· 环境与职业卫生 ·

2023—2025 年河北省衡水地区暖季气温对脑卒中入院风险的滞后性分析

刘思梦[1],朱浩[2],路凯祺[2],曹宇瑶[2],秦瑶[2],余红梅[2,3,4]
1. 山西医科大学医学科学院,山西 晋中 030600;2. 山西医科大学公共卫生学院;
3. 重大疾病风险评估山西省重点实验室;4. 煤炭环境致病与防治教育部重点实验室

摘要:目的　探讨河北省衡水地区气温对脑卒中疾病入院人数的影响。**方法**　收集该地区脑卒中疾病入院人数、气象数据,采用分布滞后非线性模型(DLNM)分析气温对不同性别、年龄、亚组人群入院的影响。**结果**　暖季(5—10 月)气温对不同人群脑卒中入院人数影响显著。在累积滞后 15 天时,暖季相对低温 20℃对脑卒中入院人数相较 27.5 ℃下入院人数的累积相对危险度(*RR*)为 1.291(95% *CI*:1.030 ~ 1.619)、相对低温 21 ℃为 1.216(95% *CI*:1.016 ~ 1.456)、相对低温 22℃为 1.154(95% *CI*:1.003 ~ 1.327)。10℃时女性入院风险 *RR* = 6.422(95% *CI*:1.910 ~ 21.588);≥65 岁人群 10 ℃时 *RR* = 4.286(95% *CI*:1.401 ~ 13.112)、24 ℃时 *RR* = 1.117(95% *CI*:1.016 ~ 1.228)。暖季 20 ~ 26 ℃相对低温区间可显著提升脑缺血亚型入院风险(*RR* = 1.09 ~ 2.31),20℃时风险最高,*RR* = 2.315(95% *CI*:1.338 ~ 4.003)。**结论**　暖季气温对脑卒中入院人数有影响,其中暖季相对低温(20 ~ 22 ℃)是脑卒中患者入院的潜在风险因素,且气温对女性、≥65 岁以及脑缺血人群存在针对性影响。

关键词:脑卒中;气象因素;环境污染;分布滞后非线性模型
中图分类号:R122　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1003 - 8507(2026)10 - 1773 - 09
DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202601106

Lag effect analysis of the impact of warm season temperature on stroke hospitalization risk, Hengshui City, Hebei, 2023 - 2025

LIU Si - meng*, ZHU Hao, LU Kai - qi, CAO Yu - yao, QIN Yao, YU Hong - mei
*Academy of Medical Sciences, Shanxi Medical University, Jinzhong, Shanxi 030600, China

Abstract: Objective　To explore the impact of temperature on the number of hospital admissions for stroke in Hengshui City, Hebei Province, and to provide scientific support for relevant prevention and control efforts. **Methods**　We collected data on the number of hospital admissions for stroke in a region of Hebei Province, daily meteorological data, and air quality data. A distributed lag non - linear model (DLNM) was employed to analyze the effects of temperature on hospital admissions among different genders, age groups, and subgroups. **Results**　During the warm season (May to October), temperature had a significant impact on the number of hospital admissions for stroke across various populations. With a cumulative lag of 15 days, the cumulative relative risk (*RR*) of hospital admission for stroke at a relatively low temperature of 20 ℃ in the warm season was 1.291 (95% *CI*: 1.030 - 1.619), at 21 ℃ it was 1.216 (95% *CI*: 1.016 - 1.456), and at 22 ℃ it was 1.154 (95% *CI*: 1.003 - 1.327). For females, the *RR* was 6.422 (95% *CI*: 1.910 - 21.588) at 10 ℃. For the population aged ≥ 65 years, the RR was 4.286 (95% *CI*: 1.401 - 13.112) at 10 ℃ and 1.117 (95% *CI*: 1.016 - 1.228) at 24 ℃. The relatively low temperature range of 20 ℃ - 26 ℃ in warm seasons could significantly increase the hospitalization risk of cerebral ischemia subtype (*RR*: 1.09 - 2.31). The risk peaked at 20℃, when *RR was* 2.315 (95% *CI*: 1.338 - 4.003). **Conclusion**　Temperature during the warm season influences the number of hospital admissions for stroke, with relatively low temperatures (20 - 22 ℃) in the warm season identified as potential risk factors for stroke patient admissions. Moreover, temperature has specific impacts on females, individuals aged 65 and above, and those with cerebral ischemia.

Keywords: Stroke; Meteorological factors; Environmental pollution; Distributed lag non - linear model

脑卒中作为我国发病率、致残率与死亡率均较高的脑血管疾病,其发病与环境因素的关联已成为公共卫生领域的研究热点[1]。气温作为关键气象要素,可通过影响人体血管收缩等生理指标[2],间接作用于脑

基金项目:国家自然科学基金(82574209);山西省 2025 年度研究生教育创新计划研究生实践创新项目立项(2025SJ257)
作者简介:刘思梦(2002—),女,硕士在读,研究方向:环境因素致病的监测及预防
通信作者:余红梅,E - mail:yu@sxmu.edu.cn

卒中的发病风险,且这种影响常存在一定的滞后效应与季节差异。既往研究多聚焦于极端天气如高温、寒潮对脑卒中的诱发作用[3-4],而暖季气温变化对不同人群、不同脑卒中亚型的差异化影响尚未得到充分阐明。此外,气温差异等因素也可能导致其与脑卒中的关联呈现季节特异性[5]。衡水地区处于河北省东南部,属暖温带半湿润大陆性季风气候,暖季气温波动特征显著。目前国内外虽已广泛探究气温与脑卒中的关联,但针对该区域暖季气温对脑卒中入院风险的专项研究尚不多见。基于此,本研究收集研究 2023—2025 年河北省衡水地区的气象数据与脑卒中每日入院数据,采用分布滞后非线性模型(Distributed Lag Nonlinear Model, DLNM)[6],系统分析暖季气温对脑卒中总入院数、不同人群及不同亚型入院数的影响,为脑卒中的精准防控与预警提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 *数据来源* 本研究数据包含脑卒中患者入院数据、气象数据及空气污染物数据三大类,具体来源如下。

1.1.1 脑卒中入院数据 数据来源于河北省衡水地区 2023 年—2025 年的脑卒中临床发病记录,涵盖研究时段内该院确诊的脑卒中患者入院时间、基本临床分型等核心信息,数据具备完整的诊疗记录支撑,确保了数据的真实性与可靠性。

1.1.2 气象数据 气温、风力等气象要素数据,均通过历史天气查询网站(https://lishi.tianqi.com/)获取,数据覆盖 2023—2025 年衡水地区暖季(5—10 月)逐日气象监测信息。

