

乌鲁木齐市母婴多环芳烃负荷水平及关系： 基于某三甲医院的调查

张露艺^{1a}, 李欣^{1b}, 鲁英^{1a, 2}

1. 新疆医科大学 a. 公共卫生学院 b. 中心实验室, 新疆 乌鲁木齐 830001

2. 海南医学院公共卫生学院, 海南 海口 571199

摘要：

[背景] 乌鲁木齐市多环芳烃污染问题较为严重, 已有研究多为环境中多环芳烃的测定, 缺乏人群研究尤其是母婴多环芳烃暴露的研究。

[目的] 评价乌鲁木齐市孕产妇及其新生儿多环芳烃负荷水平, 探索两者之间的关系。

[方法] 纳入2019年1月1日—12月31日在乌鲁木齐市某综合性三甲医院分娩的孕产妇200人, 收集孕产妇外周静脉血及其新生儿脐血, 共400份血液样本, 采用气相色谱-质谱联用法检测16种多环芳烃(萘; 苊烯; 苊; 苝; 菲; 蒽; 荧蒽; 芘; 苯并[a]芘; 蒎; 苯并[g, h, i]芘; 苯并[a]蒽; 苯并[b]荧蒽; 苯并[k]荧蒽; 茚并[1, 2, 3-cd]芘; 二苯并[a, h]蒽)的含量, 采用Spearman秩相关分析孕产妇及新生儿多环芳烃暴露水平的相关性。

[结果] 孕产妇外周静脉血中16种PAHs检出率最高为萘和蒽, 其次为苯并[a]芘、苝和菲, 最低为苯并[a]蒽(95.5%、94.5%、83.0%); 检出浓度最大值最高为萘, 其次为苝, 最低为茚并[1, 2, 3-cd]芘(23.39、13.36、0.99 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$); 检出浓度中位数(M)最高值为萘, 其次为苝, 最低为芘(5.48、3.05、0.14 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。新生儿脐带血中16种PAHs检出率最高为萘, 其次为苊, 最低为苯并[b]荧蒽(97.5%、96.0%、79.0%); 检出浓度最大值前三位为萘、苝、苯并[g, h, i]芘(10.11、9.97、0.91 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), 中位数(M)前三位为萘、苝和苯并[a]芘(4.55、3.23、0.08 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。苊烯检出最小值低于0.01 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。新生儿脐血中苯并[k]荧蒽、苝与孕产妇外周静脉血中该物质浓度相关($r=0.206$, $r=0.162$, $P<0.05$)。

[结论] 乌鲁木齐市孕产妇及新生儿血中可检测出多种多环芳烃, 而且孕妇与新生儿体内的多种多环芳烃浓度存在弱相关关系, 提示孕妇多环芳烃暴露可能会导致新生儿体内的多环芳烃负荷水平增加, 从而影响新生儿健康。

关键词：多环芳烃; 孕产妇; 新生儿; 苯并[a]芘; 苯并[k]荧蒽; 苝

Relationship between polycyclic aromatic hydrocarbons loads of pregnant women and newborns in a Class-A tertiary hospital in Urumqi ZHANG Lu-yi^{1a}, LI Xin^{1b}, LU Ying^{1a, 2} (1. a. School of Public Health b. Central Laboratory, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830001, China; 2. School of Public Health, Hainan Medical College, Haikou, Hainan 571199, China)

Abstract:

[Background] Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution is a serious problem in Urumqi. Most studies determine environmental PAHs, and there lacks population studies, especially on the exposure of mothers and infants to PAHs.

[Objective] This study aims to evaluate the PAHs loads of pregnant women and their newborns, and to explore the relationship between them.

[Methods] From January 1 to December 31, 2019, a total of 200 pregnant women who delivered in a Class-A tertiary general hospital in Urumqi were enrolled in the study. Their peripheral venous blood samples ($n=200$) and their newborns' cord blood samples ($n=200$) were collected to detect 16 kinds of PAHs (naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo[a]pyrene, chrysene, benzo[g, h, i]pyrene, benzo[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, indeno[1, 2, 3-cd]pyrene, and dibenzo[a, h]anthracene) by gas chromatography-mass spectrometry. Spearman rank correlation analysis was used to analyze the correlation of PAHs exposure levels in pregnant women and

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20228

基金项目

国家自然科学基金项目(81960580)

作者简介

张露艺(1994—), 女, 硕士生;
E-mail: 769783945@qq.com

通信作者

鲁英, E-mail: xjluying@163.com

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-05-17

录用日期 2020-08-11

文章编号 2095-9982(2020)10-0963-07

中图分类号 R17

文献标志码 A

►引用

张露艺, 李欣, 鲁英. 乌鲁木齐市母婴多环芳烃负荷水平及关系: 基于某三甲医院的调查[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(10): 963-969.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20228

Funding

This study was funded.

