

热浪定义对其健康效应评估的影响：以泰国为例

徐志伟¹, 童世庐^{2, 3, 4}, 胡文彪², 程健², 黄存瑞⁵, 郑浩⁶

1. 昆士兰大学公共卫生学院, 澳大利亚 布里斯班 4006
2. 昆士兰科技大学公共卫生与社会工作学院, 澳大利亚 布里斯班 4059
3. 上海交通大学附属上海儿童医学中心, 上海 200127
4. 安徽医科大学公共卫生学院, 安徽 合肥 230032
5. 中山大学公共卫生学院, 广东 广州 510080
6. 江苏省疾病预防控制中心环境与健康所, 江苏 南京 210009

摘要：

[背景] 热浪在全球很多国家都是高致死率的自然灾害, 对公众健康造成严重威胁。但目前在全球范围内, 对于如何定义热浪, 尚无共识。

[目的] 探讨热浪定义对其健康效应评估的影响, 为热浪预警系统的建立提供依据。

[方法] 收集泰国 60 个省 1999 年 1 月 1 日—2008 年 12 月 31 日的气象与各死因死亡数据。气象数据具体包括每日最高气温、最低气温、平均气温、相对湿度。各死因包括总死亡和因缺血性心脏病、肺炎、糖尿病引起的死亡, 具体死因根据国际疾病伤害及死因分类标准第十版 (ICD10) 编码。采用准泊松非线性分布滞后模型来评估热浪对泰国人群死亡风险的短期影响, 并比较热浪期间总死亡和各死因的死亡风险在不同热浪定义 (强度和持续时间) 下的变化。其中, 热浪强度定义分别为每日平均气温的第 90 百分位数 (P_{90}) 和 P_{95} 、 P_{97} 、 P_{98} ; 持续时间包括 ≥ 2 d、 ≥ 3 d、 ≥ 4 d。采用随机效应 meta 分析定量合并 60 个省的结果, 计算热浪对泰国人群各疾病死亡的总效应值, 即以相对危险度 (RR) 及其 95% 可信区间 (CI) 的大小衡量人群对热浪敏感性的高低。

[结果] 相比于非热浪期间, 热浪期间人群总死亡和各死因死亡风险均升高。在低强度的热浪期间 (平均气温 $>P_{90}$ 且持续 ≥ 2 d), 总死亡的风险增高 12.8% (95% CI: 10.6%~15.1%)。热浪期间人群死亡的 RR, 并非完全随着热浪强度或持续时间的增加而增加。在持续 ≥ 2 d 时, 肺炎引起的死亡 [RR (95% CI) 为 1.42 (1.27~1.59)] 和糖尿病引起的死亡 [RR (95% CI) 为 1.34 (1.17~1.52)], 对以 P_{97} 定义的热浪最敏感; 而总死亡 (RR: 1.16, 95% CI: 1.13~1.20) 和缺血性心脏病引起的死亡 (RR: 1.35, 95% CI: 1.24~1.48), 对以 P_{95} 定义的热浪最敏感。而以 P_{98} 定义时为例, 糖尿病引起的死亡风险随着热浪持续时间的增加而增加, 但总死亡和肺炎引起的死亡风险随着热浪持续时间的增加而降低。

[结论] 本研究提示, 不同强度和持续时间定义模式下的热浪, 对疾病死亡风险的影响有差异。因此在热浪预警系统和其他热浪适应性政策的制定中, 根据各地区人群的热浪易感性特点, 量体裁衣地使用热浪定义, 可能更有利于保障人群健康。

关键词：热浪；定义；健康效应；泰国；预警系统

Impact of heatwave definition on health effect assessment: Evidence from Thailand XU Zhi-wei¹, TONG Shi-lu^{2, 3, 4}, HU Wen-biao², CHENG Jian², HUANG Cun-rui⁵, ZHENG Hao⁶ (1.School of Public Health, University of Queensland, Brisbane 4006, Australia; 2.School of Public Health and Social Work, Queensland University of Technology, Brisbane 4059, Australia; 3.Shanghai Children's Medical Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200127, China; 4.School of Public Health, Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230032, China; 5.School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510080, China; 6.Department of Environmental Health, Jiangsu Provincial Center for Disease Control and Prevention, Nanjing, Jiangsu 210009, China)

Abstract:

[Background] Heatwaves are a lethal natural disaster in many countries, posing a big threat to population health. However, there is no international consensus on how to properly define a heatwave.

