

中国城市气温与人群死亡暴露反应关系的 Meta 分析

胡梦珏 马文军 张永慧 刘涛 林华亮 罗圆 肖建鹏

【摘要】目的 探讨中国城市气温与人群死亡风险的关系,分析纬度对气温与死亡风险关系的修饰作用。**方法** 收集国内有关气温与人群死亡风险关系的研究,采用 Meta 分析合并效应值,再通过 Meta 回归模型进一步分析纬度对该关系的影响。**结果** 共纳入 10 篇文献,包括 15 个城市。气温每增加 1℃,非意外死亡风险增加 2%(95%CI:1%~3%),心血管疾病死亡风险增加 4%(95%CI:2%~6%),呼吸系统疾病死亡风险增加 2%(95%CI:1%~4%);气温每降低 1℃,非意外死亡风险增加 4%(95%CI:2%~7%),心血管疾病死亡风险增加 4%(95%CI:1%~7%),呼吸系统疾病死亡风险增加 2%(95%CI:0%~4%)。纬度 0°~25°、26°~30°、31°~39°、≥40°时气温每下降 1℃,人群总死亡风险分别增加 6.5%(95%CI:-2.7%~15.6%)、5.8%(95%CI:2.4%~9.3%)、0.8%(95%CI:0.4%~1.2%)、0.5%(95%CI:-0.5%~1.5%);气温每上升 1℃,人群总死亡风险分别增加 0.6%(95%CI:-0.3%~1.4%)、1.9%(95%CI:0.7%~3.1%)、2.0%(95%CI:1.0%~3.0%)、5.8%(95%CI:-3.2%~14.8%)。纬度每增高 5°,高温时人群死亡风险增加 0.3%(95%CI:0.1%~0.8%),低温时人群死亡风险减少 0.8%(95%CI:0.5%~0.9%)。**结论** 气温过高或过低均增加人群的死亡风险。中低纬度地区人群对冷的适应能力要比高纬度地区更为脆弱,而对热的适应能力则较强。

【关键词】 气温;死亡风险;纬度;Meta 分析

Relationship between temperature and the risks of mortality in China: a Meta-analysis HU Meng-jue¹, MA Wen-jun^{2,3}, ZHANG Yong-hui³, LIU Tao^{2,3}, LIN Hua-liang^{2,3}, LUO Yuan^{2,3}, XIAO Jian-peng^{2,3}. 1 School of Medicine, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2 Guangdong Provincial Institute of Public Health; 3 Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention
Corresponding author: MA Wen-jun, Email: mwj68@vip.tom.com

This work was supported by a grant from the Subproject of Climate Change of China Meteorological Administration (No. CCSF201211).

【Abstract】Objective To understand the effect of temperature on the risk of mortality and the modification effect of latitude, in China. **Methods** Relevant papers were searched and Meta-analysis was used to determine the exposure-response relationship for each health outcome which was associated with the exposure to temperature. Meta-regression analysis was used to evaluate the effect modification by latitude. **Results** Ten studies in 15 cities were included in the study. When temperature increased by one centigrade, the risks of mortality showed the following changes: deaths from non-accidental increased by 2%(95%CI:1%,3%), from cardiovascular disease increased by 4%(95%CI:2%,6%) and from the respiratory disease increased by 2%(95%CI:1%,4%). As temperature decreased by one centigrade, the mortality risks of the following diseases showed the changes as: non-accidental death increased by 4%(95%CI:2%,7%), cardiovascular disease increased by 4%(95%CI:1%,7%) and the respiratory diseases increased by 2%(95%CI:0%,4%). When latitude ranged from 0 to 25, 26 to 30, 31 to 39 degree or over 40 degrees, respectively and the temperature decreased by one centigrade, the mortality risks of the general population increased by 6.5%(95%CI:-2.7%,15.6%), 5.8%(95%CI:2.4%,9.3%), 0.8%(95%CI:0.4%,1.2%), 0.5%(95%CI:-0.5%,1.5%). As temperature increased by one centigrade, mortality risk of the general population increased by 0.6%(95%CI:-0.3%,1.4%), 1.9%(95%CI:0.7%,3.1%), 2.0%(95%CI:1.0%,3.0%)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.09.015

