

宁波市热浪对寿命损失年影响的总效应及附加效应*

宁波市疾病预防控制中心(315010) 谷少华 王爱红 王永 陆蓓蓓 张丹丹[△]

【摘要】目的 评估宁波市热浪对寿命损失年(YLL)影响的总效应及附加效应。**方法** 收集 2013—2019 年宁波市死亡、人口、气象和空气质量监测资料,计算得到每日 YLL 率;根据日最高气温的百分位数和持续时间定义 15 种热浪类型,利用时间序列方法结合分布滞后非线性模型评估热浪对人群 YLL 率影响的总效应及附加效应,并按照性别和年龄(<65 岁、≥65 岁)进行分层分析。**结果** 研究期间宁波市人群总 YLL 率为(19.74±3.14)人年/10 万,热浪期的总 YLL 率均高于非热浪期($P<0.05$)。随着热浪强度增加和持续时间延长,热浪的总效应均呈上升趋势。当热浪定义为日最高气温≥P97.5(37.2℃)且持续时间≥2d 时,热浪累积 10 d(Lag0-10 d)的总效应最大,总 YLL 率增加 3.77(95%CI: 2.25, 5.29)人年/10 万。热浪对男性和老年人影响的总效应高于女性和低年龄人群。仅部分热浪类型对男性和老年人 YLL 率影响的附加效应有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 热浪导致宁波市人群 YLL 率增加,且对男性和老年人的影响更大;热浪的附加效应可能仅在男性和老年人等敏感人群中出现。

【关键词】 热浪 附加效应 寿命损失年

【中图分类号】 R122.2

【文献标识码】 A

DOI 10.11783/j.issn.1002-3674.2024.03.015

The Total and Added Effects of Heatwaves on Years of Life Lost in Ningbo City

Gu Shaohua, Wang Aihong, Wang Yong, et al (Ningbo Municipal Center for Disease Control and Prevention (315010), Ningbo)

【Abstract】 Objective To evaluate the total and added effects of heatwaves on years of life lost(YLL) in Ningbo city.**Methods** We obtained data of mortality, population, meteorological and air quality from 2013 to 2019 in Ningbo city, and calculated the daily YLL rate. We defined 15 types of heatwaves by combining percentiles of daily maximum temperature with duration. Time series analysis and distributed lag non-linear model were used to estimate the total and added effects of heatwaves on YLL rate, and stratified analyses were conducted by gender and age(<65 years, ≥65 years). **Results** In the study period, the daily total YLL rate was (19.74±3.14)/10⁵, which were higher in heatwave periods than in non-heatwave periods. The total effects of heatwave increased with higher temperature and longer duration. When heatwave was defined by daily maximum temperature ≥95th(37.2℃) and the duration ≥2 d, the total effect of heatwave in lag 0-10d was the greatest, with an increased total YLL rate of 3.77(95%CI:2.25, 5.29)/10⁵. The results of stratified analyses showed that heatwave had a larger effect on male and ≥65 years old. The added effects of heatwave on male and ≥65 years old were statistically significant($P<0.05$). **Conclusion** Heatwave could elevate the level of YLL rate, with greater impacts on male and elderly people. The added effects of heatwave may only occur in sensitive populations such as male and elderly people.

【Key words】 Heatwave; Added effect; Years of life lost

热浪通常指持续数天的高温天气。自 20 世纪 50 年代以来,全球绝大多数地区的热浪都变得越来越频繁和剧烈;随着全球气候变暖和城市化进程加快,未来很可能出现更加极端的高温热浪事件,对人类健康造成严重威胁^[1]。研究显示,过去四十年间,我国热浪归因死亡人数从 1980 年代的 3679 人上升到 2010 年代的 15500 人,呈现快速增长、非线性和极端性的时间演变特征^[2];如果全球变暖趋势无法有效遏制,我国高温归因死亡人数比例预计将从目前的 1.9% 大幅升高至 21 世纪末的 5.5%^[3]。因此,准确了解热浪的影响特征和敏感人群有助于决策者采取更加有效的应对和干预措施,以降低未来极端高温天气的健康危害。