1.1.3 空气污染物浓度数据 $PM_{2.5}$(μg/m^3)、臭氧(μg/m^3)浓度数据取自 TAP 大气成分追踪数据平台(http://tapdata.org.cn/)。该平台依托专业大气监测模型与实测数据融合技术,可提供高可靠性的空气污染物监测数据。

1.2 *建立模型* 分布滞后非线性模型(DLNM)可在同一个模型框架内同步量化气象暴露因素的滞后效应、滞后天数的累积效应,以及暴露因素与结局指标间的暴露—反应非线性关联特征。本研究采用该模型拟合气温暴露与脑卒中入院人数的关联关系,其核心模型公式如下:

$$ln[E(f(x))] = \alpha + cb(temperature, lag) + \sum ns(Xi, 3) + ns(time, df) + dow + holiday$$

该模型基于泊松回归构建,采用对数链接函数(log link function)将线性预测值经指数变换映射为脑卒中日入院人数的期望计数。其中 $f(x)$ 为不同人群或不同脑卒中分型的日入院人数,α 为模型截距项;*cb*(*temperature*, *lag*)为拟合气温与滞后天数关系的交叉基矩阵,其中 *temperature* 为日最高气温,*lag* 为气温对脑卒中入院人数影响的最大滞后天数。经对泊松回归模型进行过离散性检验,结果显示数据无明显过离散(φ 范围为 0.8 ~ 1.2),因此选用赤池信息准则(Akaike Information Criterion, *AIC*)作为模型拟合优度评价及滞后天数、时间项自由度等参数的筛选指标。参考相关研究,气温对脑卒中影响分析的最大滞后天数常取 14 ~ 30 天,自由度多采用 3、4、5[7-9],本研究经过 AIC 对比后确定,将最大滞后天数设定为 15 天;$\sum ns(Xi, 3)$ 为纳入模型的混杂因素自然三次样条函数项,其中 *Xi* 为混杂因素 $PM_{2.5}$、O_3 以及风力,为提升模型拟合效果,各混杂因素对应的自然三次样条函数自由度 *df* 均设定为 3;本研究采用自然样条函数 *ns*(*time*, *df*)控制时间序列数据的长期趋势与季节性波动,结合暖季有效日级数据,参考同类时间序列研究规范,对比 df = 3、4、5 对应的模型 AIC 值,依据 AIC 最小化原则确定时间项最优自由度为 3;*dow* 为星期变量,用于控制脑卒中入院人数可能存在的星期效应,以减少工作日、休息日对入院人数的影响;holiday 为节假日效应(holiday effects)。

本研究依据研究目的根据性别、年龄、临床分型进行分层分析,基于 15 d 最大滞后天数,拟合各组 DLNM,探究暖季气温对不同人群、不同脑卒中亚型入院人数风险影响的差异性特征。

1.3 *统计学方法* 本研究模型依托 R 4.5.0 软件实现,采用基于 Poisson 分布的 DLNM 模型,在控制空气污染物、时间趋势、星期几效应的基础上,选取合适的基函数,以气温中位数为参照,探索气温与脑卒中入院人数之间的暴露反应与滞后反应关系。将空气污染物数据作为混杂变量纳入模型,通过计算特定滞后天数下气温对人群发病影响的累积相对危险度(*RR*),定量评估气温与脑卒中入院人数的相关风险。本研究纳入全年不同季节气温,分别计算固定滞后天数下不同气温段的入院风险。本研究的统计显著性标准为 *RR* 的 95% 置信区间(*CI*)不包含 1($P < 0.05$)。

1.4 *敏感性分析* 在保持模型自由度、混杂因素等参数一致的前提下,通过调整核心参数进行稳健性验证:一是基于脑卒中病理生理进程与环境暴露的持续影响周期,分别将最大滞后天数设定为 15 天、30 天构建模型;二是选取气温中位数 27.5℃、WHO 推荐人体适宜气温 24℃ 与寒季气温作为参照基准,对比不同参数组合下气温与脑卒中入院风险的关联趋势、统计显著的气温区间及相对风险值范围。同时,本研究将 *ns*(*time*, *df*)的自由度调整为 4、5 重新拟合全模型,对

比不同自由度下的模型拟合效果及核心效应指标,验证研究结论稳健。

2　结　果

2.1　基本情况　2023 年 1 月 1 日至 2025 年 7 月 31 日河北省某地区脑卒中患者共入院 4 485 例,其中暖季(每年 5—10 月)入院 1 954 例;寒季(每年 11 月至次年 4 月)入院 2 241 例。两季日入院平均人数均为 4 例。其中男性和女性的日平均入院数均为 2 例,≥65 岁和 <65 岁人群分别为 2 例和 1 例;按疾病类型统计,脑梗死、脑出血和脑缺血的日平均入院数分别为 3 例、1 例和 1 例。气象因素方面,研究期间暖季气温中位数为 27.5℃,$PM_{2.5}$、O_3 平均浓度分别为 27.3 μg/m^3、144.5 μg/m^3,详见表 1。

表 1　2023—2025 年某地区寒暖季脑卒中日入院人数及气象因素基本情况

Table 1　Basic characteristics of daily stroke hospitalization volume and meteorological factors in Hengshui, 2023 – 2025

变量	暖季				寒季			
	均值 ± 标准差 ($x \pm s$)	最小值 (*Min*)	中位数 (*M*)	最大值 (*Max*)	均值 ± 标准差 ($x \pm s$)	最小值 (*Min*)	中位数 (*M*)	最大值 (*Max*)
气温(℃)	30.3 ± 5.6	10.0	27.5	42.0	1.9 ± 7.1	−17.0	0.0	18.0
$PM_{2.5}$(μg/m^3)	27.3 ± 19.9	1.0	24.3	148.1	51.9 ± 34.5	6.3	43.8	238.3
O_3(μg/m^3)	144.5 ± 36.2	57.4	141.9	240.9	84.9 ± 31.0	19.6	78.9	181.9
风力(级)	2.5 ± 1.1	1.0	2.0	6.0	2.6 ± 1.2	0.0	2.0	7.0
入院人数(人)								
总人数	4.3 ± 2.1	1	4	13	4.7 ± 2.1	1	5	13
男性	2.2 ± 1.5	0	2	8	2.5 ± 1.5	0	2	8
女性	2.1 ± 1.4	0	2	9	2.2 ± 1.4	0	2	7
≥65 岁	2.7 ± 1.7	0	2	10	2.9 ± 1.7	0	3	10
<65 岁	1.6 ± 1.2	0	1	6	1.7 ± 1.2	0	2	6
脑梗死	3.5 ± 1.9	0	3	11	3.8 ± 1.9	0	4	11
脑出血	0.6 ± 0.7	0	0	5	0.6 ± 0.8	0	0	4
脑缺血	0.5 ± 0.8	0	0	4	0.6 ± 0.9	0	0	5

