

热浪对上海市浦东新区居民每日死亡与疾病负担影响的病例交叉研究

陈亦晨¹, 彭丽², 周弋¹, 肖绍坦¹, 李小攀¹, 孙良红¹, 陈涵一¹, 陈华¹, 曲晓滨¹

1. 上海市浦东新区疾病预防控制中心科研与信息管理部门, 复旦大学浦东预防医学研究院, 上海 200136

2. 长三角环境气象预报预警中心健康气象科, 上海市气象与健康重点实验室, 上海 200030

摘要:

[背景] 随着全球持续变暖, 热浪发生的强度与频率不断增加, 其对人群健康的危害正引起全世界的广泛关注。

[目的] 探讨热浪对上海市浦东新区居民每日死亡及疾病负担的影响。

[方法] 收集 2005—2017 年期间 5—9 月浦东新区居民非意外死亡、心脑血管疾病死亡与呼吸系统疾病死亡资料以及同时期的气象因素与大气污染物数据 (PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2), 构建分布滞后非线性模型, 并以时间分层-病例交叉的方法控制长期趋势, 定量评估热浪对浦东新区居民每日非意外死亡、心脑血管疾病死亡与呼吸系统疾病死亡人数与寿命损失年的影响, 并依据性别、年龄以及文化程度进行分层, 比较不同层间效应值的差异性。

[结果] 研究期间, 浦东新区合计发生热浪事件 25 次, 累计持续 148 d。居民非意外死亡 93 040 例, 其中心脑血管疾病死亡 33 402 例, 呼吸系统疾病死亡 8 842 例。与非热浪日相比, 浦东新区居民热浪日累积滞后 5 d 每日非意外死亡风险上升 ($RR=1.13$; 95% CI : 1.06~1.19), 其寿命损失年增加 58.68 (95% CI : 6.70~110.67) 人年; 热浪对心脑血管疾病死亡与呼吸系统疾病每日死亡影响的 RR 值分别为 1.23 (95% CI : 1.12~1.35)、1.23 (95% CI : 1.03~1.48), 其寿命损失年分别增加 42.40 (95% CI : 18.10~66.71) 人年、12.09 (95% CI : 1.45~22.73) 人年。小学及以下文化水平人群热浪日累积滞后 5 d 非意外死亡的 RR 值 (95% CI) 与寿命损失年增加数分别为 1.19 (95% CI : 1.11~1.27) 与 58.22 (95% CI : 23.01~93.44) 人年, 高于中学及以上文化水平人群 [1.05 (95% CI : 0.96~1.16) 与 0.46 (95% CI : -36.72~37.63) 人年]。

[结论] 热浪可以增加浦东新区居民的非意外死亡、心脑血管疾病死亡与呼吸系统疾病死亡风险与寿命损失年, 其影响存在滞后与累积特征, 小学及以下文化水平人群更易受热浪的影响。

关键词: 热浪; 非意外死亡; 寿命损失年; 分布滞后非线性模型; 时间分层-病例交叉研究

A case-crossover study on impacts of heat wave on daily mortality and disease burden among residents in Pudong New Area, Shanghai CHEN Yi-chen¹, PENG Li², ZHOU Yi¹, XIAO Shao-tan¹, LI Xiao-pan¹, SUN Liang-hong¹, CHEN Han-yi¹, CHEN Hua¹, QU Xiao-bin¹ (1. Office of Research and Information Affairs, Shanghai Pudong New Area Center for Disease Control and Prevention, Fudan University Pudong Institute of Preventive Medicine, Shanghai 200136, China; 2. Department of Health and Meteorology, Shanghai Key Laboratory of Meteorology and Health, Yangtze River Delta Center for Environmental Meteorology Prediction and Warning, Shanghai 200030, China)

Abstract:

[Background] With the continuous warming process of global climate, the frequency and the intensity of heat wave are increasing, and the health impact of heat wave has caused widespread concern around the world.

[Objective] This study aims to explore the effects of heat wave on daily death count and disease burden among residents in Pudong New Area, Shanghai.

[Methods] Data of daily non-accidental, cardiovascular disease, and respiratory disease mortalities from May to September during 2005–2017 were collected, and the contemporaneous meteorological factors and air pollution (PM_{10} , SO_2 , and NO_2) were also retrieved. A time stratified case-crossover design with a distributed lag nonlinear model (DLNM) to control the

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20014

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

上海市浦东新区卫生系统学科带头人培养计划 (PWRd2019-11); 上海市气象与健康重点实验室开放基金课题 (QXJK201804); 浦东新区疾病预防控制中心卫生科技项目 (PDCDC-2018-06)

作者简介

并列第一作者。

陈亦晨 (1987—), 男, 硕士, 主管医师; E-mail: ycchen0907@139.com

彭丽 (1979—), 女, 博士, 高级工程师; E-mail: phyllis_pl@163.com

通信作者

周弋, E-mail: yizhou517@163.com

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-01-07

录用日期 2020-06-02

文章编号 2095-9982(2020)07-0657-07

中图分类号 R122.2

文献标志码 A

►引用

陈亦晨, 彭丽, 周弋, 等. 热浪对上海市浦东新区居民每日死亡与疾病负担影响的病例交叉研究 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37(7): 657-663.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20014

