

西藏高原地区气温对人群非意外死亡影响的病例交叉研究

白国霞¹, 吴君乐², 史恒¹, 平措卓玛¹, 李亚杰¹, 嘎玛仓决¹, 胡建雄², 李致兴³, 刘涛³, 马文军^{2,3}

1. 西藏自治区疾病预防控制中心慢性非传染性疾病防治所, 西藏 拉萨 850002

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

3. 暨南大学基础医学与公共卫生学院, 广东 广州 510632

摘要:

[背景] 在全球气候变化的背景下, 气温将呈持续上升趋势。目前大多数气温与健康的研究是针对低海拔地区, 对高原地区的研究甚少。

[目的] 分析西藏高原地区气温对人群非意外总死亡的影响, 识别脆弱人群, 为制定有针对性的气候变化适应政策提供科学依据。

[方法] 收集 2013—2019 年西藏自治区居民死因监测资料、气象数据和大气污染物数据, 基于时间分层的病例交叉设计, 利用条件 logistic 回归模型分析气温与死亡的暴露-反应关系, 将暴露-反应关系线性化处理获取气温每变化 1 °C 的超额死亡风险; 计算归因分值评估由气温造成的归因死亡负担; 并进一步按照性别、年龄(<65 岁, ≥65 岁)、死因分类(心血管疾病、脑血管疾病和呼吸系统疾病)进行分层分析。通过调整模型参数与变量进行敏感性分析。

[结果] 2013—2019 年西藏非意外总死亡 26045 人, 气温中位数为 5.0 °C。气温与非意外死亡的暴露-反应关系为死亡风险随着气温降低而升高。气温每降低 1 °C, 非意外总死亡的超额死亡风险为 2.01%(95%CI: 0.94%~3.07%), 男性为 2.05%(95%CI: 0.62%~3.47%), 女性为 1.96%(95%CI: 0.34%~3.56%), 均有统计学意义; <65 岁人群为 1.45%(95%CI: -0.10%~2.98%), 无统计学意义, ≥65 岁人群为 2.52%(95%CI: 1.04%~3.99%), 有统计学意义。心血管疾病死因人群的超额死亡风险为 2.65%(95%CI: 1.03%~4.24%), 脑血管疾病为 3.70%(95%CI: 0.74%~6.57%), 均有统计学意义, 而呼吸系统疾病为 2.18%(95%CI: -0.14%~4.44%), 但无统计学意义。非意外总死亡的归因死亡数为 5340(95%CI: 2719~7528) 例, 归因分值为 20.50%(95%CI: 10.44%~28.91%)。一些特定亚组的归因分值较高, 如男性(20.72%), ≥65 岁人群(23.33%) 以及心血管疾病死因人群(26.07%)。

[结论] 西藏高原地区气温与非意外死亡的暴露-反应关系呈现为死亡风险随着气温降低而升高, 疾病负担较大。男性、≥65 岁人群、罹患心血管疾病与呼吸系统疾病的人群可能是脆弱人群。

关键词: 西藏; 气温; 死亡风险; 脆弱人群; 病例交叉设计

Case-crossover study on association between temperature and non-accidental mortality in Tibet Plateau, China BAI Guoxia¹, WU Junle², SHI Heng¹, PINGCUO Zhuoma¹, LI Yajie¹, GAMA Cangjue¹, HU Jianxiong², LI Zhixing³, LIU Tao³, MA Wenjun^{2,3} (1. Institute of Non-communicable Diseases Prevention and Control, Tibet Center for Disease Control and Prevention, Lhasa, Tibet 850002, China; 2. Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 511430, China; 3. School of Medicine, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510632, China)

Abstract:

[Background] Under the background of global climate change, temperature has increased dramatically. Most studies about association between temperature and human health are conducted in low-altitude areas, but rarely focus on plateau areas.

[Objective] To examine the association between temperature and non-accidental mortality risk in Tibet Plateau, China and to identify vulnerable populations for formulating targeted policies of



DOI 10.11836/JEOM21462

组稿专家

马文军(暨南大学基础医学与公共卫生学院), E-mail: mawj@gdiph.org.cn

基金项目

国家重点研发计划项目(2018YFA0606200); 国家自然科学基金项目(42075173); 广东省医学科学技术研究基金项目(A2021340)

作者简介

并列第一作者。
白国霞(1972—), 女, 学士, 副主任医师;
E-mail: 1002186603@qq.com
吴君乐(1995—), 男, 硕士生;
E-mail: 979923895@qq.com

通信作者

马文军, E-mail: mawj@gdiph.org.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2021-09-26

录用日期 2022-01-12

文章编号 2095-9982(2022)03-0261-07

中图分类号 R112

文献标志码 A

►引用

白国霞, 吴君乐, 史恒, 等. 西藏高原地区气温对人群非意外死亡影响的病例交叉研究[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(3): 261-267.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21462

Funding

This study was funded.

