

宁波市日均气温与孕妇早产关系的时间序列研究

舒铭铭¹, 周旭平¹, 谷少华², 张百蕾¹, 潘兴强²

1. 宁波市妇女儿童医院产四科, 浙江 宁波 315012

2. 宁波市疾病预防控制中心, 浙江 宁波 315010

摘要:

[背景] 有关环境气温与孕妇早产关联的研究越来越受到关注, 但是既往文献结论尚不一致。

[目的] 探索宁波市环境气温暴露对孕妇早产的影响。

[方法] 通过宁波市妇女儿童医院的电子病历系统收集该院 2016 年 1 月—2020 年 9 月的分娩信息、早产资料和孕妇年龄等信息; 通过宁波市气象局获取同期的气象资料, 包括日均气温、日均相对湿度、日均气压; 通过宁波市环境保护局网站的“空气质量实时发布系统”收集 SO₂、NO₂、PM₁₀ 的每日质量浓度(简称浓度)资料。采用分布滞后非线性模型, 按孕妇年龄、生产方式分层, 分析环境气温对早产的影响。

[结果] 2016—2020 年宁波市早产发生率为 5.91%。环境温度与早产的暴露-反应曲线呈“U”型。以 22.5 °C 为参考, 31 °C(第 95 百分位数)和 32 °C(第 99 百分位数)与早产的滞后 21 d 累积效应有统计学意义, 其 RR(95%CI)分别为 1.67(1.05~2.65)和 1.85(1.09~3.14)。分层分析结果显示, 在 ≥30 岁的孕妇中, 31 °C 和 32 °C 与早产的滞后 21 d 累积效应有统计学意义, 其 RR(95%CI)分别为 2.09(1.08~4.05)和 2.36(1.11~5.03); 在自然分娩的孕妇中, 32 °C 与早产的滞后 21 d 累积效应有统计学意义, 其 RR(95%CI)为 1.95(1.02~3.74)。

[结论] 孕妇妊娠期间暴露于高温环境可能会增加早产发生的风险, 存在滞后累积效应。

关键词: 环境温度; 早产; 滞后效应; 累积效应

Association between daily average temperature and premature birth in Ningbo City: A time-series analysis SHU Mingming¹, ZHOU Xuping¹, GU Shaohua², ZHANG Bailei¹, PAN Xingqiang² (1. The Fourth Department of Obstetrics, Ningbo Women's and Children's Hospital, Ningbo, Zhejiang 315012, China; 2. Ningbo Center for Disease Control and Prevention, Ningbo, Zhejiang 315010, China)

Abstract:

[Background] Research on the relationship between ambient temperature and preterm birth has received increasing attention, but the conclusions of the previous literature are inconsistent.

[Objective] To explore the impact of environmental temperature exposure in Ningbo on premature delivery of pregnant women.

[Methods] The birth information, preterm birth data, and age of pregnant women from January 2016 to September 2020 were collected by the electronic medical record system of Ningbo Women's and Children's Hospital. Meteorological data for the same period were obtained through Ningbo Meteorological Bureau, including daily average temperature, daily average relative humidity, and daily average air pressure. Daily concentrations of SO₂, NO₂, and PM₁₀ were derived through the air quality real-time release system on the website of Ningbo Environmental Protection Bureau. A distributed lag nonlinear model was used to analyze the impact of environmental temperature on preterm birth by stratifying pregnant women's age and birth delivery mode.