2.2　脑卒中入院人数与各因素的相关性　2023—2025 年间各人群及不同脑卒中分型患者入院人数波动趋势见图 1。季节关联性分析显示,暖季气象及污染物因素对脑卒中入院的影响程度较寒季更显著。因此本研究采用 Spearman 相关分析探讨气温、$PM_{2.5}$、风力、臭氧(O_3)等因素与脑卒中患者入院人数的相关性,相关性检验水准设定为 $\alpha = 0.05$。结果显示,不同暴露因素与脑卒中各入院结局的关联性存在差异,脑卒中入院人数与各因素相关性分析结果详见表 2。

2.3　滞后效应

2.3.1　暖季气温对脑卒中患者总入院人数的影响　以 3 年间暖季日最高气温中位数 27.5 ℃为参考值,暖季气温对脑卒中总入院人数的 15 天累积滞后效应呈非线性关联(见图 2)。结果显示,当暖季日最高气温处于 20 ~ 22 ℃区间时,脑卒中累积入院风险的效应具有统计学意义,各气温对应的相对风险及 95% 置信区间分别为:20 ℃时 *RR* = 1.291(95% *CI*:1.030 ~ 1.619)、21℃ 时 *RR* = 1.216(95% *CI*:1.016 ~ 1.456)、22 ℃ 时 *RR* = 1.154(95% *CI*:1.003 ~ 1.327),该区间内 *RR* 值波动于 1.15 ~ 1.29;当气温低于 20 ℃或高于 22 ℃时,效应无统计学意义。三维滞后效应图(见图 3)进一步显示,暖季气温与滞后天数的交互作用对脑卒中入院风险存在动态影响。

表 2　脑卒中入院人数与气象因素及污染因素的相关性分析

Table 2　Correlation analysis of stroke hospitalization volume with meteorological and pollution factors

变量	Spearman 相关系数	*P* 值	变量	Spearman 相关系数	*P* 值
气温			O_3		
总人数	−0.055	0.091	总人数	−0.040	0.212
男	−0.040	0.224	男	−0.021	0.523
女	−0.031	0.340	女	−0.026	0.432
≥65 岁	−0.042	0.203	≥65 岁	−0.037	0.251
<65 岁	−0.034	0.301	<65 岁	−0.012	0.704
脑梗死	−0.042	0.187	脑梗死	−0.022	0.490
脑出血	−0.065	0.040	脑出血	−0.063	0.051

（续表）

变量	Spearman 相关系数	*P* 值	变量	Spearman 相关系数	*P* 值
脑缺血	-0.007	0.819	脑缺血	-0.005	0.880
$PM_{2.5}$			风力		
总人数	0.069	0.030	总人数	-0.019	0.562
男	0.046	0.164	男	-0.018	0.576
女	0.041	0.202	女	0.009	0.783
≥65 岁	0.026	0.427	≥65 岁	0.010	0.757
<65 岁	0.076	0.020	<65 岁	-0.036	0.270
脑梗死	0.067	0.042	脑梗死	-0.075	0.021
脑出血	-0.034	0.290	脑出血	0.017	0.606
脑缺血	0.037	0.250	脑缺血	0.129	0.010