既往研究发现,热浪的效应受到多种因素影响,包

括热浪发生的时期、强度、持续时间以及当地人群特征和居民对气候的适应能力等^[4-6]。其中,评估热浪持续时间的健康影响可以为制定高温热浪预警标准提供科学依据,是当前研究的热点之一。Hajat 等^[7]将热浪对健康的影响归因于气温的独立作用(主效应)和持续时间的附加作用(附加效应)之和,并采用时间序列分析方法进行定量评估,近年来该方法已被多项研究采纳^[8-12]。部分研究显示热浪的附加效应存在,且随着热浪持续时间延长而逐渐增大^[7-10];但是,也有文献报道多个城市热浪的附加效应并无统计学意义^[11-13]。此外,既往研究无论针对热浪的总效应还是附加效应多数以死亡率作为健康结局,并未考虑死亡年龄的差异,结论具有一定的局限性^[14]。为了进一步了解热浪对健康的影响特征,本文拟评估宁波市不同热浪类型对寿命损失年(years of life lost, YLL)影响的总效应及附加效应,并比较不同人群组效应的差异。

* 基金项目:宁波市自然科学基金项目(2019A610379);宁波市医学重点学科(2022-B18);宁波市市级医疗卫生品牌学科(PPXK2024-09)

[△]通信作者:张丹丹, E-mail: zhangdd@nbcdc.org.cn

对象与方法

1. 数据收集

(1) 死亡数据

从宁波市疾病预防控制中心收集 2013—2019 年宁波市死因监测个案信息和户籍人口数据, 个案信息包括: 性别、年龄、死亡时间、根本死因等。以每日 YLL 率作为健康结局, 首先参照 2013 年中国居民期望寿命表^[15]计算历年宁波市每个死亡个案的 YLL, 然后分别汇总每日人群总 YLL, 以及不同性别和年龄组 (<65 岁和 ≥65 岁) 的 YLL; 最后以各人群组的年均户籍人口数进行标准化, 计算获得每日 YLL 率(人年/10 万)。

(2) 气象数据和热浪定义

从宁波市气象局收集同期的气象监测资料, 指标包括: 日最高气温、日均相对湿度和日均气压等。气象站点位于宁波市中心城区, 为国家基本气象站。

我国将热浪定义为日最高气温 ≥35 °C 且持续 3 d 以上, 但是由于不同地区的气候条件和人群特征差异, 这种单一恒定的热浪标准可能是不适宜的^[16]。为了充分评估不同热浪类型的健康效应, 参考以往文献^[9, 11, 16], 根据气温的相对强度和持续时间重新定义热浪事件。具体方法为分别选用 2013—2019 年日最高气温的百分位数 (P87.5、P90.0、P92.5、P95.0、P97.5) 作为强度阈值, 和持续时间 ≥2 d、≥3 d 和 ≥4 d 进行组合, 共定义 15 种热浪类型。

(3) 空气污染数据

为控制空气污染物潜在混杂作用, 从宁波市生态环境监测中心收集同期城区站点的空气质量监测数据, 选择细颗粒物 (PM_{2.5}) 和臭氧 8 h (O₃-8h) 两个主要污染物指标开展分析。

2. 统计分析

为了避免低温效应的影响, 参考历年宁波市气温监测数据, 将研究时段限制在每年的暖季 (5 月 - 10 月)。定量资料的一般分布特征描述采用均数 ± 标准差, 热浪期和非热浪期的组间比较采用 *t* 检验。

采用时间序列方法评估不同热浪类型对寿命损失年影响的总效应和附加效应, 并利用分布滞后非线性模型 (distributed lag non-linear model, DLNM) 构建交叉基函数同时拟合气温的非线性效应和滞后效应^[8-12, 16]。评估热浪总效应的模型构建如下:

$$E(Y_t) = cb(\text{Heatt}, \text{lag}) + \text{year} + ns(\text{doy}, 4) + ns(\text{PM}_{2.5}t, 3) + ns(\text{O}_3t, 3) + \text{DOW} + \alpha$$

式中: $E(Y_t)$ 为第 t 天 YLL 率的期望值; cb 为交叉基函数; Heatt 为热浪事件, 按照二分类变量纳入模型 (热浪期为 1, 非热浪期为 0); lag 为滞后时间, 选择最长滞后时间为 10 d, 采用样条函数进行非线性拟合, 自由度选择 3^[10-11]; ns 为自然立方样条函数; year 和 doy 分别为

年份和暖季时间, 两者分别用于控制长期趋势和季节趋势^[11, 16]; $\text{PM}_{2.5}t$ 和 O_3t 分别为第 t 日 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 -8h 的日均浓度, 选择自由度均为 3^[9]; DOW 为星期几, 按照哑变量纳入模型; α 为截距。