[Results] The incidence rate of preterm birth in Ningbo from 2016 to 2020 was 5.91%. The exposure-response curve between environmental temperature and preterm birth presented a “U” shape. Taking 22.5 °C as a reference, the cumulative effect of 31 °C (the 95th percentile) and 32 °C (the 99th percentile) over a 21-day lag on preterm delivery was statistically significant,



DOI 10.11836/JEOM21433

基金项目

宁波市医学重点学科建设项目(2022-B16); 宁波市科学技术局公益性计划项目(202002N3185); 浙江省基础公益研究计划项目(LGF20H260006)

作者简介

舒铭铭(1986—), 女, 硕士, 主治医师;
E-mail: Mming527@163.com

通信作者

张百蕾, E-mail: 1609723508@qq.com
潘兴强, E-mail: pank1980@163.com

伦理审批

已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2021-09-12
录用日期 2022-03-20

文章编号 2095-9982(2022)06-0679-05

中图分类号 R12

文献标志码 A

引用

舒铭铭, 周旭平, 谷少华, 等. 宁波市日均气温与孕妇早产关系的时间序列研究[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(6): 679-683.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21433

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHANG Bailei, E-mail: 1609723508@qq.com
PAN Xingqiang, E-mail: pank1980@163.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2021-09-12

Accepted 2022-03-20

To cite

SHU Mingming, ZHOU Xuping, GU Shaohua, et al. Association between daily average temperature and premature birth in Ningbo City: A time-series analysis[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(6): 679-683.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21433

and the related RR (95% CI) values were 1.67 (1.05-2.65) and 1.85 (1.09-3.14) respectively. The results of stratified analysis showed that among pregnant women ≥ 30 years old, the 21-day cumulative effects of 31 °C and 32 °C on preterm delivery were statistically significant, and the related RR (95% CI) values were 2.09 (1.08-4.05) and 2.36 (1.11-5.03) respectively; among pregnant women with natural delivery, the 21-day cumulative effect of 32 °C on preterm delivery was statistically significant, and the RR (95% CI) was 1.95 (1.02-3.74).

[Conclusion] Exposure of pregnant women to high temperature during pregnancy could increase the risk of preterm birth, and there is a delayed cumulative effect.

Keywords: ambient temperature; premature delivery; lag effect; cumulative effect

早产是一种常见的不良妊娠结局,它是新生儿死亡的首要原因,也是 ≤ 5 岁儿童死亡的重要因素^[1-3],并且会对早产儿神经系统和心理行为的发育产生影响,导致脑瘫或认知功能发育障碍^[4-5],给家庭和社会带来沉重的疾病负担^[6]。

早产的发病机制仍然不明确,它可能与遗传、环境、感染、行为等因素均有关^[7]。近年来有关环境与早产的研究越来越受到关注,既往文献显示孕妇在妊娠期间大气可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)和二氧化氮(NO_2)暴露可增加早产的风险^[8-9]。随着研究范围的拓展,有研究发现孕妇妊娠期间暴露于高温会增加胎膜早破的风险,而低温暴露可以减少胎膜早膜发生风险^[10]。胎膜早破是围生期最常见的并发症,可导致早产发生率增加。事实上,流行病学研究发现孕妇妊娠期间暴露于极端气温也与早产发生有关,但是这些研究结论尚不一致^[11-13],极端气温对早产的作用还有待进一步研究^[14]。因此,本研究以宁波市的孕产妇为对象,采用分布滞后非线性模型探索气温对孕妇早产的影响,为掌握气温与早产关系提供新的证据。

1 对象与方法

1.1 资料来源

2016年1月—2020年9月的孕妇分娩信息、早产资料和孕妇年龄等信息来自宁波市妇女儿童医院的电子病历系统。新生儿早产定义为自孕妇末次月经的第1日开始计算,妊娠满28孕周,不满37孕周或259d的分娩者。同期的气象资料来自宁波市气象局,包括日均气温、日均相对湿度、日均气压。 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 的每日浓度资料来自宁波市环境保护局网站的“空气质量实时发布系统”。气象数据为宁波市鄞州区监测点,空气质量数据为主城区8个监测点数据的算术平均值。各污染物的日均质量浓度(后称浓度)单位为 $\mu g \cdot m^{-3}$,均值类型为日均浓度(24h)。本研究已通过宁波市妇女儿童医院伦理委员会批准(编号:EC2021-M003)。