Correspondence to

LU Ying, E-mail: xjluying@163.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2020-05-17

Accepted 2020-08-11

►To cite

ZHANG Lu-yi, LI Xin, LU Ying. Relationship between polycyclic aromatic hydrocarbons loads of pregnant women and newborns in a Class-A tertiary hospital in Urumqi[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(10): 963-969.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20228

their newborns.

[Results] Among the selected 16 PAHs in maternal peripheral venous blood, acenaphthene and chrysene had the highest positive rates (both 95.5%), followed by benzo[a]pyrene, fluorene, and phenanthrene (all 94.5%), and the lowest was benzo[a]anthracene (83.0%); acenaphthene had the highest maximum concentration, followed by fluorene, and indeno[1, 2, 3-cd]pyrene had the lowest (23.39, 13.36, and $0.99 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively); acenaphthene had the highest median concentration (M), followed by fluorene, and pyrene had the lowest (5.48, 3.05, and $0.14 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively). Among the selected 16 PAHs in neonatal umbilical cord blood, naphthalene had the highest positive rate, followed by acenaphthene, and benzo[b]fluoranthene had the lowest (97.5%, 96.0%, and 79.0%, respectively); acenaphthene, fluorene, benzo[g, h, i]pyrene had the highest maximum concentrations (10.11, 9.97, $0.91 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively); acenaphthene, fluorene, and benzo[a]pyrene had the highest median concentrations (M) (4.55, 3.23, $0.08 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively). The minimum concentration of acenaphthylene was lower than $0.01 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Benzo[k]fluoranthene and fluorene concentrations in the cord blood of newborns were correlated with the concentrations in the peripheral venous blood of pregnant women ($r=0.206$, $r=0.162$, $P < 0.05$).

[Conclusion] A variety of PAHs are detected in the blood of pregnant women and newborns in Urumqi, and there are weak correlations between pregnant women and their newborns, suggesting that the PAHs exposure of pregnant women may cause PAHs loads in newborns and affect their health.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons; pregnant woman; newborn; benzo[a]pyrene; benzo[k]fluoranthene; fluorene

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 主要来自各种含碳有机物 (如煤炭、石油、烟草等) 的热解和不完全燃烧, 是普遍存在的一类持久性有机污染物^[1-3], 广泛存在于空气、土壤、水及食物中, 可通过消化道、呼吸道、皮肤接触等途径进入人体^[4]。有研究表明, PAHs在体内蓄积, 对哺乳动物具有致癌、致畸、致突变和免疫毒性等影响^[5]。孕产妇及婴幼儿是PAHs暴露的易感人群, 多数PAHs可通过胎盘屏障作用于子代, 导致不良妊娠结局^[6-7]及新生儿出生体重、头围、智商和认知功能下降^[8-10]。本研究以乌鲁木齐市某三甲医院孕产妇外周静脉血及其新生儿脐血中16种PAHs水平作为研究指标, 评价乌鲁木齐母婴PAHs负荷水平, 为今后进一步开展环境污染物的健康影响评价, 制定合理的环境卫生政策, 开展环境有害物质早期宫内暴露的预防工作提供依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

研究对象为于2019年1月1日—12月31日在乌鲁木齐市某综合性三甲医院分娩的孕产妇, 选取健康并符合纳入标准 (孕产妇年龄 ≥ 18 周岁且足月生产; 自我报告为乌鲁木齐市常住居民或在乌鲁木齐市居住1年以上; 本人无主动吸烟史、饮酒史) 的孕产妇200人, 收集孕产妇外周静脉血及其新生儿脐血。研究对象均签署知情同意书; 研究经新疆医科大学第一附属医院伦理审核委员会审批通过, 伦理审批号: 20190226-30。采用自行设计问卷, 对孕产妇包括孕产妇基本情况、生活环境情况、孕期生活饮食习惯等进行问卷调查, 获取流行病学资料。

