

孕期空气污染物暴露与早产的相关性研究

蒋如霞, 刘霞, 徐敏慧

(眉山市妇幼保健院新生儿科, 四川眉山 620010)

[摘要]目的 探索孕期空气污染物暴露与早产发生的相关性,为早产的预防提供支持。方法 采用病例对照研究设计,选取2022年1月至2023年12月在眉山市妇幼保健院出生的135例早产儿作为病例组,以同期出生的135例足月儿作为对照组。收集两组孕妇的基本信息和2021年1月至2023年12月各污染物(包括PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、O₃和CO)的日平均浓度,计算孕期各阶段的平均空气污染物浓度,包括整个孕期(孕期平均)、孕前三个月(孕前三月平均)、孕早期(孕12周以内平均)、孕中期(孕13~28周平均)和孕晚期(孕29周以后平均)。采用多元逻辑回归分析评估孕期空气污染物暴露与早产的相关性。结果 病例组孕妇在整孕期、孕前三个月、孕早期、孕中期和孕晚期的PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂的平均空气污染物暴露水平均显著高于对照组孕妇, t 值范围分别为2.52~3.22、2.57~3.09、2.40~2.96、2.44~2.87、2.38~2.78($P<0.05$)。整个孕期暴露于较高水平的PM_{2.5}、SO₂、NO₂与发生早产的风险增加显著相关($P<0.05$),而PM₁₀、O₃和CO对早产发生的影响尚未发现统计学意义($P>0.05$)。与孕期平均PM_{2.5}暴露浓度 $<46.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 组相比,孕期平均PM_{2.5}暴露浓度在 $>69.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 组的孕妇早产风险显著增加($OR=1.86$, 95%CI:1.09~3.17);与孕期平均SO₂暴露浓度 $<13.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 组相比,孕期平均SO₂暴露浓度在 $>19.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 组的孕妇早产风险显著增加($OR=1.76$, 95%CI:1.04~2.99);与孕期平均NO₂浓度 $<40.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 组相比,孕期平均NO₂浓度在 $>60.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 组的孕妇早产风险显著增加($OR=1.82$, 95%CI:1.08~3.07)。结论 孕期暴露于较高浓度的空气污染物可能是早产发生的重要危险因素之一,提示应关注空气污染,以保护胎儿健康。

[关键词]空气污染物;暴露;早产;病例对照研究

Doi:10.3969/j.issn.1673-5293.2025.04.011

[中图分类号]R173

[文献标识码]A

[文章编号]1673-5293(2025)04-0071-07

Study on the correlation between exposure to air pollutants during pregnancy and preterm birth

JIANG Ruxia, LIU Xia, XU Minhui

(Department of Neonatology, Meishan Maternal and Child Health Hospital, Sichuan Meishan 620010, China)

[Abstract] **Objective** To explore the association between air pollutant exposure during pregnancy and the occurrence of preterm birth to support the prevention of preterm birth. **Methods** A case-control study was designed to select 135 preterm infants born in Meishan Maternal and Child Health Hospital from January 2022 to December 2023 as the case group, and 135 full-term infants born during the same period as the control group. The basic information of the two groups of pregnant women and the daily average air pollutant concentrations of each pollutant (including PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ and CO) from January 2021 to December 2023 were collected, and the average air pollutant concentrations at each stage of pregnancy were calculated, including the whole pregnancy period (pregnancy average), the first trimester of pregnancy (the average of three months before pregnancy), the first trimester (the average of less than 12 weeks of pregnancy), the second trimester (the average of 13~28 weeks of pregnancy) and the third trimester (the average after 29 weeks of pregnancy). Multiple logistic regression analysis was used to evaluate the association between exposure to air pollutants during pregnancy and preterm birth. **Results** The average exposure levels of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂ and NO₂ in the whole pregnancy, first trimester, first trimester, second trimester and third trimester of pregnancy were significantly higher than those in the control group (t values ranged from 2.52-3.22, 2.57-3.09, 2.40-2.96, 2.44-2.87, and 2.38-2.78, respectively, $P<0.05$). Exposure to higher levels of PM_{2.5}, SO₂ and NO₂ was significantly associated with an increased risk of preterm birth throughout pregnancy ($P<0.05$), while the effects of PM₁₀, O₃ and CO on the occurrence of preterm birth were not statistically significant ($P>0.05$). Compared with the average PM_{2.5} exposure concentration of $<46.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ during pregnancy, the risk of