Correspondence to

MA Wenjun, E-mail: mawj@gdiph.org.cn

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2021-09-26

Accepted 2022-01-12

► To cite

BAI Guoxia, WU Junle, SHI Heng, et al. Case-crossover study on association between temperature and non-accidental mortality in Tibet Plateau, China[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(3): 261-267.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21462

climate change adaptation.

[Methods] The mortality data, meteorological data, and pollutant data of Tibet area between 2013 to 2019 were collected. Based on time-stratified case-crossover design, conditional logistic regression models were used to analyze the exposure-response relationship between temperature and cause-specific mortality, which was linearized to obtain excess risk for 1 °C change; attributable fraction was calculated for assessing burden attributable to temperature; and stratified analyses were further conducted by gender, age (< 65 years old, ≥65 years old), and causes of death (cardiovascular diseases, cerebrovascular diseases, and respiratory diseases). Sensitivity analyses were conducted by adjusting model parameters and variables.

[Results] A total of 26 045 non-accidental deaths were collected in Tibet during 2013 and 2019, and the P_{50} of temperature was 5.0 °C. The non-accidental mortality risk increased as temperature become colder. A 1 °C decrease in temperature was associated with a 2.01% (95%CI: 0.94%-3.07%) increase in total non-accidental mortality, while the association changed to 2.05% (95%CI: 0.62%-3.47%) for male and 1.96% (95%CI: 0.34%-3.56%) for female, both of statistical significance; 1.45% (95%CI: -0.10%-2.98%) for the people < 65 years old (not of significance) and 2.52% (95%CI: 1.04%-3.99%) for the people ≥65 years old (of significance); the excess risk for cardiovascular mortality was 2.65% (95%CI: 1.03%-4.24%), for cerebrovascular mortality was 3.70% (95%CI: 0.74%-6.57%), both of statistical significance, and for respiratory mortality was 2.18% (95%CI: -0.14%-4.44%), without significance. The total attribution number of non-accidental mortality was 5340 (95%CI: 2719-7528), and the total attributable fraction was 20.50% (95%CI: 10.44%-28.91%). The attributable fractions were higher in specific subgroups like male (20.72%), people ≥65 years (23.33%), and people with cardiovascular diseases (26.07%).

[Conclusion] The exposure-response relationship between temperature and non-accidental mortality in Tibet shows that the non-accidental mortality risk increase as temperature become colder. The attributable burden of disease is heavy. Residents being male, ≥ 65 years, with cardiovascular diseases and respiratory diseases may be vulnerable to nonoptimal temperature.

Keywords: Tibet; temperature; mortality risk; vulnerable population; case-crossover study

在全球气候变化的背景下,气温将呈持续上升趋势。国内外大量流行病研究表明,气温与人群健康关系密切,过高或者过低的气温均会增加人群的死亡或发病风险^[1-4]。然而,目前的研究多关注于平原或海拔较低的地区,仅有少数研究涉及高原地区。西藏位于素有“世界屋脊”之称的青藏高原,其地理环境与气候条件特殊,具有海拔高、空气稀薄、昼夜温差大等特点。此外,西藏地区变暖的速度高于同时期北半球以及同纬度地区,被联合国政府间气候变化专门委员会认为是全球最容易受到气候变化影响的地区之一^[5-7]。因此,探索西藏地区气温对健康的影响,对加强气候变化应对能力具有重要的公共卫生意义。

本研究收集 2013—2019 年西藏自治区居民死因监测登记资料、气象数据和大气污染物数据,基于病例交叉方法分析气温与非意外总死亡的暴露-反应关系和死亡负担,识别脆弱人群,为西藏地区制定有针对性的气候变化适应政策提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 数据收集

1.1.1 死亡数据 基于西藏自治区疾病预防控制中心死因登记报告信息系统,收集 2013 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日居民死亡个案资料,包括年龄、性别、常住地址(精确至乡镇)、根本死因、死亡日期等信息。死亡资料死因分类根据国际疾病分类第 10 版

(International Classification of Disease 10th Revision, ICD-10),非意外总死亡为 A00~R99,心血管疾病死亡为 I00~I99,脑血管疾病死亡为 I60~I69,呼吸系统疾病死亡为 J00~J98。本研究已获广东省疾病预防控制中心伦理委员会审批通过(编号:2019025)。

1.1.2 气象数据 从中国气象数据网国家气象科学数据中心获取西藏自治区 2013—2019 年每日气象资料。由于气象监测站点未覆盖所有的研究地点,所以利用澳大利亚国立大学样条插值方法(Australian National University Splines, ANUSPLIN)对每日平均气温、最高气温、最低气温与相对湿度进行插值^[8],形成分辨率为 0.01°×0.01°的气温与湿度的栅格数据,通过十折交叉方法对插值结果进行验证,结果显示日均气温、日最高气温、日最低气温及相对湿度的决定系数 R^2 分别为 0.96、0.94、0.94、0.81^[9]。随后,根据每个死亡病例的死亡日期和常住地址,从栅格数据中提取日均气温、日最高气温、日最低气温和日相对湿度。最终获得日均气温、昼夜温差(diurnal temperature range, DTR)和相对湿度。