1.2 血液样品采集及保存

1.2.1 孕产妇血液样品采集 孕产妇入院当天, 由专业的护士采集孕产妇外周静脉血5 mL, 置于乙二胺四乙酸 (ethylenediamine tetraacetic acid, EDTA) 抗凝采血管, 立即将样品运至实验室, 离心并分离血清, 置于 -80°C 冰箱避光保存。

1.2.2 新生儿脐带血液样品采集 孕产妇分娩时用EDTA抗凝采血管收集新生儿脐带血约10 mL。立即将样品运至实验室, 离心并分离血清, 置于 -80°C 冰箱避光保存。

1.3 主要试剂和仪器

氢氧化钠颗粒 (分析纯, 中国天津市北联精细化学品开发有限公司), 无水乙醇 (优级纯, 中国天津市大茂化学试剂厂), 正己烷 (优级纯, 德国SIMARK公司), 氮气 (优级纯, 中国乌鲁木齐科源气体制造有限公司), 16种PAHs混合标准品 (优级纯, 中国天津阿尔塔科技有限公司), 乙腈 (优级纯, 中国天津市富宇精细化工有限公司)。7890A型气相色谱-质谱联用仪 (美国安捷伦公司), Waters Quattro Micro GC (美国Waters公司), 7683B型自动进样器 (美国安捷伦公司)。

1.4 标准溶液制备

16种PAHs混合标准品纯度为98.0%~99.9%, 每一种物质的质量浓度 (下称浓度) 为 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 避光保存于 -20°C 冰箱中, 使用前室温放置5 min。

1.5 样品处理

将收集到的孕产妇外周静脉血和新生儿脐血立即离心, 离心时间为5 min, 转速为 $3500 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$, 离心半径为13.5 cm。离心后将上清液移入微量离心管 (Eppendorf管, EP管) 中, 避光冻存于 -80°C 的冰箱

中。将血清置室温下水浴解冻,混匀备用。取1.60 g 氢氧化钠颗粒溶于100 mL的乙醇溶液($V_{\text{乙醇}}:V_{\text{水}}=9:1$)中配制成 $0.40 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液待用。取500 μL 血清,加入4 mL $0.40 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液,充分摇荡混匀后置于 60°C 水浴30 min,室温放置5 min。用3 mL正己烷进行液-液萃取3次,收集上层有机相于10 mL比色管中。氮气缓缓吹干,残留物用正己烷定容至1.00 mL,混匀溶解后,过滤膜移至进样小瓶中待测。

1.6 色谱质谱条件

色谱柱:DB-5MS毛细管色谱柱($20.00 \text{ mm}\times 0.18 \text{ mm}\times 0.18 \mu\text{m}$)。色谱条件:进样口温度 280°C ,采用不分流进样;进样量 $1.00 \mu\text{L}$,柱流量 $1.00 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ (恒流)。柱温:初始温度 80°C ;升温程序: $80^\circ\text{C}\rightarrow 80^\circ\text{C}$ (2 min) $\rightarrow 20^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}\rightarrow 180^\circ\text{C}$ (5 min) $\rightarrow 10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}\rightarrow 280^\circ\text{C}$ (5 min)。载气:高纯氦气,流速 $1.00 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。进样方式:脉冲不分流进样模式;进样体积: $1.00 \mu\text{L}$;吹扫时间:3 min。质谱条件:电离源为离子轰击源(electron impact, EI);离子源温度 180°C ;离子化能量70 eV;接口温度: 250°C ;溶剂延迟时:5 min;扫描模式:质谱多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式。

在设定的气相色谱-质谱条件下,分别取 $10 \mu\text{L}$ 的1000、500、200、100、50、 $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度梯度标准品进行检测分析,绘制标准曲线。16种目标PAHs的保留时间在2.56~28.49 min之间,保留时间不相互重叠,分离效果良好,相关系数均趋近于1,表明线性相关程度良好。16种目标PAHs的加标回收率分别为89.7%~113.7%、82.4%~99.4%、71.4%~103.4%,对应的相对标准偏差($n=3$),分别为7.2%~13.4%、6.1%~12.4%、4.8%~14.2%。同一天对样品连续测定3次,日内精密度为1.5%~8.9%。总离子流图见图1。