[收稿日期]2024-03-19

[作者简介]蒋如霞(1987—),女,主治医师,主要从事儿科相关研究。

[通讯作者]徐敏慧,副主任医师。

preterm birth was significantly higher in the $>69.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ group ($OR=1.86, 95\%CI:1.09-3.17$). Compared with the $<13.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ group, the risk of preterm birth was significantly increased in the $>19.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ group ($OR=1.76, 95\%CI:1.04-2.99$). Compared with the group with an average NO_2 concentration of $<40.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ during pregnancy, the risk of preterm birth was significantly increased in the group with an average NO_2 concentration of $>60.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($OR=1.82, 95\%CI:1.08-3.07$). **Conclusion** Exposure to higher concentrations of air pollutants during pregnancy may be one of the important risk factors for preterm birth, suggesting that air pollution should be a concern to protect fetal health.

[Key words] air pollutant; exposure; premature birth; case-control study

早产是指妊娠满 28 周至不足 37 周分娩的活产儿,是新生儿死亡和残疾的主要原因之一^[1]。据世界卫生组织报道,在全球,每年约 1 500 万例早产儿出生,占有活产儿的 10.6%,其中 80% 发生在亚洲和非洲^[2]。现有研究表明,可能会引起早产的因素包括遗传、感染、营养不良、多胎妊娠、子宫异常、社会经济因素等,但仍有约 40% 的早产儿其早产原因不明^[3]。

近年来,随着工业化和城市化的发展,环境污染问题日益严重,特别是空气污染,已经成为全球公共卫生的重大挑战^[4]。空气污染物主要包括颗粒物(particulate matter, PM)、二氧化硫(sulfur dioxide, SO_2)、二氧化氮(nitrogen dioxide, NO_2)、臭氧(ozone, O_3)和一氧化碳(carbon monoxide, CO)等,通过呼吸道进入人体,影响呼吸系统、循环系统、神经系统和内分泌系统功能,导致疾病和死亡^[5]。孕妇是空气污染暴露的易感人群,不仅可能影响孕妇自身健康,还可能通过胎盘屏障对胎儿的生长发育造成潜在不利影响^[6],导致早产、低出生体重、先天畸形等不良妊娠结局^[7]。流行病学研究已证实空气污染与早产的相关性,但不同地区和不同污染物的结果并不一致,而且对于孕期各阶段的暴露效应和剂量-效应关系,缺乏足够的证据^[8]。因此,本研究旨在探讨孕期空气污染物暴露与早产发生的相关性,为早产的预防和干预提供支持。

1 材料与方法

1.1 研究对象

选取 2022 年 1 月至 2023 年 12 月在眉山市妇幼保健院出生的 135 例早产儿为病例组,以同期出生的 135 例足月儿为对照组。早产儿的定义为胎龄满 28 周至不足 37 周的活产儿,足月儿的定义为胎龄在 37 至 42 周之间的活产儿。胎龄评估采用末次月经

法或根据早期超声检查结果,其中末次月经法是根据 Naegle 公式计算预产期后推算胎龄(末次月经日期加 7 天,再减 3 个月)^[1]。

1.2 研究设计

本研究采用病例对照研究设计,病例组和对照组的配对标准为产妇产于本院、同月份分娩,年龄、教育程度相近。此外,排除了有多胎妊娠、先天畸形、妊娠合并症(如妊娠高血压、妊娠糖尿病、胎盘早剥等)或具有其他影响胎儿生长发育相关因素的孕妇。通过医院的电子病历系统筛选符合条件的研究对象并邀请参与本研究,本研究已得到医院伦理委员会批准。