1.2 统计学分析

采用分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)分析气温对早产的滞后效应和累积效应。首先使用交叉基函数对温度进行转换,它允许估计单滞后日早产变化的非线性效应和累积滞后日的非线性效应,然后使用广义线性模型进行建模。每日早产数一般符合泊松分布^[15-16],采用 quasi-Poisson 回归对每日早产数的自然对数建模,将其作为预测变量的函数。根据赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)最小原则在交叉基函数中确定日平均温度的自由度和滞后日的自由度。结果显示日平均温度和滞后日的自由度均为3时,AIC值最小。此外,还在模型控制了一些潜在的混杂因素^[8],具体模型如下:

$$\lg[E(Y_t)] = \alpha + cb(V_{Temp}, 3, lag, 3) + ns(V_{time}, 3) + ns(V_{Rh}, 3) + \beta_1 \cdot V_{Bp} + V_{PM_{10}} + V_{NO_2} + V_{SO_2} + \beta \cdot V_{DOW}$$

其中: Y_t ,观察日 t 日当天的早产人次; α 是截距; β_1 和 β 为回归系数; cb 是交叉基函数, V_{Temp} 表示当日平均气温值,°C; ns 表示自然立方样条函数; V_{time} 表示每日早产人次先后发生次序的数列; V_{Rh} 表示日均相对湿度,%; V_{Bp} 表示日均气压,hPa; $V_{PM_{10}}$ 表示日均 PM_{10} 浓度值, $\mu g \cdot m^{-3}$; V_{NO_2} 表示日均 NO_2 浓度值, $\mu g \cdot m^{-3}$; V_{SO_2} 表示是日均 SO_2 浓度值, $\mu g \cdot m^{-3}$; V_{DOW} 为星期几效应,用于控制每日早产人次的短期波动。

根据文献^[17],气温对早产影响的最大滞后有效天数为6d,但是也有研究显示滞后20d的效应值有统计学意义^[18],本研究分别对累积滞后7、14、21和28d进行了敏感性分析,最终选择滞后天数为21d建模。此外,还对时间的自由度从3~10进行了敏感性分析,最后选择每年的自由度为6。因此,最终模型为:

$$\lg[E(Y_t)] = a + cb(V_{Temp}, 3, 21, 3) + ns(V_{time}, 4 \times 6) + ns(V_{Rh}, 3) + \beta_1 \cdot V_{Bp} + V_{PM_{10}} + V_{NO_2} + V_{SO_2} + \beta \cdot V_{DOW}$$

考虑到疾病受多种因素的影响,本研究还将孕妇生育年龄(< 30 岁、 ≥ 30 岁)和生产方式(剖宫产、自然

分娩)纳入研究,分别进行分层分析。根据暴露-反应曲线确定参考温度计算各温度的相对危险度(relative risk, *RR*),并确定最适宜温度,以最适宜温度为参考分析日平均温度与早产的暴露-反应关系,并计算极端气温(第5、95、99百分位数)的累积滞后效应值。

采用 python3.8 和 R3.63 DLNM 软件包进行统计分析和建模,率的比较采用 Fisher 确切概率法。检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧检验)。

2 结果

2.1 2016—2020 年宁波市气象因素、污染物浓度及每日早产数

2016—2020 年宁波市日平均气温、日平均湿度、日平均气压以及日平均 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 浓度见表 1。其间共有 44 534 名新生儿出生纳入研究,平均每日早产儿为 (1.52 ± 1.39) 个。在 <30 岁和 ≥ 30 岁以及不同生产方式孕妇的平均每日早产儿数见表 1。

表 1 2016—2020 年宁波市气象和污染物指标及每日早产数
Table 1 The number of daily preterm births and meteorological and pollutant indicators in Ningbo from 2016 to 2020