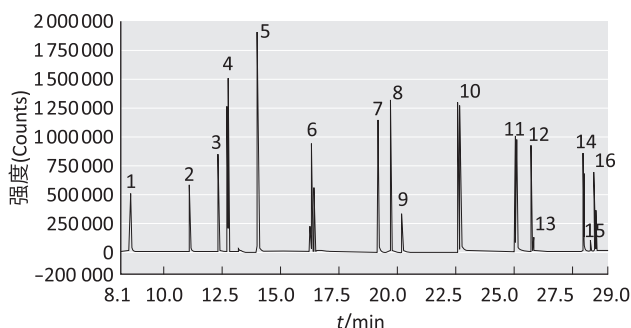
1.7 统计学分析

采用EpiData 3.2建立数据库并双人录入数据。采用SPSS 20.0软件进行统计分析。PAHs浓度为偏态分布,故结果以中位数(M)和四分位数(P_{25} , P_{75})表示。Spearman秩相关分析孕产妇外周静脉血和新生儿脐血中16种PAHs浓度比较及相关关系。检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

2 结果

2.1 孕产妇的基本情况

本研究共200名孕产妇,年龄范围在18~44岁,分别来自乌鲁木齐市的不同区。汉族孕产妇占90.0%,



[注] 1: 萘; 2: 苊烯; 3: 苊; 4: 芴; 5: 菲; 6: 蒽; 7: 荧蒽; 8: 芘; 9: 苯并[a]芘; 10: 蒽; 11: 苯并[g, h, i]芘; 12: 苯并[a]蒽; 13: 苯并[b]荧蒽; 14: 苯并[k]荧蒽; 15: 茚并[1, 2, 3-cd]芘; 16: 二苯并[a, h]蒽。

[Note] 1: Naphthalene; 2: Acenaphthylene; 3: Acenaphthene; 4: Fluorene; 5: Phenanthrene; 6: Anthracene; 7: Fluoranthene; 8: Pyrene; 9: Benzo[a]pyrene; 10: Chrysene; 11: Benzo[g, h, i]pyrene; 12: Benzo[a]anthracene; 13: Benzo[b]fluoranthene; 14: Benzo[k]fluoranthene; 15: Indeno[1, 2, 3-cd]pyrene; 16: Dibenzo[a, h]anthracene.

图1 16种多环芳烃总离子流谱图

Figure 1 Total ion chromatograms of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons

少数民族占10.0%。学历是小学及以下的占1.5%,中学占15.5%,大专及以上占83.0%。居住地与马路距离 $\geq 800 \text{ m}$ 的孕产妇占9.5%, $400\sim <800 \text{ m}$ 占62.5%, $\leq 400 \text{ m}$ 占28.0%。家庭取暖方式为暖气的占98.0%,炉子供暖占1.5%,电力供暖为0.5%。居住地附近没有垃圾场的孕产妇占98.5%,其余居住地附近有垃圾场。居住地附近没有化工厂的孕产妇占99.5%,仅1人居住地附近有化工厂。91.5%的孕产妇居住房3年内没有装修过,其余孕产妇居住房3年内装修过。孕期做饭使用电磁炉的占16.5%,燃气占82.5%,煤球占1%。被动吸烟的占31.5%,无被动吸烟的占68.5%。孕期在马路附近的时间每天在1 h以内的占41.5%,1~2 h占50%,2 h以上占8.5%。

2.2 孕产妇外周静脉血及新生儿脐血中16种PAHs的含量

孕产妇外周静脉血中16种PAHs检出率最高为苊和蒽,其次为苯并[a]芘、芴和菲,最低为苯并[a]蒽(95.5%、94.5%、83.0%)。检出浓度最大值最高为苊,其次为芴,最低为茚并[1, 2, 3-cd]芘(23.39 、 13.36 、 $0.99 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。检出浓度中位数(M)最高值为苊,其次为芴,最低为芘(5.48 、 3.05 、 $0.14 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。茚并[1, 2, 3-cd]芘、萘、菲3种PAHs检出最小值低于 $0.01 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。苊的检出浓度最小值高达 $1.24 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,高于除芴以外的14种PAHs的浓度中位数,接近苯并[g, h, i]芘检出浓度最大值,高于茚并[1, 2, 3-cd]芘检出浓度最大值。

新生儿脐带血中16种PAHs检出率最高为蒽,其次为芘,最低为苯并[b]荧蒽(97.5%、96.0%、79.0%)。检出浓度最大值最高为芘,其次为芴,最低为苯并[g,h,i]芘(10.11、9.97、0.91 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$),中位数(M)最高值为芘,其次为芴,最低为苯并[a]芘(4.55、3.23、0.08 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。芘检出最小值低于0.01 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。芘检出最小值高达1.24 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,高于除芴以外的14种PAHs的中位数。见表1。