基金项目:中国气象局气候变化专项(CCSF201211)

作者单位:510632 广州,暨南大学医学院(胡梦珏);广东省公共卫生研究院(马文军、刘涛、林华亮、罗圆、肖建鹏);广东省疾病预防控制中心(马文军、张永慧、刘涛、林华亮、罗圆、肖建鹏)

通信作者:马文军, Email: mwj68@vip.tom.com

and 5.8% (95% CI: -3.2%, 14.8%). As latitude increased by five degrees with high temperature, the mortality risk of general people increased by 0.3% (95% CI: 0.1%, 0.8%) while decreased by 0.8% (95% CI: 0.5%, 0.9%) under low temperature. **Conclusion** In China, the mortality risk increased along with the changes of temperature. The adaptability to cold ness among people living in high latitude areas seemed to be stronger than those living in other areas of latitudes. Who were more vulnerable to high temperature.

【Key words】 Temperature; Mortality risk; Latitude; Meta-analysis

由于全球气候变暖,气温对健康的影响引起了广泛关注^[1]。近年来气象因素与死亡之间关系的研究越来越多。研究表明,每日温度与死亡人数存在“U”、“V”或“J”形非线性关系,当温度高于或低于某个临界温度时,死亡率会随着温度的升高或降低而增加,但这种关系受到地理位置、气候类型、社会经济状况等许多因素的修饰^[2]。目前国内也开展了一些气温与死亡关系的研究,由于大范围资料难以获得,大部分研究局限在单个城市,尚未见采用统一方法开展的多城市研究,温度对我国人群死亡影响的暴露-反应关系及时空变化规律值得深入研究^[3,4]。基于此,本研究拟搜集已发表的我国对气温与人群死亡风险关系的文献,用Meta分析建立我国气温与人群死亡的暴露-反应关系,并用Meta回归分析了解纬度变化对这种关系的修饰作用,为我国制定适应气候变化相关政策提供科学依据。

资料与方法

1. 资料来源:以“气温/温度”、“死亡”、“中国”为关键词,检索中国知网、万方、维普等中文数据库,以“weather”、“temperature”、“mortality”、“China”为关键词,检索PubMed/Medline、OVID、ScienceDirect等英文数据库,收集公开发表于2002年1月1日至2012年12月1日关于中国气温与人群死亡风险关系的研究。同时在阅读相关文献时,将其引用的有关中国的参考文献也作为资料来源。

2. 文献纳入与排除标准:①文献中死因归类应参照国际疾病分类编码ICD-9或ICD-10;②研究方法应用时间序列方法;③研究的暴露变量为日均气温,结局变量为全因死亡、非意外死亡、心血管疾病死亡或呼吸系统疾病死亡;④文献中对人群总死亡率与气温关系的描述是定量的暴露-反应关系(如斜率、OR值、RR值等),并有95%CI,即温度每变化1℃时人群死亡风险的变化;⑤对于研究地点相同的研究,选择研究时间范围较长或研究时间不重复的文献;⑥排除综述、重复性研究和结果为非定量及研究极端温度与死亡关系的文献。

3. 质量控制:严格按照文献纳入标准有针对性

地收集相关资料;文献收集由2人分别完成,并共同与原始文献对比复核信息,其中剔除重复报告、质量较差、报道信息太少的文献;最后整理文献资料,输入计算机,对数据采取二次录入、校对和分析。

4. 统计学分析:在经过筛选的文献中提取暴露-反应系数及其可信区间等有效信息。由于纳入同一个Meta分析的研究间存在差异(异质性),因此对资料整理录入后进行异质性检验,若各研究间存在异质性,选择随机效应模型分析,反之则选择固定效应模型分析,对死亡风险RR值的自然对数进行效应合并。疾病分类以ICD-10编码为标准。Meta分析的最后结果采用温度每变化1℃时,人群死亡风险增加的百分数及其95%CI表示。为研究纬度对气温与人群死亡风险关系的修饰作用,以纬度为自变量,将滞后天数、人均GDP、研究时间作为控制变量,建立Meta回归模型。纬度数值通过Google Earth 6.2搜索获得,各城市人均GDP通过中国统计局2011年统计年鉴获取。数据分析通过R 2.15.2软件的“metafor”程序包实现。

