

平均气温、寒潮和热浪对湖北省居民脑卒中死亡的影响

张云权 宇传华 鲍俊哲

430071 武汉大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系(张云权、宇传华、鲍俊哲);

430072 武汉大学全球健康研究中心(宇传华)

通信作者:宇传华, Email: yuchua@whu.edu.cn

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2017.04.019

【摘要】目的 分析平均气温、寒潮和热浪对湖北省12个区(县)居民脑卒中死亡的影响。**方法** 收集湖北省12个区(县)2009年1月1日至2012年12月31日脑卒中死亡监测资料和同期气象数据,应用分布滞后非线性模型(DLNM)评估各区(县)日均温度、寒潮和热浪与脑卒中死亡之间的关系,利用多元Meta分析合并12个区(县)的温度-脑卒中死亡的暴露-反应关系及寒潮和热浪对脑卒中死亡影响的滞后反应关系。**结果** 2009—2012年共观察670.2万人,纳入的脑卒中死亡人数为42 739例,各区(县)脑卒中日均死亡2.7(0.5~6.0)例,年均气温为16.6(14.7~17.4)℃。DLNM分析显示,日均气温与脑卒中死亡间呈反“J”形关系。寒潮对脑卒中死亡的影响存在2~3 d滞后,持续近10 d;热浪的效应则发生急促,持续时间较短。12个区(县)寒潮日滞后3~14 d,脑卒中累积死亡风险为0.968~1.523,合并风险 $RR=1.180$ (95% CI : 1.043~1.336);热浪日滞后0~2 d,脑卒中累积死亡风险为0.675~2.066,合并风险 $RR=1.114$ (95% CI : 1.012~1.227)。**结论** 日均气温与湖北省居民脑卒中死亡呈反“J”形关系,寒潮和热浪均明显增加脑卒中死亡风险,但其死亡效应的滞后模式存在一定差异。

【关键词】 脑卒中; 气温; 死亡率; 分布滞后非线性模型; 多元Meta分析

基金项目: 国家自然科学基金(81273179); 国家自然科学基金委员会国际合作与交流(71661167007); 中央高校基本科研业务费专项资金(2015305020201)

Impact of daily mean temperature, cold spells, and heat waves on stroke mortality a multivariable Meta-analysis from 12 counties of Hubei province, China Zhang Yunquan, Yu Chuanhua, Bao Junzhe

Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Wuhan University, Wuhan 430071, China (Zhang YQ, Yu CH, Bao JZ); Global Health Institute, Wuhan University, Wuhan 430072, China (Yu CH)

Corresponding author: Yu Chuanhua, Email: yuchua@whu.edu.cn.

【Abstract】Objective To assess the acute effects of daily mean temperature, cold spells, and heat waves on stroke mortality in 12 counties across Hubei province, China. **Methods** Data related to daily mortality from stroke and meteorology in 12 counties across Hubei province during 2009–2012, were gathered. Distributed lag nonlinear model (DLNM) was first used, to estimate the county-specific associations between daily mean temperature, cold spells, heat waves and stroke mortality. Multivariate Meta-analysis was then applied to pool the community-specific relationships between temperature and stroke mortality (exposure-response relationship) as well as both cold- and heat-associated risks on mortality at different lag days (lag-response relationship). **Results** During 2009–2012, a total population of 6.7 million was included in this study with 42 739 persons died of stroke. An average of 2.7 (from 0.5 to 6.0) stroke deaths occurred daily in each county, with annual average mean temperature as 16.6 °C (from 14.7 °C to 17.4 °C) during the study period. An inverse J-shaped association between temperature and stroke mortality was observed at the provincial level. Pooled mortality effect of cold spells showed a 2–3-day delay and lasted about 10 days, while effect of heat waves appeared acute but attenuated within a few days. The mortality risks on cold-spell days ranged from 0.968 to 1.523 in 12 counties at lag 3–14, with pooled effect as 1.180 (95% CI : 1.043–1.336). The pooled mortality risk (ranged from 0.675 to 2.066) on heat-wave days at lag 0–2

was 1.114 (95%CI:1.012–1.227). **Conclusions** An inverse J-shaped association between temperature and stroke mortality was observed in Hubei province, China. Both cold spells and heat waves were associated with increased stroke mortality, while different lag patterns were observed in the mortality effects of heat waves and cold spells.