1.1.3 大气污染物数据 从全国城市空气质量实时发布平台获取同期每日 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、 SO_2 、 O_3 、CO 平均浓度以及各大气污染物监测点的经纬度、海拔。由于大气污染物监测点并未覆盖所有的研究地点,所以需要运用随机森林模型预测死亡病例常住地址的污染物平均浓度。首先根据各大气污染物监测站点的

经纬度,从气温与湿度的栅格数据提取对应的日平均气温和相对湿度。然后从南安普敦大学地理与环境科学学院(<https://www.worldpop.org>)获取 2015 年全国人口密度栅格数据,从中国科学院地理科学与资源研究所资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn>)获取道路密度栅格数据、土地利用类型栅格数据、全国县级矢量地图等地理信息数据以及全国国内生产总值(gross domestic product, GDP)栅格数据,提取各大气污染物监测站点周围 1300 m 缓冲区内的人口密度、道路密度、土地利用类型以及人均 GDP。最后利用上述数据构建随机森林模型^[10-12],预测死亡病例常住地址和死亡(或对照)日期的污染物平均浓度。

1.2 统计学分析

1.2.1 气温与死亡的暴露-反应关系 本研究采用时间分层的病例交叉设计。在个案死亡发生的该月内,选择个案死亡发生当天或后的第 7、14、21 天作为对照期,每个病例有 3 或 4 个自身对照期。病例交叉设计可控制长期趋势、星期几效应、季节变化等时间相关混杂因素,以及性别、年龄和民族等时间恒定的混杂因素^[13-14]。然后,使用条件 logistic 回归模型拟合气温与非意外总死亡的关系,考虑到气温与死亡一般为非线性关系,使用分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)构建气温与滞后天数的交叉基矩阵和昼夜温差与滞后天数的交叉基矩阵,作为自变量添加到条件 logistic 回归模型中。此外还将 PM_{2.5}、相对湿度以及节假日变量作为协变量引入回归模型,获取气温与死亡的暴露-反应关系。模型如下:

$$\text{logit}[P(V_{\text{case}} = 1 \text{ in stratum}_i | V_{\text{TEMP}})] = cb(V_{\text{TEMP}}) + cb(V_{\text{DTR}}) + ns(V_{RH}, 3) + ns(V_{PM_{2.5}}, 3) + V_{\text{Holiday}} + a_{\text{stratum}_i}$$

式中, V_{case} 表示病例或对照的二分类变量, 1 为病例; stratum_i 指第 i 例死亡病例及其死亡前后的自身对照, 称为第 i 层, $P(V_{\text{case}} = 1 \text{ in stratum}_i | V_{\text{TEMP}})$ 则表示病例在第 i 层中因暴露于气温 V_{TEMP} 而导致死亡的条件概率; $cb(V_{\text{TEMP}})$ 和 $cb(V_{\text{DTR}})$ 分别为气温与滞后天数的交叉基和昼夜温差与滞后天数的交叉基, 最大滞后天数设置为 21 d^[2-3, 15-17]; 暴露维度与滞后维度的函数均采用自然立方样条函数, 自由度设为 3^[18]; $ns(V_{RH}, 3)$ 表示相对湿度自然立方样条函数, $ns(V_{PM_{2.5}}, 3)$ 则表示 PM_{2.5} 自然立方样条函数, 参考相关文献^[17], 相对湿度和 PM_{2.5} 的自由度设为 3; V_{Holiday} 为节假日效应, a_{stratum_i} 为第 i 层的截距, 每层由 1 个病例及其 3 或 4 个自身对照组成。性别分为男性和女性, 年龄分为非老年人

(< 65 岁) 和老年人 (≥ 65 岁), 死因分为心血管疾病、脑血管疾病以及呼吸系统疾病, 进行分层分析, 对比气温与非意外总死亡的暴露-反应关系在亚组间的差异。

1.2.2 计算气温每变化 1 °C 导致的超额死亡风险 为比较气温造成的死亡风险大小, 把气温与死亡的暴露-反应关系进行线性化处理, 将交叉基 $cb(V_{\text{TEMP}})$ 中暴露维度的函数变换为阈值函数 thr , 阈值设置为暴露-反应关系曲线的最低死亡风险气温(minimum mortality temperature, MMT), 结果采用超额死亡风险(excess risk, ER)表示, 公式如下:

$$V_{ER} = (V_{RR} - 1) \times 100\%$$

式中, V_{ER} 为超额死亡风险, V_{RR} 为死亡风险。然后对分层分析亚组结果进行差异性检验^[19], 两两比较采用 bonferroni 法校正 P 值。

1.2.3 评估气温造成的归因死亡负担 为评估归因于气温的非意外总死亡负担, 基于上述所得的暴露-反应关系, 计算非意外总死亡的归因死亡数和归因分值, 公式如下:

$$V_{AN} = \sum_{i=1}^n V_{\text{Case}_{\text{TEMP}_i}} \times [\{\exp(\beta) - 1\} / \exp(\beta)]_i$$

$$V_{AF} = V_{AN} / V_{\text{Case}}$$

式中, V_{AN} 为归因死亡数; n 为研究期间的总天数; $V_{\text{Case}_{\text{TEMP}_i}}$ 表示第 i 天的死亡病例数; β 为条件 logistic 回归模型拟合气温对非意外总死亡的暴露-反应关系系数; V_{AF} 为归因分值; V_{Case} 表示非意外总死亡病例数。