当评估热浪的附加效应时, 将日最高气温的交叉基函数纳入模型, 其中日最高气温采用样条函数进行非线性拟合, 自由度选择 6; 最长滞后时间同样设定为 10 d, 自由度选择 5^[10-11]。分别计算热浪当天 (Lag 0 d) 至滞后 10 d (Lag 10 d) 的单天总效应和附加效应, 以及热浪累积滞后 10 d (Lag 0~10 d) 的总效应和附加效应。

采用 R3.5.3 软件统计分析, DLNM 模型采用 “dlnm” 程序包, 检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

结果

1. 热浪发生情况

如表 1 所示, 2013—2019 年宁波市日最高气温的第 87.5、90.0、92.5、95.0、97.5 百分位数分别为 33.0 °C、33.7 °C、34.7 °C、35.8 °C 和 37.2 °C。随着热浪强度增加和持续时间延长, 热浪事件数和热浪天数均呈下降趋势。热浪强度最低和持续时间最短 (HW_P87.5_2d) 时, 研究期间共发生热浪事件 43 次, 累计 296 d; 热浪强度最高和持续时间最长 (HW_P97.5_4 d) 时, 共发生热浪事件 5 次, 累计 37 d。

表 1 2013—2019 年暖季宁波市不同热浪类型的一般情况

热浪类型	热浪定义	热浪事件数	热浪天数 (d)
HW_P87.5_2d	日最高气温 ≥87.5th (33.0 °C), ≥2 d	43	296
HW_P87.5_3d	日最高气温 ≥87.5th (33.0 °C), ≥3 d	31	272
HW_P87.5_4d	日最高气温 ≥87.5th (33.0 °C), ≥4 d	23	251
HW_P90.0_2d	日最高气温 ≥90.0th (33.7 °C), ≥2 d	44	238
HW_P90.0_3d	日最高气温 ≥90.0th (33.7 °C), ≥3 d	30	210
HW_P90.0_4d	日最高气温 ≥90.0th (33.7 °C), ≥4 d	18	174
HW_P92.5_2d	日最高气温 ≥92.5th (34.7 °C), ≥2 d	35	176
HW_P92.5_3d	日最高气温 ≥92.5th (34.7 °C), ≥3 d	22	150
HW_P92.5_4d	日最高气温 ≥92.5th (34.7 °C), ≥4 d	18	138
HW_P95.0_2d	日最高气温 ≥95.0th (35.8 °C), ≥2 d	25	108
HW_P95.0_3d	日最高气温 ≥95.0th (35.8 °C), ≥3 d	15	88
HW_P95.0_4d	日最高气温 ≥95.0th (35.8 °C), ≥4 d	12	79
HW_P97.5_2d	日最高气温 ≥97.5th (37.2 °C), ≥2 d	10	49
HW_P97.5_3d	日最高气温 ≥97.5th (37.2 °C), ≥3 d	7	43
HW_P97.5_4d	日最高气温 ≥97.5th (37.2 °C), ≥4 d	5	37

2. 人群 YLL 率、气象因素和空气污染的基本情况

研究期间宁波市人群总 YLL 率为 (19.74 ± 3.14) 人年/10 万, 其中男性、女性、<65 岁和 ≥65 岁 YLL 率分别为 (23.33 ± 4.45) 人年/10 万、(16.34 ± 3.69) 人年/10 万、(11.56 ± 3.07) 人年/10 万和 (64.88 ± 11.54) 人年/10 万; 日最高气温、日均相对湿度、PM_{2.5} 日均浓度和 O₃-8h 日均浓度分别为 (29.13 ± 4.92) °C、(77.28 ± 10.56) %、(31.87 ± 18.37) μg/m³ 和 (107.40 ± 41.28) μg/