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHOU Yi, E-mail: yizhou517@163.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2020-01-07

Accepted 2020-06-02

►To cite

CHEN Yi-chen, PENG Li, ZHOU Yi, et al. A case-crossover study on impacts of heat wave on daily mortality and disease burden among residents in Pudong New Area, Shanghai [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(7): 657-663.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20014

secular trend of time was performed to quantitatively evaluate the impacts of heat wave on daily death count and years of life lost due to non-accidental, cardiovascular disease, and respiratory disease mortalities among residents in Pudong New Area. A stratified analysis was performed to examine the effects of gender, age, and educational attainment.

[Results] During the study period, a total of 25 heat wave events were registered, and cumulatively lasted for 148 days. There reported 93 040 non-accidental deaths, including 33 402 residents died of cardiovascular disease and 8 842 of respiratory disease. Heat wave was associated with the increased risk of non-accidental mortalities [$RR=1.13$, 95% CI : 1.06-1.19] and years of life lost [58.68 (95% CI : 6.70-110.67) person years] at lag 0-5 days versus non-heat wave. The RR s were 1.23 (95% CI : 1.12-1.35) and 1.23 (95% CI : 1.03-1.48) for cardiovascular and respiratory mortalities, and the YLL s increased 42.40 (95% CI : 18.10-66.71) person years and 12.09 (95% CI : 1.45-22.73) person years, respectively. The RR s and increased years of life lost for the group with primary school and below educational attainment were 1.19 (95% CI : 1.11-1.27) and 58.22 (95% CI : 23.01-93.44) person years at lag 0-5 days, which were higher than 1.05 (95% CI : 0.96-1.16) and 0.46 (95% CI : -36.72-37.63) person years for the group with middle school and above education.

[Conclusion] Heat wave events can elevate non-accidental, cardiovascular, and respiratory mortalities and years of life lost among residents in Pudong New Area of Shanghai, with obvious cumulative and lag effects. The group with primary school and below education is more susceptible to the impacts of heat wave.

Keywords: heat wave; non-accidental mortality; years of life lost; distributed lag non-linear model; time stratified case-crossover study

随着全球持续变暖,热浪天气发生的强度与频率不断增加,其对人群健康的危害引起了全世界的广泛关注^[1-2]。研究显示,热浪与人群非意外死亡、心脑血管疾病与呼吸系统疾病死亡存在相关性,但大部分研究着眼于热浪对死亡人数的影响,并未考虑到不同年龄居民死亡所导致的寿命损失年(years of life lost, YLL)的差异^[3-4]。浦东新区是上海市最大的市辖区,地处亚热带地区,是我国老龄化程度最高的地区之一。2013年该地区遭受了罕见的热浪侵袭,导致居民的逐日死亡人数与急救中心出车数均大幅上升,热浪对该地区居民健康的影响受到特别关注^[5-6]。为了解热浪与浦东新区居民死亡及 YLL 的相关性,本研究收集2005—2017年5—9月浦东新区非意外死亡、大气污染物与气象资料进行分析。

1 材料与方法

1.1 资料来源

收集2005—2017年5—9月的浦东新区居民非意外死亡、心脑血管疾病死亡及呼吸系统疾病死亡资料,死因资料来源于浦东新区死因监测体系。该体系由公安、卫生、民政等部门管理,死因资料以具有法律效应的死亡证明为基础,采用国际疾病分类第10版(International Classification of Diseases 10th Revision, ICD-10)进行编码与分类,其中非意外死亡的编码范围为A00~R99,心脑血管疾病的编码范围为I00~I99,呼吸系统疾病的编码范围为J00~J99。研究期间的上海市大气污染物浓度数据(包括 PM_{10} 、 SO_2 与 NO_2)来源于上海市环境监测中心。浦东新区气象资料来源于浦东新区气象局。根据中国气象局的标准,热

浪的定义为日最高气温大于等于 $35^{\circ}C$ 且持续时间不少于3d^[7]。本研究已通过上海市浦东新区疾病预防控制中心医学伦理委员会的伦理审查(无编号)。

1.2 研究方法

1.2.1 YLL 的计算 本研究的 YLL 以浦东新区居民寿命表为基础,采用《全球疾病负担(Globe Burden of Disease, GBD) (2010)》报告中所使用的方法进行计算,计算公式为: $YLL_t = \sum (N \times L)$,其中 YLL_t 表示观察日 t 日浦东新区居民因非意外死亡导致的 YLL , N 表示观察日 t 某年龄组非意外死亡人数, L 为死亡发生当年的浦东新区寿命表中该年龄组的期望寿命^[8]。