1.2.4 敏感性分析 为评价模型稳定性, 进行一系列的敏感性分析, 包括调整滞后天数为 14、28 d; 调整纳入模型的污染物; 调整交叉基中滞后的自由度为 4、5、6。

采用 R 4.0.3 软件进行统计分析, 采用“dlnm”软件包构建气温与滞后天数的交叉基^[20], “survival”程序包构建条件 logistic 回归模型。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况

如表 1 所示, 2013—2019 年西藏非意外总死亡人数总共为 26045 例, 男性占 56.23%, ≥ 65 岁人群占 52.30%, 因心血管疾病死亡者占 43.80%。如表 2 所示, 2013—2019 年西藏气温中位数为 5.0 °C, 相对湿度中位数为 45.5%。PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂、O₃、CO 的质量浓度(后简称为浓度)中位数分别 17.3、44.4、14.2、6.2、93.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 0.6 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

表 1 2013—2019 年西藏非意外总死亡基本情况 (n=26 045)
Table 1 General characteristics of non-accidental deaths in Tibet from 2013 to 2019 (n=26 045)

变量(Variable)	死亡人数(构成比/%) Number of death (Proportion/%)
性别(Gender)	
男(Male)	14 645(56.23)
女(Female)	11 394(43.75)
未知(Unknown)	6(0.02)
年龄/岁(Age/years)	
<65	12 424(47.70)
≥65	13 621(52.30)
死亡原因(Cause of death)	
心血管疾病(Cardiovascular disease)	11 408(43.80)
脑血管疾病(Cerebrovascular disease)	5 266(20.22)
呼吸系统疾病(Respiratory system disease)	3 235(12.42)