[Objective] This study aims to understand the impact of heatwave definition on the assessment of the health effects of heatwaves, and to provide evidence for the development of heatwave early warning systems.

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19500

组稿专家

童世庐 (上海交大医学院附属上海儿童医学中心, 安徽医科大学公共卫生学院, 昆士兰科技大学公共卫生与社会工作学院), E-mail: tongshilu@scmc.com.cn

基金项目

全球变化亚太研究网络项目 (CRRP2016-10MY-Huang)

作者简介

徐志伟 (1987—), 男, 博士; E-mail: xzw1011@gmail.com

通信作者

郑浩, E-mail: zhenghao@jscdc.cn

利益冲突

无申报
收稿日期 2019-07-25
录用日期 2019-11-14

文章编号 2095-9982(2020)01-0003-06

中图分类号 R122

文献标志码 A

►引用

徐志伟, 童世庐, 胡文彪, 等. 热浪定义对其健康效应评估的影响: 以泰国为例 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (1): 3-8.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19500

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHENG Hao, E-mail: zhenghao@jscdc.cn

Competing interests

None declared
Received 2019-07-25
Accepted 2019-11-14

►To cite

XU Zhi-wei, TONG Shi-lu, HU Wen-biao, et al. Impact of heatwave definition on health effect assessment: Evidence from Thailand[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(1): 3-8.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19500

[Methods] Data on climatic variables and cause-specific deaths in 60 provinces of Thailand from 1st January 1999 to 31st December 2008 were collected. Climatic variables included daily maximum temperature, minimum temperature, mean temperature, and relative humidity. Deaths included total deaths and deaths from ischemic heart disease, pneumonia, and diabetes. Cause of death was classified according to the International Classification of Diseases, Tenth Version (ICD10). Quasi-Poisson regression combined with distributed lag non-linear model was used to assess the short-term effect of heatwaves on deaths in Thailand, and compare the risks of total and cause-specific deaths under different heatwave definitions (intensity and duration). The cut-off percentiles used for heatwave definitions were the 90th, 95th, 97th, and 98th percentiles of daily mean temperature; the durations were ≥ 2 d, ≥ 3 d, and ≥ 4 d, respectively. The total effects of heatwaves on cause-specific deaths [relative risks (RR) and corresponding 95% confidence intervals (CI)] were estimated by random-effect meta-analysis that combined the results of the 60 provinces.

[Results] The risks of total and cause-specific deaths increased significantly during heatwave periods, compared with non-heatwave periods. During mild heatwaves ($>$ the 90th percentile of mean temperature and ≥ 2 d), the risk of total deaths increased by 12.8% (95% CI: 10.6%-15.1%). The RR of deaths during heatwaves did not consistently increase with the increase of heatwave intensity or duration. When the heatwave duration was ≥ 2 d, deaths due to pneumonia [RR: 1.42, 95% CI: 1.27-1.59] and deaths due to diabetes (RR: 1.34, 95% CI: 1.17-1.52) were most vulnerable to the heatwaves defined using the 97th percentile of mean temperature distribution as the threshold; total deaths (RR: 1.16, 95% CI: 1.13-1.20) as well as deaths due to ischemic heart disease (RR: 1.35, 95% CI: 1.24-1.48) were most vulnerable to the heatwaves defined using the 95th percentile of mean temperature distribution as the threshold. When the heatwave cut-off percentile was the 98th percentile, with the extension of heatwave duration, the risk of deaths from diabetes increased, but the risks of total deaths and deaths due to pneumonia decreased.

[Conclusion] This study suggests that the impact of heatwaves on death risks changes under different intensity and duration definitions. Therefore, in the development of heatwave warning systems and other heat adaptation strategies, incorporating the characteristics of heatwave vulnerability of local population and adopting an optimal local heatwave definition may more effectively protect public health in the face of heatwaves.