结 果

1. 纳入文献的基本情况:按照文献纳入标准,共筛选文献10篇,包括15个城市,分别为香港、广州、珠海、长沙、昆明、重庆、北京、天津、沈阳、哈尔滨、福州、汕头、上海、南京、武汉(表1)。其中6篇文献描述了温度与非意外死亡间的关系,8篇分析了温度与心血管疾病死亡间的关系,6篇研究了温度与呼吸系统疾病死亡间的关系,有部分文献包含多个死因的研究。纳入的文献均运用时间序列研究,其中6篇采用广义相加模型(Generalized Additive Model),4篇采用分布滞后非线性模型(Distributed Lag Non-linear Model)。有7篇结果显示温度与死亡之间的关系呈“U”或“V”形非线性关系,冷热效应有所不同。各城市温度每增加或降低1℃时人群的不同死因死亡风险大小不一,但总体趋势一致,气温高于或低于最适气温都会导致人群死亡风险增加。

2. 气温对不同疾病别人群死亡的影响:经Q检验,各研究间存在异质性($P < 0.05$),故采用随机效

表 1 纳入文献的基本情况

研究地点	研究时间 (年)	人均 GDP (美元)	死因	滞后期 (d)	纬度 (°)	RR 值(95%CI)		
						冷效应	热效应	
香港 ^[5]	1998—2006	31 759	非意外	热 7	22.20	1.021(0.997 ~ 1.046)	1.055(1.022 ~ 1.090)	
			心血管疾病	冷 7			1.044(1.137 ~ 0.959)	1.085(1.014 ~ 1.162)
			呼吸系统疾病				1.000(0.964 ~ 1.041)	1.010(0.959 ~ 1.064)
广州	2006—2010	11 695	非意外 ^[6]	热 3	23.16	1.096(1.075 ~ 1.117)	1.029(1.020 ~ 1.039)	
			心血管疾病 ^[3]	冷 27			1.226(1.102 ~ 1.364)	1.134(1.047 ~ 1.230)
			非意外 ^[6]	热 3	22.30	1.111(1.078 ~ 1.145)	1.023(1.004 ~ 1.042)	
珠海	2006—2010	9 732	心血管疾病 ^[3]	冷 27		1.103(0.935 ~ 1.300)	1.259(1.104 ~ 1.436)	
			非意外 ^[6]	热 3	28.21	1.061(1.023 ~ 1.099)	1.020(1.003 ~ 1.037)	
			心血管疾病 ^[3]	冷 27		0.972(0.696 ~ 1.358)	1.082(0.859 ~ 1.364)	
长沙	2006—2009	6 590	非意外 ^[6]	热 3	25.04	1.044(1.033 ~ 1.056)	1.017(1.004 ~ 1.030)	
			心血管疾病 ^[3]	冷 27		1.143(1.038 ~ 1.258)	0.992(0.955 ~ 1.030)	
			非意外	0	29.59	1.002(-1.003 ~ 1.007)	1.002(-1.003 ~ 1.007)	
昆明	2006—2009	3 732	心血管疾病	冷 27		1.001(-1.006 ~ 1.007)	1.001(-1.006 ~ 1.007)	
			呼吸系统疾病			1.033(-1.002 ~ 1.069)	1.033(-1.002 ~ 1.069)	
			非意外	0	39.92	1.010(1.005 ~ 1.015)	1.010(1.005 ~ 1.015)	
北京 ^[7]	1998—2008	9 075	心血管疾病			1.024(1.006 ~ 1.043)	1.024(1.006 ~ 1.043)	
			呼吸系统疾病			1.009(1.000 ~ 1.018)	1.009(1.000 ~ 1.018)	
			非意外	热 2	39.13	1.030(1.009 ~ 1.052)	1.030(1.009 ~ 1.052)	
天津 ^[8]	2005—2007	7 987	心血管疾病	冷 18		1.055(1.023 ~ 1.088)	1.020(1.007 ~ 1.034)	
			呼吸系统疾病			1.093(1.017 ~ 1.174)	1.030(1.012 ~ 1.049)	
			非意外	0	45.75	1.011(1.002 ~ 1.020)	1.030(-1.008 ~ 1.077)	
哈尔滨 ^[7]	2004—2008	4 177	心血管疾病			1.021(-1.004 ~ 1.046)	1.021(-1.004 ~ 1.046)	
			呼吸系统疾病			1.002(-1.003 ~ 1.008)	1.002(-1.003 ~ 1.008)	
			非意外	0	26.08	1.217(1.120 ~ 1.323)	1.217(1.120 ~ 1.323)	
福州 ^[7]	2004—2007	4 815	心血管疾病			1.128(1.063 ~ 1.198)	1.128(1.063 ~ 1.198)	
			呼吸系统疾病			1.134(1.063 ~ 1.199)	1.134(1.063 ~ 1.199)	
			非意外	0	23.39	1.028(1.011 ~ 1.046)	1.028(1.011 ~ 1.046)	
汕头 ^[7]	2005—2007	3 581	非意外	0	23.39	1.028(1.011 ~ 1.046)	1.028(1.011 ~ 1.046)	
沈阳	1992—2000	7 163	心血管疾病 ^[9]	热 3	41.80	1.000(1.0005 ~ 1.0007)	1.000(1.0005 ~ 1.0007)	
			呼吸系统疾病 ^[10]	冷 3		1.005(1.004 ~ 1.005)	1.002(1.000 ~ 1.003)	
			非意外	热 2	31.22	1.005(-1.000 ~ 1.009)	1.016(1.013 ~ 1.020)	
上海 ^[11]	2001—2008	10 529	心血管疾病	冷 30		1.005(-1.001 ~ 1.011)	1.020(1.015 ~ 1.026)	
			呼吸系统疾病			1.004(-1.003 ~ 1.010)	1.020(1.010 ~ 1.030)	
			心血管疾病	0	32.04	1.019(1.012 ~ 1.025)	1.019(1.012 ~ 1.025)	
南京 ^[12]	2004	7 246	心血管疾病	0	30.52	1.006(-1.001 ~ 1.013)	1.022(1.007 ~ 1.037)	
武汉 ^[13]	2001—2004	6 357	非意外	0	30.52	1.007(-1.003 ~ 1.017)	1.033(1.012 ~ 1.054)	
			心血管疾病			1.011(-1.008 ~ 1.030)	1.012(-1.035 ~ 1.061)	
			呼吸系统疾病					