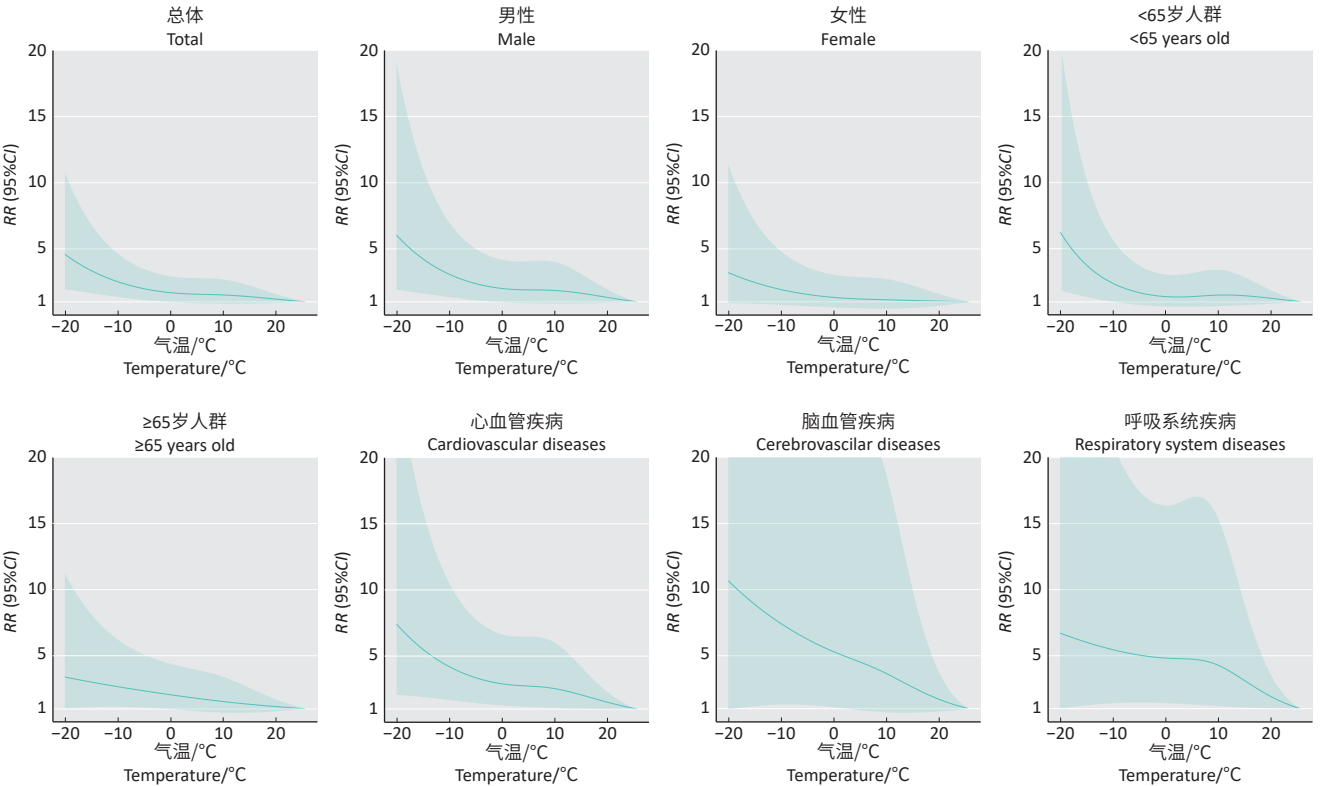
2.2 气温与死亡风险暴露-反应曲线

图 1 显示,研究期间西藏气温与非意外总死亡的总体暴露-反应关系表现为死亡风险随着气温降低而升高,气温低于-0.8 °C 时死亡风险显著增加。按照性别、年龄、死因别进行分层分析,暴露-反应关系也呈类似趋势,与女性人群相比,随气温下降男性人群的死亡风险升高更为迅速,且男性人群死亡风险在气温低于-1.3 °C 时显著增加,而女性人群的结果均无统计

学意义。随气温下降,≥65 岁人群的死亡风险几乎呈直线上升,当气温低于-1.2 °C 开始显著增加,而<65 岁人群的死亡风险从缓慢上升变为迅速上升,当气温低于-10.2 °C 开始显著增加。随气温下降,脑血管疾病死亡风险上升速度快于心血管疾病,而心血管疾病死亡风险上升速度则快于呼吸系统疾病,心血管疾病、脑血管疾病、呼吸系统疾病的死亡风险分别在气温低于25.6 °C、2.5 °C、25.6 °C 时开始显著增加。

表 2 2013—2019 年西藏气象与污染物基本情况
Table 2 General information of meteorological factors and air pollutants in Tibet from 2013 to 2019

变量(Variable)	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max
气象因素(Meteorological factor)					
气温/°C(Temperature/°C)	-20.2	-1.5	5.0	10.9	25.6
相对湿度/%(Relative humidity/%)	0.0	29.8	45.5	61.3	100.0
污染物浓度(Pollutant concentration)					
PM _{2.5} /(μg·m ⁻³)	2.2	11.5	17.3	26.7	104.3
PM ₁₀ /(μg·m ⁻³)	4.6	28.9	44.4	71.2	302.3
NO ₂ /(μg·m ⁻³)	1.9	9.8	14.2	20.2	80.0
SO ₂ /(μg·m ⁻³)	2.0	4.8	6.2	8.6	33.8
O ₃ /(μg·m ⁻³)	18.1	78.0	93.9	111.4	256.4
CO/(mg·m ⁻³)	0.1	0.5	0.6	0.9	3.1



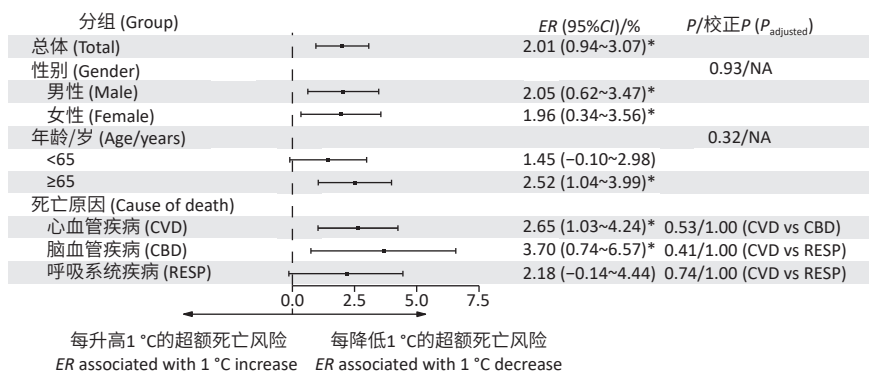
[注] 线条为气温与死亡风险的暴露-反应关系的 RR, 阴影部分为 95%CI。
[Note] The line is RR indicating the exposure-response relationship between temperature and mortality, and the shaded area represents corresponding 95%CI.

图 1 不同人群气温与非意外总死亡的暴露-反应关系
Figure 1 Exposure-response relationships between temperature and non-accidental death by gender, age, and cause of death

2.3 气温每降低 1 °C 的 ER

基于 MMT 至极端低温为线性变化的假设, 计算气温每降低 1 °C 的 ER 值。如图 2 所示, 对总体人群来说, 气温每降低 1 °C, 非意外总死亡 ER 增加 2.01% (95%CI: 0.94%~3.07%)。分层分析发现, 气温每降低 1 °C 时, 男性人群的 ER 增加 2.05% (95%CI: 0.62%~3.47%), 女性人群增加 1.96% (95%CI: 0.34%~3.56%), 均有统计学意义; <65 岁人群 ER 增加 1.45% (95%CI: -0.10%~

2.98%), 无统计学意义, ≥65 岁人群增加 2.52% (95%CI: 1.04%~3.99%), 有统计学意义; 心血管疾病死因人群的 ER 增加 2.65% (95%CI: 1.03%~4.24%), 脑血管疾病死因人群增加 3.70% (95%CI: 0.74%~6.57%), 均有统计学意义, 而呼吸系统疾病增加 2.18% (95%CI: -0.14%~4.44%), 但无统计学意义。差异性检验结果表明, 不同亚组间的差异无统计学意义。