指标	$\bar{x}\pm s$	最小值	P_{25}	P_{50}	P_{75}	最大值
温度/ $^{\circ}\text{C}$	18.35 ± 8.40	-4.2	11.1	19.1	25.2	33.2
湿度/%	77.27 ± 12.34	37	69	78	87	100
气压/hPa	1015.15 ± 8.88	982.8	1007.8	1015.0	1022.1	1039.0
SO_2 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	9.50 ± 3.90	3.63	6.75	8.50	11.38	34.50
NO_2 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	35.31 ± 16.53	5.75	23.13	32.63	45.06	94.88
PM_{10} 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	52.29 ± 30.89	7.25	30.19	44.00	66.32	281.88
每日早产数	1.52 ± 1.39	0	0	1	2	8
孕妇年龄/岁						
<30	0.82 ± 0.93	0	0	1	1	5
≥ 30	0.70 ± 0.94	0	0	0	1	7
生产方式						
自然分娩	1.08 ± 1.09	0	0	1	2	6
剖宫产	0.44 ± 0.93	0	0	0	1	6

2.2 2016—2020 年宁波市早产发生率

2016—2020 年宁波市早产发生率为 5.91%,其中 2019 年最低(3.74%),2020 年最高(11.79%)。在 <30 岁和 ≥ 30 岁的孕妇中,早产发生率分别为 6.10%和 5.70%,二者差异无统计学意义($P=0.077$)。在自然分娩和剖宫产的孕妇中,早产发生率分别为 8.06%和 3.56%,二者差异有统计学意义($P<0.001$)。见表 2。

2.3 日平均气温与早产的暴露-反应关系

DLNM 模型结果显示,最适合温度为 22.5°C 。以该温度为参考绘制日平均温度与早产的暴露-反应关

系图,呈“U”型分布。以所有数据分析结果显示,日平均温度在 29.5°C 时与早产的关联有统计学意义,相对于 22.5°C , 29.5°C 的 *RR*(95%*CI*)为 1.44(1.00~2.09)。以孕妇年龄、生产方式分层,在 ≥ 30 岁孕妇中,日平均温度在 28°C 时与早产的关联有统计学意义,其 *RR*(95%*CI*)为 1.50(1.00~2.23);在自然分娩的孕妇中,日平均温度在 31.5°C 时与早产的关联有统计学意义,其 *RR*(95%*CI*)为 1.85(1.01~3.40);在 <30 岁孕妇和剖宫产孕妇中均未观察到关联有统计学意义。见图 1。

表 2 2016—2020 年宁波市早产发生率

Table 2 The incidence rate of preterm birth in Ningbo from 2016 to 2020

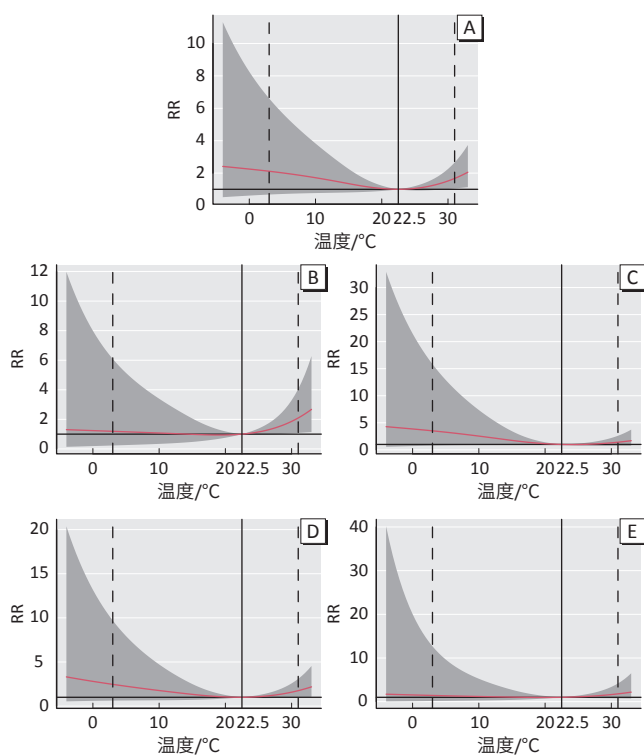
指标	出生数/例	早产数/例	早产发生率/%
年份/年			
2016	10 494	584	5.57
2017	9 886	529	5.35
2018	8 890	475	5.34
2019	9 395	351	3.74
2020	5 869	692	11.79
生育年龄/岁			
<30	23 375	1 425	6.10
≥ 30	21 159	1 206	5.70
生产方式			
自然分娩	23 271	1 875	8.06
剖宫产	21 263	756	3.56*

