-4.60%，95% *CI*：-5.38%~-3.87%）和其他死亡原因患者（*AF*=-6.28%，95% *CI*：-7.32%~-5.12%）的影响更大；在冷季，隔日中等降温对 65 岁以上人群（*AF*=-7.67%，95% *CI*：-9.59%~-5.89%）、女性（*AF*=-6.90%，95% *CI*：-8.11%~-5.59%）和心脑血管疾病患者（*AF*=-8.04%，95% *CI*：-10.29%~-5.89%）的影响更大。

表 2 2013—2017 年云南省不同 *TCN* 区间导致的 *YLL* 归因分值及其 95% *CI* 变化

Table 2 *YLL* attributable fractions and 95% *CI* associated with different *TCN* intervals in different seasons in Yunnan Province, 2013–2017

%

时间 Time	组别 Group	极端降温 Extreme cooling	中等降温 Moderate cooling	中等升温 Moderate warming	极端升温 Extreme warming
暖季（Warm season）	非意外总死亡（Total non-accidental deaths）	-1.50（-1.68~-1.31）	-5.76（-7.10~-4.49）	3.47（1.30~3.32）	0.49（0.16~0.81）
	0~64 岁（0-64 years old）	-1.17（-1.38~-0.98）	-4.08（-4.80~-3.25）	1.64（-0.33~3.25）	0.60（0.20~1.01）
	≥65 岁（≥65 years old）	-1.07（-1.56~-0.54）	-4.84（-6.80~-2.72）	2.86（1.64~4.03）	0.11（-0.32~0.55）
	男性（Male）	-1.41（-1.70~1.13）	-4.60（-5.38~-3.87）	-0.10（-1.31~0.96）	0.17（-0.16~0.53）
	女性（Female）	-0.79（-1.02~-0.59）	-4.32（-6.08~-2.66）	5.59（4.23~7.01）	0.72（0.26~1.17）
	心脑血管疾病（Cardiovascular disease）	-1.13（-1.62~-0.64）	-3.37（-4.81~-1.78）	-1.09（-3.01~0.81）	0.18（-0.24~0.63）
	呼吸系统疾病（Respiratory disease）	-0.92（-1.40~-0.45）	-4.16（-6.39~-2.12）	6.69（3.57~9.85）	0.45（-0.11~1.06）
	其他死因（Other causes of death）	-1.71（-1.99~-1.43）	-6.28（-7.32~-5.12）	4.61（3.49~5.77）	0.69（0.29~1.09）
冷季（Cold season）	非意外总死亡（Total non-accidental deaths）	-0.95（-0.59~-1.34）	-3.98（-5.83~-2.07）	2.96（0.95~4.92）	0.69（0.27~1.11）
	0~64 岁（0-64 years old）	-1.66（-2.28~-1.06）	-5.51（-8.43~-2.49）	4.57（1.63~7.58）	1.19（0.69~1.71）
	≥65 岁（≥65 years old）	-1.80（-2.31~-1.30）	-7.67（-9.59~-5.89）	7.29（5.38~9.26）	1.02（0.63~1.44）
	男性（Male）	-1.38（-1.80~-0.92）	-6.57（-8.77~-4.12）	5.70（2.95~8.25）	0.98（0.48~1.50）
	女性（Female）	-2.38（-2.72~-2.00）	-6.90（-8.11~-5.59）	6.84（5.85~7.77）	1.70（1.38~2.03）
	心脑血管疾病（Cardiovascular disease）	-1.48（-2.04~-0.88）	-8.04（-10.29~-5.89）	8.25（5.89~10.57）	1.51（0.96~2.04）
	呼吸系统疾病（Respiratory diseases）	-2.53（-2.88~-2.17）	-7.31（-9.39~-4.98）	9.32（6.02~12.59）	1.99（1.59~2.40）
	其他死因（Other causes of death）	-2.02（-2.50~-1.51）	-6.44（-8.79~-4.04）	3.87（1.90~5.91）	0.91（0.41~1.44）

［注］极端降温、中等降温、中等升温和极端升温，分别以 *TCN* 的 $P_{2.5}$、0°C、*TCN* 的 $P_{97.5}$ 作为组间界值。

［Note］Extreme cooling, moderate cooling, moderate warming, and extreme warming are defined using $P_{2.5}$ of *TCN*, 0°C , and $P_{97.5}$ of *TCN* as cutoffs respectively.