应模型合并 RR 值。结果显示,气温每增加 1 °C,人群非意外死亡风险增加 2%,心血管疾病死亡风险增加 4%,呼吸系统疾病死亡风险增加 2%;气温每降低 1 °C,人群非意外死亡风险增加 4%,心血管疾病死亡风险增加 4%,呼吸系统疾病死亡风险增加 2%(表 2)。

表 2 纳入文献 Meta 分析的异质性检验及合并效应值

死因	Q 值		P 值	合并 RR 值(95%CI)	
	热效应	冷效应		热效应	冷效应
非意外	72.2	166.5	<0.05	1.02(1.01 ~ 1.03)	1.04(1.02 ~ 1.07)
心血管疾病	231.8	104.0	<0.05	1.04(1.02 ~ 1.06)	1.04(1.01 ~ 1.07)
呼吸系统疾病	39.3	32.2	<0.05	1.02(1.01 ~ 1.04)	1.02(1.00 ~ 1.04)

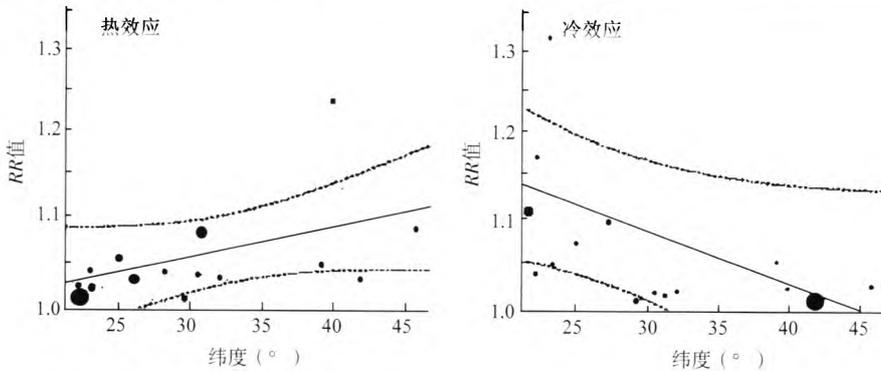
3. 纬度对气温和人群死亡风险关系的修饰作用:按照研究地区的纬度设置 0° ~ 25°、26° ~ 30°、

31° ~ 39°、≥40°共 4 个组别。结果显示,在纬度 < 25°地区,气温每增加 1 °C,人群死亡风险增加 0.6%,气温每下降 1 °C,人群死亡风险增加 6.5%;而在高纬度地区(>40°)气温每增加 1 °C,人群死亡风险增加更为明显(5.8%),气温每下降 1 °C,人群死亡风险增加反而减少(0.5%)。在对纬度进行分组后,Q 值和 I² 均大大减小,表明异质性减小(表 3)。调整滞后天数(热:0 ~ 7 d,冷:0 ~ 30 d)、人均 GDP 和研究时间后,研究纬度对气温与人群死亡风险影响的修饰作用。结果显示(图 1),纬度每增高 5°,高温时人群死亡风险增加 0.3%(95%CI:0.1% ~ 0.8%),低温时人群死亡风险减少 0.8%(95%CI:0.5% ~ 0.9%)。

4. 发表偏倚:绘制漏斗图并对漏斗图的对称性

表3 不同纬度地区气温与人群死亡风险的Meta分析

纬度 (°)	城市数	效应模型	RR 值		95%CI		I ² 值 (%)		Q 值		P 值	
			热效应	冷效应	热效应	冷效应	热效应	冷效应	热效应	冷效应	热效应	冷效应
0~25	5	随机效应	1.006	1.065	0.997~1.014	0.973~1.156	99	99	35.0	36.2	<0.01	<0.01
26~30	4	随机效应	1.020	1.058	1.010~1.030	1.024~1.093	94	93	125.7	36.1	<0.01	<0.01
31~39	4	随机效应	1.034	1.008	1.007~1.043	1.004~1.012	90	83	31.2	7.1	<0.01	0.016
≥40	2	固定效应	1.058	1.005	0.968~1.148	0.995~1.015	76	42	4.3	5.8	0.039	0.068
总效应	15	随机效应	1.033	1.036	1.013~1.053	1.014~1.058	93	99	22.8	231.6	<0.01	<0.01



注:圆点代表各项研究(其大小代表研究的权重大小)

图1 纬度与人群死亡风险的关系

进行检验(图2),存在发表偏倚($Z=6.8206, P<0.05$)。

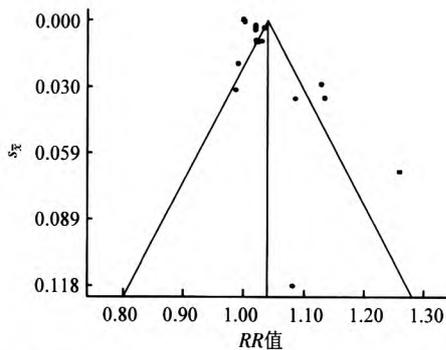


图2 气温变化对人群死亡风险影响的漏斗图

讨论

本研究Meta分析结果显示,气温每下降或上升1℃,人群非意外死亡人数分别上升4%和2%。Gouvela等^[14]对巴西圣保罗(亚热带城市)的研究发现,以20℃为界,气温每下降或上升1℃,人群死亡人数分别上升5.5%和2.6%。Revich和Shaposhnikov^[15]研究发现俄罗斯莫斯科地区平均气温超过18℃时,气温每增加1℃其死亡人数增加2.8%;当低于18℃时,气温每下降1℃死亡风险增加0.49%。国内外研究结论均表明^[16-22],每日温度与日死亡人数的关系呈非线性,低于或高于最适气温均导致死亡风险增加。

气温对不同疾病人群的健康效应存在差异,其

中对心血管疾病和呼吸系统疾病影响最大^[23,24]。本研究Meta分析显示,气温每下降或上升1℃,人群因心血管疾病死亡人数均上升4%,因呼吸系统疾病死亡人数均上升2%。表明气温对心血管疾病死亡风险大于呼吸系统疾病。Liu等^[25]研究认为寒冷气温对心血管系统疾病死亡的影响更大且延续时间更长,但本文分析的合并效应并未发现低温对心血管疾病死亡的影响更大,这可能是由于研究中纳入文献少,样本量有限以及不同城市选择滞后期的长短不同所致。