m³。所有热浪类型的热浪期总 YLL 率均高于非热浪期,差异均有统计学意义($P < 0.05$),详见表 2。

表 2 热浪期和非热浪期的总 YLL 率比较

热浪类型	热浪期	非热浪期	<i>t</i>	<i>P</i>
HW_P87.5_2d	20.75±3.54	19.45±2.94	5.757	<0.001
HW_P87.5_3d	20.81±3.55	19.46±2.96	5.771	<0.001
HW_P87.5_4d	20.87±3.53	19.47±2.97	5.796	<0.001
HW_P90.0_2d	20.89±3.65	19.48±2.95	5.553	<0.001
HW_P90.0_3d	21.13±3.67	19.47±2.95	6.160	<0.001
HW_P90.0_4d	21.32±3.74	19.50±2.96	6.129	<0.001
HW_P92.5_2d	21.22±3.82	19.51±2.95	5.671	<0.001
HW_P92.5_3d	21.38±3.97	19.53±2.95	5.514	<0.001
HW_P92.5_4d	21.44±3.95	19.54±2.96	5.475	<0.001
HW_P95.0_2d	21.94±4.01	19.54±2.97	6.052	<0.001
HW_P95.0_3d	22.42±4.13	19.55±2.96	6.371	<0.001
HW_P95.0_4d	22.55±4.17	19.56±2.97	6.229	<0.001
HW_P97.5_2d	22.78±3.89	19.62±3.04	5.570	<0.001
HW_P97.5_3d	22.87±4.11	19.64±3.04	5.065	<0.001
HW_P97.5_4d	23.10±4.15	19.64±3.05	4.978	<0.001

3. 热浪对 YLL 率影响的总效应

热浪发生的当天(lag 0 d)和滞后 1 d 时,所有热浪类型的总 YLL 率均增加,且有统计学意义($P < 0.05$)。热浪强度最低($\geq 33.0\text{ }^{\circ}\text{C}$)时,滞后 4~6 d 的总 YLL 率减少;热浪强度最高($\geq 37.2\text{ }^{\circ}\text{C}$)时,滞后 4 d 的总 YLL 率增加;其余热浪类型滞后 2 d 至滞后 10 d 的总效应均无统计学意义。详见图 1。

随着热浪强度增加和持续时间延长,热浪累积滞后 0~10 d 的总效应均呈上升趋势。其中,强度变化对热浪效应的影响更加明显,热浪定义为 HW_P87.5_2d 时,总 YLL 率增加 1.25(95% CI: 0.33, 2.17) 人年/10 万;热浪定义为 HW_P97.5_2d 时,总效应最大,总 YLL 率增加 3.77(95% CI: 2.25, 5.29) 人年/10 万。分性别分析显示,热浪最高可以导致男性和女性 YLL 率

分别增加 4.30(95% CI: 2.67, 5.94) 人年/10 万和 3.69(95% CI: 1.85, 5.52) 人年/10 万,不同热浪类型对男性的影响均高于女性。分年龄分析显示,热浪最高可以导致<65 岁和 ≥ 65 岁人群 YLL 率分别增加 1.73(95% CI: 0.63, 2.82) 人年/10 万和 15.46(95% CI: 10.41, 20.51) 人年/10 万,不同热浪类型对老年人的影响均高于低年龄人群。详见表 3。