[注]*:与自然分娩者相比, $P<0.001$ 。

2.4 日均气温与早产的累积滞后效应

选取 P_5 、 P_{95} 和 P_{99} 的日均气温(分别为 3、31 和 32°C),分别计算其对早产在累积滞后 0 d(lag0)、7 d(lag0~7)、14 d(lag0~14)和 21 d(lag0~21)时相对于 22.5°C 的累积滞后效应。结果显示,以所有数据为分析对象时,31 $^{\circ}\text{C}$ 和 32 $^{\circ}\text{C}$ 在 lag0~21 与早产的关联有统计学意义,其 *RR*(95%*CI*)分别为 1.67(1.05~2.65)和 1.85(1.09~3.14),其余均无统计学意义。

以 <30 岁孕妇为分析对象时,3 $^{\circ}\text{C}$ 在 lag0 与早产的关联有统计学意义,其 *RR*(95%*CI*)为 1.81(1.04~3.16),其余均无统计学意义;以 ≥ 30 岁孕妇为分析对象时,31 $^{\circ}\text{C}$ 和 32 $^{\circ}\text{C}$ 在 lag0~21 与早产的关联有统计学意义,其 *RR*(95%*CI*)分别为 2.09(1.08~4.05)和 2.36(1.11~5.03),其余均无统计学意义。以自然分娩孕妇为分析对象时,32 $^{\circ}\text{C}$ 在 lag0~21 与早产的关联有统计学意义,其 *RR*(95%*CI*)为 1.95(1.02~3.74)。以剖宫产孕妇为分析对象时,3、31 和 32 $^{\circ}\text{C}$ 在 lag 0、lag 0~7、lag 0~14 和 lag 0~21 的累积滞后效应均无统计学意义。见表 3。



[注] A. 所有数据; B. 孕妇年龄 ≥ 30 岁; C. 孕妇年龄 < 30 岁; D. 自然分娩孕妇; E. 剖宫产孕妇。图中两条虚线分别表示 P_5 和 P_{95} 日平均温度的参考线, 竖实线表示最适合温度 (22.5°C)。阴影表示 RR 的 95% CI 。

图 1 日平均温度与早产的暴露-反应关系曲线

Figure 1 The exposure-response curve of daily average temperature and preterm birth

表 3 日均气温 (P_5 、 P_{95} 和 P_{99}) 对早产的累积滞后效应 [$RR(95\%CI)$]

Table 3 The cumulative lag effects of daily average temperature (P_5 , P_{95} , and P_{99}) on preterm birth [$RR(95\%CI)$]

孕妇对象	累积滞后	日均气温/ $^\circ\text{C}$		
		3 (P_5)	31 (P_{95})	32 (P_{99})
合计	lag0	1.50(0.97~2.31)	1.15(0.86~1.50)	1.17(0.84~1.62)
	lag0~7	1.78(0.89~3.56)	1.06(0.73~1.53)	1.09(0.71~1.66)
	lag0~14	2.39(0.97~5.92)	1.31(0.86~1.99)	1.40(0.86~2.27)
	lag0~21	2.12(0.68~6.61)	1.67(1.05~2.65)*	1.85(1.09~3.14)*
<30岁	lag0	1.81(1.04~3.16)*	1.05(0.72~1.53)	1.07(0.69~1.65)
	lag0~7	2.11(0.85~5.21)	0.87(0.53~1.40)	0.86(0.49~1.51)
	lag0~14	3.04(0.92~10.04)	1.20(0.69~2.10)	1.28(0.67~2.43)
	lag0~21	3.52(0.78~15.83)	1.41(0.77~2.60)	1.54(0.77~3.11)
≥ 30 岁	lag0	1.16(0.62~2.19)	1.29(0.86~1.92)	1.33(0.84~2.11)
	lag0~7	1.43(0.53~3.88)	1.38(0.81~2.34)	1.48(0.80~2.72)
	lag0~14	1.82(0.50~6.67)	1.48(0.81~2.69)	1.60(0.80~3.19)
	lag0~21	1.19(0.23~6.09)	2.09(1.08~4.05)*	2.36(1.11~5.03)*
剖宫产	lag0	0.88(0.33~2.30)	0.88(0.33~2.30)	1.61(0.92~2.83)
	lag0~7	1.94(0.47~7.91)	1.33(0.68~2.60)	1.45(0.67~3.14)
	lag0~14	2.21(0.38~12.81)	1.43(0.68~3.01)	1.55(0.66~3.63)
	lag0~21	1.43(0.16~12.68)	1.79(0.77~4.17)	1.97(0.75~5.19)
自然分娩	lag0	1.56(0.96~2.56)	1.56(0.96~2.56)	1.56(0.96~2.56)
	lag0~7	1.56(0.70~3.50)	1.00(0.64~1.57)	1.00(0.60~1.69)
	lag0~14	2.44(0.83~7.18)	1.33(0.79~2.24)	1.42(0.78~2.59)
	lag0~21	2.46(0.63~9.69)	1.75(0.99~3.00)	1.95(1.02~3.74)*

[注] *: $P < 0.05$ 。

3 讨论

孕妇是气候变化的脆弱人群, 受极端气温的影响较大。本研究以 2016 年 1 月—2020 年 9 月宁波市最大妇产科医院出生的 44 534 名早产儿为对象, 采用分布滞后非线性模型分析气温与早产的关联。研究结果显示 2016—2020 年宁波市的早产发生率为 5.91%, 气温与早产的关系呈“U”型, 日平均温度在 $\geq 29.5^\circ\text{C}$ 时与早产的关联有统计学意义, 相对于 22.5°C , 29.5°C 的 $RR(95\%CI)$ 为 1.44(1.00~2.09)。 31°C (P_{95}) 相对于 22.5°C 的 21 d 累积滞后 $RR(95\%CI)$ 为 1.67(1.05~2.65)。

有关高温与早产的研究相对较多, Liang 等^[18]采用分布滞后模型研究高温 (29.9°C 和 30.7°C) 与早产的关系, 结果显示高温暴露可以降低早产的发生率, 相对于 24.5°C , 29.9°C 和 30.7°C 的 30 d 累积 $RR(95\%CI)$ 分别为 0.69(0.60~0.80) 和 0.62(0.52~0.74)。这与本研究结果相反, 其原因可能与该地区的高温 (P_{95} 温度为 29.9°C) 低于宁波市有关。但是 Li 等^[19]采用 Cox 比例风险模型分析了每个季度的平均温度与早产的关系, 也发现高温与早产的关联。Sun 等^[20]采用分布滞后非线性模型, 计算滞后 4 d 的 RR , 并通过 meta 分析对各县 RR 进行汇总分析, 结果显示高温与早产有很强关联。Guo 等^[21]在中国 132 个城市调查了 1 020 471 名孕妇的温度暴露和早产情况, 根据地区平均温度将城市分为高、中、低温度区域, 采用 logistic 回归分析高温对早产的效应, 结果显示高温是早产的危险因素。本研究也提示孕妇妊娠期高温暴露会增加早产的风险。

本研究结果还显示在 ≥ 30 岁孕妇中, 高温与早产的 21 d 累积滞后效应有统计学意义, 但是在 < 30 岁孕妇中无统计学意义, 这与 Song 等^[10]研究结果不太一致, 他们的研究显示高温在 < 35 岁孕妇中与胎膜早破有关联。但是 Zhao 等^[15]的研究结果显示温度与早产的关系在年龄之间无差异。本研究显示温度和早产的暴露-反应曲线在 ≥ 30 岁和 < 30 岁中曲线形状相似, 均为“U”型, 而且 21 d 累积滞后效应的 RR 值的可信区间有交叉, 因此温度在不同年龄间对早产影响的累积滞后效应还需要进一步研究。同样, 在剖宫产和自然分娩人群中虽然累积滞后效应统计学上有差异, 但是暴露-反应关系曲线形状也基本相似, 且 21 d 累积滞后效应 RR 值的可信区间也有交叉, 因此还不能说明孕妇生产方式会影响高温与早产的关系。

目前有关低温与早产的研究较少, 且结论还不一致。来自瑞典^[13]、意大利^[22]和美国^[20]的研究结果均显

示妊娠期间低温暴露与早产无关联,也有研究显示低温是早产的保护因素,能降低早产发生的风险^[21]。但是多项研究结果显示低温是早产的危险因素^[18-19],近期的一项包含了 1 281 859 名单胎妊娠的队列研究结果显示在整个妊娠期间暴露极低温度会增加早产的风险,相对于 12 °C,低温(9.1 °C)的 $RR(95\%CI)$ 为 1.03(1.02~1.04)^[23]。本研究结果显示仅在 < 30 岁孕妇中低温 3 °C(P_5)相对于 22.5 °C 的 lag0 滞后效应有统计学意义,其余各孕妇人群和各累积滞后天数均无关联。但是通过温度与早产的暴露-反应关系的“U”型曲线可以看出极低温度对早产作用的 RR 值较大,且在所有人群中滞后 21 d 的累积效应达到了 2.12,提示极端低温可能增加早产的发生风险。

本研究的局限性在于缺乏如孕妇的营养、体重指数等早产影响因素资料,无法纳入模型进行控制;此外,孕产妇数据仅来自宁波市妇女儿童医院,可能会造成选择偏倚,但是该院是宁波市最大的妇产科医院,每年分娩量超过 1 万,具有较好的代表性。