Keywords: heatwave; definition; health effect; Thailand; early warning system

热浪是高致命性的自然灾害之一。在澳大利亚, 热浪造成的死亡人数超过其他所有自然灾害的总和^[1]。在气候变化的背景下, 热浪的强度、持续时间以及影响范围将会增加^[2], 这给人群健康带来了巨大的威胁。某研究调查了2007—2013年期间热浪对我国31个主要城市人群死亡率的影响, 发现相比于非热浪时期, 热浪增加了6%的人群死亡率^[3]。

在热浪健康效应的评估及适应性策略的制定过程中, 一个重要的问题是: 如何定义热浪? 虽然热浪是一个天气事件, 但对热浪的合理定义应结合其对人群健康的影响^[4]。不同的国家有不同的热浪定义。澳大利亚气象局根据3d的平均温度和人群适应性特点, 开发了超额热因子 (excess heat factor) 作为官方的热浪定义指标^[5]。该定义被应用到多个澳大利亚州的热浪预警系统中。在中国, 热浪官方定义为“连续3d最高温超过35℃的天气”^[6], 但有研究显示, 该定义可能不适用于某些地区^[7]。

由于不同的国家和地区温度区间不同, 且人群热适应性存在差异, 要制定出一个合理且全球统一的热浪定义是一个大的挑战^[8], 但根据某地区的特点, 制定出适合该地区 (或城市) 的热浪定义, 具备一定的可行性^[9]。制定热浪定义的第一个步骤, 通常为研究不同热浪定义下其健康效应的变化。本研究拟以泰国为例, 简要探讨热浪定义对其健康效应评估的影响。

1 材料与方法

1.1 数据收集

本研究收集了泰国60个省1999年1月1日—2008年12月31日的每日最高气温及最低气温、平均气温、相对湿度和死因别死亡人数数据。该60个省的分布如图1所示。气象数据来源于泰国数字经济与社会部 (Ministry of Digital Economy and Society), 死亡数据来源于泰国公共卫生部 (Ministry of Public Health)。本研究分析几种常见的与热浪有关的死因数据, 具体死因根据国际疾病伤害及死因分类标准第十版 (International Classification of Diseases, Tenth Version, ICD10) 编码。具体包括总死亡人数^[3]和缺血性心脏病 (ICD10编码: I20-I25)^[10]、肺炎 (ICD10编码: J12-J18)^[11] 以及糖尿病 (ICD10编码: E10-E14)^[12] 死亡人数。三种死因人数占总死亡人数的构成比分别为5.18% (缺血性心脏病)、5.92% (肺炎) 和3.86% (糖尿病)。

1.2 热浪定义

本研究结合强度和持续时间两个特点来定义热浪。其中强度的计算采用泰国1999—2008年3—6月份每日平均气温分布的某个百分位数为阈值。具体的强度有每日平均气温的第90百分位数 (P_{90})、 P_{95} 、 P_{97} 和 P_{98} ^[13]。具体持续时间有持续时间 ≥ 2 d、 ≥ 3 d 和 ≥ 4 d。表1呈现了12种具体的热浪定义。

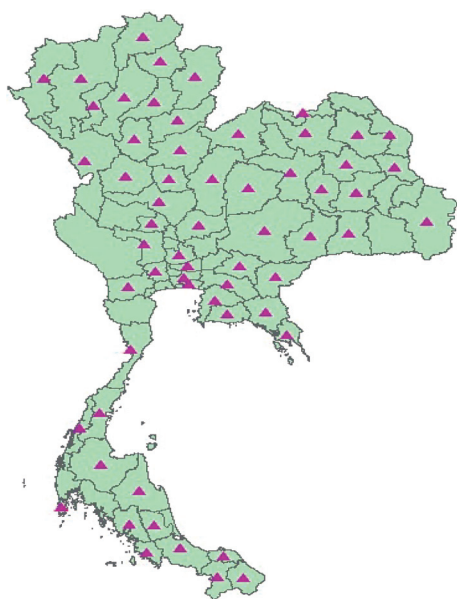


图1 本研究所选泰国60个省的地理位置示意图
Figure 1 The geographic locations of selected 60 provinces in Thailand in this study

表1 12种不同的热浪定义模式
Table 1 12 heatwave definitions

热浪定义模式 (Heatwave definition)	强度 (Intensity) *	持续时间 (Duration, d)
1	P_{90}	≥ 2
2	P_{90}	≥ 3
3	P_{90}	≥ 4
4	P_{95}	≥ 2
5	P_{95}	≥ 3
6	P_{95}	≥ 4
7	P_{97}	≥ 2
8	P_{97}	≥ 3
9	P_{97}	≥ 4
10	P_{98}	≥ 2
11	P_{98}	≥ 3
12	P_{98}	≥ 4

[注] *: 强度是指每日平均气温的百分位数。

[Note] *: Intensity is the percentiles of mean temperature.