[注] $P < 0.05$ 。

[Note] $P < 0.05$ 。

图 2 不同人群气温每降低 1 °C 的超额死亡风险 ER 值及亚组差异性检验

Figure 2 ER associated with 1 °C decrease of different populations and significance test of difference

2.4 气温造成的归因死亡负担

如表 3 所示, 研究期间西藏气温对非意外总死亡的归因死亡数为 5 340 (95%CI: 2 719~7 528) 例, 归因分值为 20.50% (95%CI: 10.44%~28.91%), 男性 (20.72%) 高于女性 (20.23%), 而 ≥65 岁人群 (23.33%) 高于 <65 岁人群 (15.18%), 其中 <65 岁人群无统计学意义; 心血管疾病死因人群 (26.07%) 高于呼吸系统疾病 (22.12%), 其中呼吸系统疾病死因人群无统计学意义。

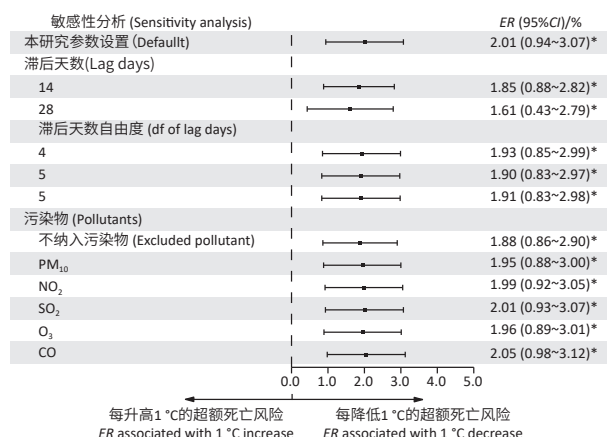
表 3 不同死因的归因死亡数与归因分值

Table 3 Attributable numbers and attributable fractions of different death causes

分组 (Group)	归因死亡数 (95%CI) Attributable number (95%CI)	归因分值 (95%CI)/% Attributable fraction (95%CI)/%
总体 (Total)	5 340 (2 719~7 528)	20.50 (10.44~28.91)
性别 (Gender)		
男 (Male)	3 034 (1 028~4 620)	20.72 (7.02~31.55)
女 (Female)	2 305 (687~3 713)	20.23 (6.03~32.58)
年龄/岁 (Age/years)		
<65	1 928 (-151~3 528)	15.18 (-1.19~27.76)
≥65	3 112 (1 319~4 510)	23.33 (9.89~33.80)
死亡原因 (Cause of death)		
心血管疾病 Cardiovascular disease	2 974 (1 313~4 238)	26.07 (11.51~37.15)
脑血管疾病 Cerebrovascular disease	1 085 (273~1 590)	33.54 (8.42~49.14)
呼吸系统疾病 Respiratory system disease	715 (-55~1 236)	22.12 (-1.72~38.21)

2.5 敏感性分析结果

调整滞后天数为 14、28 d, 去除模型中污染物项, 并分别纳入其他污染物, 以及调整交叉基中滞后的自由度为 4、5、6 后, 拟合结果显示, 参数改变对结果影响不大, 说明模型结果稳定, 见图 3。



[注] $P < 0.05$ 。

[Note] $P < 0.05$ 。

图 3 敏感性分析

Figure 3 Sensitivity analysis

3 讨论

许多研究发现气温与死亡呈 U 型或倒 J 型关系, 且低温造成的死亡风险高于高温 [2, 21~22]。而本研究发

现西藏地区死亡风险随着气温降低而升高,而非常见的U型或倒J型关系,即低温引起较高的死亡风险,而未观察到高温引起死亡风险增加。这可能是由于西藏属于高原地区,气温较低(中位数为 5.0°C),居民可能较少遭受异常高温的影响,且当地日温差大,即便偶尔遭遇异常高温,但由于暴露时间较短,不足以引起死亡风险增高。Luo等^[23]的meta分析纳入了中国大多数低海拔地区研究,结果表明每下降 1°C 所增加的非意外死亡风险为3.5%,高于本研究发现的2.01%,这可能是由于西藏属于高原地区,常年气温较低,人们能够较好地适应低温环境所致。一项中国272个城市的研究表明,气温相关非意外死亡归因分值为14.33%^[2],低于本研究估算的20.50%,这可能是由于西藏地区绝大多数日子气温较低,导致归因于低温的死亡负担较高所致。此外,由于死亡归因分值与暴露-反应关系曲线有关,计算时把不具有统计学意义的低温风险纳入了超额死亡风险估计,也会导致归因分值偏高;但由于西藏死亡病例数较少,致使暴露-反应关系曲线置信区间较大,今后需要纳入更多的死亡病例,得到更精确的死亡归因分值。