2.3 孕产妇外周静脉血和新生儿脐血中PAHs浓度的关系

根据相关分析结果,孕产妇外周静脉血和新生儿体内检出PAHs物质相关的共27组:呈正相关有19组,均为弱相关, $r=0.139\sim 0.271$;呈负相关有8组,均呈弱相关, $r=-0.148\sim -0.280$ 。检出的同种PAHs物质相关的有2组:新生儿脐血中苯并[k]荧蒽、芴与孕产妇外周静脉血中该物质浓度相关($r=0.206$, $r=0.162$, $P<0.05$)。相关关系见表2。

表1 乌鲁木齐市产妇外周静脉血及新生儿脐血中16种PAHs浓度($n=200$)
Table 1 Concentrations of 16 PAHs in maternal peripheral venous blood and neonatal cord blood ($n=200$)

化合物 (Compound)	孕产妇 (Pregnant woman)				新生儿 (Newborn)			
	检出情况 Positive		浓度 / ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) Concentration / ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)		检出情况 Positive		浓度 / ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) Concentration / ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	
	n	%	M (P_{25} , P_{75})	范围 (Range)	n	%	M (P_{25} , P_{75})	范围 (Range)
芘 (Acenaphthene)	191	95.5	5.48 (4.36, 7.13)	1.24~23.40	192	96.0	4.55 (4.04, 5.45)	1.24~10.10
芘烯 (Acenaphthylene)	175	87.5	0.30 (0.13, 0.97)	0.01~2.84	162	81.0	0.24 (0.11, 0.46)	<0.01~2.84
蒽 (Anthracene)	174	87.0	0.43 (0.24, 0.79)	0.02~6.66	165	82.5	0.31 (0.15, 0.62)	0.01~3.70
苯并[a]蒽 (Benzo[a]anthracene)	166	83.0	0.55 (0.14, 1.11)	0.01~3.17	178	89.0	0.35 (0.10, 0.72)	0.01~2.45
苯并[a]芘 (Benzo[a]pyrene)	189	94.5	0.31 (0.08, 0.70)	0.01~3.80	185	92.5	0.08 (0.07, 0.22)	0.01~1.15
苯并[b]荧蒽 (Benzo[b]fluoranthene)	176	88.0	0.23 (0.1, 0.54)	0.01~7.96	158	79.0	0.11 (0.07, 0.24)	0.01~0.99
苯并[g,h,i]芘 (Benzo[g,h,i]pyrene)	180	90.0	0.27 (0.21, 0.35)	0.01~1.25	186	93.0	0.26 (0.13, 0.30)	0.01~0.91
苯并[k]荧蒽 (Benzo[k]fluoranthene)	173	86.5	0.35 (0.24, 0.57)	0.01~1.70	162	81.0	0.30 (0.24, 0.38)	0.01~1.42
蒽 (Chrysene)	191	95.5	0.31 (0.26, 0.58)	0.09~1.74	186	93.0	0.26 (0.20, 0.44)	0.01~1.74
二苯并[a,h]蒽 (Dibenzo[a,h]anthracene)	174	87.0	0.19 (0.11, 0.49)	0.01~1.42	166	83.0	0.14 (0.11, 0.24)	0.01~9.51
荧蒽 (Fluoranthene)	185	92.5	0.34 (0.32, 0.45)	0.01~5.49	183	91.5	0.34 (0.22, 0.47)	0.01~3.46
芴 (Fluorene)	189	94.5	3.05 (0.88, 7.24)	0.01~13.40	183	91.5	3.23 (1.34, 6.88)	0.02~9.97
茚并[1,2,3-cd]芘 (Indeno[1,2,3-cd]pyrene)	174	87.0	0.25 (0.20, 0.51)	<0.01~0.99	169	84.5	0.24 (0.19, 0.32)	0.01~1.00
萘 (Naphthalene)	183	91.5	0.46 (0.29, 0.80)	<0.01~6.23	195	97.5	0.42 (0.24, 0.76)	0.01~1.60
菲 (Phenanthrene)	189	94.5	0.36 (0.21, 0.69)	<0.01~7.57	183	91.5	0.41 (0.22, 0.65)	0.03~2.88
芘 (Pyrene)	172	86.0	0.14 (0.10, 0.62)	0.01~9.20	163	81.5	0.14 (0.09, 0.26)	0.01~1.25
合计 (Total)	—	—	15.60 (13.20, 18.30)	7.33~34.10	—	—	13.00 (13.20, 18.30)	7.33~34.10