Curriero等^[26]研究美国东部11个城市温度与居民死亡关系时发现,纬度为一个重要的修饰因子,低纬度地区人群对冷较为脆弱,而对热要比中高纬度地区人群更为适应。社会经济因素等也可影响人群对温度变化的适应能力。香港的一项研究表明^[5],社会经济地位愈低,人群脆弱性愈高。因此本研究控制了各城市人均GDP、滞后天数等因素后同样发现,高温天气时气温每增加1℃,中高纬度地区人群死亡风险相对较大;而低温天气时气温每降低1℃,低纬度地区人群死亡风险更大。纬度每增加5°,高温天气时人群死亡风险增加0.3%,低温天气时人群死亡风险减少0.8%。说明我国中高纬度地区人群对热要比低纬度地区人群更脆弱,而对冷要比低纬度地区人群更为适应。这可能是由于低纬度地区夏季炎热时间长,人群在生理和行为上对热已有一定适应能力,对热较不敏感,而低温时间相对较短且冬季温度普遍较高,人群对冷的适应能力则较弱;中高纬度地区冬季温度低且持续时间长,夏季较为凉爽,人群对冷的适应能力较强,反而对热表现得更为脆弱。目前多数研究关注高温或低温天气的成因以及对经济的影响,较少关注由其造成的健康问题,因此应加强对脆弱地区的健康指导,尤其是关注中高纬度地区高温天气以及低纬度地区低温天气对人群死

亡效应的研究。

目前国内关于温度与死亡关系的研究较多集中在大城市,缺乏对跨地域多个城市的研究,且不同研究选择的温度指标也不统一,如有的研究选择日最高气温,有的研究选择环境温度(综合考虑温度和湿度作用的温度指标),因此本研究纳入文献数量有限,分析结果可能存在偏倚,而纳入的文献在研究方法方面存在差异,也可能影响研究结果。