【Key words】 Stroke; Temperature; Mortality; Distributed lag nonlinear model; Multivariate Meta-analysis

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (81273179); Chinese NSFC International Cooperation and Exchange Program (71661167007); Fundamental Research Funds for the Central Universities (2015305020201)

脑卒中具有高发病率、高死亡率和高致残率的特点^[1-2]。全球疾病负担研究显示,2013年中国脑卒中所导致的伤残调整寿命年(DALY)占有所有疾病的比重为9.71%,是全球平均水平(4.62%)的2倍多^[1]。流行病学研究显示,极低或极高气温等气候因素会增加包括脑卒中在内的心脑血管疾病的死亡风险^[3-6],但相关研究多为单一城市研究或仅包含主要大城市的多中心研究,区域性多中心证据尚比较缺乏。我国幅员辽阔,不同地区气候条件差异较大,有必要建立区域性的极端天气预警和防控体系,以应对气候变化。本研究旨在综合评价温度和极端温度事件对湖北省居民脑卒中死亡的急性影响,以期对湖北省建立健全区域性极端天气预警机制提供流行病学依据。

资料与方法

1. 资料来源:

(1) 脑卒中死亡数据:源于湖北省CDC的死因监测数据库,包括武汉市江岸区和硚口区、黄石市黄石港区、十堰市张湾区和茅箭区、宜昌市伍家岗区和五峰土家族自治县(五峰)县、襄樊市谷城县、孝感市应城市 and 云梦县、黄冈市麻城市和天门市共12个区(县)。其中6个城区,6个县(县级市),覆盖鄂东南、中、西北和西南地区,区域代表性较好。本研究纳入上述地区2009年1月1日至2012年12月31日脑卒中死亡登记记录,采用国际疾病分类编码(ICD-10)中的I60~I69为根本死因编码。

(2) 气象数据:各区(县)同期的气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.nmic.cn/home.do>)的地面气象资料数据库,包括日平均温度、最高温度、最低温度和平均相对湿度。由于受到监测站点数据获取的局限,江岸区和硚口区均采用武汉市气象监测数据,应城市和云梦县均采用孝感市气象监测数据。

2. 相关定义:本研究采用日均气温来定义寒潮和热浪^[7]。

(1) 寒潮:分析寒潮对脑卒中死亡的影响,本文

将研究时段限制在冬季(12月至次年2月)。由于寒潮对死亡的滞后影响通常较长,因此将3月也一并纳入^[8],最终将研究时段确定为2009年12月至2010年3月、2010年12月至2011年3月和2011年12月至2012年3月共3个完整冷季。采用的寒潮定义:日均气温不高于各区(县)2009年1月至2012年12月日均气温的 P_5 ,且低温持续时间不少于5 d。

(2) 热浪:参考前期研究^[9],并结合湖北省气候特点,将5—9月定为研究时段,采用的热浪定义:日均气温不低于各区(县)2009年1月至2012年12月日均气温的 P_{95} ,且高温持续时间不少于5 d。

3. 数据分析:均采用二阶段分析方法进行统计建模^[10-12]。

(1) 第一阶段包括日均气温与脑卒中死亡关系分析及寒潮和热浪对脑卒中死亡的影响分析。

为评估日均气温与脑卒中死亡的关系,本文采用分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)^[13]。DLNM(模型1):

$$Y_{it} \sim \text{Poisson}(\mu_{it})$$

$$\text{Log}(\mu_{it}) = \alpha_i + \beta_i T_{i,l} + ns(\text{time}, df = df_{\text{time}}) + ns(Rh_i, df = df_{rh}) + \gamma_i DOW_i + \delta_i \text{Holiday}_i = \alpha_i + \beta_i T_{i,l} + COVs$$

其中 Y_{it} 是区(县) i 第 t 天脑卒中实际死亡人数,近似服从Poisson分布; α 是截距; $T_{i,l}$ 是由DLNM中crossbasis函数得到的平均温度的矩阵(l 为温度的滞后天数); β 是矩阵 $T_{i,l}$ 的系数向量; ns 是自然立方样条函数(natural cubic spline); $time$ 为研究期间的天数序列(1, 2, ..., 1 461); Rh 为平均相对湿度; DOW (day of the week)为星期分类变量, γ 为其系数向量; $Holiday$ 为二分类变量,其中1表示公共假日, δ 为假日变量的系数; $COVs$ 为模型中所有其他协变量。本文依据最小化偏自相关原则^[14]设置时间的自由度为 $4df_{\text{year}}$ (即 $df_{\text{time}}=16$),以控制长期趋势和季节趋势,同时设置相对湿度自由度 $df_{rh}=3$ 。此外,crossbasis函数中,根据前期相关研究^[12],温度 t 和滞后日 l 的分布函数均设置为 ns , $df_i=5$,knots节点数为3(分别为温度分布的 P_{10} 、 P_{50} 、 P_{90});最大滞后天数设置为21 d, $df_i=4$,knots节点数利用logknots函数均匀设定。