1.2.2 热浪对居民非意外死亡影响的评估 本研究采用时间分层-病例交叉设计的方式,控制长期趋势、季节变化、星期几效应等时间因素的影响,利用条件Poisson回归定量评估热浪对浦东新区居民每日非意外死亡的影响。时间分层-病例交叉研究的基本原理是将研究时间按照月份进行分层,病例期 and 对照期均设置于同一年、同一个月的同一个星期几,病例期不固定在某一位置,每个病例期可以匹配多个对照期^[9]。相对湿度、气压、大气污染物浓度(PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2)等可能产生影响的混杂因素以自然三次样条函数的形式纳入模型进行控制。本研究在时间分层-病例交叉设计的基础上进一步引入分布滞后非线性模型,构建热浪暴露与滞后天数的交叉矩阵,并将其代入条件Poisson回归方程,对热浪健康效应的累积性与滞后性进行探讨^[10-11]。

浦东新区每日非意外死亡人数近似服从Poisson分布^[8],连接函数采用对数函数,对热浪与居民每日非意外死亡人数的相关性进行分析,模型如下:

$$\lg [E(Y_t)] = \alpha + \beta \cdot T_{t,l}(Z) + ns(X_t, u) + \gamma \cdot Strata_t;$$

其中 Y_t 为观察日 t 日非意外死亡人数, $E(Y_t)$ 为死亡数的期望值。

浦东新区每日非意外死亡所导致的 YLL 近似服从正态分布^[8], 连接函数采用恒等函数, 对热浪与居民每日 YLL 的相关性进行分析, 模型如下:

$$E(YLL_t) = \alpha + \beta \cdot T_{t,l}(Z) + ns(X_t, u) + \gamma \cdot Strata_t;$$

其中 YLL_t 为观察日 t 日非意外死亡所导致的 YLL , $E(YLL_t)$ 为寿命损失年的期望值。

以上模型其他参数: α 为截距; Z 为热浪暴露的二分类变量 (1 表示热浪日, 0 表示非热浪日), $T_{t,l}(Z)$ 为利用分布滞后非线性模型中交叉基 (cross-basis) 函数获得的热浪暴露矩阵 (l 为滞后天数, 本研究中最大滞后天数设定为 7 d), β 为 $T_{t,l}$ 的参数向量; $ns()$ 为自然三次样条函数; X_t 为可能产生影响的其他气象与大气污染物等混杂因素, 包括相对湿度、日均气压、大气污染物 (PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2) 的浓度, 参考既往研究^[9, 12-13], 相对湿度、气压以及大气污染物浓度的自由度 (u) 均设定为 3; $Strata_t$ 为时间分层变量, 用于控制长期趋势、季节变化等时间因素的影响, γ 为参数向量。

为探讨热浪健康效应的滞后性与累积性, 本研究分别计算热浪对浦东新区居民非意外死亡人数与 YLL 当日以及 0~1 d、0~3 d、0~5 d 以及 0~7 d 的累积效应, 分别以 lag0、lag01、lag03、lag05 以及 lag07 表示。本研究根据性别 (男性、女性)、文化程度 (小学及以下、中学及以上) 以及年龄 (<75 岁、≥75 岁) 对人群进行分层分析, 选取累积效应最大的滞后期, 比对不同人群中热浪健康效应的差异, 分别计算各层效应值差异的 95% CI , 对差异的显著性进行检验^[13]。

1.3 统计学分析

本研究的统计分析采用 R 3.5.0 软件完成, 条件 Poisson 回归模型与分布滞后非线性模型分别采用 gnm 程序包与 dlnm 程序包进行构建, 自然三次样条函数功能在 splines 程序包中调用。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 热浪发生情况

上海市浦东新区 2005—2017 年 5—9 月累计发生热浪事件 25 次, 热浪累计持续时间为 148 d。热浪事件出现最早为 6 月 29 日, 最晚结束时间为 8 月 25 日。持续时间最短为 3 d; 最长为 13 d, 发生于 2013 年 7 月

20 日—8 月 1 日。2013 年发生的热浪事件次数最多且时间最长, 共计发生 4 次热浪事件, 累积持续时间为 34 d, 2011 年与 2014 年未发生热浪事件。

2.2 居民日均死亡人数及 YLL 、气象因素与大气污染物分布

本研究覆盖 2005—2017 年 5—9 月, 累计观察 1989 d, 共计发生居民非意外死亡 93 040 例, 其中心脑血管疾病死亡 33 402 例 (占 35.90%), 呼吸系统疾病死亡 8 842 例 (占 9.50%); 非意外死亡导致的 YLL 为 1402 820.38 人年, 其中心脑血管疾病与呼吸系统疾病死亡导致的 YLL 分别为 405 684.29 人年 (占 28.92%) 和 94 849.10 人年 (占 6.76%)。研究期间, 热浪日与非热浪日浦东新区居民日均死亡人数、 YLL 、气象指标以及大气污染物水平情况见表 1。