3 讨论

在全球气候变化的大背景下，明确 *TCN* 的健康效应，对识别脆弱人群，制定保护公众健康的政策具有重要的公共卫生学意义。本研究利用 DLNM 和单变量 meta 分析方法分析云南省 *TCN* 和 *YLL* 之间的关系，并通过计算 *AF* 评估 *TCN* 导致的归因风险。研究结果显示，在控制日平均温度后，与隔日平均温度不变相比：冷、暖季隔日降温均能引起人群 *YLL* 率和归因风险的降低，且归因风险主要由中等降温引起；隔日升温可引起归因风险增加，但仅在暖季能引起 *YLL* 率的增加。

隔日升温对健康的损害作用与以往的研究结果基本一致[5-6, 15]，气温升高增加了死亡的风险。人体在体温调节机制的调控下维持体温的相对稳定，暖季环境温度高，机体通过辐射对流、刺激汗腺等方式维持体温恒定。对于某些有基础疾病的人群，例如慢性病患者，短期内温度大幅升高时，可能导致机体自主体温调节系统无法适应，继而引发不良健康结局，其潜在机制可能与脱水、盐耗和体表血液循环增加有关[16-17]。

本研究发现，与隔日平均温度不变相比，隔日降温对健康有保护作用，这与目前多数以 *TCN* 作为温度变异指标的研究结果相一致[5-6]。也有少数研究发现 *TCN* 变化超过 3°C 时，无论隔日升温还是降温均可增加死亡风险[18]。这种差异可能与气候、天气、地理特征和人口特征（如社会经济、年龄结构和种族构成等）有关。另一种可能的解释是，隔日降温的保护作用可能与 *TCN* 变化的程度有关。隔日温度的变化既包括夜间到白天的温度升高，也包括白天到夜间的温度降低，而日内温差对健康影响的研究表明，无论是温度升高过程还是温度降低过程，均对健康有影响[19-20]。当 *TCN* 等于 0°C 时，降温幅度等于升温幅度，相当于 2

次相同幅度的温度波动；当 *TCN* 小于 0°C时，升温幅度小于降温幅度，温度波动的幅度相对较小，这可能导致较低的健康风险，即隔日降温表现为保护作用。Guo 等[21] 以相邻日最高温和最低温的标准差作为温度变异程度指标进行研究，发现温度变异程度越大，人群死亡风险越高。这表明日间温度的内部波动可能造成健康风险增加。尽管存在诸多可能，隔日降温的保护作用机制仍不清楚，有待进一步验证和更深入的探究。

亚组分析中，不同季节 *TCN* 对男性和女性 *YLL* 率影响有所不同。暖季 *TCN* 下降对男性的影响较大，冷季 *TCN* 对男女性影响相近，但极端值对女性的影响较大，这与 *AF* 的结果一致。可能与性别之间生理结构的差异有关，男性骨骼肌、汗腺较发达且基础代谢率更高，而女性体内脂肪及雌激素水平较高，基础体温也较高。由于体温调节的实现几乎涉及全身各系统，不同性别之间产热、散热机制的差异有待于进一步研究。老年人（≥65 岁）比中青年（0~64 岁）更容易受到 *TCN* 的影响，这与此前关于温度[22]、日内温差[20] 和 *TCN*[5] 的研究结果一致。主要原因可能在于老年人的感知力下降、免疫力下降以及生理调节功能衰退，对气温变化的适应能力较低。但由于每名中青年死亡损失的 *YLL* 更多，因此尽管中青年死亡人数少，但本研究发现中青年组可归因于 *TCN* 的 *YLL* 比例与老年组相近。

冷暖季节，*TCN* 均更容易影响其他疾病死亡的 *YLL* 率，而暖季其他疾病的归因风险与 *TCN* 的变化呈正相关，考虑主要受其他疾病中呼吸道、肠道及虫媒传染病的影响[23]。相较于呼吸系统疾病而言，冷季 *TCN* 下降更容易引起心脑血管疾病死亡 *YLL* 率和归因风险的降低，与部分研究一致[6, 8]，其机制尚待进一步研究。可以明确的是，环境温度变化时，血液胆固醇水平、血浆纤维蛋白原浓度、心率、血小板黏度、免疫系统抵抗力、外周血管舒张压 / 收缩压等随之变化[24]，而这些指标都与心血管功能密切相关。本研究归因风险分析显示：冷季 *TCN* 升高更容易引起呼吸系统疾病归因风险的升高，考虑可能与冬春季节（冷季）呼吸道细菌和病毒的传播动力，以及机体应对呼吸道感染的免疫力有关[21]；暖季 *TCN* 与呼吸系统疾病归因风险呈正相关，可能与空气中颗粒物、污染物的种类、浓度及其与气温的交互作用有关[25]。

在不同 *TCN* 区间导致 *YLL* 的 *AF* 分析中，不同的季节均表现出无论是隔日升温还是降温，中等程度温度改变的作用均大于极端温度改变，这与不同 *TCN* 区间的分布有关。相对而言，中等温度改变出现的频率更高，引起的归因风险更大。结果提示日间温度变化对健康影响不容忽视，应加强对脆弱人群的保护，减少 *TCN* 造成的不良影响。

本研究存在一定局限性：未能考虑绝对温度、其他气象指标以及空气污染物对健康的交互作用；由于个体间的差异性，以及对长期居住环境的适应性差异，不同地区温度变化对居民健康的影响可能不同；此外，用平均温度的日间差异可能掩盖了日内温度的波动。未来应深入探索更加综合的温度变异指标，衡量其与健康的关系，尤其是在海拔差距大、区域气候差异大的地区（如云南省），这对制定适应气候变化政策，合理分配资源，提高人群健康水平具有重要的公共卫生学意义。

综上，本次研究表明：与隔日温度不变相比，隔日温度升高能引起居民寿命损失的增加，而隔日温度下降则是居民健康的保护因素。*TCN* 可考虑作为评估温度与健康结局的指标之一。

参考文献

[1] 马文军，刘涛，黄存瑞. 气候变化对人群健康的风险评估和适应性研究亟需加强 [J]. 环境卫生学杂志，2018，8（5）：365-367.