表2 乌鲁木齐市孕产妇外周静脉血和新生儿脐血中PAHs Spearman秩相关分析结果(r_s)

Table 2 Results of Spearman rank correlation analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in maternal peripheral venous blood and neonatal cord blood (r_s)

孕产妇静脉血中化合物 Compound in the venous blood of pregnant women	新生儿 (Newborn)					
	芘 Acenaphthene	蒽 Anthracene	苯并[a]蒽 Benzo[a]anthracene	苯并[a]芘 Benzo[a]pyrene	苯并[g,h,i]芘 Benzo[g,h,i]pyrene	苯并[k]荧蒽 Benzo[k]fluoranthene
蒽 (Anthracene)	0.164*	-0.009	0.038	0.070	-0.025	-0.055
苯并[a]蒽 (Benzo[a]anthracene)	-0.007	0.097	0.013	-0.094	0.005	-0.150*
苯并[a]芘 (Benzo[a]pyrene)	0.108	0.013	0.195**	0.017	-0.047	-0.036
苯并[b]荧蒽 (Benzo[b]fluoranthene)	0.083	0.152*	0.189**	0.031	-0.178*	0.139*
苯并[g,h,i]芘 (Benzo[g,h,i]pyrene)	0.058	-0.029	-0.022	-0.048	0.080	0.016
苯并[k]荧蒽 (Benzo[k]fluoranthene)	0.093	0.033	0.048	0.092	0.070	0.206**
蒽 (Chrysene)	-0.014	0.091	0.046	0.149*	-0.055	0.073
二苯并[a,h]蒽 (Dibenzo[a,h]anthracene)	0.073	0.005	0.005	0.058	0.024	0.079
荧蒽 (Fluoranthene)	0.120	0.047	-0.079	-0.091	0.104	-0.001
芴 (Fluorene)	-0.043	-0.148*	-0.116	-0.057	0.144*	0.017
茚并[1,2,3-cd]芘 (Indeno[1,2,3-cd]pyrene)	-0.008	0.119	0.120	-0.015	-0.075	-0.056
萘 (Naphthalene)	0.012	-0.018	-0.118	-0.084	0.134	-0.031
菲 (Phenanthrene)	-0.033	0.064	0.044	0.163*	-0.073	0.117
芘 (Pyrene)	0.271**	0.051	0.026	0.135	-0.067	-0.002

续表 2

孕产妇静脉血中化合物 Compound in the venous blood of pregnant women	新生儿 (Newborn)						
	蒽 Chrysene	二苯并[a, h]蒽 Dibenzo[a, h]anthracene	芴 Fluorene	茚并[1, 2, 3-cd]芘 Indeno[1, 2, 3-cd]pyrene	萘 Naphthalene	菲 Phenanthrene	芘 Pyrene
蒽 (Anthracene)	0.070	0.063	-0.037	0.078	-0.001	0.009	0.162*
苯并[a]蒽 (Benzo[a]anthracene)	-0.018	0.082	-0.004	0.056	-0.070	-0.035	0.020
苯并[a]芘 (Benzo[a]pyrene)	0.055	0.056	-0.105	0.081	-0.280**	0.076	0.023
苯并[b]荧蒽 (Benzo[b]fluoranthene)	0.081	0.093	-0.094	0.121	-0.268**	0.095	0.096
苯并[g, h, i]芘 (Benzo[g, h, i]pyrene)	0.046	-0.100	0.166*	-0.001	0.011	0.074	-0.082
苯并[k]荧蒽 (Benzo[k]fluoranthene)	0.107	0.132	-0.072	0.122	-0.045	0.076	0.086
蒽 (Chrysene)	0.019	0.025	-0.100	-0.064	0.030	-0.094	0.054
二苯并[a, h]蒽 (Dibenzo[a, h]anthracene)	-0.087	-0.045	-0.171*	0.181*	0.043	0.189**	0.123
荧蒽 (Fluoranthene)	-0.100	-0.157*	0.049	-0.095	-0.026	0.048	0.189**
芴 (Fluorene)	-0.022	-0.068	0.162*	-0.093	0.221**	-0.074	-0.077
茚并[1, 2, 3-cd]芘 (Indeno[1, 2, 3-cd]pyrene)	0.108	0.124	0.019	0.001	-0.117	0.069	0.015
萘 (Naphthalene)	-0.075	-0.029	0.233**	0.009	-0.033	0.090	-0.188**
菲 (Phenanthrene)	0.042	0.121	-0.076	-0.074	0.047	-0.037	-0.078
芘 (Pyrene)	0.145*	-0.053	0.042	0.044	-0.149*	0.090	0.056