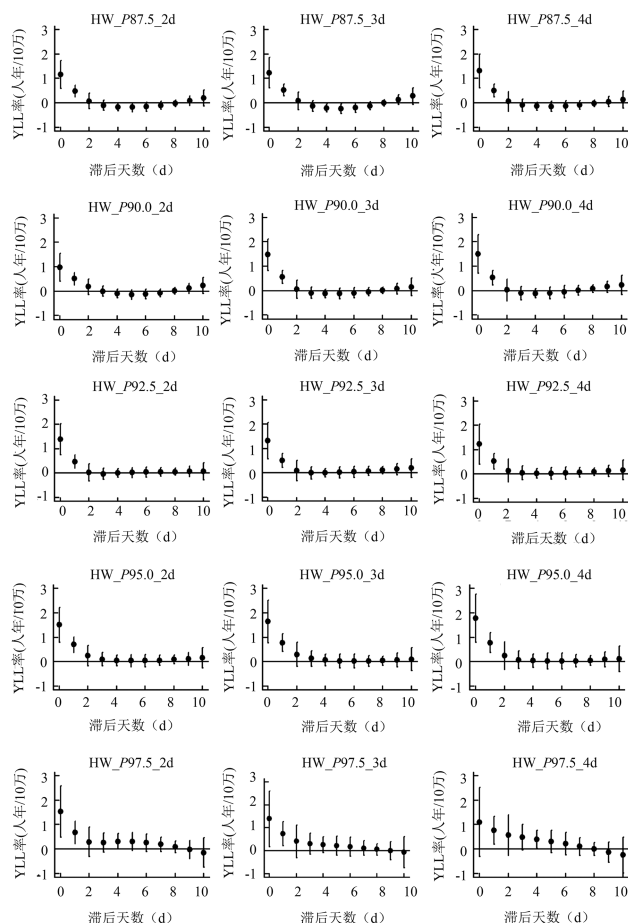


图 1 热浪对总 YLL 率影响的总效应及 95% 置信区间

表 3 热浪累积 10 d(Lag 0~10 d)对 YLL 率影响的总效应及 95% 置信区间

热浪类型	全人群	男性	女性	<65 岁	≥ 65 岁
HW_P87.5_2d	1.25(0.33, 2.17) *	2.09(0.76, 3.42) *	0.42(-0.70, 1.54)	0.74(-0.15, 1.63)	2.69(-0.39, 5.77)
HW_P87.5_3d	1.31(0.45, 2.17) *	1.85(0.60, 3.09) *	0.77(-0.27, 1.81)	0.77(-0.06, 1.61)	3.08(0.20, 5.96) *
HW_P87.5_4d	1.43(0.56, 2.29) *	2.01(0.75, 3.27) *	0.85(-0.20, 1.90)	0.71(-0.13, 1.55)	4.59(1.71, 7.48) *
HW_P90.0_2d	1.61(0.66, 2.56) *	2.26(0.88, 3.63) *	0.97(-0.18, 2.11)	0.85(-0.07, 1.77)	4.87(1.69, 8.05) *
HW_P90.0_3d	1.91(1.01, 2.81) *	2.50(1.20, 3.80) *	1.33(0.24, 2.42) *	1.12(0.25, 1.99) *	5.73(2.72, 8.74) *
HW_P90.0_4d	2.23(1.31, 3.14) *	2.59(1.26, 3.92) *	1.87(0.77, 2.98) *	1.16(0.27, 2.05) *	7.54(4.47, 10.60) *
HW_P92.5_2d	2.23(1.20, 3.27) *	2.73(1.23, 4.23) *	1.74(0.49, 2.99) *	1.23(0.22, 2.23) *	7.05(3.58, 10.52) *
HW_P92.5_3d	2.57(1.51, 3.63) *	2.76(1.22, 4.31) *	2.38(1.10, 3.66) *	1.46(0.43, 2.49) *	8.22(4.65, 11.79) *
HW_P92.5_4d	2.53(1.49, 3.58) *	2.79(1.27, 4.31) *	2.28(1.02, 3.54) *	1.43(0.42, 2.44) *	8.20(4.70, 11.71) *
HW_P95.0_2d	3.12(1.98, 4.25) *	3.99(2.34, 5.64) *	2.26(0.89, 3.64) *	1.58(0.48, 2.69) *	11.36(7.57, 15.14) *
HW_P95.0_3d	3.23(2.09, 4.38) *	4.09(2.42, 5.75) *	2.39(1.00, 3.77) *	1.71(0.59, 2.82) *	11.47(7.66, 15.29) *
HW_P95.0_4d	3.28(2.15, 4.41) *	4.30(2.67, 5.94) *	2.27(0.90, 3.64) *	1.73(0.63, 2.82) *	11.68(7.92, 15.44) *
HW_P97.5_2d	3.77(2.25, 5.29) *	3.86(1.65, 6.07) *	3.69(1.85, 5.52) *	1.65(0.18, 3.13) *	15.46(10.41, 20.51) *
HW_P97.5_3d	3.65(2.11, 5.18) *	3.80(1.57, 6.03) *	3.50(1.65, 5.36) *	1.68(0.19, 3.17) *	14.30(9.17, 19.42) *
HW_P97.5_4d	3.60(2.03, 5.16) *	3.65(1.38, 5.93) *	3.54(1.65, 5.43) *	1.66(0.14, 3.18) *	14.09(8.86, 19.32) *

* : $P < 0.05$

4. 热浪对 YLL 率影响的附加效应

如图 2 所示,除了 HW_P87.5_3d 和 HW_P87.5_4d 两种类型的个别滞后天数外,其余热浪类型在不同滞后天数对总 YLL 率影响的附加效应均无统计学意义。

如表 4 所示,所有热浪类型累积滞后 0~10 d 对总 YLL 率影响的附加效应也均无统计学意义。分性别分析显示,HW_P95.0_3d 和 HW_P95.0_4d 两种热浪类型对男性 YLL 率影响的附加效应有统计学意义 ($P < 0.05$), YLL 率最高增加 4.05 (95% CI: 0.76, 7.34) 人年/10 万;不同热浪类型对女性 YLL 率影响的附加效应均无统计学意义。分年龄分析显示,HW_P95.0_2d、HW_P95.0_3d、HW_P95.0_4d 和 HW_P97.5_2d 等四种热浪类型对 ≥ 65 岁人群 YLL 率影响的附加效应有统计学意义 ($P < 0.05$), YLL 率最高增加 14.97 (95% CI: 3.01, 26.93) 人年/10 万;不同热浪类型对 < 65 岁人群 YLL 率影响的附加效应均无统计学意义。