1.3 样本量估计

样本量估计采用以下计算公式: $n = (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 [p_1(1-p_1) + p_2(1-p_2)] / (p_1 - p_2)^2$,其中 $Z_{\alpha/2} = 1.96$ ($\alpha = 0.05$), $Z_{\beta} = 0.84$ ($\beta = 0.20$), p_1 为病例组的预期暴露率, p_2 为对照组的预期暴露率。假设病例组的暴露率为 30%,对照组的暴露率为 15%,计算得出每组需要 129 例样本。考虑到可能的失访和数据缺失,将样本量增加到 135 例。

1.4 一般资料收集

通过面对面问卷调查的方式,收集孕妇的基本信息,包括年龄、教育程度、婚姻状况、孕次、分娩方式、吸烟史、饮酒史、家庭收入等。

1.5 空气污染物的暴露评估

利用中国环境监测总站的空气质量监测站的数据,获取 2021 年 1 月至 2023 年 12 月的每日平均空气污染物浓度,包括 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 和 CO。本研究采用反距离加权法(inverse distance weighting, IDW)进行空气污染物暴露评估,即根据孕妇居住地与各监测站的距离,对监测数据进行加权平均计算。当最近监测站数据缺失时,采用次近监测站数据进行补充。为了确保空气污染物检测指

标的准确性,采取以下措施:①选择符合国家标准
的监测站数据;②排除异常值和缺失值;③进行数据
质量控制和校准。计算孕期各阶段的平均空气污
染物浓度,包括整个孕期(孕期平均)、孕前三
个月(孕前三月平均)、孕早期(孕 12 周以
内平均)、孕中期(孕 13~28 周平均)和孕
晚期(孕 29 周以后平均)。

1.6 统计分析

使用 SPSS 26.0 统计分析,符合正态分布的
计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,行 t 检验;不符合
正态分布的计量资料以(P_{25}, P_{75})表示,采
用非参数检验(Mann-Whitney U 检验);计
数资料以 $n(\%)$ 表示,行 χ^2 分析。采用
多元逻辑回归分析孕期空气污染物暴露对

早产的影响,以 OR 和 $95\%CI$ 表示。以孕
期各阶段的平均空气污染物浓度为自变量,以
早产为因变量,以孕妇的年龄、教育程度、
婚姻状况、孕次、分娩方式、吸烟史、饮酒
史、家庭收入等为协变量进行分析,以 $P < 0.05$
为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本特征比较

病例组和对照组的年龄、教育程度、婚姻
状况、孕次、分娩方式、吸烟史、饮酒史、
家庭收入等方面没有显著性差异($P > 0.05$),
见表 1。

表 1 病例组和对照组的基本特征比较[$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

Table 1 Comparison of basic characteristics between case and control groups [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]									
变量	病例组 (n=135)	对照组 (n=135)	t/χ^2	P	变量	病例组 (n=135)	对照组 (n=135)	t/χ^2	P
年龄(岁)	30.1±5.4	30.6±5.8	-0.43	0.67	分娩方式			0.13	0.72
教育程度			0.62	0.81	顺产	51(37.8)	53(39.3)		
小学及以下	2(1.5)	3(2.2)			剖宫产	84(62.2)	82(60.7)		
初中	21(15.6)	21(15.6)			吸烟史			0.01	0.93
高中	48(35.6)	49(36.3)			有	6(4.4)	5(3.7)		
大学及以上	64(47.4)	62(45.9)			无	129(95.6)	130(96.3)		
婚姻状况			0.10	0.76	饮酒史			0.02	0.88
已婚	130(96.3)	129(95.6)			有	8(5.9)	7(5.2)		
未婚	5(3.7)	6(4.4)			无	127(94.1)	128(94.8)		
孕次(次)			0.27	0.89	家庭收入(元/月)			0.51	0.79
1	85(63.0)	86(63.7)			<5 000	25(18.5)	24(17.8)		
2	46(34.1)	47(34.8)			5 000~10 000	74(54.8)	78(57.8)		
≥3	4(3.0)	2(1.5)			>10 000	36(26.7)	33(24.4)		

2.2 空气污染物暴露水平的比较

病例组和对照组的孕妇,在整孕期、孕前三
个月、孕早期、孕中期和孕晚期的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 的平均空气污
染物浓度均有显著差异($P < 0.05$),病例
组的暴露水平均显著高于对照组,见表 2。

2.3 孕期空气污染物暴露与早产发生的相关性

逻辑回归分析结果显示,整个孕期暴露于较
高水平的 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 与发生早产的
风险增加显著相关($P < 0.05$),而 PM_{10} 、 O_3
和 CO 对早产的发生

风险的影响尚未发现统计学意义($P > 0.05$)。
与孕期平均 $PM_{2.5}$ 暴露浓度 $< 46.0 \mu g/m^3$ 组
相比,孕期平均 $PM_{2.5}$ 暴露浓度在 $> 69.0 \mu g/m^3$
组的孕妇早产风险显著增加($OR = 1.86, 95\%CI: 1.09 \sim 3.17$);
与孕期平均 SO_2 暴露浓度 $< 13.0 \mu g/m^3$ 组
相比,孕期平均 SO_2 暴露浓度在 $> 19.0 \mu g/m^3$
组的孕妇早产风险显著增加($OR = 1.76, 95\%CI: 1.04 \sim 2.99$);
与孕期平均 NO_2 浓度 $< 40.0 \mu g/m^3$ 组相比,
孕期平均 NO_2 浓度在 $> 60.0 \mu g/m^3$ 组的孕
妇早产风险显著增加($OR = 1.82, 95\%CI: 1.08 \sim 3.07$),
详见表 3。

表 2 病例组和对照组的空气污染物暴露水平的比较($\bar{x} \pm s$)Table 2 Comparison of air pollutant exposure levels between case and control groups ($\bar{x} \pm s$)

变量	病例组 (n=135)	对照组 (n=135)	<i>t</i>	<i>P</i>	变量	病例组 (n=135)	对照组 (n=135)	<i>t</i>	<i>P</i>
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
孕期平均	63.8±12.4	58.3±11.1	3.22	<0.001	孕期平均	54.5±11.2	50.9±10.3	3.05	<0.001
孕前三月平均	64.6±13.5	58.9±12.0	3.09	<0.001	孕前三月平均	54.9±11.6	51.3±10.6	2.93	<0.001
孕 12 周内平均	63.1±12.9	57.5±11.5	2.96	<0.001	孕 12 周内平均	54.3±11.4	50.6±10.4	2.82	0.01
孕 13~28 周平均	64.3±12.6	58.7±11.3	2.87	0.01	孕 13~28 周平均	54.8±11.3	51.1±10.5	2.78	0.01
孕 29 周后平均	63.9±12.2	58.8±10.9	2.78	0.01	孕 29 周后平均	54.6±11.0	50.9±10.1	2.73	0.01
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
孕期平均	102.9±21.3	96.0±19.7	2.70	0.01	孕期平均	68.2±14.1	66.1±13.6	0.93	0.35
孕前三月平均	103.7±22.5	96.7±20.7	2.58	0.01	孕前三月平均	68.5±14.5	66.4±13.9	0.89	0.38
孕 12 周内平均	102.1±21.8	95.1±20.1	2.47	0.01	孕 12 周内平均	67.9±14.3	65.8±13.7	0.86	0.39
孕 13~28 周平均	103.5±21.5	96.4±19.8	2.54	0.01	孕 13~28 周平均	68.4±14.2	66.3±13.8	0.87	0.38
孕 29 周后平均	103.3±21.0	96.8±19.4	2.45	0.01	孕 29 周后平均	68.3±13.9	66.2±13.4	0.90	0.37
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					CO(mg/m^3)				
孕期平均	17.3±4.1	16.2±3.9	2.52	0.01	孕期平均	1.1±0.3	1.0±0.3	1.74	0.08
孕前三月平均	17.5±4.3	16.3±4.0	2.57	0.01	孕前三月平均	1.1±0.3	1.0±0.3	1.70	0.09
孕 12 周内平均	17.2±4.2	16.0±3.9	2.40	0.02	孕 12 周内平均	1.1±0.3	1.0±0.3	1.62	0.11
孕 13~28 周平均	17.4±4.1	16.3±3.8	2.44	0.02	孕 13~28 周平均	1.1±0.3	1.0±0.3	1.67	0.10
孕 29 周后平均	17.3±4.0	16.2±3.7	2.38	0.02	孕 29 周后平均	1.1±0.3	1.0±0.3	1.58	0.12