尽管本研究未发现在不同亚组之间气温对西藏人群死亡的影响差异有统计学意义,但是分层分析结果仍然是重要且值得关注的。本研究发现,即使男性和女性中气温每降低 1°C 导致的非意外总死亡ER差异不具有统计学意义,但从暴露-反应关系曲线可以观察到,男性人群在气温小于 -1.3°C 的时候死亡风险显著升高,且升高速度快于女性人群,而且男性的死亡归因分值高于女性,均说明低温对西藏男性的不良影响比女性更大。而这与一项中国的多中心研究结果相反^[2],可能是因为西藏男性户外活动多于女性,更容易暴露于低温环境中。

此外,本研究发现西藏高原地区老年人更容易受到气温的影响,这与许多研究结果一致^[2, 24-27]。尽管在年龄分层分析中表明,亚组间结果差异无统计学意义,但由暴露-反应关系图可见, >65 岁老年人群死亡风险随气温下降呈近似匀速上升的趋势,而非老年人群则是呈先缓慢再快速上升的趋势,而且老年人群的死亡归因分值高于非老年人群,均说明老年人适应气温下降的能力较差。这主要是由于老年人维持核心体温的能力较低所导致的,由于汗腺输出减少,皮肤血流量减少,心输出量增加较少,肾和内脏循环的血流量重新分配较少,因此会损害体温调节功能^[28]。

本研究发现气温对心血管系统的影响比对呼吸

系统的影响更强烈,这与之前的研究结果相符^[29-31]。低温对心血管系统的影响往往由于自主神经系统、血压、产热作用、炎症反应和氧化应激的变化引起潜在的并发症^[32-33]。而对呼吸系统疾病的影响可能是由于西藏地区的寒冷天气影响人体免疫系统正常运作,以及低温可能促进飞沫中细菌和病毒的存活,从而促进呼吸道传染病的传播^[34]。

本研究时间跨度较长,人口死亡数据覆盖了西藏多个区县,代表性较好。但本研究与大多数同类型研究一样,气温数据来源于室外气象监测站点而非个体测量数据,可能存在暴露测量误差,而且本研究本质上属于生态学研究,个体水平的混杂因素无法得以控制,结果必然有一定误差。此外,西藏人口较少,死亡人口数不多,因此模型拟合结果的置信区间较大,不利于进一步分析。今后需要收集更长时间的数据,进行深入分析。

综上所述可知,西藏地区气温与人群非意外总死亡风险关系有其自身特点,虽然每变化 1°C 的死亡风险低于平原地区,但气温造成的死亡负担较高。男性、老年人、心血管及呼吸系统疾病患者可能是脆弱人群。由于西藏气候条件恶劣,经济发展水平不高,应加强气象因素或气候变化对人群健康风险的宣传教育,同时加大投入,改善居民供暖条件,保护西藏人群健康免受高原地区低温尤其是极端低温的影响,降低非舒适气温的健康危害。

参考文献

- [1] 谢慧妍, 马文军, 张永慧, 等. 广州、长沙、昆明气温对非意外死亡的短期效应研究[J]. *中华预防医学杂志*, 2014, 48(1): 38-43.
XIE HY, MA WJ, ZHANG YH, et al. The short-term effect of temperature on non-accidental mortality in Guangzhou, Changsha and Kunming[J]. *Chin J Prevent Med*, 2014, 48(1): 38-43.
- [2] CHEN R, YIN P, WANG L, et al. Association between ambient temperature and mortality risk and burden: time series study in 272 main Chinese cities[J]. *BMJ*, 2018, 363: k4306.
- [3] GASPARRINI A, GUO Y, HASHIZUME M, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study[J]. *Lancet*, 2015, 386(9991): 369-375.
- [4] 曾韦霖, 李光春, 肖义泽, 等. 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[J]. *中华流行病学杂志*, 2012, 33(10): 1021-1025.
ZENG WL, LI GC, XIAO YZ, et al. The impact of temperature on cardiovascular disease deaths in 4 cities, China: a time-series study[J]. *Chin J Epidemiol*, 2012, 33(10): 1021-1025.
- [5] LIU X, CHEN B. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades[J]. *Int J Climatol*, 2000, 20(14): 1729-1742.
- [6] 杜军, 杨志刚, 石磊, 等. 近50年西藏冷暖冬的气候变化特征[J]. *地理学报*, 2011, 66(7): 885-894.