为评估寒潮和热浪的死亡效应,参考前期研究^[8]构建模型 2:

$$Y_{it} \sim \text{Poisson}(\mu_{it})$$
$$\text{Log}(\mu_{it}) = \alpha_i + \beta_i T_{it}(Z) + ns(\text{year}, df_1) + ns(\text{month}, df_2) + ns(\text{day}, df_3) + ns(Rh_{it}, df) + \gamma_i DOW_i + \delta_i \text{Holiday}_i$$
$$= \alpha_i + \beta_i T_{it}(Z) + COVs$$

其中 Z 代表寒潮(或热浪)暴露的二分类变量(1 表示寒潮日,0 表示非寒潮日),非寒潮日为计算寒潮日死亡风险的参照组。为控制时间的长期趋势和季节趋势,采用 ns 函数分别对年、月和日变量进行非参数平滑(参考前期研究^[8]将其自由度 df 均设定为 3)。由于 DLNM 描述的是不同温度或极端温度事件的暴露和滞后两个维度下与脑卒中死亡的关系(即暴露-滞后-反应关系),通过 `crossreduce` 函数可分别提取各区(县)不同暴露在特定滞后天数下的暴露-反应关系,以及特定暴露在不同滞后天数下的滞后-反应关系。

(2) 第二阶段运用多元 Meta 分析^[15]合并第一阶段提取的各区(县)日均气温与脑卒中死亡的暴露-反应关系和寒潮、热浪对脑卒中死亡影响的滞后-反应关系,系统定量评价日均温度以及极端天气事件对湖北省居民脑卒中死亡的非线性滞后影响。

4. 统计学分析:均采用 R3.2.2 软件完成,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用 `dlnm` 软件包建立 DLNM,利用 `mvmeta` 软件包实现多元 Meta 分析。

结 果

1. 一般情况:2009—2012 年 12 个区(县)共监测 670.2 万人(以 2010 年为例),脑卒中死亡 42 739 例,

各区(县)日均脑卒中死亡 2.7(0.5~6.0)例。年均气温为 16.6℃,其中五峰县最低(14.7℃),黄石港区最高(17.4℃);极端低温 P_5 为 1.9(1.3~3.5)℃,极端高温 P_{95} 为 30.2(28.5~31.2)℃。年均相对湿度为 74.7%(67.6%~77.1%)。寒潮事件共计发生 49 次,总持续时间 321 d;各区(县)发生次数均在 4~6 次之间,持续时间 24~37 d;热浪事件共计发生 59 次,总持续时间 412 d。其中,张湾区和茅箭区热浪发生次数最少(2 次),持续时间最短(13 d);麻城市 and 天门市热浪发生次数最多(均为 7 次),持续时间最长(均为 48 d)。见表 1。

2. 不同滞后天数日均温度对脑卒中死亡的影响:各监测区(县)不同滞后天数时气温对脑卒中死亡的累积效应存在一定异质性。合并分析结果显示,在滞后 0~2 d 时,高温对脑卒中死亡的影响较低温条件更为明显;随着滞后天数增加(滞后 0~7、0~14、0~21 d),低温对脑卒中死亡的累积风险逐渐增大,而高温效应则呈一定的减弱趋势;其中滞后 0~14、0~21 d 时,日均气温与脑卒中死亡之间呈现反“J”形关系(图 1)。

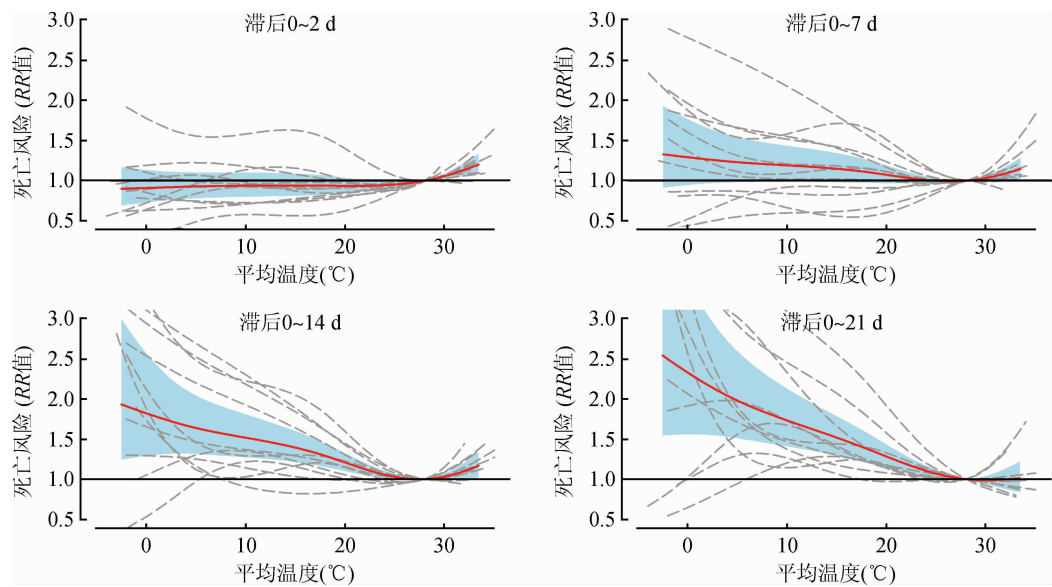
3. 寒潮和热浪对脑卒中死亡的影响:12 个区(县)寒潮和热浪对脑卒中死亡滞后影响的合并分析显示(图 2),寒潮对脑卒中死亡的影响存在 2~3 d 的滞后,但持续时间相对较长(约 10 d);热浪对脑卒中死亡的影响则发生急促,在热浪当天即表现出较高的死亡风险,但持续时间较短(2~3 d)。

表 2 为寒潮和热浪在不同滞后天数下脑卒中死亡累积风险的合并结果。其中,冷效应在累积滞后 3~14 d 时影响最大,寒潮日脑卒中死亡风险是非寒

表 1 2009—2012 年湖北省 12 个监测区(县)脑卒中死亡、气象因素及寒潮、热浪发生次数和持续时间(d)

区(县)	人口 (万)	脑卒中 死亡例数	平均温度(℃)				相对湿度 (%)	寒潮		热浪	
			$\bar{x} \pm s$	P_5	P_{50}	P_{95}		发生次数	持续时间	发生次数	持续时间
江岸	68.3	4 149	16.8±9.6	1.8	18.1	31.2	76.6	4	24	6	42
硚口	53.8	3 740	16.8±9.6	1.8	18.1	31.2	76.6	4	24	6	42
黄石港	17.4	860	17.4±9.3	2.5	18.9	30.9	77.1	4	28	4	31
张湾/茅箭	39.3	1 667	15.4±9.0	1.3	16.6	28.5	74.8	6	37	2	13
伍家岗	15.4	679	17.2±8.8	3.5	18.2	29.8	74.4	6	37	5	34
五峰	21.0	771	14.7±8.2	1.9	15.3	26.7	76.2	4	32	5	34
麻城	118.0	8 767	17.1±9.6	1.9	18.6	31.1	67.6	5	33	7	48
谷城	53.6	4 311	16.2±9.3	1.5	17.8	29.4	73.2	4	26	5	28
应城	63.6	4 659	16.5±9.5	1.7	17.9	30.2	76.6	4	25	6	46
云梦	56.3	4 388	16.5±9.5	1.7	17.9	30.2	76.6	4	25	6	46
天门	163.4	8 748	17.1±9.3	2.6	18.2	30.8	72.5	4	30	7	48
合 计	670.2	42 739	16.6±9.3	1.9	17.7	30.2	74.7	49	321	59	412

注:江岸区和硚口区均采用武汉市气象站数据;应城市和云梦县均采用孝感市气象站数据



注：灰色虚线为各区(县)日均温度与脑卒中死亡关系曲线,红色实线为12区(县)合并后的脑卒中死亡风险曲线,蓝色区域代表合并后RR值及其95%CI(参考温度为28℃)

图1 2009—2012年湖北省12个监测区(县)不同滞后天数日均温度对脑卒中死亡的累积效应

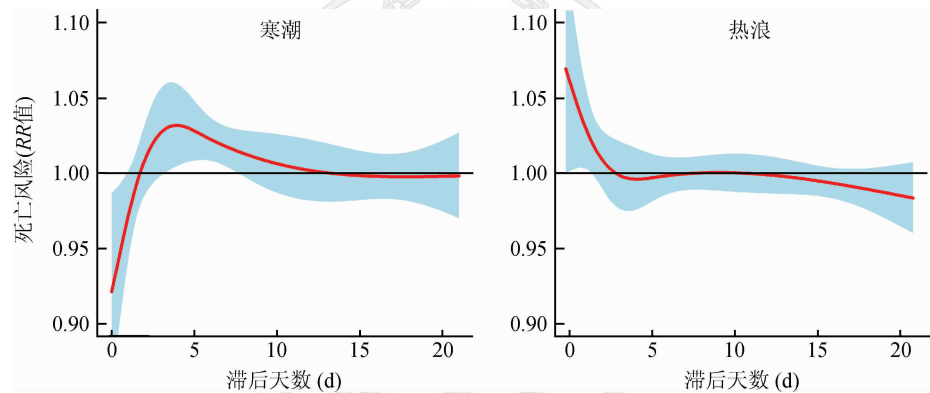


图2 2009—2012年湖北省12个监测区(县)寒潮和热浪对脑卒中死亡的滞后影响

潮日的1.180倍($RR=1.180, 95\%CI: 1.043 \sim 1.336$);热效应在累积滞后0~2 d时表现最为明显,热浪日脑卒中死亡风险是非热浪日的1.114倍($RR=1.114, 95\%CI: 1.012 \sim 1.227$)。累积滞后15~21 d时,寒潮和热浪对脑卒中死亡的影响均无统计学意义。不同县区寒潮和热浪对脑卒中死亡的影响存在一定的差

异(图3),其中寒潮和热浪的死亡效应分别在硚口区和五峰县表现最为明显。

表2 2009—2012年湖北省12个监测区(县)寒潮和热浪不同滞后天数对脑卒中累积死亡风险的合并结果

滞后天数(d)	冷效应RR值(95%CI)	热效应RR值(95%CI)
0~2	0.901(0.816~0.994)	1.114(1.012~1.227) ^a
3~14	1.180(1.043~1.336) ^a	0.979(0.877~1.094)
3~7	1.141(1.051~1.238) ^a	0.987(0.912~1.068)
8~14	1.056(0.946~1.178)	0.990(0.914~1.073)
15~21	0.993(0.893~1.104)	0.934(0.852~1.024)

注:^a $P<0.05$;冷效应为寒潮日相对于非寒潮日;热效应为热浪日相对于非热浪日

讨 论

大多数流行病学研究发现,日均气温与死亡一般呈“U”、“V”或“J”形关系,低温和(或)高温会增加居民死亡风险^[11,16]。通常认为,不同地区存在不同的最适温度,使得居民死亡风险最小^[11]。以脑卒中死亡为例,我国北方城市的最适日均温度为20.1~24.4℃,南方城市则明显高于北方城市,最适日均温度为25.2~30.8℃^[4]。本研究对湖北省12个区(县)的合并研究发现,日均气温与脑卒中死亡呈反“J”形关系,最适日均温度约为28.0℃。有研究认为,这种差异是由于不同地区的居民对本地气候的长期适应而引起的,且北方寒冷城市的居民通常对炎热天

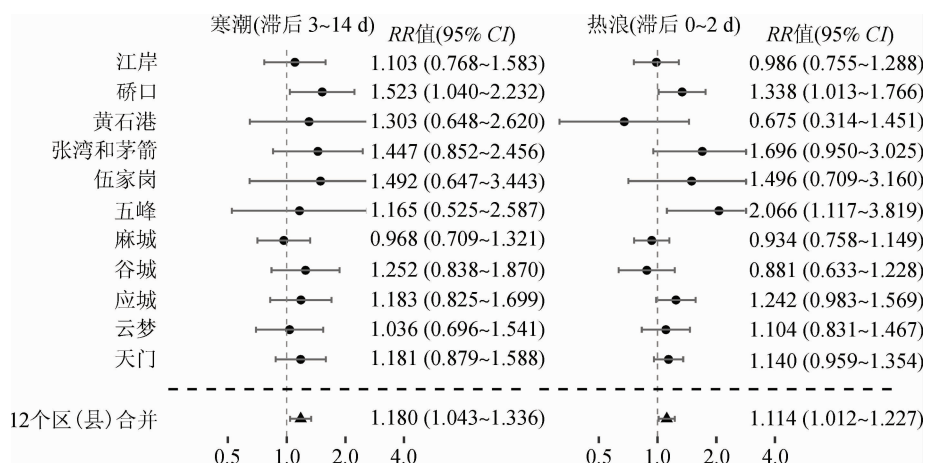


图3 2009—2012年湖北省12个监测区(县)寒潮日(相对于非寒潮日)滞后3~14 d和热浪日(相对于非热浪日)滞后0~2 d累积死亡风险RR值(95%CI)

气更为敏感,而南方温暖城市居民则对寒冷天气更敏感^[3]。

我国16个大城市的研究表明,14.5%的脑卒中死亡归因于非最适温度的暴露,而极端温度造成的脑卒中死亡仅占2.0%(1.6%~2.2%)^[4]。一项5个城市的合并研究发现,冷效应滞后0~13 d和热效应滞后0~2 d的脑卒中死亡风险RR值均为1.03(95%CI: 1.02~1.04),其中武汉市分别为1.029(1.011~1.048)、1.047(1.022~1.073)^[3]。由于寒潮日和热浪日持续数日的极端温度可能会加剧其健康效应,本研究12个区(县)寒潮和热浪的合并结果高于上述研究。其中,寒潮日滞后3~14 d脑卒中累积死亡风险较非寒潮日增加18.0%(4.3%~33.6%),热浪日滞后0~2 d脑卒中累积死亡风险较非热浪日增加11.4%(1.2%~22.7%)。研究还显示,尽管12个区(县)气候特点大体相似,但寒潮和热浪对不同区(县)居民的影响却存在一定差异。一方面,这可能是由于不同区(县)人口构成、经济发展水平等社会经济因素的差异造成^[17];另一方面,少数区(县)(如黄石港、伍家岗等)日均脑卒中死亡例数非常少,也可能影响分析结果。此外,不同区(县)区域面积和人口密度上的巨大差别可能会造成气象因素暴露评估的准确性上的差异。

与绝大多数前期研究类似,本研究也发现,寒潮对脑卒中死亡的影响存在数天的滞后,热浪的效应则发生急促,且寒潮效应的持续时间较热浪更长^[16]。因而,为减少由极端温度事件导致的健康损害:热浪天气发生后,应立即采取及时有效的防暑降温措施;而在寒潮天气出现后的1~2周内,仍需持续展开防控和应对策略。有学者认为,在评价温度的死亡效

应时,采用较短的最大滞后天数会低估冷效应的影响,而由于未能发现潜在的“收获效应”造成对热效应的高估^[4,7]。因此,不少研究通常采用2~4周的最大滞后天数,但目前对最佳滞后天数的选择尚无统一标准。

本研究存在一定局限。首先,12个区(县)的温度评估均采用单一监测站的监测数据,无法获得更高分辨率的温度暴露,但基于研究区域范围相对较小,固定站点的温度监测指标也可基本反映人群大致暴露水平^[5]。另外,居民脑卒中死亡也可能与大气污染暴露有关^[18],由于无法获取12个区(县)的污染物数据,研究中未将污染物纳入模型进行混杂控制。但前期研究提示,控制污染物后低温和高温对死亡的效应与控制污染物前基本保持不变^[9,19-20]。

综上所述,本研究发现日均气温与湖北省居民脑卒中死亡呈反“J”形关系,且低温和寒潮天气对脑卒中死亡的影响存在数天的滞后、效应持续时间较长,而高温和热浪天气对脑卒中死亡的影响则发生急促、效应持续时间较短。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] 宇传华,罗丽莎,李梅,等. 从全球视角看中国脑卒中疾病负担的严峻性[J]. 公共卫生与预防医学, 2016, 27(1): 1-5.
Yu CH, Luo LS, Li M, et al. From the global views to understand the seriousness of the burden of stroke in China[J]. J Pub Health Prev Med, 2016, 27(1): 1-5.
- [2] 方向华,王淳秀,梅利平,等. 脑卒中流行病学研究进展[J]. 中华流行病学杂志, 2011, 32(9): 847-853. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2011.09.001.
Fang XH, Wang CX, Mei LP, et al. Progress in epidemiology

- study on stroke [J]. Chin J Epidemiol, 2011, 32 (9): 847-853. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2011.09.001.
- [3] Zhang YS, Li SS, Pan XC, et al. The effects of ambient temperature on cerebrovascular mortality: an epidemiologic study in four climatic zones in China [J]. Environ Health, 2014, 13(1):24. DOI: 10.1186/1476-069X-13-24.
- [4] Yang J, Yin P, Zhou MG, et al. The burden of stroke mortality attributable to cold and hot ambient temperatures: epidemiological evidence from China [J]. Environ Int, 2016, 92-93: 232-238. DOI: 10.1016/j.envint.2016.04.001.
- [5] Tian ZX, Li SS, Zhang JJ, et al. Ambient temperature and coronary heart disease mortality in Beijing, China: a time series study [J]. Environ Health, 2012, 11: 56. DOI: 10.1186/1476-069X-11-56.
- [6] Lian H, Ruan YP, Liang RJ, et al. Short-term effect of ambient temperature and the risk of stroke: a systematic review and Meta-analysis [J]. Int J Environ Res Public Health, 2015, 12(8): 9068-9088. DOI: 10.3390/ijerph120809068.
- [7] 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. DOI: 10.1289/ehp.1103598.
- [8] Zhou MG, Wang LJ, Liu T, et al. Health impact of the 2008 cold spell on mortality in subtropical China: the climate and health impact national assessment study (CHINAs) [J]. Environ Health, 2014, 13: 60. DOI: 10.1186/1476-069X-13-60.
- [9] 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. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.10.092.
- [10] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Multivariate Meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations [J]. Stat Med, 2012, 31(29): 3821-3839. DOI: 10.1002/sim.5471.
- [11] 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. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0.
- [12] Ma WJ, Wang LJ, Lin HL, et al. The temperature-mortality relationship in China: an analysis from 66 Chinese communities [J]. Environ Res, 2015, 137: 72-77. DOI: 10.1016/j.envres.2014.11.016.
- [13] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models [J]. Stat Med, 2010, 29(21): 2224-2234. DOI: 10.1002/sim.3940.
- [14] 张云权, 朱耀辉, 李存禄, 等. 广义相加模型在 R 软件中的实现 [J]. 中国卫生统计, 2015, 32(6): 1073-1075.
- Zhang YQ, Zhu YH, Li CL, et al. Implementation of generalized additional models in R software [J]. Chin J Health Stat, 2015, 32(6): 1073-1075.
- [15] Gasparrini A, Armstrong B. Reducing and Meta-analysing estimates from distributed lag non-linear models [J]. BMC Med Res Methodol, 2013, 13: 1. DOI: 10.1186/1471-2288-13-1.
- [16] Guo YM, Gasparrini A, Armstrong B, et al. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation [J]. Epidemiology, 2014, 25(6): 781-789. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000165.
- [17] 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 [J]. Environ Int, 2015, 75: 103-109. DOI: 10.1016/j.envint.2014.11.004.
- [18] 张云权, 吴凯, 朱慈华, 等. 武汉市江岸区大气污染与脑卒中死亡关系的时间序列分析 [J]. 中华预防医学杂志, 2015, 49(7): 605-610. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2015.07.006.
- Zhang YQ, Wu K, Zhu CH, et al. Association between ambient air pollution and stroke mortality in Wuhan, China: a time-series analysis [J]. Chin J Prev Med, 2015, 49(7): 605-610. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2015.07.006.
- [19] Xie HY, Yao ZB, Zhang YH, et al. Short-term effects of the 2008 cold spell on mortality in three subtropical cities in Guangdong province, China [J]. Environ Health Perspect, 2013, 121(2): 210-216. DOI: 10.1289/ehp.1104541.
- [20] 吴凯, 张云权, 朱慈华, 等. 高温热浪与武汉市江岸区居民卒中死亡关系的时间序列分析 [J]. 中华心血管病杂志, 2015, 43(12): 1092-1096. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2015.12.017.
- Wu K, Zhang YQ, Zhu CH, et al. Association between heat wave and stroke mortality in Jiang'an district of Wuhan, China during 2003 to 2010: a time-series analysis [J]. Chin J Cardiol, 2015, 43(12): 1092-1096. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2015.12.017.

(收稿日期: 2016-08-27)

(本文编辑: 张林东)