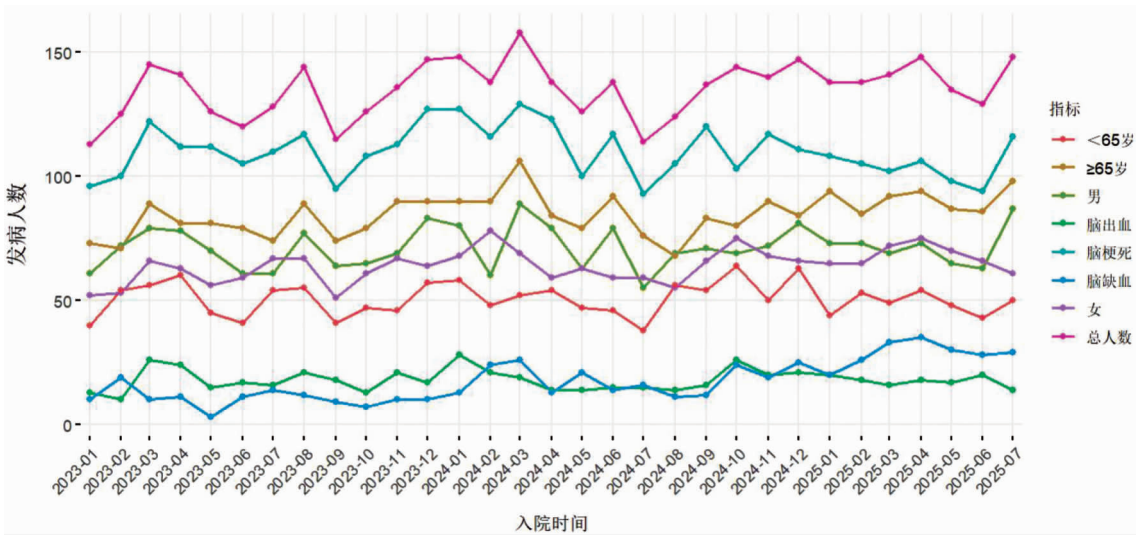


图 1　2023—2025 年某地区脑卒中发病趋势

Fig. 1　Trends in stroke incidence in a region, 2023 - 2025

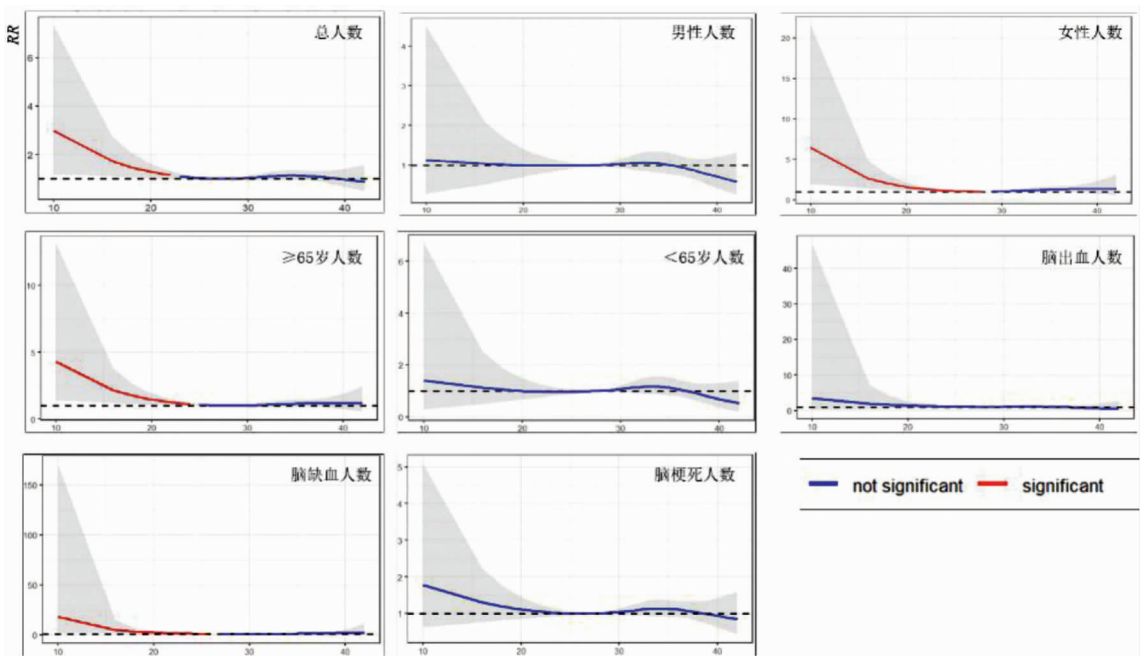


图 2　暖季气温对脑卒中各类人群及分型入院人数的 15 天累积滞后效应（对比 27.5 ℃）

Fig. 2　15 - day cumulative lag effect of warm season temperature on stroke hospitalization volume across different populations and subtypes (reference temperature: 27.5 ℃)

2.3.2　暖季气温对不同年龄性别人群脑卒中入院的影响　以 27.5 ℃为参考值，不同人群脑卒中入院累积滞后效应存在异质性：对女性人群，暖季日最高气温处于 10～37 ℃区间时，累积入院风险效应具有统计学意义，关键气温对应的相对风险及 95% 置信区间分别为 10 ℃时 *RR* = 6.422（95% *CI*：1.910～21.588）、37℃时 *RR* = 1.318（95% *CI*：1.004～1.729），该区间内 *RR* 值波动于 1.14～6.42；对≥65 岁人群，气温处于 10℃时 *RR* = 4.286（95% *CI*：1.401～13.112）、24℃时 *RR* = 1.117（95% *CI*：1.016～1.228），*RR* 值范围为 1.12～4.29。图 3、表 3 进一步显示，女性人群在 10～37 ℃区间内，不同滞后天数下的 *RR* 值均维持在 1 以上；≥65 岁人群在 10～24 ℃区间，入院风险的 *RR* 值同样处于较高水平。

2.3.3　暖季气温对不同脑卒中分型患者入院的影响　以 27.5 ℃为参考值，暖季气温对不同亚型入院的人群具有明显特异性（见图 2）：仅脑缺血亚型在暖季日最高气温处于 20～26 ℃区间时，累积入院风险效应具有统计学意义，关键气温对应的相对风险 *RR* 及 95% *CI* 分别为 20 ℃时 *RR* = 2.315（95% *CI*：1.338～4.003）、26 ℃时 *RR* = 1.094（95% *CI*：1.001～1.195），该区间内 *RR* 值波动于 1.09～2.31；而脑出血、脑梗死亚型未表现出有统计学意义的关联。

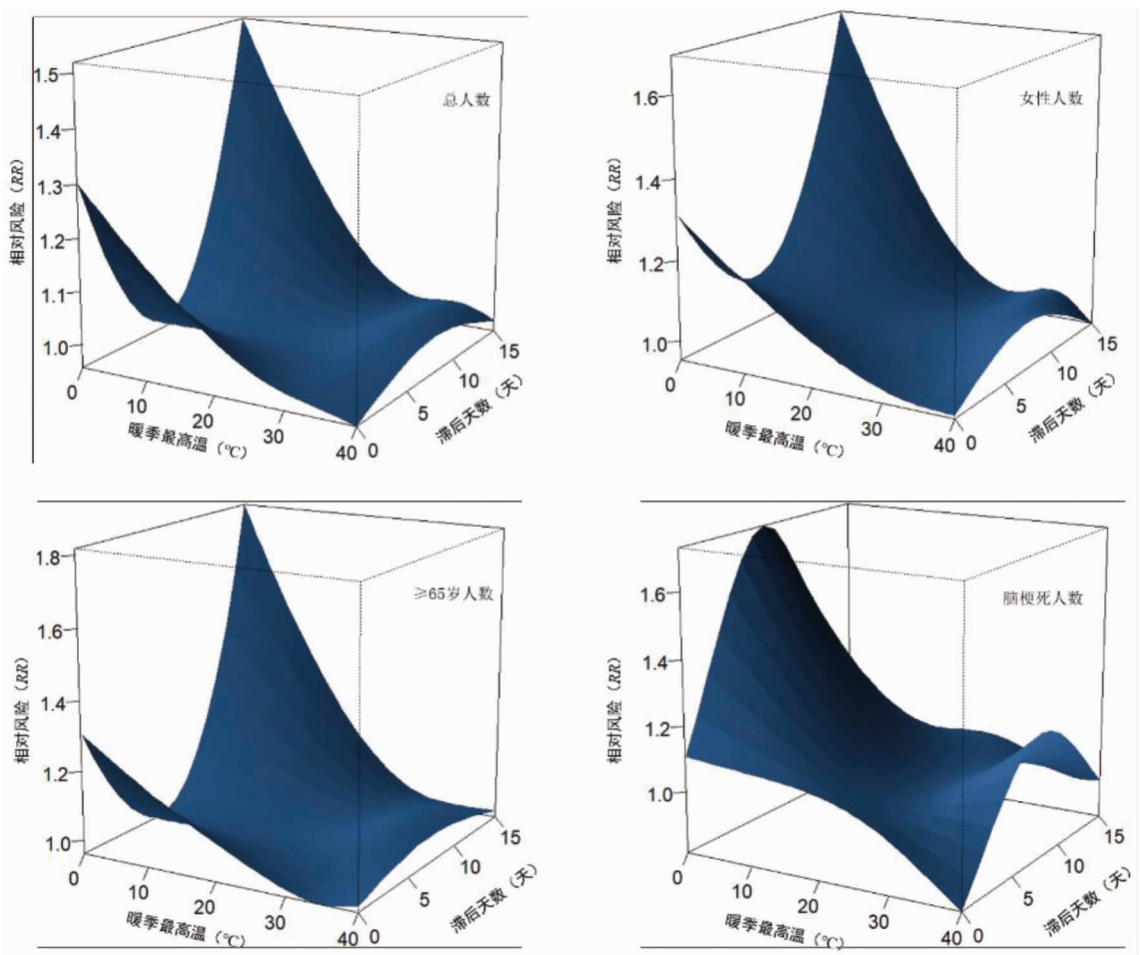


图 3　暖季气温对脑卒中总入院人数、女性入院人数、≥65 岁入院人数以及脑缺血入院人数的影响（滞后天数 0～15 天，对比 27.5℃）

Fig. 3　Effects of warm season temperature on total, female, aged ≥65 years, and ischemic stroke hospitalization volume (lag 0－15 days; reference temperature: 27.5 ℃)