表 1 2005—2017 年 5—9 月上海市浦东新区居民日均死亡人数、寿命损失年、气象因素与大气污染物分布情况 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Distributions of daily death counts, years of life lost, meteorological factors, and air pollutants in Pudong New Area of Shanghai from May to September of 2005—2017 ($\bar{x} \pm s$)

项目 Item	热浪日 Heat wave day	非热浪日 Non-heat wave day	合计 Total
日均死亡人数 Daily death counts			
非意外死亡 Non-accidental mortality	49.88±11.38	46.54±8.77	46.78±9.01
男性 (Male)	26.53±6.88	24.96±5.87	25.07±5.95
女性 (Female)	23.35±7.29	21.58±5.24	21.70±5.42
<75 岁 (<75 years old)	19.14±5.32	18.40±4.38	18.45±4.45
≥75 岁 (≥75 years old)	34.01±9.11	30.85±7.36	31.07±7.54
小学及以下 Primary school and below	34.68±9.55	31.50±6.22	31.72±6.56
中学及以上 Middle school and above	18.47±6.06	17.75±5.37	17.80±5.43
心脑血管疾病死亡 Cardiovascular disease mortality	18.36±6.29	16.68±5.12	16.79±5.23
呼吸系统疾病死亡 Respiratory disease mortality	5.08±2.47	4.40±2.22	4.45±2.24
寿命损失年 / 人年 Years of life lost (YLL) / pearson years			
非意外死亡 Non-accidental mortality	733.49±178.20	703.17±142.78	705.29±145.69
男性 (Male)	408.81±119.20	388.32±101.20	389.75±102.66
女性 (Female)	324.68±106.84	314.85±87.68	315.53±89.16
<75 岁 (<75 years old)	439.00±137.57	433.67±117.26	434.04±118.76
≥75 岁 (≥75 years old)	294.49±82.47	269.50±67.42	271.25±68.85
小学及以下 Primary school and below	402.82±126.39	375.32±87.99	377.24±91.43
中学及以上 Middle school and above	330.67±109.72	327.85±104.76	328.05±105.09
心脑血管疾病死亡 Cardiovascular disease mortality	217.88±81.92	202.92±67.73	203.96±68.90
呼吸系统疾病死亡 Respiratory disease mortality	55.57±30.68	47.69±27.00	48.24±27.34

续表 1

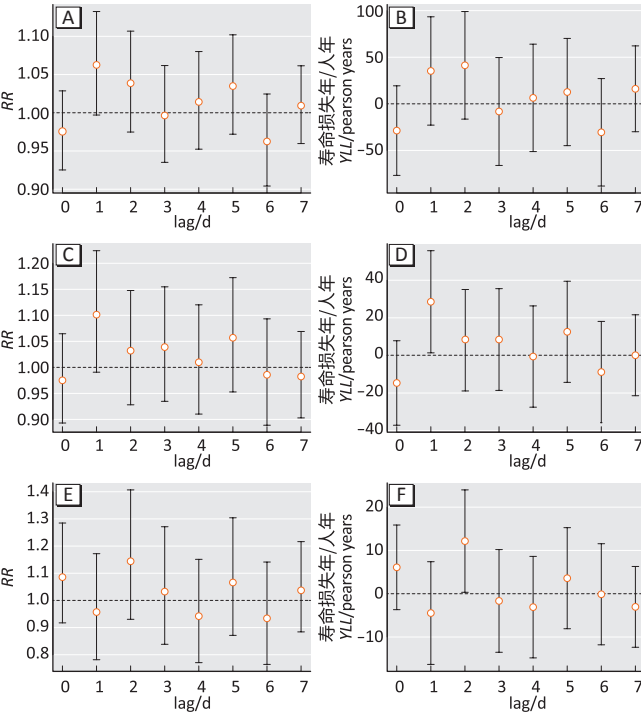
项目 Item	热浪日 Heat wave day	非热浪日 Non-heat wave day	合计 Total
气象和污染指标 Meteorological factors and air pollutants			
日最高温度/℃ Daily maximum temperature/℃	37.2±1.4	28.9±4.1	29.5±4.5
日平均温度/℃ Daily average temperature/℃	31.7±1.3	25.1±3.6	25.5±3.9
日平均相对湿度/% Daily mean relative humidity/%	68.9±6.8	77.2±9.8	76.6±9.8
日平均气压/hPa Daily mean atmospheric pressure/hPa	1005.1±2.2	1008.1±4.6	1007.9±4.5
PM ₁₀ 浓度/(μg·m ⁻³) PM ₁₀ concentration/(μg·m ⁻³)	76.8±24.6	58.8±34.7	60.1±34.4
SO ₂ 浓度/(μg·m ⁻³) SO ₂ concentration/(μg·m ⁻³)	31.6±24.5	23.8±17.9	24.4±18.5
NO ₂ 浓度/(μg·m ⁻³) NO ₂ concentration/(μg·m ⁻³)	39.6±14.6	34.7±15.9	35.1±15.9