讨论

热浪导致的热效应是气候变化对人类健康最直接和最主要的威胁^[2]。已有大量证据证实,热浪期间人群总死亡以及心血管疾病、呼吸系统疾病、精神疾病、意外伤害等多种疾病类型的发病或死亡风险均会上升^[6,13,17-19]。本文根据气温的相对强度和持续时间定义了 15 种热浪类型,这比单一恒定的热浪标准更照顾到不同气候条件导致的人群高温适应性差异^[11]。研

究发现随着热浪强度增加和持续时间延长,热浪的总效应均呈现上升趋势;且在男性和老年人群中,热浪的附加效应有统计学意义。

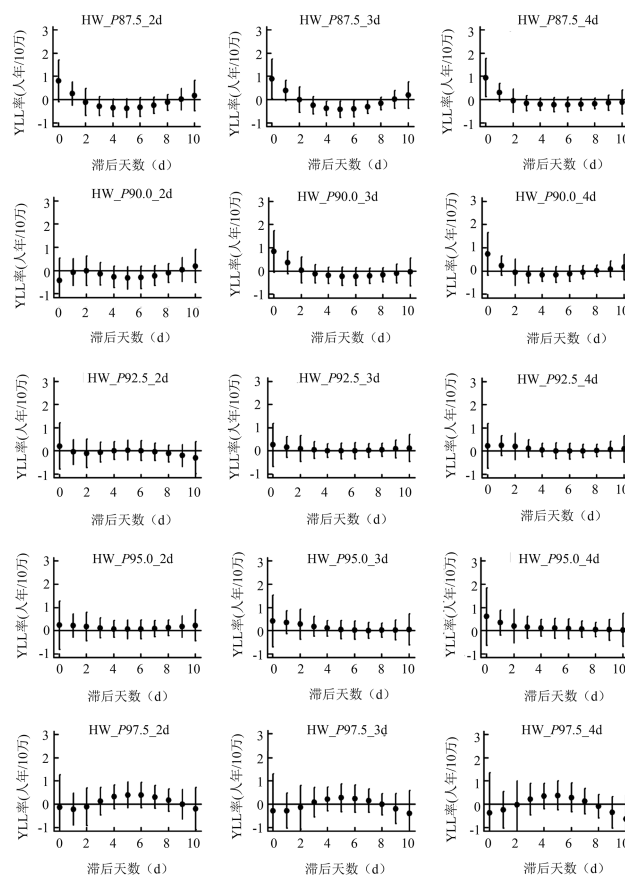


图 2 热浪对总 YLL 率影响的附加效应及 95% 置信区间

表 4 热浪累积 10 d (Lag 0~10 d) 对 YLL 率影响的附加效应及 95% 置信区间

热浪类型	全人群	男性	女性	<65 岁	≥ 65 岁
HW_P87.5_2d	-0.54 (-3.30, 2.23)	0.73 (-3.31, 4.77)	-1.79 (-5.18, 1.61)	-0.08 (-2.82, 2.66)	-5.70 (-14.87, 3.46)
HW_P87.5_3d	-0.41 (-2.50, 1.69)	-0.92 (-3.99, 2.14)	0.10 (-2.48, 2.67)	-0.06 (-2.14, 2.01)	-3.99 (-10.95, 2.96)
HW_P87.5_4d	-0.19 (-1.90, 1.52)	-0.30 (-2.81, 2.21)	-0.09 (-2.19, 2.01)	-0.42 (-2.12, 1.28)	1.16 (-4.50, 6.83)
HW_P90.0_2d	-1.58 (-4.79, 1.62)	-2.69 (-7.37, 2.00)	-0.49 (-4.42, 3.44)	-1.20 (-4.37, 1.98)	-4.17 (-14.80, 6.46)
HW_P90.0_3d	-0.02 (-2.28, 2.23)	-0.73 (-4.03, 2.56)	0.68 (-2.08, 3.45)	0.30 (-1.93, 2.53)	-0.94 (-8.43, 6.54)
HW_P90.0_4d	0.57 (-1.08, 2.22)	-0.14 (-2.55, 2.27)	1.27 (-0.75, 3.28)	0.05 (-1.58, 1.68)	3.07 (-2.39, 8.53)
HW_P92.5_2d	-0.52 (-3.48, 2.43)	-2.27 (-6.59, 2.04)	1.19 (-2.42, 4.81)	-0.27 (-3.19, 2.66)	-2.45 (-12.24, 7.34)
HW_P92.5_3d	0.89 (-1.29, 3.08)	-0.68 (-3.88, 2.52)	2.44 (-0.23, 5.11)	0.50 (-1.67, 2.66)	3.43 (-3.82, 10.69)
HW_P92.5_4d	1.08 (-0.93, 3.08)	0.06 (-2.87, 2.99)	2.07 (-0.38, 4.51)	0.52 (-1.47, 2.50)	4.24 (-2.39, 10.88)
HW_P95.0_2d	1.62 (-1.02, 4.26)	3.63 (-0.23, 7.49)	-0.37 (-3.60, 2.86)	0.40 (-2.21, 3.02)	10.10 (1.37, 18.84) *