参 考 文 献

- [1] Therese FM, Gary AN, Jane QK, et al. Associations between air pollution and mortality in Phoenix, 1995–1997. *Environ Health Perspect*, 2000, 108: 347–353.
- [2] Huynen MM, Martens P, Schram D, et al. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environ Health Perspect*, 2001, 109: 463–470.
- [3] Zeng WL, Li GC, Xiao YZ, et al. The impact of temperature on cardiovascular disease deaths in 4 cities, China: a time-series study. *Chin J Epidemiol*, 2012, 33 (10): 1021–1025. (in Chinese)
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. *中华流行病学杂志*, 2012, 33 (10): 1021–1025.
- [4] Yang J, Ou CQ, Ding Y, et al. Association between daily temperature and mortality in Guangzhou: a time-series study. *J Environ Health*, 2012, 29(2): 136–138. (in Chinese)
杨军, 欧春泉, 丁研, 等. 广州市逐日死亡人数与气温关系的时间序列研究. *环境与健康杂志*, 2012, 29(2): 136–138.
- [5] Chan EYY, Goggins WB, Kim JJ, et al. A study of intracity variation of temperature-related mortality and socioeconomic status among the Chinese population in Hong Kong. *J Epidemiol Community Health*, 2012, 66: 322–327.
- [6] Wu W, Xiao YZ, Li GC, et al. Temperature-mortality relationship in four subtropical Chinese cities: a time-series study using a distributed lag non-linear model. *Sci Total Environ*, 2013, 449: 355–362.
- [7] Pei DS, Li LP. Threshold analysis of ambient temperature in five cities based on population daily mortality. *Chin J Dis Control Prev*, 2011, 15(5): 372–376. (in Chinese)
裴德升, 李丽萍. 基于人群日死亡数的五城市环境温度阈值分析. *中华疾病控制杂志*, 2011, 15(5): 372–376.
- [8] Guo YM, Barnett AG, Pan XC, et al. The impact of temperature on mortality in Tianjin, China: a case-crossover design with a distributed lag nonlinear model. *Environ Health Perspect*, 2011, 119: 1719–1725.
- [9] Yu LZ, Jing LB, Feng YP, et al. A study on the association between ambient daily average temperature and daily mortality of circulatory system diseases in Shenyang city, 1992–2000. *Chin J Prev Control Chron Non-commun Dis*, 2008, 16 (3): 221–224. (in Chinese)
于连政, 井立滨, 冯毅平, 等. 沈阳市 1992–2000 年间日平均气温与居民循环系统疾病日均死亡率的关系. *中国慢性病预防与控制*, 2008, 16(3): 221–224.
- [10] Wang J, Yu LZ, Mu HJ, et al. Association between daily ambient average temperature and daily respiratory system disease mortality in Shenyang city. *Chin J Public Health*, 2009, 25 (4): 481–482. (in Chinese)
王珏, 于连政, 穆慧娟, 等. 沈阳市日均气温与呼吸疾病死亡率
- [11] Zhang J, Liu X, Kan HD. Distributed lag effects in the relationship between daily mean temperature and mortality in Shanghai. *Chin J Epidemiol*, 2012, 33 (12): 1252–1257. (in Chinese)
张璟, 刘学, 阚海东. 上海市日平均气温对居民死亡数的滞后效应研究. *中华流行病学杂志*, 2012, 33(12): 1252–1257.
- [12] Zhu Y, Chen XD. A time-series study on the association of temperature and daily cardiovascular diseases mortality. *Sciencepaper Online*. [2007–12–21]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200712-528>. (in Chinese)
朱勇, 陈晓东. 温度对心脑血管疾病日死亡人数影响的时间序列研究 [OL]. [2007–12–21]. 中国科技论文在线, <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200712-528>.
- [13] Qian ZM, He QC, Lin HM, et al. High temperatures enhanced acute mortality effects of ambient particle pollution in the “oven” city of Wuhan, China. *Environ Health Perspect*, 2008, 116: 1172–1178.
- [14] Gouvêla N, Hajat S, Armstrong B. Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in Sao Paulo, Brazil. *Int J Epidemiol*, 2003, 32: 390–397.
- [15] Revich B, Shaposhnikov D. Temperature induced excess mortality in Moscow, Russia. *Int J Biometeorol*, 2008, 52(5): 367–374.
- [16] Zanobetti A, Schwartz J, Samoli E, et al. The temporal pattern of mortality responses to air pollution: a multicity assessment of mortality displacement. *Epidemiology*, 2002, 13: 87–93.
- [17] Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J. The time course of weather-related deaths. *Epidemiology*, 2001, 12: 662–667.
- [18] Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, et al. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am J Epidemiol*, 2002, 155: 80–87.
- [19] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Stat Med*, 2010, 29: 2224–2234.
- [20] McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats SR, et al. International study of temperature, heat and urban mortality: the ‘ISOTHERM’ project. *Int J Epidemiol*, 2009, 37: 1121–1131.
- [21] Dong Y, Zhao NQ, Tang JK, et al. The application of GAM in research of air temperature's effect on health. *Chin J Health Stat*, 2008, 25(2): 144–146. (in Chinese)
董英, 赵耐青, 汤军克, 等. 广义相加模型在气温效应研究中的应用. *中国卫生统计*, 2008, 25(2): 144–146.
- [22] Baccini M, Biggeri A, Accetta G, et al. Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, 2008, 19: 711–719.
- [23] Cheng AQ. The relationship between weather and cardiovascular hospitalization rates in Nanjing. *Acta Uni Med Nanjing (Natural Science)*, 1994, 14(3): 462. (in Chinese)
程爱群. 南京天气和心血管疾病住院率之间的关系. *南京医科大学学报*, 1994, 14(3): 462.
- [24] Koskela HO, Koskela AK, Tukiainen HO. Broncho constriction due to cold weather in COPD: the roles of direct air way effects and cutaneous reflex mechanisms. *Chest*, 1996, 110 (3): 632–636.
- [25] Liu L, Breitner S, Pan X, et al. Associations between air temperature and cardio-respiratory mortality in the urban area of Beijing, China: a time-series analysis. *Environ Health*, 2011, 10: 51.
- [26] Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, et al. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am J Epidemiol*, 2002, 155: 80–86.

(收稿日期: 2013-04-15)

(本文编辑: 张林东)