2.3 热浪对居民非意外死亡和 YLL 的影响

如图 1 所示，热浪对居民非意外死亡与 YLL 影响的单日滞后效应分析结果显示：在单滞后 1 d (lag1)，热浪对居民心脑血管疾病 YLL 存在影响，可导致居民心脑血管疾病 YLL 及其 95% CI 增加 28.54 (1.37~55.71) 人年；在单滞后 2 d (lag2)，热浪对居民呼吸系统疾病 YLL 存在影响，可导致居民呼吸系统疾病 YLL 及其 95% CI 增加 12.16 (0.33~23.99) 人年；热浪对居民心脑血管疾病与呼吸系统疾病 YLL 的影响在其他单滞后日无统计学意义。热浪对居民每日非意外死亡、心脑血管疾病及呼吸系统疾病死亡人数以及居民非意外死亡 YLL 的影响在各滞后日的效应均无统计学意义。

如表 2 所示，热浪对浦东新区居民非意外死亡、心脑血管疾病以及呼吸系统疾病死亡的影响均表现出累积性，其中热浪对居民每日非意外死亡及心脑血管

管疾病死亡人数相对危险度及其相应 YLL 的累积效应均在 lag05 达到最大；对呼吸系统疾病每日死亡人数的累积效应在 lag05 达到最大，对呼吸系统疾病死亡 YLL 的累积效应在 lag03 达到最大。



[注] A、B：非意外死亡的相对危险度与寿命损失年；C、D：心脑血管疾病死亡的相对危险度与寿命损失年；E、F：呼吸系统疾病死亡的相对危险度与寿命损失年。

[Note] A and B: The relative risks and years of life lost due to non-accidental disease; C and D: The relative risks and years of life lost due to cardiovascular disease; E and F: The relative risks and years of life lost due to respiratory disease.

图 1 2005—2017 年热浪对上海市浦东新区居民非意外、心脑血管疾病、呼吸系统疾病死亡的相对危险度和寿命损失年影响的滞后效应

Figure 1 The lag effects of heat wave on RRs of non-accidental, cardiovascular, and respiratory mortalities and years of life lost among residents in Pudong New Area of Shanghai, 2005–2017

表 2 2005—2017 年热浪对上海市浦东新区居民非意外死亡的相对危险度和寿命损失年影响的累积滞后效应

Table 2 The cumulative lag effects of heat wave on RRs of non-accidental mortalities and years of life lost among residents in Pudong New Area of Shanghai, 2005–2017

滞后时间/d Lag time/d	相对危险度 [RR (95% CI)]			寿命损失年 / 人年 [YLL (95% CI) / pearson years]		
	非意外死亡 Non-accidental mortality	心脑血管疾病死亡 Cardiovascular disease mortality	呼吸系统疾病死亡 Respiratory disease mortality	非意外死亡 Non-accidental mortality	心脑血管疾病死亡 Cardiovascular disease mortality	呼吸系统疾病死亡 Respiratory disease mortality
lag0	0.98 (0.93~1.03)	0.98 (0.89~1.06)	1.09 (0.92~1.28)	-28.72 (-76.78~19.34)	-14.66 (-37.13~7.81)	6.85 (-2.98~16.69)
lag01	1.04 (0.98~1.10)	1.07 (0.98~1.18)	1.04 (0.87~1.24)	6.54 (-43.47~56.55)	13.88 (-9.50~37.26)	2.03 (-8.21~12.26)
lag03	1.07 (1.01~1.13)	1.15 (1.05~1.26)	1.22 (1.03~1.47)	39.63 (-11.05~90.32)	30.42 (6.72~54.12)	12.66 (2.28~23.03)
lag05	1.13 (1.06~1.19)	1.23 (1.12~1.35)	1.23 (1.03~1.48)	58.68 (6.70~110.67)	42.40 (18.10~66.71)	12.09 (1.45~22.73)
lag07	1.09 (1.04~1.15)	1.19 (1.10~1.29)	1.19 (1.03~1.39)	44.23 (0.25~88.21)	33.64 (13.08~54.20)	9.70 (0.70~18.70)

2.4 性别、年龄、文化程度对热浪健康效应的修饰作用

如表 3 所示，性别分层分析结果显示，热浪可

影响浦东新区每日男性居民心脑血管疾病死亡人数与 YLL，在 lag05 时男性心脑血管疾病死亡数 RR 值

与95% *CI*为1.21 (1.06~1.39), *YLL*增加值与95% *CI*为18.65 (1.09~36.21) 人年;可影响女性非意外死亡及心脑血管疾病死亡人数及其 *YLL*, lag05时女性非意外死亡与心脑血管疾病死亡人数 *RR*值及95% *CI*为1.19 (1.09~1.29) 与1.24 (1.09~1.41), *YLL*增加值与95% *CI*分别为45.71 (11.69~79.73) 人年与23.75 (7.94~39.56) 人年,不同性别居民受热浪影响差异无统计学意义。