- DU J, YANG ZG, SHI L, et al. Climatic change in cold and warm winter over Tibet during 1961-2010[J]. *Acta Geogr Sin*, 2011, 66(7): 885-894.
- [7] YU C, ZHANG Y, CLAUS H, et al. Ecological and environmental issues faced by a developing Tibet[J]. *Environ Sci Technol*, 2012, 46(4): 1979-1980.
- [8] HUTCHINSON M F, XU T. Anusplin version 4.4 user guide[M]. Canberra: The Australian National University, Fenner School of Environment and Society, 2013: 1-52.
- [9] 陈思齐, 许燕君, 胡建雄, 等. 用不同指标度量隔日气温变异对居民寿命损失年影响的比较研究[J]. *环境与职业医学*, 2020, 37(7): 636-642.
- CHEN S Q, XU Y J, HU J X, et al. Comparison of indicators in predicting impact of temperature variability between neighboring days on years of life lost[J]. *J Environ Occup Med* 2020, 37(7): 636-642.
- [10] LIU T, CHEN X, XU Y, et al. Gut microbiota partially mediates the effects of fine particulate matter on type 2 diabetes: Evidence from a population-based epidemiological study[J]. *Environ Int*, 2019, 130: 104882.
- [11] LIU T, XIAO J, ZENG W, et al. A spatiotemporal land-use-regression model to assess individual level long-term exposure to ambient fine particulate matters[J]. *MethodsX*, 2019, 6: 2101-2105.
- [12] BREIMAN L. Random forests[J]. *Mach Learn*, 2001, 45(1): 5-32.
- [13] JANES H, SHEPPARD L, LUMLEY T. Case-crossover analyses of air pollution exposure data: referent selection strategies and their implications for bias[J]. *Epidemiology*, 2005, 16(6): 717-726.
- [14] WANG X, WANG S, KINDZIERSKI W. Eliminating systematic bias from case-crossover designs[J]. *Stat Methods Med Res*, 2019, 28(10/11): 3100-3111.
- [15] GUO Y, GASPARRINI A, ARMSTRONG B, et al. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation[J]. *Epidemiol*, 2014, 25(6): 781-789.
- [16] GASPARRINI A, ARMSTRONG B. Reducing and meta-analysing estimates from distributed lag non-linear models[J]. *BMC Med Res Methodol*, 2013, 13: 1.
- [17] 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[J]. *Environ Health Perspect*, 2011, 119(12): 1719-1725.
- [18] XU RB, ZHAO Q, COELHO MS ZS, et al. The association between heat exposure and hospitalization for undernutrition in Brazil during 2000-2015: a nationwide case-crossover study[J]. *PLoS Med*, 2019, 16(10): e1002950.
- [19] ZEKA A, ZANOBETTI A, SCHWARTZ J. Individual-level modifiers of the effects of particulate matter on daily mortality[J]. *Am J Epidemiol*, 2006, 163(9): 849-859.
- [20] GASPARRINI A. Distributed lag linear and non-linear models in R: the package dlnm[J]. *J Stat Soft*, 2011, 43(8): 1-20.
- [21] SONG X, WANG S, HU Y, et al. Impact of ambient temperature on morbidity and mortality: an overview of reviews[J]. *Sci Total Environ*, 2017, 586: 241-254.
- [22] 马新明, 李润奎, 罗凯, 等. 中国3城市气温与人群死亡的关系[J]. *基础医学与临床*, 2016, 36(6): 805-810.
- MA XM, LI RK, LUO K, et al. Association between temperature and mortality in three cities in China[J]. *Basic Clinical Med*, 2016, 36(6): 805-810.
- [23] LUO Q, LI S, GUO Y, et al. A systematic review and meta-analysis of the association between daily mean temperature and mortality in China[J]. *Environ Res*, 2019, 173: 281-299.
- [24] ROCKLÖV J, FORSBERG B. The effect of temperature on mortality in Stockholm 1998-2003: a study of lag structures and heatwave effects[J]. *Scand J Public Health*, 2008, 36(5): 516-523.
- [25] YU W, MENERSEN K, WANG X, et al. Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence[J]. *Int J Biometeorol*, 2012, 56(4): 569-581.
- [26] REVICH B, SHAPOSHNIKOV D. Temperature-induced excess mortality in Moscow, Russia[J]. *Int J Biometeorol*, 2008, 52(5): 367-374.
- [27] ISHIGAMI A, HAJAT S, KOVATS RS, et al. An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities[J]. *Environ Health*, 2008, 7: 5.
- [28] BASU R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008[J]. *Environ Health*, 2009, 8: 40.
- [29] MA W, CHEN R, KAN H. Temperature-related mortality in 17 large Chinese cities: how heat and cold affect mortality in China[J]. *Environ Res*, 2014, 134: 127-133.
- [30] LEE WH, LIM YH, DANG TN, et al. An investigation on attributes of ambient temperature and diurnal temperature range on mortality in five East-Asian countries[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 10207.
- [31] ZEKA A, BROWNE S, MCAVOY H, et al. The association of cold weather and all-cause and cause-specific mortality in the island of Ireland between 1984 and 2007[J]. *Environ Health*, 2014, 13: 104.
- [32] CAI J, MENG X, WANG C, et al. The cold effects on circulatory inflammation, thrombosis and vasoconstriction in type 2 diabetic patients[J]. *Sci Total Environ*, 2016, 568: 271-277.
- [33] HINTSALA H, KENTTÄ TV, TULPPO M, et al. Cardiac repolarization and autonomic regulation during short-term cold exposure in hypertensive men: an experimental study[J]. *PLoS One*, 2014, 9(7): e99973.
- [34] LIU Y, GUO Y, WANG C, et al. Association between temperature change and outpatient visits for respiratory tract infections among children in Guangzhou, China[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2015, 12(1): 439-454.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣)