调查研究
Investigation

基于分布滞后非线性模型评估气温对北京市居民缺血性脑卒中入院人数的影响

安吉[1]，郭默宁[2]，谭鹏[2]，陶丽新[1]，王肖南[1]，刘相佟[1]，张丽成[1]，田雪[1]，罗艳侠[1]

1. 首都医科大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系，北京市临床流行病学重点实验室，北京 100069
2. 北京市卫生健康委信息中心，北京 100034

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19882

摘要：

[背景] 缺血性脑卒中是我国面临的重大公共卫生问题之一。近年来气温与人群缺血性脑卒中的关系受到广泛关注，但目前的研究结果尚存在差异及不一致性。

[目的] 评估北京市日均气温对居民缺血性脑卒中入院的影响，为相关部门制定脑卒中综合防治策略和措施提供科学依据。

[方法] 收集2013年1月11日—2017年12月31日北京市的气象数据、空气污染物数据以及缺血性脑卒中入院数据，描述气象因素、空气污染物与居民缺血性脑卒中入院人数的基本情况。采用Spearman秩相关分析空气污染物及气象因素的相关性，采用分布滞后非线性模型（DLNM）分析日均气温与缺血性脑卒中入院的关系，绘制三维关联图与不同温度滞后效应分布图，并按照性别、年龄（<65岁和≥65岁）进行分层分析。

[结果] 2013—2017年北京市居民缺血性脑卒中入院人数共380 127人，每日入院人数中位数（P_{25}，P_{75}）为209（138~261）。北京市日均气温与缺血性脑卒中入院人数之间呈非线性关系，并存在一定的滞后效应。低温对缺血性脑卒中入院人数的效应在第10天开始出现，约第13天达最高值后开始下降。当日均气温为-3℃，累积滞后21 d时，*RR*值最大，为1.18（95% *CI*：1.05~1.32）。当日均气温为1℃时，在累积滞后14 d时，缺血性脑卒中入院人数的*RR*值为1.08（95% *CI*：1.02~1.15），在累积滞后21 d时，缺血性脑卒中入院人数的*RR*值为1.14（95% *CI*：1.06~1.24）。分层分析结果显示低温对男性、小于65岁人群缺血性脑卒中入院人数的影响更敏感。低温累积滞后21 d时，对于男性人群，缺血性脑卒中入院人数的*RR*值为1.20（95% *CI*：1.05~1.36）；对于年龄小于65岁人群，缺血性脑卒中入院人数的*RR*值为1.29（95% *CI*：1.12~1.50）。此外，尚未发现高温对缺血性脑卒中入院人数的影响。

[结论] 低温会增加北京市居民缺血性脑卒中的入院风险，且存在累积滞后效应。居民应注重低温对健康的影响，在低温天气中加强对缺血性脑卒中的防范。

关键词：气温；缺血性脑卒中；分布滞后非线性模型；入院人数；时间序列

Effects of temperature on ischemic stroke admissions in Beijing residents based on distributed lag non-linear model

AN Ji[1], GUO Mo-ning[2], TAN Peng[2], TAO Li-xin[1], WANG Xiao-nan[1], LIU Xiang-tong[1], ZHANG Li-cheng[1], TIAN Xue[1], LUO Yan-xia[1] (1.Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Capital Medical University, Beijing Municipal Key Laboratory of Clinical Epidemiology, Beijing 100069, China; 2.Beijing Municipal Commission of Health and Family Planning Information Center, Beijing 100034, China)

Abstract:

[Background] Ischemic stroke is one of the major public health issues in China. In recent years, the relationship between temperature and ischemic stroke in general population has been widely concerned. However, the current research results are inconsistent.

[Objective] This study is conducted to explore the influence of daily temperature on ischemic stroke admissions of residents in Beijing and provide scientific basis for relevant departments to establish comprehensive prevention and treatment strategies against ischemic stroke.

[Methods] Meteorological data, air pollution data, and ischemic stroke admission data from 11 January 2013 to 31 December 2017 in Beijing were collected and described. The correlation between air pollutants and meteorological factors were analyzed by Spearman rank correlation

基金项目
北京市教育委员会科技发展计划一般项目（KM201810025008）；国家自然科学基金项目（81773512）

作者简介
安吉（1994—），女，硕士生；
E-mail：anji@ccmu.edu.cn

通信作者
罗艳侠，Email：lyx100@ccmu.edu.cn

利益冲突 无申报
收稿日期 2019-12-18
录用日期 2020-02-15

文章编号 2095-9982(2020)05-0486-06
中图分类号 R122
文献标志码 A

▸引用
安吉，郭默宁，谭鹏，等.基于分布滞后非线性模型评估气温对北京市居民缺血性脑卒中入院人数的影响[J].环境与职业医学，2020，37(5)：486-491.

▸本文链接
www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19882

Funding
This study was funded.

Correspondence to
LUO Yan-xia, E-mail: lyx100@ccmu.edu.cn

Competing interests None declared
Received 2019-12-18
Accepted 2020-02-15

▸To cite
AN Ji, GUO Mo-ning, TAN Peng, et al. Effects of temperature on ischemic stroke admissions in Beijing residents based on distributed lag non-linear model[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(5): 486-491.

▸Link to this article
www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19882

analysis. The association between daily temperature and hospital admissions for ischemic stroke was estimated using distributed lag non-linear model (DLNM). Three-dimensional graph for ischemic stroke and lag-response curves for different temperatures were plotted. The association stratified by sex or age (<65 and ⩾65 years) was also examined.

[Results] In total, there were 380 127 ischemic stroke admissions in Beijing from 2013 to 2017, the median number of daily admissions was 209 (interquartile range: 138-261). A nonlinear relationship was found between daily mean temperature and ischemic stroke admissions, and the effect was lagged. The effect of temperature on admissions of ischemic stroke appeared since day 10, and declined after reaching the peak since day 13. The largest *RR* at −3℃ was 1.18 (95% *CI*: 1.05-1.32) at lag 0-21 days. The *RRs* at 1℃ were 1.08 (95% *CI*: 1.02-1.15) at lag 0-14 days and 1.14 (95% *CI*: 1.06-1.24) at lag 0-21 days, respectively. The results of stratified analysis presented that men and visitors less than 65 years of age were more sensitive to ischemic stroke at low temperature. At lag 0-21 days, the *RRs* at −3℃ were 1.20 (95% *CI*: 1.05-1.36) for men and 1.20 (95% *CI*: 1.12-1.50) for visitors less than 65 years of age. In addition, the association between hot temperature and ischemic stroke admission was not found.

[Conclusion] Low temperature could increase the risk of ischemic stroke admissions of residents in Bieijing and there is a cumulative lag effect. The study findings suggest that residents pay attention to the health impact of low temperature and strengthen the prevention against ischemic stroke in cold weather.

Keywords: temperature; ischemic stroke; distributed lag nonlinear model; hospital admission; time-series

近年来，气温对脑血管疾病的影响越来越受到关注。目前国内外相关流行病学研究结果发现，气温与脑卒中发病的关系呈现“U”形、“V”形或“J”形，低温与高温的短期暴露均会增加脑卒中的发病率与死亡率[1-3]。其中，缺血性脑卒中是我国目前面临的重大公共卫生问题之一，缺血性脑卒中分别占我国人群脑卒中发病和患病的69.6%和77.8%，给社会带来沉重的负担[4]。但由于不同国家、不同地区气温对缺血性脑卒中影响的研究结果尚存在差异及不一致性[5-8]，因此，有必要探讨气温对我国居民缺血性脑卒中的影响。分布滞后非线性模型（distributed lag nonlinear model，DLNM）是以广义线性和广义相加模型等传统模型为基础，引入交叉基过程，同时考虑非线性的暴露反应关系及暴露滞后效应的一种分析方法[9]。本研究旨在通过DLNM模型评估2013—2017年北京市日均气温对居民缺血性脑卒中入院的影响，为相关部门制定脑卒中综合防治策略和措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据收集

本研究气象因素数据来源于中国气象局，包括2013年1月11日—2017年12月31日北京市16个区县的日均温度、日均相对湿度、日均气压；通过北京市环境保护监测中心网站（http://zx.bjmemc.com.cn/）收集北京市35个监测站点的空气污染物，包括细颗粒物（fine particulate matter，$PM_{2.5}$）、二氧化硫（sulfur dioxide，SO_2）、二氧化氮（nitrogen dioxide，NO_2）日均质量浓度（后简称为浓度）和臭氧（ozone，O_3）最大8 h质量浓度（后简称为浓度）。缺血性脑卒中入院数据来源于北京市卫生健康委信息中心病案数据库，收集的信息包括2013年1月11日—2017年12月31日北京市二级以上医院因缺血性脑卒中（ICD10编码：I63）入院的北京市居民的入院日期、年龄、性别、家庭住址和工作住址所在区县等信息。本研究符合最新修订的《赫尔辛基宣言》。

1.2 分析方法

本研究采用最小值、最大值、第10百分位数（P_{10}）、第25百分位数（P_{25}）、第50百分位数（P_{50}）、第75百分位数（P_{75}）和第90百分位数（P_{90}）描述气象因素与空气污染物，绘制时间序列图描述北京市居民缺血性脑卒中日入院人数的基本情况。采用Spearman秩相关分析空气污染物及气象因素的相关性。建立DLNM模型分析气温对缺血性脑卒中入院人数的影响，采用准泊松（quasi-poisson）作为连接函数拟合气温与缺血性脑卒中入院人数的模型。将缺血性脑卒中日入院人数作为应变量，建立日均气温交叉基，将污染物数据（$PM_{2.5}$、SO_2、NO_2和O_3）、日均相对湿度和时间的长期趋势的自然立方样条函数、星期几效应与节假日效应纳入模型，最终形成的表达式如下[10]：

$$\log[E(Y_t)]=\alpha+\beta Temp_{t,l}+NS(rh,v)+NS(time,\ v)+DOW+holiday+PM_{2.5}+SO_2+NO_2+O_3$$

式中Y_t为缺血性脑卒中日入院人数；α为截距；$Temp_{t,l}$为日均气温与滞后时间的交叉基；β为$Temp_{t,l}$系数；*NS*为自然立方样条函数；*v*为自由度；*rh*为日均相对湿度；*time*为时间变量；*DOW*为星期几效应；*holiday*为节假日效应。

根据既往研究结果的气温滞后效应，选择最长滞

后时间为21 d[11]，绘制气温在不同滞后时间下对缺血性脑卒中入院影响的三维关联图；根据广义赤池信息量准则（quasi-likelihood for Akaike's information criterion，Q-AIC）以及既往研究结果，确定气温和相对湿度的自由度均为3，时间趋势变量每年的自由度为7[11-12]。根据气温与缺血性脑卒中入院的暴露反应曲线，确定适宜温度为10℃，以适宜温度作为参比气温，选取不同的滞后天数，以日均气温的P_{10}、P_{25}、P_{75}、P_{90}作为低温、较低温、较高温和高温估计其对缺血性脑卒中入院的效应[13]，绘制相应的滞后效应分布图，并按性别、年龄（<65岁和≥65岁）分层，分析气温对缺血性脑卒中入院的影响。

1.3 统计学分析

采用R 3.6.1软件进行数据整理、统计描述与统计分析，采用"dlnm"程序包建立DLNM，估计不同日均气温与适宜温度相比的相对危险度（relative risk，*RR*）[14]。本研究采用双侧检验，检验水准为α=0.05。

2 结果

2.1 基本情况

2013—2017年北京市空气污染物及气象因素的基本情况见表1。污染物$PM_{2.5}$、SO_2、NO_2日均浓度和O_3最大8 h浓度的中位数分别为62.72、9.18、45.04、89.00 μg·m^{-3}。日均气温中位数为13.90℃，日均气压中位数为996.57 hPa，日均相对湿度中位数为56.56%。

表1 2013—2017年北京市空气污染物及气象因素的分布

变量	*Min*	P_{10}	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{90}	*Max*
$PM_{2.5}$/μg·m^{-3}	5.66	19.00	32.56	62.72	107.55	162.99	485.38
SO_2/μg·m^{-3}	2.03	3.16	4.76	9.18	20.04	39.27	299.90
NO_2/μg·m^{-3}	10.12	27.43	34.64	45.04	60.16	80.23	146.00
O_3/μg·m^{-3}	2.00	26.00	55.00	89.00	150.00	209.00	358.64
日均气温/℃	-16.67	-3.23	1.35	13.90	22.57	25.98	31.54
日均气压/hPa	973.40	983.20	988.58	996.57	1004.55	1004.55	1025.37
日均相对湿度/%	11.45	30.05	41.32	56.56	71.81	80.60	95.58

采用Spearman相关分析空气污染物及气象因素各个变量之间的相关性结果见表2。$PM_{2.5}$与PM_{10}、SO_2、NO_2和相对湿度，PM_{10}与SO_2、NO_2，SO_2与NO_2，O_3与日均气温，日均气温与相对湿度呈正相关关系；日均气温，NO_2与日均气温呈负相关关系。

2013—2017年北京市缺血性脑卒中入院人数共380 127人，其中男性233 252（61.36%）人，女性146 865（38.64%），男/女比值约为1.59。缺血性脑卒中日入院人数时间序列图见图1，每日入院人数中位数（P_{25}，P_{75}）为209（138~261）。缺血性脑卒中入院年龄均值为（69.01±12.55）岁，其中年龄<65岁的共142 547人（37.50%），年龄≥65岁的共237 580（62.50%）人。

表2 大气污染物及气象因素的Spearman相关系数

变量	$PM_{2.5}$	PM_{10}	SO_2	NO_2	O_3	日均气温	相对湿度
$PM_{2.5}$	1.00	—	—	—	—	—	—
PM_{10}	0.88**	1.00	—	—	—	—	—
SO_2	0.58**	0.58**	1.00	—	—	—	—
NO_2	0.73**	0.73**	0.69**	1.00	—	—	—
O_3	-0.07**	0.01	-0.25**	-0.27**	1.00	—	—
日均气温	-0.10**	-0.05*	-0.51**	-0.31**	0.80**	1.00	—
相对湿度	0.38**	0.20**	-0.24**	0.14**	0.06*	0.33**	1.00

[注] *：P<0.05；**：P<0.01。

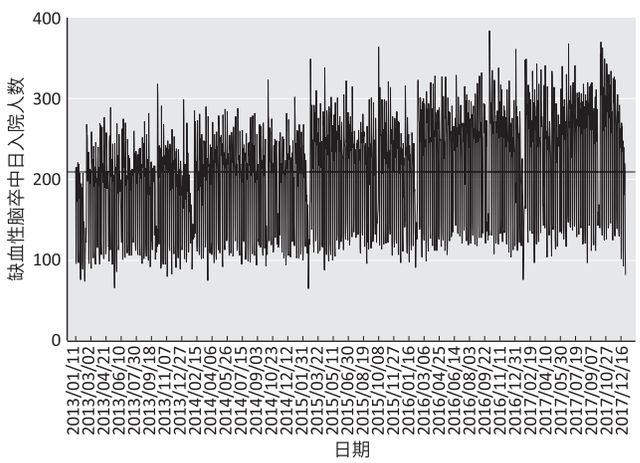


图1 2013—2017年北京市缺血性脑卒中日入院人数时间序列图

2.2 气温对缺血性脑卒中入院的影响

由图2可知，气温与缺血性脑卒中日入院人数呈非线性关系。与适宜温度（10℃）相比，低温增加缺血性脑卒中入院风险，并存在数天滞后效应，当日均气温为-16℃，滞后4 d时，*RR*值最大，此时*RR*为1.04（95% *CI*：1.00~1.08）。尚未发现高温对缺血性脑卒中入院的影响。

累积效应分析显示，与适宜温度（10℃）相比，低温（-3℃）存在累积滞后效应，累积滞后21 d时，*RR*值最大，为1.18（95% *CI*：1.05~1.32）。较低温（1℃）与适宜温度（10℃）相比，在累积滞后14 d时，缺血性脑卒中入院人数的*RR*为1.08（95% *CI*：1.02~1.15）；在

累积滞后21 d时，缺血性脑卒中入院人数的*RR*为1.14（95%*CI*：1.06~1.24）。尚未发现高温对缺血性脑卒中入院人数的累积滞后效应（表3）。

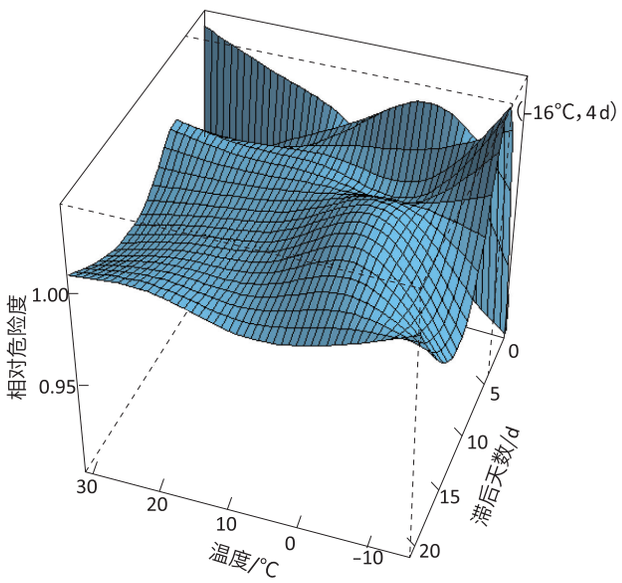


图2 气温在不同滞后时间下对缺血性脑卒中入院影响的三维关联图

表3 不同滞后天数下气温对人群缺血性脑卒中入院人数的累积效应

累积滞后天数/d	低温（-3℃）		较低温（1℃）		较高温（22℃）		高温（26℃）	
	RR	95%*CI*	*RR*	95%*CI*	*RR*	95%*CI*	*RR*	95%*CI*
0	0.94	0.90~1.00	0.96	0.93~1.00	1.02	0.97~1.07	1.02	0.96~1.09
4	0.96	0.91~1.02	0.99	0.95~1.04	0.96	0.91~1.03	0.96	0.89~1.03
7	0.99	0.93~1.06	1.01	0.96~1.06	0.95	0.89~1.03	0.94	0.87~1.03
14	1.08	0.99~1.18	**1.08**	**1.02~1.15**	0.93	0.85~1.02	0.91	0.81~1.01
21	**1.18**	**1.05~1.32**	**1.14**	**1.06~1.24**	0.93	0.83~1.04	0.90	0.78~1.03

[注] 低温（-3℃）为日均气温的P_{10}，较低温（1℃）为日均气温的P_{25}，较高温（22℃）为日均气温的P_{75}，高温（26℃）为日均气温的P_{90}。

低温（-3℃）、较低温（1℃）、较高温（22℃）与高温（26℃）下对缺血性脑卒中入院人数的滞后效应见图3。由图可知，低温对缺血性脑卒中入院人数的效应在第10天开始出现，约第13天达最高值后开始下降；较低温对缺血性脑卒中入院人数的效应在第9天开始出现，约第14天达最高值后开始下降。

2.3 气温对不同性别人群缺血性脑卒中入院的影响

性别分层分析结果表明，低温与较低温对男性与女性缺血性脑卒中入院人数均有影响，男性人群的效应值较高于女性。与适宜温度（10℃）相比，累积滞后21 d时，男性人群中低温（-3℃）对缺血性脑卒中入院人数的*RR*最大，为1.20（95%*CI*：1.05~1.36）。不同性别人群中均未发现高温对缺血性脑卒中入院人数的影响（表4）。

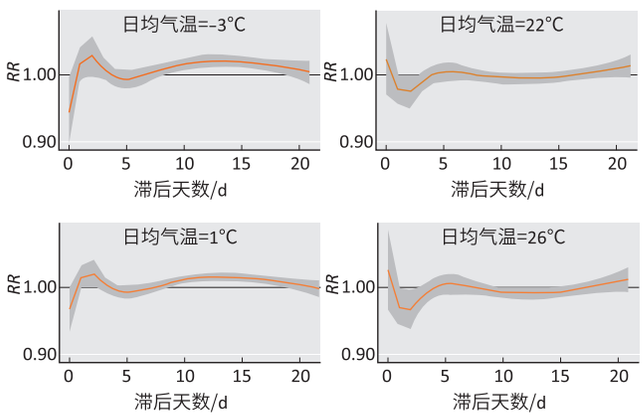


图3 不同气温对缺血性脑卒中入院影响的累积滞后效应图

表4 各滞后天数下气温对不同性别人群缺血性脑卒中入院人数的累积效应

累积滞后天数/d	低温（-3℃）		较低温（1℃）		较高温（22℃）		高温（26℃）	
	RR	95%*CI*	*RR*	95%*CI*	*RR*	95%*CI*	*RR*	95%*CI*
男性								
0	0.95	0.90~0.99	0.97	0.93~1.01	1.01	0.95~1.07	1.01	0.95~1.09
4	0.98	0.92~1.05	1.00	0.95~1.05	0.97	0.90~1.04	0.97	0.89~1.05
7	1.00	0.93~1.08	1.02	0.96~1.08	0.96	0.89~1.04	0.95	0.86~1.04
14	1.09	0.98~1.20	**1.08**	**1.01~1.16**	0.95	0.86~1.05	0.92	0.81~1.04
21	**1.20**	**1.05~1.36**	**1.15**	**1.05~1.26**	0.96	0.84~1.09	0.92	0.78~1.07
女性								
0	0.93	0.87~0.99	0.96	0.91~1.00	1.04	0.97~1.10	1.04	0.96~1.12
4	0.94	0.88~1.02	0.98	0.92~1.03	0.96	0.88~1.04	0.94	0.86~1.04
7	0.98	0.90~1.06	1.00	0.94~1.07	0.95	0.86~1.03	0.93	0.84~1.04
14	1.07	0.96~1.19	**1.08**	**1.00~1.17**	0.90	0.80~1.01	0.88	0.77~1.01
21	**1.15**	**1.00~1.33**	**1.14**	**1.03~1.26**	0.89	0.78~1.03	0.87	0.73~1.04

[注] 低温（-3℃）为日均气温的P_{10}，较低温（1℃）为日均气温的P_{25}，较高温（22℃）为日均气温的P_{75}，高温（26℃）为日均气温的P_{90}。

2.4 气温对不同年龄层人群缺血性脑卒中入院人数的影响

年龄分层分析结果表明，低温与较低温对<65岁人群与≥65岁人群的缺血性脑卒中入院人数均有影响，年龄<65岁人群效应值较高于年龄≥65岁人群。与适宜温度（10℃）相比，累积滞后21 d时，年龄<65岁人群中低温（-3℃）对缺血性脑卒中入院人数的*RR*最大，为1.29（95%*CI*：1.12~1.50）。不同年龄层人群中均未发现高温对缺血性脑卒中入院人数的影响（表5）。

表5 各滞后天数下气温对不同年龄人群缺血性脑卒中入院人数的累积效应

累积滞后天数/d	低温（-3℃）		较低温（1℃）		较高温（22℃）		高温（26℃）	
	RR	95%*CI*	*RR*	95%*CI*	*RR*	95%*CI*	*RR*	95%*CI*
年龄≥65岁								
0	0.93	0.88~0.99	0.96	0.92~1.00	1.01	0.96~1.07	1.01	0.95~1.08
4	0.94	0.88~1.00	0.97	0.92~1.02	0.95	0.88~1.02	0.95	0.87~1.03
7	0.97	0.90~1.04	0.99	0.94~1.05	0.94	0.87~1.02	0.93	0.84~1.02
14	1.03	0.94~1.14	1.04	0.97~1.12	0.92	0.83~1.02	0.89	0.78~1.00
21	1.12	0.98~1.27	**1.09**	**1.00~1.20**	0.94	0.84~1.07	0.91	0.78~1.06
年龄<65岁								
0	0.96	0.90~1.03	0.98	0.93~1.02	1.03	0.96~1.10	1.04	0.96~1.13
4	1.01	0.94~1.09	1.02	0.97~1.08	0.99	0.92~1.08	0.98	0.89~1.08
7	1.03	0.95~1.13	1.04	0.97~1.11	0.98	0.90~1.08	0.97	0.87~1.08
14	**1.16**	**1.04~1.30**	**1.15**	**1.06~1.25**	0.95	0.85~1.07	0.94	0.82~1.08
21	**1.29**	**1.12~1.50**	**1.23**	**1.11~1.37**	0.92	0.79~1.06	0.88	0.74~1.05

[注] 低温（-3℃）为日均气温的P_{10}，较低温（1℃）为日均气温的P_{25}，较高温（22℃）为日均气温的P_{75}，高温（26℃）为日均气温的P_{90}。

3 讨论

本研究采用DLNM模型探讨了北京市日平均气温对缺血性脑卒中入院人数的影响，结果表明，北京市日均气温与居民缺血性脑卒中入院人数之间呈非线性关系，低温影响存在滞后效应。日均气温为-3℃，累积滞后21 d时，*RR*值最大，为1.18（95%*CI*：1.05~1.32）；并且相同滞后天数下，温度越低，入院风险效应值越高，这与大部分国内外气温与脑血管疾病关系的研究结论一致[15-18]。广州一项针对脑卒中入院患者的研究表明，气温与脑卒中入院人数近似呈“J”形关系，低温引起的脑卒中入院百分比改变为9.06%（95%*CI*：1.84~15.00）[15]。Guo等[16]发现，累积滞后18 d时，天津低温阈值以下日均气温每降低1℃，脑血管疾病死亡增加4.05%（95%*CI*：1.14%~7.06%）。中国北方城市的研究结果也发现缺血性脑血管病与温度呈正相关（*RR*=1.002，95%*CI*：1.001~1.004）[17]。本研究未发现高温对缺血性脑卒中的影响。meta分析也没有发现高温对脑卒中发病率的影响，百分比改变为0.00%（95%*CI*：-0.7%~0.7%）[18]。但是也有文献表明高温是脑血管疾病的危险因素，滞后0~2 d时，高温阈值以上日均气温每升高1℃，脑血管疾病死亡发生率增加2.80%（95%*CI*：0.95%~4.68%）[16]。因此，对于高温对缺血性脑卒中入院人数的影响尚不能得出一致结论，仍需更多研究深入探讨。

本研究进一步按性别进行分层分析，结果表明，低温增加男性与女性的缺血性脑卒中入院风险，但低温对男性的敏感性与累积效应略高于女性，与国内外研究结果一致[19]。按照年龄进行分层分析的结果表明，小于65岁人群对低温的敏感性及累积滞后效应略高于65岁及以上人群。分层分析与既往研究结果尚不完全一致。Yang等[19]针对中国16个城市的研究发现，高温和低温在男性和老年人中对脑卒中死亡的效应更高。一项meta分析结果显示，老年人群对气温变化更为敏感；在高温天气中，男性更易患脑卒中，而寒冷的天气对女性影响更大[18]。年龄分层结果的不一致可能与我国脑卒中呈现逐渐年轻化的趋势相关，40岁及以上脑卒中患者首次发病的平均年龄为60.9~63.4岁[20]。本研究小于65岁人群中处于首次发病平均年龄的占比较大，处于50~65岁年龄段的占81.3%，且大于65岁年龄人群中复发人数较多，其缺血性脑卒中入院人数可能会更多受到气象因素以外的原因影响。此外，分层分析结果的不一致性还可能与不同地区人群在不同亚组中对低温与高温的敏感性存在差异相关。因此，需对更多不同地区的数据展开进一步的研究。

本研究采用北京市所有二级以上医院缺血性脑卒中入院数据，样本量大并且具有一定代表性。研究进行了年龄、性别分层分析，有助于针对敏感人群开展特定的干预措施。本研究也存在一定局限性，缺血性脑卒中入院人数除了受到所研究因素的影响，还可能受到其他混杂因素的影响，比如研究未纳入的其他气象因素、大气污染物以及经济因素等。缺血性脑卒中发病通常在入院之前，因此可能会导致评估暴露对结局的影响不准确。此外，由于居民活动范围等原因，目前暴露的测量尚不能反映个体暴露的实际情况。

综上所述，低温会增加北京市居民缺血性脑卒中入院风险，且低温则存在数天滞后效应。本研究结果提示应注重低温对居民健康的影响，在低温天气中加强对缺血性脑卒中的防范。

参考文献

[1] 张凯，张运山，张敬. 气象因素与脑卒中发病关系的研究进展[J]. 海南医学，2015，26（16）：2420-2422.

[2] CHENG J，XU Z，BAMBRICK H，et al. Impacts of exposure to ambient temperature on burden of disease：a systematic review of epidemiological evidence[J]. Int J Biometeorol，2019，63（8）：1099-1115.

[3] 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.

[4] WANG W, JIANG B, SUN H, et al. Prevalence, incidence, and mortality of stroke in China [J]. Circulation, 2017, 135 (8): 759-771.

[5] LIM YH, KIM H, HONG YC. Variation in mortality of ischemic and hemorrhagic strokes in relation to high temperature [J]. Int J Biometeorol, 2013, 57 (1): 145-153.

[6] KHAN R, KONISHI S, NG CFS, et al. Association between short-term exposure to fine particulate matter and daily emergency room visits at a cardiovascular hospital in Dhaka, Bangladesh [J]. Sci Total Environ, 2019, 646: 1030-1036.

[7] ÇEVIK Y, DOĞAN NÖ, DAŞ M, et al. The association between weather conditions and stroke admissions in Turkey [J]. Int J Biometeorol, 2015, 59 (7): 899-905.

[8] COWPERTHWAITE MC, BURNETT MG. An analysis of admissions from 155 United States hospitals to determine the influence of weather on stroke incidence [J]. J Clin Neurosci, 2011, 18 (5): 618-623.

[9] 杨军, 欧春泉, 丁研, 等. 分布滞后非线性模型 [J]. 中国卫生统计, 2012, 29 (5): 772-773, 777.

[10] 许意清, 饶俊, 蒋湘禺, 等. 基于分布滞后非线性模型的湘潭市日均气温对居民死亡风险的影响 [J]. 环境与健康杂志, 2019, 36 (1): 9-13.

[11] LUO Y, LI H, HUANG F, et al. The cold effect of ambient temperature on ischemic and hemorrhagic stroke hospital admissions: a large database study in Beijing, China between years 2013 and 2014-*Utilizing a distributed lag non-linear analysis* [J]. Environ Pollut, 2018, 232: 90-96.

[12] BHASKARAN K, GASPARRINI A, HAJAT S, et al. Time series regression studies in environmental epidemiology [J]. Int J Epidemiol, 2013, 42 (4): 1187-1195.

[13] 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.

[14] GASPARRINI A. Distributed lag linear and non-linear models in R: the package dlnm [J]. J Stat Softw, 2011, 43 (8): 1-20.

[15] GUO P, ZHENG M, FENG W, et al. Effects of ambient temperature on stroke hospital admissions: results from a time-series analysis of 104, 432 strokes in Guangzhou, China [J]. Sci Total Environ, 2017, 580: 307-315.

[16] 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.

[17] 袁伟壮, 梁延锐, 袁瑞莹, 等. 中国北方城市气象和污染因素对不同脑卒中亚型的影响 [J]. 广东医学, 2017, 38 (16): 2531-2536.

[18] LIAN H, RUAN Y, LIANG R, 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.

[19] YANG J, YIN P, ZHOU M, 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.

[20] 王陇德, 刘建民, 杨弋, 等. 我国脑卒中防治仍面临巨大挑战 ——《中国脑卒中防治报告 2018》概要 [J]. 中国循环杂志, 2019, 34 (2): 105-119.

(**英文编辑**: 汪源; **责任编辑**: 汪源)