2.3.4　暖季以 24 ℃为参考气温的脑卒中入院风险分析　本研究另外选取 WHO 推荐的人体适宜气温 24 ℃作为参照基准，对应的风险效应曲线形态与 27.5 ℃高度相似（见图 4、5）其各个统计显著的气温区间、相对风险值范围未出现明显偏移。

3　讨　论

本研究基于分布滞后非线性模型，系统探究了衡水地区暖季气温与脑卒中入院风险的关联特征，结果显示暖季气温对脑卒中入院风险存在特异性关联，且

表 3 暖季不同气温对女性、≥65 岁人群及脑缺血亚型脑卒中入院人数的影响

Table 3 Effects of different warm season temperatures on stroke hospitalization volume in females, population aged ≥65 years, and ischemic stroke subtype

气温(℃)	女性 *RR*(95% *CI*)	≥65 岁 *RR*(95% *CI*)	脑缺血 *RR*(95% *CI*)
10.00	6.422(1.910 ~ 21.588)	4.286(1.401 ~ 13.112)	18.517(2.005 ~ 171.042)
16.00	2.627(1.419 ~ 4.866)	2.152(1.218 ~ 3.802)	4.925(1.609 ~ 15.078)
18.00	2.006(1.288 ~ 3.123)	1.746(1.160 ~ 2.627)	3.275(1.471 ~ 7.293)
19.00	1.675(1.204 ~ 2.331)	1.518(1.119 ~ 2.058)	2.482(1.366 ~ 4.509)
20.00	1.602(1.183 ~ 2.169)	1.466(1.109 ~ 1.937)	2.315(1.338 ~ 4.003)
21.00	1.446(1.135 ~ 1.842)	1.352(1.083 ~ 1.689)	1.969(1.270 ~ 3.052)
22.00	1.319(1.092 ~ 1.593)	1.258(1.059 ~ 1.495)	1.697(1.203 ~ 2.393)
23.00	1.217(1.055 ~ 1.404)	1.180(1.036 ~ 1.344)	1.484(1.139 ~ 1.933)
24.00	1.137(1.023 ~ 1.263)	1.117(1.016 ~ 1.228)	1.317(1.081 ~ 1.606)
25.00	1.076(1.000 ~ 1.158)	1.067(1.000 ~ 1.139)	1.190(1.033 ~ 1.371)
25.60	1.048(0.991 ~ 1.108)	1.044(0.994 ~ 1.097)	1.129(1.011 ~ 1.260)
26.00	1.033(0.988 ~ 1.080)	1.031(0.991 ~ 1.073)	1.094(1.001 ~ 1.195)
27.00	1.007(0.991 ~ 1.023)	1.007(0.993 ~ 1.021)	1.025(0.993 ~ 1.058)
28.00	0.997(0.980 ~ 1.015)	0.996(0.981 ~ 1.011)	0.981(0.947 ~ 1.017)
29.00	1.005(0.948 ~ 1.065)	0.997(0.948 ~ 1.049)	0.958(0.851 ~ 1.080)
30.00	1.030(0.925 ~ 1.147)	1.011(0.920 ~ 1.111)	0.957(0.767 ~ 1.195)
31.00	1.069(0.910 ~ 1.255)	1.035(0.898 ~ 1.192)	0.976(0.702 ~ 1.357)
32.00	1.117(0.906 ~ 1.377)	1.064(0.885 ~ 1.281)	1.012(0.659 ~ 1.554)
33.00	1.169(0.915 ~ 1.494)	1.096(0.882 ~ 1.363)	1.064(0.644 ~ 1.759)
34.00	1.219(0.938 ~ 1.585)	1.126(0.892 ~ 1.423)	1.132(0.661 ~ 1.939)
35.00	1.261(0.971 ~ 1.637)	1.150(0.911 ~ 1.452)	1.215(0.711 ~ 2.076)
36.00	1.294(1.001 ~ 1.671)	1.168(0.929 ~ 1.468)	1.314(0.779 ~ 2.217)
37.00	1.318(1.004 ~ 1.729)	1.180(0.928 ~ 1.501)	1.430(0.827 ~ 2.472)
38.00	1.335(0.962 ~ 1.852)	1.187(0.891 ~ 1.580)	1.565(0.818 ~ 2.991)
39.00	1.345(0.881 ~ 2.053)	1.190(0.824 ~ 1.718)	1.719(0.750 ~ 3.939)
40.00	1.351(0.782 ~ 2.336)	1.190(0.741 ~ 1.911)	1.895(0.650 ~ 5.525)
41.00	1.354(0.679 ~ 2.701)	1.188(0.654 ~ 2.157)	2.094(0.544 ~ 8.068)
42.00	1.356(0.583 ~ 3.151)	1.185(0.571 ~ 2.456)	2.316(0.445 ~ 12.048)

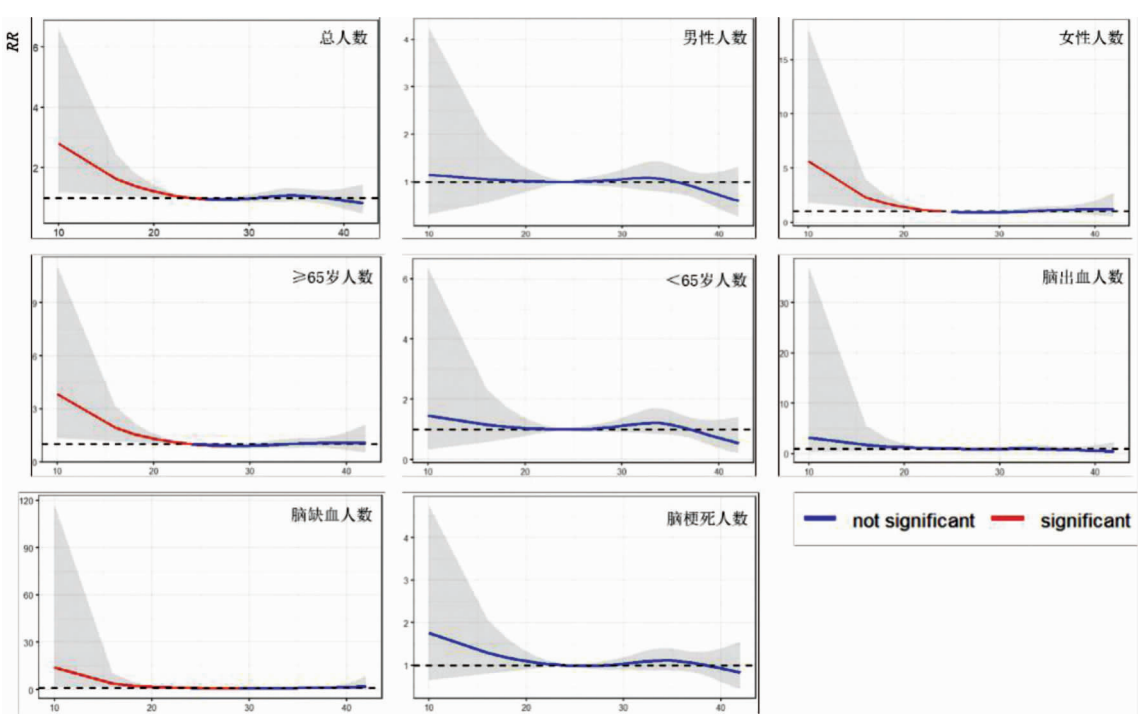


图 4 暖季气温对脑卒中各类人群及分型入院人数的 15 天累积滞后效应(对比 24 ℃)

Fig. 4 15 – day cumulative lag effect of warm season temperature on stroke hospitalization volume across different populations and subtypes (reference temperature: 24 ℃)

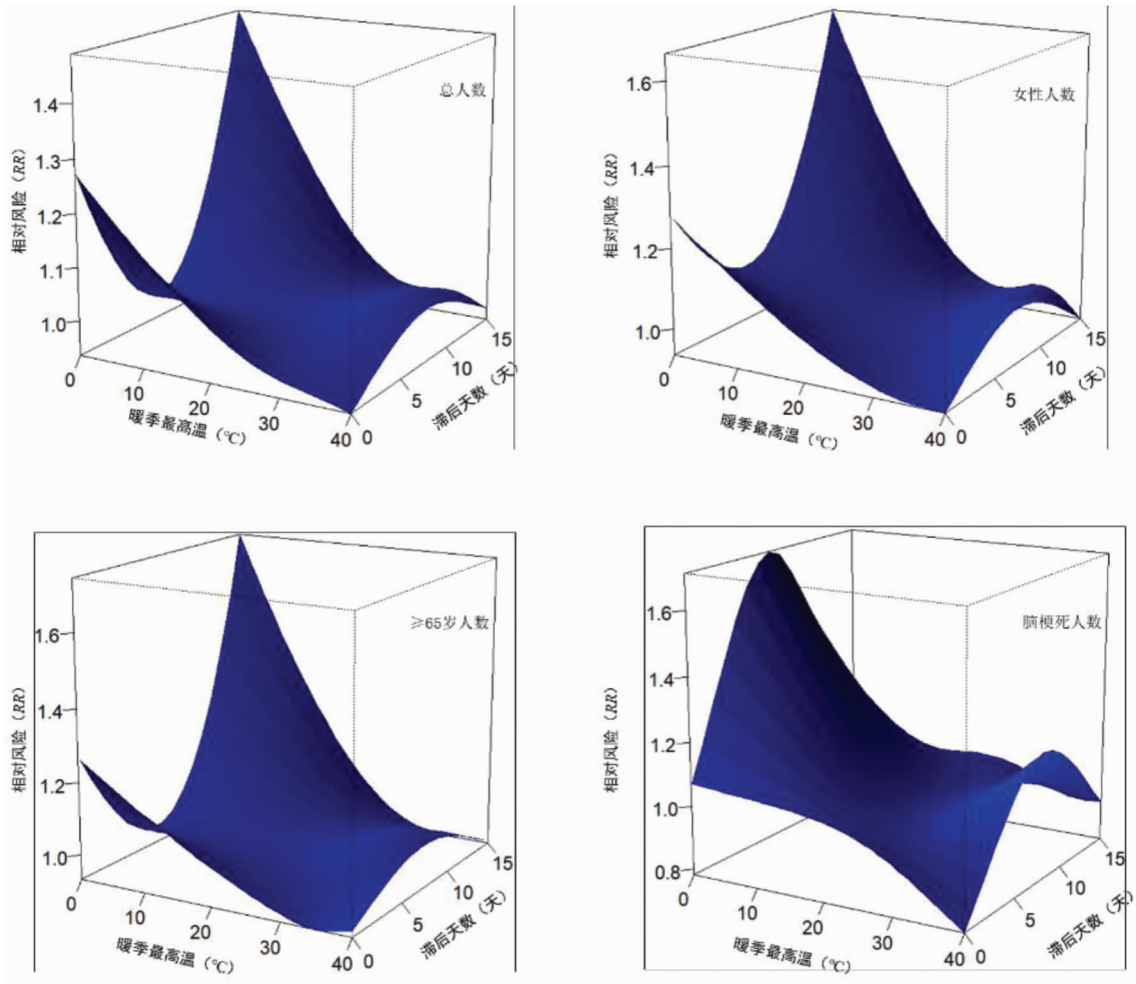


图 5　暖季气温对脑卒中总入院人数、女性入院人数、≥65 岁入院人数以及脑缺血入院人数的影响（滞后天数 0 ~ 15 天，对比 24 ℃）

Fig. 5　Effects of warm season temperature on total, female, aged ≥65 years, and ischemic stroke hospitalization volume (lag 0 – 15 days; reference temperature: 24 ℃)

相关结论经敏感性分析验证具有良好稳定性。

本研究暖季气温对脑卒中入院的影响并非呈现全人群、全亚型的普适性关联，而是表现出明显的人群分层与病理亚型差异，且这一特征在 27.5 ℃与 24 ℃两种参照标准下均保持一致。暖季的相对低温（相较低于参考值的气温）对脑卒中入院风险有更明显的影响[10-11]，从病理亚型来看，仅脑缺血亚型对暖季 20 ~ 26 ℃的气温区间存在显著的风险响应，这一现象可从病理生理机制层面得到合理解释：脑缺血的发生与脑部血流灌注不足直接相关[12]，暖季环境下的相对低温会触发机体外周血管收缩反射[13]，在 15 天的累积滞后效应下，脑部微循环易出现灌注障碍，进而提升脑缺血的发病概率；而脑出血的核心诱因是血压骤升引发的血管破裂[14]；暖季人体基础血压水平普遍偏低，低温带来的升压幅度不足以突破血管耐受阈值；脑梗死的血栓形成风险则因暖季整体温热环境下人体凝血功能的生理性减弱而被抵消，因此这两类亚型未表现出明显的气温关联。