1.3 统计学分析

本研究采用准泊松 (quasi-Poisson) 分布滞后线性模型 (distributed lag linear model) 来评估热浪对泰国人群死亡风险的短期影响^[14]。采用自由度为3的自然立方样条函数来控制夏季 (3—6月) 的死亡人数变化以及死亡人数变化的长期趋势^[15]；并通过改变模型中的长期趋势和季节性的自由度对模型进行敏感性分析。在模型中, 还控制了星期几效应和相对湿度。由于热浪对死亡影响有滞后效应, 本研究计算热浪暴露当天和滞后1d的累积效应^[16]。采用随机效应 meta 分析方法来定量合并60个城市的结果^[17]。在随机效应 meta 分析中, 使用经验贝叶斯法 (empirical Bayes) 来估计城市间的热浪效应的异质性, 然后求出热浪对泰

国各疾病死亡的总效应值 [相对危险度 (RR) 和可信区间 (CI)]。本研究用 RR (95% CI) 的大小来衡量人群对热浪敏感性的高低, RR 的绝对值越大, 敏感性越强。

本研究使用 R 软件 (版本 3.4.0) 中的 dlnm 软件包运行分布滞后线性模型和 metafor 软件包运行随机效应 meta 分析。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 泰国各省每日气象与疾病死亡人数信息

表2呈现了本研究中1999—2008年60个省的每日气象与各疾病死亡人数信息的分布情况。每日最高气温的区间为15.8~43.3℃, 每日最低气温、平均气温和相对湿度的区间分别为1.3~34.9℃、11.2~35.7℃以及25.0%~100.0%。每日总死亡人数、缺血性心脏病死亡人数、肺炎死亡人数以及糖尿病死亡人数的区间分别为0~106、0~16、0~15以及0~10。

表2 1999—2008年泰国60个省每日气象与各疾病死亡人数基本信息
Table 2 Daily climatic variables and total & cause-specific deaths in the selected 60 provinces in Thailand from 1999 to 2008

指标 Variable	最小值 Min	最大值 Max	中位数 Median	P_{25}	P_{75}
最高气温 (Maximum temperature, °C)	15.8	43.3	32.8	31.2	34.2
最低气温 (Minimum temperature, °C)	1.3	34.9	23.7	22.0	24.7
平均气温 (Mean temperature, °C)	11.2	35.7	27.9	26.5	29.1
相对湿度 (Relative humidity, %)	25.0	100.0	76.0	69.0	81.0
总死亡人数 (Total deaths)	0	106	6	3	10
缺血性心脏病死亡人数 Ischemic heart disease deaths	0	16	0	0	1
肺炎死亡人数 (Pneumonia deaths)	0	15	0	0	1
糖尿病死亡人数 (Diabetes deaths)	0	10	0	0	0

2.2 热浪对总死亡和各死因死亡的短期影响

如图2所示, 相比于非热浪期间, 热浪期间人群总死亡和各死因死亡风险均升高。在低强度的热浪期间 (每日平均气温 $>P_{90}$ 且持续 ≥ 2 d), 总死亡的风险增高12.8% (95% CI : 10.6%~15.1%)。但热浪期间死亡的 RR 并非完全随着热浪强度或持续时间的增加而增加。在持续 ≥ 2 d时, 肺炎引起的死亡 (RR : 1.42, 95% CI : 1.27~1.59) 以及糖尿病引起的死亡 (RR : 1.34, 95% CI : 1.17~1.52), 对以 P_{97} 定义的热浪最敏感; 而总死亡 (RR : 1.16, 95% CI : 1.13~1.20) 和缺血性心脏病 (RR : 1.35, 95% CI : 1.24~1.48) 引起的死亡, 对以 P_{95} 定义的热浪最敏感。而以 P_{98} 定义时为例, 糖尿病引起的死亡风险随着热浪持续时间的增加而增加, 但总死亡和肺炎引起的死亡风险随着热浪持续时间的增加而降低。

2.3 敏感性分析

通过改变分布滞后线性模型中长期趋势和季节

性的自由度 (分别为 2 和 4), 发现热浪对总死亡和各死因死亡的风险基本不变 (图 3 和图 4)。

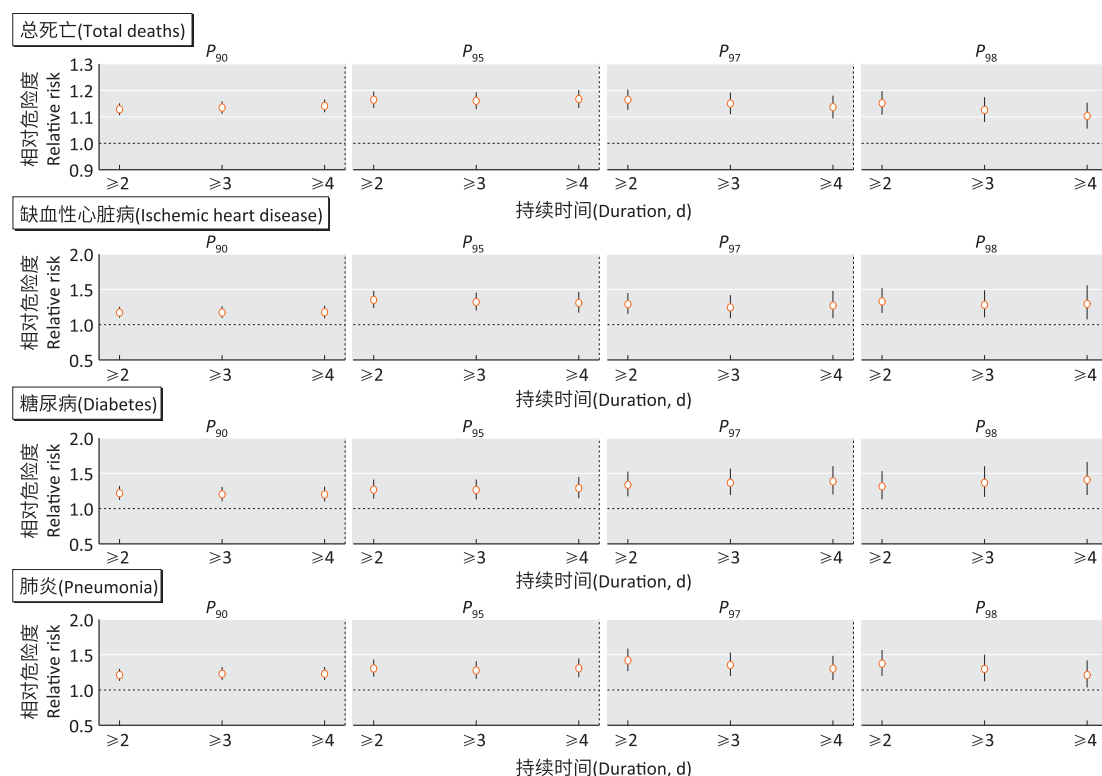


图2 不同定义模式下的热浪对人群总死亡和各死因死亡的短期影响 (长期趋势和季节性的自由度为 3)
Figure 2 The short-term effects of heatwaves under different definitions on total and cause-specific deaths (with the freedom degree of long-term trend and seasonality as 3)

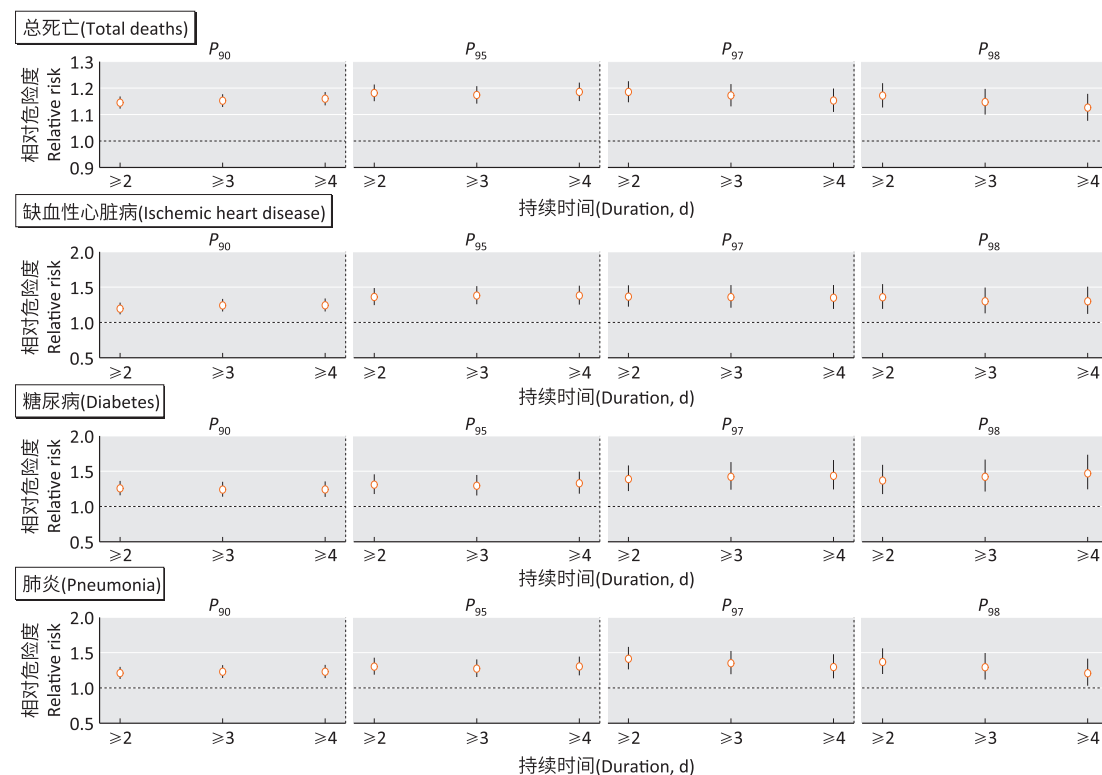


图3 不同定义模式下的热浪对人群总死亡和各死因死亡的短期影响 (长期趋势和季节性的自由度为 2)
Figure 3 The short-term effects of heatwaves under different definitions on total and cause-specific deaths (with the freedom degree of long-term trend and seasonality as 2)

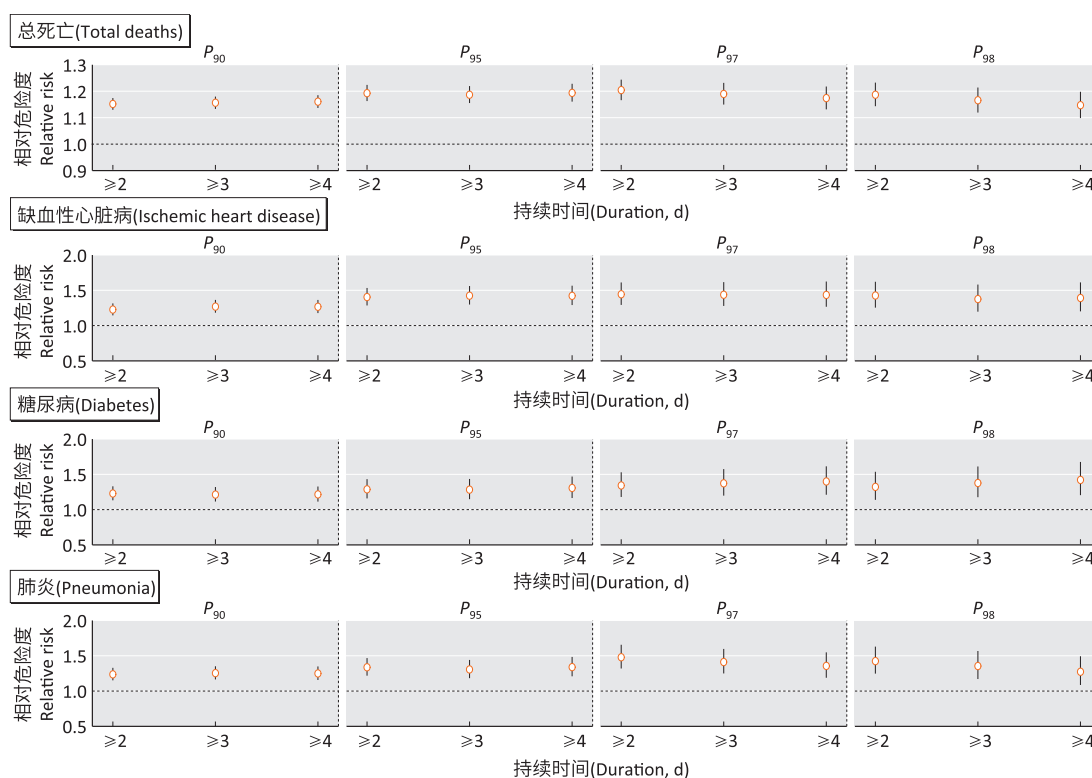


图4 不同定义模式下的热浪对人群总死亡和各死因死亡的短期影响(长期趋势和季节性的自由度为4)
Figure 4 The short-term effects of heatwaves under different definitions on total and cause-specific deaths
(with the freedom degree of long-term trend and seasonality as 4)

3 讨论

本研究采用泰国热浪和死亡数据,简要阐述了热浪定义对其健康效应评估的影响。本研究中有两个值得注意的发现:第一,相比于非热浪期间,热浪期间死亡的相对危险度并非完全随着热浪强度或持续天数的增加而增加;第二,不同疾病对不同定义模式下的热浪的敏感性不同。

当暴露于热或冷的环境中时,人体的体温调节系统会尝试抵消外界温度对人体的负面效应,来维持体温的平衡。但当外界温度超过人体体温调节系统能够应对的界限时,疾病和死亡的风险开始增加^[8]。通常情况下,某人群对热浪的易感性取决于三个因素:暴露水平、该人群对热的敏感性以及该人群的适应性水平。在本研究中,我们发现当热浪强度从 P_{97} 增加到 P_{98} 后,总死亡风险和肺炎引起的死亡风险反而降低了,这有可能是因为当环境的温度升到很高时,人们开始采取应对措施(比如开空调)^[9]。近期在澳大利亚布里斯班的某研究也发现,当热浪强度从 P_{95} 增加到 P_{97} 时,糖尿病病人的入院率和死亡风险均升高,但当热浪强度从 P_{97} 升高到 P_{99} 时,糖尿病病人的入院率和死亡风险并未继续升高^[12]。

在本研究中,我们也发现热浪期间各疾病的死亡

风险并未完全随着热浪持续天数的增加而增加。有趣的是,持续2d的热浪,在某些热浪强度下或某些疾病中比持续3d或4d的热浪引起的死亡风险更大。该发现与布里斯班某研究结果相似^[9]。有学者建议将热浪的危害解构为极限热的危害(主效应)以及持续天数的危害(附加效应)^[18]。目前大部分研究发现,相比于主效应,热浪的附加效应较小^[8]。结合之前其他研究的发现,本研究提示在启动热浪的预警系统或其他对人群的保护措施时,用2d作为热浪持续时间的定义,也许已经足够了。

热对人体不同系统的作用机制不尽相同^[19-21]。比如,热对某些器官(如肾脏)的危害是比较直接的,因此在热暴露下,相关疾病(如急性肾衰竭或中暑)的风险会迅速升高。而热对于一些系统(如内分泌系统)的危害,也许是通过中间的某些机制所介导的。本研究发现,缺血性心脏病相比于其他两种疾病,对不同定义模式下的热浪的敏感性不同(对以 P_{95} 定义的热浪最敏感)。该发现和以前学者们的发现,提示在热浪到来之前,负责执行热浪预警系统的政府部门,在与卫生部门(特别是医院各科室)的沟通中,具体疾病需要具体对待。如果认为只有等热浪到达某个很高的强度时,才需要提醒医院各科室做好准备工作,未必能达到最佳

的热浪预警效果。因为低强度的热浪,有时已经在迅速增加某些疾病的发病和死亡风险。

本研究有两个局限性。第一,该研究是生态学研究,有存在生态学谬误的可能性。第二,本研究采用的气象数据,是从地面有限数量的气象监测点收集的,未来如果有条件,可考虑获取卫星收集的丰富气象数据。