年龄别分层分析结果显示,热浪对<75岁居民呼吸系统疾病每日死亡人数效应有统计学意义,在lag05时 *RR*值及95% *CI*为1.58 (1.01~2.46),对≥75岁居民每日非意外死亡以及心脑血管疾病死亡人数及其 *YLL*的效应均有统计学意义,在lag05时≥75岁居民非意外死亡与心脑血管疾病死亡人数 *RR*值及95% *CI*为1.18 (1.10~1.27) 与1.27 (1.14~1.41), *YLL*增加值与95% *CI*分别为46.13 (24.94~67.32) 人年与31.11 (17.70~44.52) 人年,不同年龄组间居民受热浪影响差异无统计学意义。

受教育水平分层分析结果显示,热浪对浦东新区中学及以上文化水平人群心脑血管疾病死亡人数

效应有统计学意义,对其 *YLL*影响无统计学意义,在lag05时中学及以上文化水平居民心脑血管疾病死亡人数 *RR*值及95% *CI*为1.27 (1.07~1.51),热浪对中学及以上文化水平人群非意外死亡人数与呼吸系统疾病死亡人数及其 *YLL*的影响无统计学意义;对小学及以下文化水平居民每日非意外死亡与心脑血管疾病死亡人数及其 *YLL*的效应均有统计学意义,在lag05时小学及以下文化水平居民非意外死亡与心脑血管疾病死亡人数 *RR*值及95% *CI*为1.19 (1.11~1.27) 与1.21 (1.08~1.35), *YLL*增加值与95% *CI*分别为58.22 (23.01~93.44) 人年与29.40 (12.10~46.70) 人年,对呼吸系统疾病每日死亡人数效应无统计学意义,对其 *YLL*的效应有统计学意义,在lag03时小学及以下文化水平居民呼吸系统疾病死亡的 *YLL*增加值与95% *CI*为9.23 (1.32~17.15)。热浪对浦东新区中学及以上文化水平居民与小学及以下文化水平居民每日非意外死亡数及其 *YLL*的影响差异有统计学意义,而心脑血管疾病与呼吸系统疾病死亡的影响差异无统计学意义。

表3 2005—2017年上海市浦东新区居民性别、年龄与文化程度对热浪健康效应的修饰作用(lag05)

Table 3 Modification effects of gender, age, and educational attainment on the health impacts of heat wave among residents in Pudong New Area of Shanghai, 2005–2017 (lag05)

项目 Item	性别 (Gender)		年龄 / 岁 (Age/years old)		文化程度 (Educational attainment)	
	男性 Male	女性 Female	<75	≥ 75	小学及以下 Primary school and below	中学及以上 Middle school and above
相对危险度 [<i>RR</i> (95% <i>CI</i>)]						
非意外死亡 Non-accidental mortality	1.07 (0.99~1.16)	1.19 (1.09~1.29)	1.07 (0.98~1.17)	1.18 (1.10~1.27)	1.19 (1.11~1.27) *	1.05 (0.96~1.16) *
心脑血管疾病死亡 Cardiovascular disease mortality	1.21 (1.06~1.39)	1.24 (1.09~1.41)	1.10 (0.91~1.35)	1.27 (1.14~1.41)	1.21 (1.08~1.35)	1.27 (1.07~1.51)
呼吸系统疾病死亡 Respiratory disease mortality	1.20 (0.95~1.51)	1.26 (0.93~1.70)	1.58 (1.01~2.46)	1.17 (0.95~1.42)	1.23 (0.99~1.51)	1.21 (0.84~1.74)
寿命损失年 / 人年 <i>YLL</i> (95% <i>CI</i>) /pearson years						
非意外死亡 Non-accidental mortality	12.97 (-25.21~51.15)	45.71 (11.69~79.73)	12.55 (-33.84~58.94)	46.13 (24.94~67.32)	58.22 (23.01~93.44) *	0.46 (-36.72~37.63) *
心脑血管疾病死亡 Cardiovascular disease mortality	18.65 (1.09~36.21)	23.75 (7.94~39.56)	11.29 (-8.13~30.72)	31.11 (17.70~44.52)	29.40 (12.10~46.70)	13.00 (-3.68~29.68)
呼吸系统疾病死亡 [#] Respiratory disease mortality	7.16 (-0.73~15.05)	5.50 (-1.12~12.12)	7.02 (-0.92~14.96)	5.63 (-0.95~12.22)	9.23 (1.32~17.15)	3.42 (-3.14~9.98)

[注] *: 不同分组人群间热浪健康效应差异有统计学意义, $P<0.05$ 。#: lag03时的健康效应。

[Note] *: The health impacts of heat wave are different among different subgroups, $P<0.05$. #: The health impacts of lag03.