从人群维度分析，女性在 10 ~ 37℃气温区间、≥65 岁人群在 10 ~ 24℃气温区间的脑卒中入院风险存在统计学意义的波动，这一人群差异可能与不同群体的血管基础状态、生理调节能力有关[15]，但具体驱动因素仍需结合个体层面的基础疾病与暴露特征进一步剖析。武汉市的一项研究也说明老年人群对气温变化引发的卒中敏感性更高，且高温对女性脑卒中死亡的影响高于男性[9]。这可能因为男女生活习惯有差异[16]，或社会角色及性格等特质不同。

寒季气温与脑卒中各入院结局均未呈现统计学意义的关联，这一结果可能由于寒季人群长期处于稳定室内环境，室外低温的实际暴露时长有限[17]。另一方面，寒季人群对心脑血管疾病的防控意识提升，有意的防护行为可缓冲环境因素对血管的影响[18]。

相关研究表明，暖季相对低温对脑卒中发病的风

险高达 17.48%[6]。石家庄市一项研究结果表明女性与对暖季气温更为敏感[19],呼伦贝尔一项调查也显示≥65 岁人群患病甚至死亡率更容易受到气温的影响[20]。因此,不同的气候、不同基础特征的人群在健康层面存在明显差别,使得不同地区的居民心脑血管疾病发病水平出现差异,进而导致脑卒中发病风险呈现明显异质性。

现有研究虽已探究暖季气温与脑卒中的关联,但多聚焦于国内外多中心或南方气候区[21],针对华北平原冀中南暖温带区域的专项研究尚属空白,且既往研究多以脑卒中死亡为结局指标[22],本研究立足临床入院风险,贴合基层医疗机构急诊防控需求,可填补上述区域与研究设计的双重缺口。

需要指出的是,本研究存在一定局限性:其一,研究仅基于单一区域的入院数据开展分析,区域特异性可能对结论产生限制,不同的气候、人群健康差异或会影响气温与脑卒中的关联强度;其二,未纳入个体层面的实际暴露数据如个人生活习惯、既往病史等,可能对人群异质性结果的解读造成一定偏倚;其三,未考虑空气污染与气温的交互效应,难以全面揭示环境因素对脑卒中发病的影响[23]。

综上,本研究明确了暖季脑卒中防控的关键温度区间与重点人群,为区域针对性防控策略制定提供了直接的理论支撑。针对暖季初期、末期低温时段脑缺血亚型入院风险升高的特征,建议当地有关部门在此类时段重点强化脑缺血脑卒中的防控工作;同时聚焦女性及≥65 岁老年人群这一易感群体,加强该人群的健康监测与预警干预,指导其做好防护措施,减少气温骤变带来的生理应激与健康冲击。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Qu CR, Chen Y, Liu C, et al. Burden of stroke attributable to nonoptimal temperature in 204 countries and territories: a Population - Based study, 1990 - 2019[J]. Neurology, 2024, 102(9): e209299.

[2] Zhao YF, Zhang XJ, Chen XY, et al. Neuronal injuries in cerebral infarction and ischemic stroke: From mechanisms to treatment (Review)[J]. International Journal of Molecular Medicine, 2022, 49(2): 15.

[3] Liu JW, Varghese BM, Hansen A, et al. Heat exposure and cardiovascular health outcomes: a systematic review and meta - analysis[J]. Lancet Planetary Health, 2022, 6(6): e484 - e495.

[4] He C, Breitner S, Zhang SQ, et al. Nocturnal heat exposure and stroke risk[J]. European Heart Journal, 2024, 45(24): 2158 - 2166.

[5] Kono M, Wu WT, Lee CP, et al. Impact of rapid temperature fluctuations on acute stroke risk: a nationwide case - crossover study from 2001 to 2020[J]. Lancet Reg Health West Pac, 2025, 57: 101546.

[6] Chen RJ, Yin P, Wang LJ, et al. Association between ambient temperature and mortality risk and burden: time series study in 272 main Chinese cities[J]. BMJ (Clinical Research ed.), 2018, 363: k4306.

[7] 陈亦晨,陈华,曲晓滨,等. 上海市浦东新区居民非意外死亡与日均气温相关性的时间序列研究[J]. 现代预防医学,2022,49(9):1554 - 1558, 1599.
Chen YC, Chen H, Qu XB, et al. A time series study on association between temperature and non - accidental mortality in Pudong New Area, Shanghai[J]. Modern Preventive Medicine, 2022, 49(9): 1554 - 1558, 1599. (In Chinese)

[8] 李田,吴文静,王乐乐,等. 基于分布滞后非线性模型分析 2010—2017 年深圳市温度暴露与神经系统疾病急诊发生间关联[J]. 现代预防医学,2022,49(13):2320 - 2325.
Li T, Wu WJ, Wang LL, et al. Study on the associations between temperature exposures and nervous system diseases emergency ambulance dispatches (EADs) based on Distributed Lag Non - linear Model in Shenzhen, 2010 - 2017[J]. Modern Preventive Medicine, 2022, 49(13): 2320 - 2325. (In Chinese)

[9] 游丽,代娟. 气温对武汉市脑卒中死亡影响的时间序列分析[J]. 现代预防医学,2025,52(5):836 - 842.
You L, Dai J. Time series analysis of the impact of temperature on stroke mortality in Wuhan city[J]. Modern Preventive Medicine, 2025, 52(5): 836 - 842. (In Chinese)

[10] He C, Breitner S, Zhang SQ, et al. Stroke risk associated with cold spells occurring during the warm season[J]. Environment International, 2025, 199: 109514.

[11] Zhao JH, Zhang YM, Ni Y, et al. Effect of ambient temperature and other environmental factors on stroke emergency department visits in Beijing: A distributed lag non - linear model[J]. Front Public Health, 2022, 10: 1034534.

[12] 张燕茹,李莹,白莉莉,等. 基于分布滞后非线性模型的江阴市极端气温对心脑血管疾病死亡的滞后定量影响[J]. 中国慢性病预防与控制,2025,33(8):597 - 602.
Zhang YR, Li Y, Bai LL, et al. The lagged quantitative effects of extreme temperature on cardiovascular and cerebrovascular disease mortality in Jiangyin city based on distributed lag nonlinear model[J]. Chinese Journal of Prevention and Control of Chronic Diseases, 2025, 33(8): 597 - 602. (In Chinese)

[13] Salaudeen MA, Bello N, Danraka RN, et al. Understanding the pathophysiology of ischemic stroke: The basis of current therapies and opportunity for new ones[J]. Biomolecules, 2024, 14(3): 305.

[14] Maida CD, Norrito RL, Rizzica S, et al. Molecular pathogenesis of ischemic and hemorrhagic strokes: Background and therapeutic approaches[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024, 25(12): 6297.

[15] Huang FF, Luo YX, Guo YM, et al. Particulate matter and hospital admissions for stroke in Beijing, China: modification effects by ambient temperature[J]. Journal of the American Heart Association, 2016, 5(7): e003437.