HW_P95.0_3d	1.56 (-0.77, 3.89)	3.64 (0.24, 7.04) *	-0.49 (-3.34, 2.36)	0.47 (-1.83, 2.78)	8.53 (0.84, 16.21) *
HW_P95.0_4d	1.84 (-0.41, 4.10)	4.05 (0.76, 7.34) *	-0.33 (-3.09, 2.43)	0.74 (-1.49, 2.97)	8.77 (1.34, 16.20) *
HW_P97.5_2d	1.12 (-2.50, 4.74)	-0.37 (-5.66, 4.92)	2.60 (-1.83, 7.03)	-1.14 (-4.73, 2.44)	14.97 (3.01, 26.93) *
HW_P97.5_3d	-0.27 (-3.76, 3.21)	-1.94 (-7.04, 3.15)	1.37 (-2.89, 5.64)	-1.94 (-5.39, 1.51)	9.22 (-2.31, 20.75)
HW_P97.5_4d	-0.33 (-4.27, 3.62)	-2.51 (-8.28, 3.27)	1.83 (-3.00, 6.66)	-2.02 (-5.93, 1.89)	9.16 (-3.91, 22.23)

* : $P < 0.05$

与以往研究一致^[9,11-12,19],本文发现热浪的效应在当天即可出现,一般持续 0~1 d。热效应的滞后天数受到热浪强度的影响,当强度较高时,滞后效应延长

到 4 d;而强度较低时,滞后 4~6 d 时 YLL 率下降,这可能由于热浪发生几天内敏感人群快速减少导致的“死亡位移”,又称为“收获效应”,我国其他地区和澳

大利亚、菲律宾、韩国等地的研究中也存在相似结果^[9,11]。当环境温度较高时,人体通过体温调节作出反应,皮肤血管扩张、心跳加快、血液循环加速,热浪强度越高越难以维持正常体温,机体受到的损伤越大,因此滞后效应持续的时间可能也越长。多项研究指出^[7,9,11,20],热浪的健康效应随着强度升高而逐渐增大。本研究也发现当热浪阈值定义为日最高气温 \geq 第 97.5 百分位(37.2 °C)时,总效应最大,总 YLL 率增加 3.77 人年/10 万。但是由于不同研究采用的健康结局指标存在差异,暂无法定量比较不同城市间热浪总效应的大小^[14,21]。

针对死亡率的研究结果多显示热浪对女性的影响更大,并认为女性敏感的身体状况或较低的社会经济水平可能会降低其对热浪的适应能力^[6,9-10]。然而在针对寿命损失年的研究中,部分研究则认为热浪对男性的影响高于女性^[14,21],例如袁丽霞等^[14]在广东省开展的研究显示,热浪可以导致男性缺血性脑卒中的 YLL 率增加 0.13 人年/10 万,而女性增加 0.12 人年/10 万。本文也发现不同热浪类型对男性 YLL 率影响的总效应均大于女性。男性由于职业原因更容易暴露于外环境中,且吸烟、饮酒、暴饮暴食等不良生活方式的比例比女性更高,因此受到热浪的影响可能更大,预期寿命更短^[14,21]。该结果说明只有关注多种健康结局,才能够全面评估热浪的健康危害。针对年龄的研究结果则基本一致,热浪对老年人死亡率或者寿命损失年的影响均高于低年龄组^[6,9-10,14,21]。随着年龄增长,老年人的生理功能和体温调节能力逐渐降低、基础疾病增加;且其住房条件、经济状况、社会支持和健康防护水平普遍较低,导致对热浪的适应能力较差,因此受到热浪的影响更大^[9-10,14]。