综上,本研究提示气温与早产呈“U”型关系,孕妇妊娠期间暴露于高温环境会增加早产的发生风险,暴露于低温环境也有可能增加早产发生的风险。

参考文献

- [1] BELIZÁN JM, HOFMEYR J, BUEKENS P, et al. Preterm birth, an unresolved issue[J]. *Reprod Health*, 2013, 10(1): 58.
- [2] BECK S, WOJDYLA D, SAY L, et al. The worldwide incidence of preterm birth: a systematic review of maternal mortality and morbidity[J]. *Bull World Health Organ*, 2010, 88(1): 31-38.
- [3] MCCORMICK MC. The contribution of low birth weight to infant mortality and childhood morbidity[J]. *N Engl J Med*, 1985, 312(2): 82-90.
- [4] TUDEHOPE D, VENTO M, BHUTTA Z, et al. Nutritional requirements and feeding recommendations for small for gestational age infants[J]. *J Pediatr*, 2013, 162(S3): S81-89.
- [5] FRANZ AR, POHLANDT F, BODE H, et al. Intrauterine, early neonatal, and postdischarge growth and neurodevelopmental outcome at 5.4 years in extremely preterm infants after intensive neonatal nutritional support[J]. *Pediatrics*, 2009, 123(1): e101-e109.
- [6] BLENCOWE H, LEE AC C, COUSENS S, et al. Preterm birth-associated neurodevelopmental impairment estimates at regional and global levels for 2010[J]. *Pediatr Res*, 2013, 74(S1): 17-34.
- [7] VILLAR J, PAPAGEORGHIU AT, KNIGHT HE, et al. The preterm birth syndrome: a prototype phenotypic classification[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2012, 206(2): 119-123.
- [8] 朱鹏飞, 张翼, 班婕, 等. 中国空气污染与不良出生结局的研究进展[J]. *中华流行病学杂志*, 2017, 38(3): 393-399.
- [9] 刘文渊, 施丹华, 吴军华, 等. 宁波市6种大气污染物暴露与孕妇早产关系的时间序列分析[J]. *环境与职业医学*, 2018, 35(1): 19-23.
- [10] LIU WY, SHI DH, WU JH, et al. A time-series analysis on association between exposure to six air pollutants and preterm birth in Ningbo[J]. *J Environ Occup Med*, 2018, 35(1): 19-23.
- [11] SONG J, LU J, WANG E, et al. Short-term effects of ambient temperature on the risk of premature rupture of membranes in Xinxiang, China: a time-series analysis[J]. *Sci Total Environ*, 2019, 689: 1329-1335.
- [12] WOLF J, ARMSTRONG B. The association of season and temperature with adverse pregnancy outcome in two German states, a time-series analysis[J]. *PLoS One*, 2012, 7(7): e40228.
- [13] HA S, LIU D, ZHU Y, et al. Ambient temperature and early delivery of singleton pregnancies[J]. *Environ Health Perspect*, 2017, 125(3): 453-459.
- [14] VICEDO-CABRERA AM, OLSSON D, FORSBERG B. Exposure to seasonal temperatures during the last month of gestation and the risk of preterm birth in Stockholm[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2015, 12(4): 3962-3978.
- [15] 李畅畅, 任萌, 董昊天, 等. 极端气温与早产关系的流行病学研究进展[J]. *环境与职业医学*, 2020, 37(1): 15-22.
- [16] LI CC, REN M, DONG HT, et al. Epidemiological research progress on association of maternal exposure to ambient temperature extremes and preterm birth[J]. *J Environ Occup Med*, 2020, 37(1): 15-22.
- [17] ZHAO Q, LIANG Z, TAO S, et al. Effects of air pollution on neonatal prematurity in Guangzhou of China: a time-series study[J]. *Environ Health*, 2011, 10: 2.
- [18] CAROLAN-OLAH M, FRANKOWSKA D. High environmental temperature and preterm birth: a review of the evidence[J]. *Midwifery*, 2014, 30(1): 50-59.
- [19] HA S, LIU D, ZHU Y, et al. Acute associations between outdoor temperature and premature rupture of membranes[J]. *Epidemiology*, 2018, 29(2): 175-182.
- [20] LIANG Z, LIN Y, MA Y, et al. The association between ambient temperature and preterm birth in Shenzhen, China: a distributed lag non-linear time series analysis[J]. *Environ Health*, 2016, 15(1): 84.
- [21] LI S, CHEN G, JAAKKOLA JJ K, et al. Temporal change in the impacts of ambient temperature on preterm birth and stillbirth: Brisbane, 1994-2013[J]. *Sci Total Environ*, 2018, 634: 579-585.
- [22] SUN S, WEINBERGER KR, SPANGLER KR, et al. Ambient temperature and preterm birth: a retrospective study of 32 million US singleton births[J]. *Environ Int*, 2019, 126: 7-13.
- [23] GUO T, WANG Y, ZHANG H, et al. The association between ambient temperature and the risk of preterm birth in China[J]. *Sci Total Environ*, 2018, 613-614: 439-446.
- [24] SCHIFANO P, LALLO A, ASTA F, et al. Effect of ambient temperature and air pollutants on the risk of preterm birth, Rome 2001-2010[J]. *Environ Int*, 2013, 61: 77-87.
- [25] WANG YY, LI Q, GUO Y, et al. Ambient temperature and the risk of preterm birth: A national birth cohort study in the mainland China[J]. *Environ Int*, 2020, 142: 105851.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣, 丁瑾瑜)