[16] 陈积标. 基于分布滞后非线性模型的极端温度对南昌市 2015—2019 年脑卒中患者入院风险影响研究[D]. 南昌:南昌大学, 2022.

(下转第 1797 页)

[22] European Commission. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006[EB/OL]. [2026 - 03 - 25]. https://eur - lex. europa. eu/eli/reg/2023/915/2024 - 07 - 22/eng/pdf.

[23] European food safety authority (EFSA). Outcome of a public consultation on the draft risk assessment of perfluoroalkyl substances in food[J]. EFSA Support Publ, 2020, 17: 1 - 202.

[24] 中华人民共和国生态环境部. 重点管控新污染物清单(2023 年版)[J]. 中华人民共和国国务院公报,2023,(5):19 - 24.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. List of new pollutants under key control (2023 edition)[J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2023, (5): 19 - 24. (In Chinese)

[25] GEMS/Food - EURO. Second workshop on reliable evaluation of low - level contamination of food: report on a workshop in the frame of GEMS/food - EURO[EB/OL]. [2026 - 03 - 25]. https://toolbox. foodcomp. info/References/LOD/GEMS - Food - EURO% 20% 20 - % 20% 20Reliable% 20Evaluation% 20of% 20Low - Level% 20Contamination% 20of% 20Food. pdf.

[26] Schrenk D, Bignami M, Bodin L, et al. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food[J]. EFSA Journal, 2020, 18(9): e06223.

[27] World Health Organization. Global burden of disease 2000: age grouping framework, BK[R]. Geneva: WHO, 2001.

[28] Hlouskova V, Hradkova P, Poustka J, et al. Occurrence of perfluoroalkyl substances (PFASs) in various food items of animal origin collected in four European countries[J]. Food Additives & Contaminants. Part a, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2013, 30(11): 1918 - 1932.

[29] 方淑红,彭光垣,印红玲,等. 成都饮食中全氟化合物的污染特征及健康风险评估[J]. 环境科学学报,2019,39(5):1708 - 1716.
Fang SH, Peng GY, Yin HL, et al. Pollution characteristics and human health risk of perfluoroalkyl substance exposure through the diet in Chengdu City[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, 39(5): 1708 - 1716. (In Chinese)

[30] 覃梅,程莉,李莉,等. 重庆市动物源性食品中全氟和多氟烷基化合物污染水平及人群健康风险[J]. 现代预防医学,2025,52(6):1050 - 1057.
Qin M, Cheng L, Li L, et al. Contamination levels of per - and polyfluoroalkyl substances in animal - derived food and the associated health risk to the population, Chongqing[J]. Modern Preventive Medicine, 2025, 52(6): 1050 - 1057. (In Chinese)

[31] Sznajder - Katarzyńska K, Surma M, Wiczkowski W, et al. The perfluoroalkyl substance (PFAS) contamination level in milk and milk products in Poland[J]. International Dairy Journal, 2019, 96: 73 - 84.

[32] Vestergren R, Berger U, Glynn A, et al. Dietary exposure to perfluoroalkyl acids for the Swedish population in 1999, 2005 and 2010[J]. Environment International, 2012, 49: 120 - 127.

[33] 谢燕湘,刘凤姣,樊柯,等. 湖南省市售动物源食品中全氟及多氟烷基化合物污染现状和膳食暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志,2025,37(7):642 - 648.
Xie YX, Liu FJ, Fan K, et al. Pollution status and dietary exposure assessment of per - and polyfluoroalkyl substances in animal - derived food sold in Hu'nan Province[J]. Chinese Journal ofFood Hygiene, 2025, 37(7): 642 - 648. (In Chinese)

[34] 谷臣琳,杨京津,罗宝章,等. 上海市动物源性食品中全氟化合物污染健康风险评估[J]. 上海预防医学,2025,37(7):556 - 561.
Gu CL, Yang JJ, Luo BZ, et al. Health risk assessment of per - and polyfluoroalkyl substances contamination in animal - derived foods in Shanghai[J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2025, 37(7): 556 - 561. (In Chinese)

[35] Haug LS, Salihovic S, Jogsten IE, et al. Levels in food and beverages and daily intake of perfluorinated compounds in Norway[J]. Chemosphere, 2010, 80(10): 1137 - 1143.

收稿日期:2026-01-21

(上接第 1780 页)

Chen JB. Effects of extreme temperature on hospitalization risk of strokepatients in Nanchang city from 2015 to 2019 based on distributed lagnonlinear model [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022. (In Chinese)

[17] Vai čiulis V, Jaakkola JJK, Radišauskas R, et al. Risk of ischemic and hemorrhagic stroke in relation to cold spells in Four Seasons[J]. BMC Public Health, 2023, 23(1): 554.

[18] Liu P, Chen Z, Han S, et al. The added effects of cold spells on stroke admissions: Differential effects on ischemic and hemorrhagic stroke[J]. International Journal of Stroke, 2024, 19(2): 217 - 225.

[19] 杜茜茜,曲玥,曾芳婷,等. 石家庄市非适宜气温对居民急救影响归因分析[J]. 中国公共卫生,2024,40(8):991 - 996.
Du QQ, Qu Y, Zeng FT, et al. Attributable risk analysis of the impact of unsuitable temperature on emergency ambulance dispatches in Shijiazhuang city - based on the distributed lag non - linear model (DLNM)[J]. Chinese Journal of Public Health, 2024, 40(8): 991 - 996. (In Chinese)

[20] Gao S, Yang T, Zhang XH, et al. A longitudinal study on the effect of extreme temperature on non - accidental deaths in Hulunbuir City based on DLNM model[J]. International Archives of Occupational and Environmental Health, 2023, 96(7): 1009 - 1014.

[21] Alahmad B, Khraishah H, Kamineni M, et al. Extreme temperatures and stroke mortality: evidence from a Multi - Country analysis[J]. Stroke, 2024, 55(7): 1847 - 1856.

[22] 胡茂红,熊文艳,戚京城,等. 2018—2022 年南昌市极端气温对居民脑卒中死亡风险影响[J]. 中国公共卫生,2025,41(1):88 - 94.
Hu MH, Xiong WY, Qi JC, et al. Influence of extreme temperatures on stroke mortality risk among residents of Nanchang city between 2018 and 2022[J]. Chinese Journal of Public Health, 2025, 41(1): 88 - 94. (In Chinese)

[23] De bont J, Jaganathan S, Dahlquist M, et al. Ambient air pollution and cardiovascular diseases: An umbrella review of systematic reviews and meta - analyses[J]. Journal of Internal Medicine, 2022, 291(6): 779 - 800.

收稿日期:2026-01-08