综上,不同强度和持续时间定义模式下的热浪,对疾病死亡风险的影响差异较大。本研究提示,用2d作为泰国热浪持续时间的定义即可。热浪强度较小时(P_{90})即开始有健康危害。在制定热浪预警系统的过程中,也许可以考虑结合当地热浪与人群健康关系的具体特点,采用适合当地的热浪定义。目前的科学发现提示,统一使用一种热浪定义的科学性可能有待商榷。

参考文献

- [1] COATES L, HAYNES K, O'BRIEN J, et al. Exploring 167 years of vulnerability : an examination of extreme heat events in Australia 1844-2010 [J]. *Environ Sci Policy*, 2014, 42 : 33-44.
- [2] MEEHL GA, TEBALDI C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century [J]. *Science*, 2004, 305 (5686) : 994-997.
- [3] YANG J, YIN P, SUN J, et al. Heatwave and mortality in 31 major Chinese cities : definition, vulnerability and implications [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 649 : 695-702.
- [4] ROBINSON PJ. On the definition of a heat wave [J]. *J Appl Meteor*, 2001, 40 (4) : 762-775.
- [5] NAIRN JR, FAWCETT RJ. The excess heat factor : a metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2015, 12 (1) : 227-253.
- [6] HUANG W, KAN H, KOVATS S. The impact of the 2003 heat wave on mortality in Shanghai, China [J]. *Sci Total Environ*, 2010, 408 (11) : 2418-2420.
- [7] CHEN K, BI J, CHEN J, et al. Influence of heat wave definitions to the added effect of heat waves on daily mortality in Nanjing, China [J]. *Sci Total Environ*, 2015, 506-507 : 18-25.
- [8] 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.
- [9] XU Z, CHENG J, HU W, et al. Heatwave and health events : a systematic evaluation of different temperature indicators, heatwave intensities and durations [J]. *Sci Total Environ*, 2018, 630 : 679-689.
- [10] YIN P, CHEN R, WANG L, et al. The added effects of heatwaves on cause-specific mortality : a nationwide analysis in 272 Chinese cities [J]. *Environ Int*, 2018, 121 : 898-905.
- [11] XU Z, LIU Y, MA Z, et al. Impact of temperature on childhood pneumonia estimated from satellite remote sensing [J]. *Environ Res*, 2014, 132 : 334-341.
- [12] XU Z, TONG S, CHENG J, et al. Heatwaves and diabetes in Brisbane, Australia : a population-based retrospective cohort study [J]. *Int J Epidemiol*, 2019, 48 (4) : 1091-1100.
- [13] TONG S, WANG XY, FITZGERALD G, et al. Development of health risk-based metrics for defining a heatwave : a time series study in Brisbane, Australia [J]. *BMC Public Health*, 2014, 14 : 435.
- [14] GASPARRINI A, ARMSTRONG B, KENWARD MG. Distributed lag non-linear models [J]. *Stat Med*, 2010, 29 (21) : 2224-2234.
- [15] XU Z, TONG S. Decompose the association between heatwave and mortality : which type of heatwave is more detrimental? [J]. *Environ Res*, 2017, 156 : 770-774.
- [16] ANDERSON GB, BELL ML. Heat waves in the United States : mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. communities [J]. *Environ Health Perspect*, 2011, 119 (2) : 210-218.
- [17] CHENG J, XU Z, BAMBRICK H, et al. Heatwave and elderly mortality : an evaluation of death burden and health costs considering short-term mortality displacement [J]. *Environ Int*, 2018, 115 : 334-342.
- [18] HAJAT S, ARMSTRONG B, BACCINI M, et al. Impact of high temperatures on mortality : is there an added heat wave effect? [J]. *Epidemiology*, 2006, 17 (6) : 632-638.
- [19] LIU C, YAVAR Z, SUN Q. Cardiovascular response to thermoregulatory challenges [J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2015, 309 (11) : H1793-H1812.
- [20] CHESHIRE W P JR. Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress [J]. *Auton Neurosci*, 2016, 196 : 91-104.
- [21] KENNY GP, SIGAL RJ, MCGINN R. Body temperature regulation in diabetes [J]. *Temperature*, 2016, 3 (1) : 119-145.

(英文编辑:汪源;编辑:丁瑾瑜;校对:陈姣)