早期的研究多认为热浪的附加效应存在,Anderson 等^[4]针对美国 43 个城市的研究指出,热浪持续时间每延长一天,死亡的相对风险增加 0.38%。但是,近期的研究则对此持有不同看法,Hajat 等^[7]和 Gasparrini 等^[8]的研究显示与气温的主效应相比,附加效应相对较小;而 Guo 等^[11]对全球 400 多个城市的研究发现,除了个别地区以外,热浪的附加效应并无统计学意义,并认为以往研究可能对气温的滞后效应考虑不足,导致附加效应被高估。本研究结果与此相似,热浪对全人群影响的附加效应并无统计学意义。这表明对一般人群进行高温热浪预警时,应重点关注高温的强度,而非持续时间。

与此同时,本研究显示部分较高强度的热浪类型对男性、老年人影响的附加效应存在。Yin 等^[9]和牛彦麟等^[10]的研究也指出,热浪的附加效应对循环系统疾病和呼吸系统疾病以及女性、老年人、低文化程度人群的影响更加明显,并随着强度升高逐渐增大。老年

人等敏感人群在长时间高温天气中无法有效恢复身体机能,可能导致热效应相互叠加,健康损害增大,从而出现附加效应^[9]。这表明人群结构特征可能是不同地区附加效应存在差异的原因之一,老龄化程度较高的地区热浪附加效应更可能出现。

综上所述,本研究采用寿命损失年指标开展热浪健康风险评估,和以死亡率为健康结局的研究形成对照和互补,有利于公众全面了解热浪的效应特征,并为制定本地区高温热浪预警标准提供科学依据。本研究仍存在一定的局限,包括:采用的是气象监测数据,而非个体实际暴露数据,因此研究结果可能存在一定偏倚;不同地区间的环境条件和人群特征存在差异,导致单一城市研究结果外推时存在不确定性。

参 考 文 献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary For Policy-makers. Cambridge: Cambridge University Press, 2023: 3-22.
- [2] Chen HQ, Zhao L, Dong W, et al. Spatiotemporal variation of mortality burden attributable to heatwaves in China, 1979-2020. *Science Bulletin*, 2022, 67(3): 1340-1344.
- [3] Yang J, Zhou MG, Ren ZP, et al. Projecting heat-related excess mortality under climate change scenarios in China. *Nature Communication*, 2021, 12(1): 1039.
- [4] Anderson GB, Bell ML. Heat waves in the United States; mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 US communities. *Environmental Health Perspectives*, 2011, 119(2): 210-218.
- [5] Xu ZW, Gerard FG, Guo YM, et al. Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 2016, 89-90: 193-203.
- [6] Ma WJ, Zeng WL, Zhou MG, et al. The short-term effect of heat waves on mortality and its modifiers in China: An analysis from 66 communities. *Environment International*, 2015, 75: 103-109.
- [7] Hajat S, Armstrong B, Baccini M, et al. Impact of high temperatures on mortality: is there an added heat wave effect. *Epidemiology*, 2006, 17(6): 632-638.
- [8] Gasparrini A, Armstrong B. The Impact of Heat Waves on Mortality. *Epidemiology*, 2011, 22(1): 68-73.
- [9] Yin P, Chen RJ, Wang LJ, et al. The added effects of heatwaves on cause-specific mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities. *Environment International*, 2018, 121: 898-905.
- [10] 牛彦麟,杨军,林华亮,等. 高温热浪对北京市居民死亡影响附加效应. *中国公共卫生*, 2022, 38(3): 344-350.
- [11] Guo YM, Gasparrini A, Armstrong B, et al. Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study. *Environmental Health Perspectives*, 2017, 125(8): 87006.
- [12] Zeng WL, Lao XQ, Rutherford S, et al. The effect of heat waves on mortality and effect modifiers in four communities of Guangdong Province, China. *Science of the Total Environment*, 2014, 482-483: 214-221.
- [13] Hu J, Wen Y, Duan YR, et al. The impact of extreme heat and heat waves on emergency ambulance dispatches due to external cause in Shenzhen, China. *Environmental Pollution*, 2020, 261: 114156.

(下转第 413 页)