3 讨论

本研究利用时间分层-病例交叉设计的方法结合分布滞后非线性模型,对2005—2017年5—9月上海市浦东新区热浪事件与居民每日非意外死亡、心脑血管疾病与呼吸系统疾病死亡的相关性进行研究。研究结

果显示,热浪事件与浦东新区居民每日非意外死亡、心脑血管疾病、呼吸系统疾病死亡人数及其 *YLL* 相关。现有研究显示,高温环境可以通过多种机制对人体的产生危害,主要受影响的是呼吸系统与循环系统^[14]。高温环境可以导致支气管收缩,引发肺功能减退^[15],

升高空气中生物气溶胶的浓度,诱发感染、炎症与过敏反应^[16],从而导致呼吸系统疾病的发生与加剧。高温环境下,人体循环系统会出现心率上升、血管舒张,水分与电解质流失以及血黏度增加等现象,最终诱发心脑血管疾病^[17-18]。本研究获得的结果与国内外其他地区的发现一致^[3-4, 19-20]。

本研究对热浪效应的滞后性进行了分析,结果表明热浪对心脑血管疾病死亡人数的影响在滞后1d时达到最大,对呼吸系统疾病死亡人数的影响在滞后2d最强,与一项在全国31个城市开展的研究结果存在明显差异^[21],但与湖北省武汉市单独开展的研究结果相近^[22]。热浪对浦东新区居民非意外死亡、心脑血管疾病以及呼吸系统疾病死亡导致的YLL的影响分别在滞后2d、1d与2d达到最大,与伊朗克尔曼地区开展的研究结果存在差异,该研究发现高温天气对居民YLL的影响在当日即达到最大值,随后效应逐步减弱^[20]。这一现象可能与地区间气候环境以及社会经济状况的差异有关,湖北省武汉市与上海市浦东新区均位于长江流域,属于我国南方地区,气候特点相似,南方居民对高温热浪天气有较强的适应性^[23];两地社会发展水平较高,拥有较好的医疗条件,居民在急症发生后,可以获得更长的生存时间。浦东新区拥有较高空调配备率,减少了人群热浪暴露的时间,增强了对高温的抵抗能力,可能延缓了人群急症的发生与发展^[4, 24]。

为了解热浪天气对浦东新区不同人群的影响,本研究根据性别、年龄及文化程度对其健康效应进行了分层分析。结果显示,热浪对≥75岁居民和女性非意外死亡人数及YLL存在影响,对<75岁居民与男性的效应无统计学意义。目前研究认为,高龄人群由于心脏储备能力、汗腺的泌汗功能以及皮肤的感知能力等身体机能的逐步下降,对高温的抵抗能力较差^[4]。随着年龄增长,高龄人群普遍患有心脑血管疾病与慢性呼吸系统疾病等慢性疾病,更易受到高温热浪事件的危害^[25]。浦东新区女性居民老龄化程度更高,可能是导致热浪对该人群产生影响的原因^[26]。热浪事件对浦东新区低学历人群的非意外死亡人数与YLL的影响均有统计学意义,对高学历人群的影响无统计学意义,且两组人群间的差异具有统计学意义,与既往研究结果一致^[27]。高学历人群社会经济地位较高,拥有更好的生活环境及医疗条件,对高温热浪事件的抵抗能力较强;低学历人群从事更多的户外工作,长时间暴露于室外高温环境中,更易受到高温热浪事件的危

害^[28]。研究显示,农村居民对高温热浪的危害更为敏感,目前浦东新区辖区内仍保留有大量的农村地区,防控工作应对该区域有所侧重^[29]。

本研究也存在如下局限性。第一,本研究使用的气温数据为浦东新区全区的平均值,无法考虑到每个研究个体所处区域差异的影响。浦东新区西北部地区城市化水平高,东部地区毗邻东海,本研究未能控制城市热岛效应与海洋温度调节效应的影响。第二,本研究是从群体水平上探讨热浪对人群的影响,个体的吸烟、饮酒以及现患病等个体危险因素均无法进行控制,故存在生态学谬误以及其他混杂因素影响的可能。第三,本研究分析的YLL是根据浦东新区全人群寿命表计算获得,考虑到死亡病例常存在多种潜在疾病,其死亡时所处年龄的预期寿命常低于该年龄全人群的预期寿命,故存在高估热浪导致YLL增加值的可能性^[30]。第四,因为资料的局限,本研究未能将PM_{2.5}与O₃两种可能对热浪效应产生混杂的大气污染物纳入控制。

综上所述,热浪天气可以影响浦东新区居民非意外原因、心脑血管疾病以及呼吸系统疾病的死亡风险及其YLL,对低学历人群造成的危害更为严重。高温健康危害防控工作应更注重对低学历人群的保护。加强低学历人群的健康宣教工作,提高其对高温健康危害的防范意识。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 1535.
- [2] CAMPBELL S, REMENYI T A, WHITE C J, et al. Heatwave and health impact research: a global review [J]. Health Place, 2018, 53: 210-218.
- [3] LIM Y H, LEE K S, BAE H J, et al. Estimation of heat-related deaths during heat wave episodes in South Korea (2006-2017) [J]. Int J Biometeorol, 2019, 63 (12): 1621-1629.
- [4] MA W, ZENG W, ZHOU M, et al. The short-term effect of heat waves on mortality and its modifiers in China: an analysis from 66 communities [J]. Environ Int, 2015, 75: 103-109.
- [5] SUN X, SUN Q, ZHOU X, et al. Heat wave impact on mortality in Pudong New Area, China in 2013 [J]. Sci Total