[2] 陈正洪，杨桂芳，扈海波. 气候变化背景下温度对人体健康影响研究进展 [J]. 中国公共卫生，2014，30（10）：1318-1321.

[3] SHI L，KLOOG I，ZANOBETTI A，et al. Impacts of temperature and its variability on mortality in New England [J]. Nat Clim Chang，2015，5（11）：988-991.

[4] TIAN P，LU H，XUE Y. Characterization of temperature difference between the neighbouring days in China and its potential driving factors [J]. Int J Climatol，2019，39（12）：4659-4668.

[5] ZHAN Z，ZHAO Y，PANG S，et al. Temperature change between neighboring days and mortality in United States：A nationwide study [J]. Sci Total Environ，2017，584-585：1152-1161.

[6] LIN H，ZHANG Y，XU Y，et al. Temperature changes between neighboring days and mortality in summer：a distributed lag non-linear time series analysis [J]. PLoS One，2013，8（6）：e66403.

[7] MA W，WANG L，LIN H，et al. The temperature–mortality relationship in China：An analysis from 66 Chinese communities [J]. Environ Res，2015，137：72-77.

[8] CHENG J，ZHU R，XU Z，et al. Temperature variation between neighboring days and mortality：a distributed lag non-linear analysis [J]. Int J Public Health，2014，59 (6)：923-931.

[9] 梁凤超，胥美美，金晓滨，等. 不同大气温度指标与居民呼吸系统疾病死亡的相关性比较研究 [J]. 环境与健康杂志，2014，31 (5)：377-381.

[10] HAY SI，ABAJOBIR AA，ABATE KH，et al. Global，regional，and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 333 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 195 countries and territories，1990-2016：a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 [J]. Lancet，2017，390 (10100)：1260-1344.

[11] GASPARRINI A，ARMSTRONG B，KENWARD MG. Distributed lag non-linear models [J]. Stat Med，2010，29 (21)：2224-2234.

[12] GASPARRINI A，ARMSTRONG B. Reducing and meta-analysing estimates from distributed lag non-linear models [J]. BMC Med Res Methodol，2013，13：1.

[13] 谷少华，贺天锋，陆蓓蓓，等. 基于分布滞后非线性模型的归因风险评估方法及应用 [J]. 中国卫生统计，2016，33 (6)：959-962.

[14] 国务院人口普查办公室，国家统计局人口和就业统计司. 中国2010年人口普查资料 [M]. 北京：中国统计出版社，2012.

[15] HA J，KIM H. Changes in the association between summer temperature and mortality in Seoul，South Korea [J]. Int J Biometeorol，2013，57 (4)：535-544.

[16] GUO Y，PUNNASIRI K，TONG S. Effects of temperature on mortality in Chiang Mai city，Thailand：a time series study [J]. Environ Health，2012，11：36.

[17] BOUCHAMA A，KNOCHEL JP. Heat stroke [J]. N Engl J Med，2002，346：1978-1988.

[18] GUO Y，BARNETT AG，YU W，et al. A large change in temperature between neighbouring days increases the risk of mortality [J]. PLoS One，2011，6 (2)：e16511.

[19] LEE W，BELL ML，GASPARRINI A，et al. Mortality burden of diurnal temperature range and its temporal changes：A multi-country study [J]. Environ Int，2018，110：123-130.

[20] 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.

[21] GUO Y，GASPARRINI A，ARMSTRONG BG，et al. Temperature variability and mortality：a multi-country study [J]. Environ Health Perspect，2016，124 (10)：1554-1559.

[22] 李志浩，许燕君，林国桢，等. 广州和珠海市气温对居民寿命损失年影响的时间序列分析 [J]. 中华流行病学杂志，2015，36 (7)：720-724.

[23] 赵球平，李旭东，王悦. 气温对气温敏感性疾病影响研究进展 [J]. 河南预防医学杂志，2018，29 (8)：561-563，567.

[24] SCHNEIDER A，SCHUH A，MAETZEL FK，et al. Weather-induced ischemia and arrhythmia in patients undergoing cardiac rehabilitation：another difference between men and women [J]. Int J Biometeorol，2008，52 (6)：535-547.

[25] 罗斌，罗小峰，石红霞，等. 气温与大气颗粒物对呼吸系统影响的交互作用研究进展 [J]. 环境与健康杂志，2014，31 (6)：551-555.

（**英文编辑**：汪源；**责任编辑**：王晓宇）