表 3 空气污染物暴露与早产的关联

Table 3 Association between air pollutants and risk of preterm birth

变量	OR	95%CI	Z	P	变量	OR	95%CI	Z	P
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					孕 13~28 周平均				
孕期平均					<46.0	1.00			
<46.0	1.00				46.0~58.0	1.14	0.65~2.00	0.46	0.65
46.0~58.0	1.18	0.67~2.08	0.57	0.57	58.0~69.0	1.32	0.76~2.28	1.00	0.32
58.0~69.0	1.42	0.82~2.46	1.26	0.21	>69.0	1.67	0.98~2.85	1.88	0.06
>69.0	1.86	1.09~3.17	2.32	0.02	孕 29 周以后平均				
孕前三月平均					<46.0	1.00			
<47.0	1.00				46.0~58.0	1.20	0.69~2.10	0.64	0.52
47.0~59.0	1.22	0.70~2.13	0.69	0.49	58.0~69.0	1.44	0.84~2.48	1.34	0.18
59.0~70.0	1.48	0.86~2.55	1.41	0.16	>69.0	1.81	1.07~3.08	2.16	0.03
>70.0	1.92	1.13~3.27	2.54	0.01	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
孕 12 周以内平均					孕期平均				
<45.0	1.00				<82.0	1.00			
45.0~57.0	1.16	0.66~2.04	0.51	0.61	82.0~96.0	1.12	0.64~1.96	0.40	0.69
57.0~68.0	1.38	0.80~2.39	1.18	0.24	96.0~109.0	1.34	0.78~2.31	1.06	0.29
>68.0	1.79	1.05~3.06	2.18	0.03	>109.0	1.62	0.95~2.77	1.76	0.08

(转下表)

(续上表)

变量	OR	95%CI	Z	P	变量	OR	95%CI	Z	P
孕前三月平均					孕 29 周以后平均				
<83.0	1.00				<13.0	1.00			
83.0~97.0	1.16	0.67~2.02	0.53	0.60	13.0~16.0	1.18	0.68~2.06	0.57	0.57
97.0~110.0	1.40	0.82~2.40	1.23	0.22	16.0~19.0	1.36	0.80~2.32	1.12	0.26
>110.0	1.68	0.99~2.86	1.96	0.05	>19.0	1.64	0.97~2.78	1.88	0.06
孕 12 周以内平均					NO ₂ (μg/m ³)				
<81.0	1.00				孕期平均				
81.0~95.0	1.10	0.63~1.93	0.33	0.74	<40.0	1.00			
95.0~108.0	1.28	0.74~2.21	0.89	0.38	40.0~50.0	1.26	0.72~2.21	0.80	0.42
>108.0	1.54	0.90~2.64	1.61	0.11	50.0~60.0	1.44	0.84~2.47	1.34	0.18
孕 13~28 周平均					>60.0	1.82	1.08~3.07	2.16	0.03
<82.0	1.00				孕前三月平均				
82.0~96.0	1.08	0.62~1.89	0.27	0.79	<41.0	1.00			
96.0~109.0	1.24	0.72~2.14	0.77	0.44	41.0~51.0	1.30	0.75~2.26	0.93	0.35
>109.0	1.46	0.86~2.49	1.41	0.16	51.0~61.0	1.48	0.87~2.53	1.41	0.15
孕 29 周以后平均					>61.0	1.88	1.12~3.16	2.32	0.02
<82.0	1.00				孕 12 周以内平均				
82.0~96.0	1.14	0.66~1.98	0.48	0.63	<40.0	1.00			
96.0~109.0	1.32	0.77~2.27	1.02	0.31	40.0~50.0	1.24	0.71~2.16	0.75	0.45
>109.0	1.58	0.93~2.69	1.82	0.07	50.0~60.0	1.40	0.82~2.40	1.23	0.22
SO ₂ (μg/m ³)					>60.0	1.76	1.04~2.98	2.06	0.04
孕期平均					孕 13~28 周平均				
<13.0	1.00				<40.0	1.00			
13.0~16.0	1.24	0.71~2.16	0.75	0.45	40.0~50.0	1.22	0.70~2.13	0.69	0.49
16.0~19.0	1.42	0.83~2.44	1.28	0.20	50.0~60.0	1.36	0.80~2.32	1.12	0.26
>19.0	1.76	1.04~2.99	2.06	0.04	>60.0	1.68	0.99~2.85	1.96	0.05
孕前三月平均					孕 29 周以后平均				
<13.0	1.00				<40.0	1.00			
13.0~16.0	1.28	0.74~2.23	0.88	0.38	40.0~50.0	1.20	0.69~2.10	0.64	0.52
16.0~19.0	1.46	0.86~2.49	1.40	0.16	50.0~60.0	1.38	0.81~2.36	1.18	0.24
>19.0	1.82	1.08~3.06	2.18	0.03	>60.0	1.72	1.02~2.91	2.04	0.04
孕 12 周以内平均					O ₃ (μg/m ³)				
<13.0	1.00				孕期平均				
13.0~16.0	1.22	0.70~2.13	0.69	0.49	<54.0	1.00			
16.0~19.0	1.38	0.81~2.36	1.18	0.24	54.0~65.0	1.04	0.60~1.81	0.14	0.89
>19.0	1.68	0.99~2.85	1.96	0.05	65.0~77.0	1.08	0.63~1.86	0.27	0.79
孕 13~28 周平均					>77.0	1.12	0.66~1.92	0.41	0.68
<13.0	1.00				孕前三月平均				
13.0~16.0	1.20	0.69~2.10	0.64	0.52	<55.0	1.00			
16.0~19.0	1.32	0.77~2.27	1.02	0.31	55.0~66.0	1.06	0.61~1.84	0.20	0.84
>19.0	1.58	0.93~2.69	1.82	0.07	66.0~78.0	1.10	0.64~1.90	0.33	0.74
					>78.0	1.14	0.67~1.95	0.48	0.63

(转下表)

(续上表)

变量	OR	95%CI	Z	P	变量	OR	95%CI	Z	P
孕 12 周以内平均					孕前三月平均				
<54.0	1.00				<0.9	1.00			
54.0~65.0	1.02	0.59~1.77	0.08	0.94	0.9~1.1	1.10	0.63~1.92	0.33	0.74
65.0~77.0	1.06	0.62~1.83	0.18	0.86	1.1~1.3	1.14	0.66~1.98	0.48	0.63
>77.0	1.10	0.65~1.88	0.32	0.75	>1.3	1.22	0.71~2.10	0.72	0.47
孕 13~28 周平均					孕 12 周以内平均				
<54.0	1.00				<0.9	1.00			
54.0~65.0	1.04	0.60~1.80	0.13	0.90	0.9~1.1	1.06	0.61~1.86	0.20	0.84
65.0~77.0	1.08	0.63~1.85	0.25	0.80	1.1~1.3	1.10	0.64~1.91	0.33	0.74
>77.0	1.12	0.66~1.91	0.40	0.69	>1.3	1.16	0.68~1.99	0.54	0.59
孕 29 周以后平均					孕 13~28 周平均				
<54.0	1.00				<0.9	1.00			
54.0~65.0	1.06	0.61~1.83	0.20	0.84	0.9~1.1	1.08	0.62~1.88	0.27	0.79
65.0~77.0	1.10	0.64~1.89	0.33	0.74	1.1~1.3	1.12	0.65~1.93	0.41	0.68
>77.0	1.14	0.67~1.94	0.49	0.62	>1.3	1.18	0.69~2.02	0.61	0.54
CO(mg/m ³)					孕 29 周以后平均				
孕期平均					<0.9	1.00			
<0.9	1.00				0.9~1.1	1.06	0.61~1.84	0.18	0.86
0.9~1.1	1.08	0.62~1.89	0.27	0.79	1.1~1.3	1.10	0.64~1.89	0.33	0.74
1.1~1.3	1.12	0.65~1.94	0.41	0.68	>1.3	1.14	0.67~1.94	0.49	0.62
>1.3	1.18	0.69~2.03	0.61	0.54					

注:孕期空气污染物浓度暴露根据样本的四分位数分类。

3 讨论

3.1 与国内外研究结果相比较

本研究发现,孕期暴露于较高水平的 PM_{2.5}、SO₂和 NO₂与早产风险增加有显著的相关性,这与此前部分国内外研究结果相一致。一项研究发现,孕期暴露于较高水平的 PM_{2.5}和 SO₂与早产风险增加显著正相关,而 PM₁₀、NO₂和 O₃的影响不明显^[9]。另一项研究发现,孕期暴露于较高水平的 PM_{2.5}、PM₁₀和 NO₂与早产风险增加显著正相关,而 SO₂和 O₃的影响不明显^[10]。孕期暴露于较高水平的 PM_{2.5}、PM₁₀和 NO₂与早产风险增加存在显著正相关关系,而 SO₂和 O₃的影响不明显^[11]。研究结果表明,不同地区和不同污染物对早产的影响存在差异,与空气污染物的来源、组成、浓度、变化范围、暴露时间、暴露方式、暴露人群的特征、暴露效应的评估方法等因素有关^[12]。

3.2 空气污染物暴露影响胎儿发育

空气污染物可能通过多途径影响胎儿生长发育从而导致早产。首先,空气污染物可通过呼吸道进入孕妇血液,引起全身性炎症反应,导致胎盘血管痉挛及缺血,影响胎盘功能及胎盘结构,降低了胎盘的氧合能力和营养供应,从而影响胎儿生长发育^[13]。其次,空气污染物可直接穿过胎盘屏障,对胎儿器官和各系统造成直接损伤,导致胎儿发育异常或畸形^[14]。第三,空气污染物可改变孕妇内分泌水平,影响孕激素分泌及代谢,导致子宫收缩和宫颈松弛,诱发早产。最后,空气污染物可增加孕妇的感染风险,引起胎膜炎或羊水感染,导致胎儿发育受限或早产^[15]。

3.3 孕期各阶段暴露效应的差异性

本研究发现,孕期各阶段的暴露效应存在一定差异,孕前三个月和孕晚期的效应较为显著,可能与胎儿的生长发育阶段和敏感期有关。孕前三个月是

胎儿的器官形成期,此时胎儿对外界环境的干扰最为敏感,空气污染物的暴露可能导致胎儿的发育异常或畸形,从而诱发早产^[16]。孕晚期是胎儿的快速生长期,此时胎儿对胎盘的营养和氧气的需求最为旺盛,空气污染物的暴露可能导致胎盘的功能障碍或胎儿的发育受限,从而诱发早产^[17]。

3.4 研究优势与局限性

本研究的优势为采用病例对照研究设计,以母亲的年龄和教育程度为配对标准,有效控制一些可能的混杂因素,提高研究的可信度。本研究的局限性为采用空气质量监测站数据作为孕妇暴露水平估计值,可能存在一定的暴露误差,未考虑孕妇行为和生活方式等因素对暴露水平的影响。此外,本研究的样本量较小,不能排除一些未知或未控制的混杂因素干扰。未来,该研究将依靠更大的样本量和更精确的暴露评估方式进一步探索和验证。

本研究结果显示,孕期暴露于较高浓度的空气污染物可能是早产发生的重要危险因素之一,提示应关注空气污染,以保护胎儿健康。

[参考文献]

- [1]谢幸,苟文丽.妇产科学[M].第9版.北京:人民卫生出版社,2018.
- [2]Perin J, Mulick A, Yeung D, et al. Global, regional, and national causes of under-5 mortality in 2000-19: an updated systematic analysis with implications for the Sustainable Development Goals[J]. Lancet Child Adolesc, 2022, 6(2):106-115.
- [3]Markham K B, Klebanoff M. Prevention of preterm birth in modern obstetrics[J]. Clin Perinatol, 2014, 41(4):773-785.
- [4]Fuller R, Landrigan P J, Balakrishnan K, et al. Pollution and health: a progress update[J]. Lancet Planet Health, 2022, 6(6):e535-e547.
- [5]Chowdhury S, Pozzer A, Dey S, et al. Changing risk factors that contribute to premature mortality from ambient air pollution between 2000 and 2015 [J]. Environ Res Lett, 2020, 15(7):074010.
- [6]Liu J, Clark L P, Bechle M J, et al. Disparities in air pollution exposure in the United States by race/ethnicity and income, 1990-2010 [J]. Environ Health Perspect, 2021, 129(12):127005.
- [7]Wallace E R, Buth E, Szpiro A A, et al. Prenatal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons is not associated with behavior problems in preschool and early school-aged children: a prospective multi-cohort study[J]. Environ Res, 2023, 216(Pt 4):114759.
- [8]Nyadanu S D, Dunne J, Tessema G A, et al. Prenatal exposure to ambient air pollution and adverse birth outcomes: an umbrella review of 36 systematic reviews and meta-analyses[J]. Environ Pollut, 2022, 306(1):119465.
- [9]Mendola P, Ha S, Pollack A Z, et al. Chronic and acute Ozone exposure in the week prior to delivery is associated with the risk of stillbirth[J]. Int J Environ Res Public Health, 2017, 14(7):731.
- [10]Huang J, Deng F, Wu S, et al. Association between maternal exposure to ambient air pollutants during pregnancy and fetal growth restriction[J]. J Epidemiol, 2014, 24(6):449-456.
- [11]Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, et al. Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE)[J]. Lancet Respir Med, 2013, 1(9):695-704.
- [12]Bekkar B, Pacheco S, Basu R, et al. Association of air pollution and heat exposure with preterm birth, low birth weight, and stillbirth in the US: a systematic review[J]. JAMA network open, 2020, 3(6):e208243-e208243.
- [13]孙兰迪,张博星,向婉婉,等.妊娠期空气质量状况对子代低出生体重的风险效应[J].中国妇幼健康研究, 2023, 34(4):54-59.
- [14]Hougaard K S, Campagnolo L, Chavatte-Palmer P, et al. A perspective on the developmental toxicity of inhaled nanoparticles[J]. Reprod Toxicol, 2015, 56(1):118-140.
- [15]Theis K R, Romero R, Motomura K, et al. Microbial burden and inflammasome activation in amniotic fluid of patients with preterm prelabor rupture of membranes[J]. J perinat med, 2020, 48(2):115-131.
- [16]万冕,周学东,郑黎薇.孕期健康和环境暴露对牙发育的影响[J].华西口腔医学杂志, 2017, 35(4):437-441.
- [17]唐秦,魏敏,邓建军,等.个体化医学营养疗法对妊娠期糖尿病患者血糖管理及产后糖脂代谢的影响[J].中国妇幼健康研究, 2022, 33(6):71-76.

[专业责任编辑:王 丽]

[中文编辑:冯佳圆;英文编辑:李晓雪]