- Environ, 2014, 493 : 789-794.
- [6] SUN X, SUN Q, YANG M, et al. Effects of temperature and heat waves on emergency department visits and emergency ambulance dispatches in Pudong New Area, China : a time series analysis [J]. Environ Health, 2014 : 13 : 76.
- [7] 张尚印, 张德宽, 徐祥德, 等. 长江中下游夏季高温灾害机理及预测 [J]. 南京气象学院学报, 2005, 28 (6) : 840-846.
- [8] HUANG J, LI G, QIAN X, et al. The burden of ischemic heart disease related to ambient air pollution exposure in a coastal city in South China [J]. Environ Res, 2018, 164 : 255-261.
- [9] 顾怡勤, 陈仁杰. 大气颗粒物与上海市闵行区居民心脑血管疾病死亡的病例交叉研究 [J]. 环境与职业医学, 2017, 34 (3) : 220-223.
- [10] XU M, YU W, TONG S, et al. Non-linear association between exposure to ambient temperature and children's hand-foot-and-mouth disease in Beijing, China [J]. PLoS One, 2015, 10 (5) : e0126171.
- [11] ARMSTRONG B G, GASPARRINI A, TOBIAS A. Conditional Poisson models : a flexible alternative to conditional logistic case cross-over analysis [J]. BMC Med Res Methodol, 2014, 14 : 122.
- [12] 谷少华. 宁波市气温和空气污染对人群死亡的交互影响 [D]. 北京 : 中国疾病预防控制中心, 2015.
- [13] ZHU J, ZHANG X, ZHANG X, et al. The burden of ambient air pollution on years of life lost in Wuxi, China, 2012-2015 : a time-series study using a distributed lag non-linear model [J]. Environ Pollut, 2017, 224 : 689-697.
- [14] 冯雷, 李旭东. 高温热浪对人类健康影响的研究进展 [J]. 环境与健康杂志, 2016, 33 (2) : 182-188.
- [15] CUMMISKEY J. Exercise-induced asthma : an overview [J]. Am J Med Sci, 2001, 322 (4) : 200-203.
- [16] COLLACO J M, MCGREADY J, GREEN D M, et al. Effect of temperature on cystic fibrosis lung disease and infections : a replicated cohort study [J]. PLoS One, 2011, 6 (11) : e27784.
- [17] KEATINGE W R, COLESHAW S R, EASTON J C, et al. Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis [J]. Am J Med, 1986, 81 (5) : 795-800.
- [18] CHEN R, WANG C, MENG X, et al. Both low and high temperature may increase the risk of stroke mortality [J]. Neurology, 2013, 81 (12) : 1064-1070.
- [19] 韩京, 房巧玲, 周林, 等. 极端气温对济南市非意外死亡及主要死因别死亡影响 [J]. 中国公共卫生, 2019, 35 (9) : 1242-1244.
- [20] ABOUBAKRI O, KHANJANI N, JAHANI Y, et al. The impact of heat waves on mortality and years of life lost in a dry region of Iran (Kerman) during 2005-2017 [J]. Int J Biometeorol, 2019, 63 (9) : 1139-1149.
- [21] 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.
- [22] ZHANG Y, FENG R, WU R, et al. Global climate change : impact of heat waves under different definitions on daily mortality in Wuhan, China [J]. Glob Health Res Policy, 2017, 2 : 10.
- [23] 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.
- [24] MEDINA-RAMÓN M, SCHWARTZ J. Temperature, temperature extremes, and mortality : a study of acclimatisation and effect modification in 50 US cities [J]. Occup Environ Med, 2007, 64 (12) : 827-833.
- [25] 冯坤, 蒲鑫鑫, 唐贵忠, 等. 重庆市老年人常见慢性病患病现状及影响因素调查 [J]. 中国卫生事业管理, 2018, 35 (9) : 713-716.
- [26] CHEN H, HAO L, YANG C, et al. Understanding the rapid increase in life expectancy in Shanghai, China : a population-based retrospective analysis [J]. BMC Public Health, 2018, 18 : 256.
- [27] LI J, XU X, YANG J, et al. Ambient high temperature and mortality in Jinan, China : a study of heat thresholds and vulnerable populations [J]. Environ Res, 2017, 156 : 657-664.
- [28] KAN H, LONDON S J, CHEN G, et al. Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China : the Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study [J]. Environ Health Perspect, 2008, 116 (9) : 1183-1188.
- [29] CHEN K, ZHOU L, CHEN X, et al. Urbanization level and vulnerability to heat-related mortality in Jiangsu Province, China [J]. Environ Health Perspect, 2016 : 124 (12) : 1863-1869.
- [30] HE T, YANG Z, LIU T, et al. Ambient air pollution and years of life lost in Ningbo, China [J]. Sci Rep, 2016, 6 : 22485.

(英文编辑：汪源；责任编辑：陈姣)