[注 (Note)] * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$ 。

3 讨论

本研究通过对乌鲁木齐市孕产妇外周静脉血及新生儿脐血中 16 种 PAHs 的测定发现, 孕产妇外周静脉血中 16 种 PAHs 检出率为 83.0%~95.5%; 陈小兰等^[11]检测北京市城区孕妇血浆中 15 种 PAHs, 检出率为 75.1%~97.6%; Tsang 等^[12]检测香港孕妇 15 种 PAHs, 检出率均大于 85%, 但苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽和苯并[g, h, i]芘的检出率极低, 均小于 5%, 而本研究中这 3 种物质的检出率高达 94.5%、87.0%、90.0%。本研究新生儿脐血中 16 种 PAHs 的检出率为 79.0%~97.5%, 孟琪等^[13]检测哈尔滨市新生儿脐血中 18 种 PAHs, 仅 3 种检出率低于 50%, 其余均高于 63%, 其中 8 种达 100%。本研究样本中苯并[b]荧蒽的检出率最低, 为 79.0%, 其余 15 种均高于 81.0%, 检出率偏高。本研究孕产妇外周静脉血中蒽浓度为 5.48 (4.36~7.13) $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 新生儿脐血中为 4.55 (4.04~5.45) $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 高于孟琪等^[13]的研究结果。本研究孕产妇外周静脉血苯并[a]芘含量为 0.31 (0.08~0.70) $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 远高于王君等^[14]北方某市的结果 (0.035 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), 略高于董少霞等^[15]和李永红等^[16]对太原孕妇血清的检测结果 (分别为 0.16、0.22 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。

Lee 等^[8]研究发现, 天然气燃烧时产生的 PAHs 中含有较高含量的蒽、荧蒽和芘。烹调油烟也是 PAHs 的主要来源之一^[17]。不仅煤的不完全燃烧可产生苯并[b]荧蒽, 汽车尾气排放也可增加大气中茚并[1, 2, 3-cd]芘、苯并[g, h, i]芘和苯并[k]荧蒽的量^[18]。乌鲁木齐市三面环山, 冬季大气污染物难于扩散, 而且冬季气候严寒, 供暖时间长达半年。冬季大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 、

PM_{10} 和 CO 等主要污染物的平均浓度高于夏季, 而且冬季为三级轻度及以上污染, 城北高于城南^[19-20]。用苯并[a]芘毒性当量浓度评估该市大气中 PAHs 的致癌风险, 发现苯并[a]芘在 $\text{PM}_{2.5}$ 中的平均水平是 5.97 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 高出欧盟规定的安全限值 (1 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$) 5 倍^[21]。乌鲁木齐市不仅空气中的 PAHs 浓度超标严重, 而且土壤中 16 种 PAHs 的平均浓度也高出我国土壤 PAHs 的平均值近 9 倍, 具有中等致癌性^[22]。另外, 机动车辆排放等交通运输源对城市家庭室内空气中 PAHs 的影响较大^[23]。本研究中孕产妇及新生儿 PAHs 体内的负荷水平可能与室外空气污染、生活环境中被动吸烟、住宅燃煤取暖等因素有关, 尚需结合流行病学资料进一步研究。

本研究采用 Spearman 秩相关分析孕产妇外周静脉血和新生儿脐血中 PAHs 含量, 新生儿脐血中检测出的部分 PAHs 与孕产妇静脉血中的部分 PAHs 存在相关关系, 蒽、蒽、芴、菲为 3 环结构, 芘、荧蒽、蒽、苯并[a]蒽为 4 环结构, 苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽为 5 环结构, 苯并[g, h, i]芘和茚并[1, 2, 3-cd]芘为 6 环结构。根据国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 确定的划分标准, 苯并[a]芘属于 1 类致癌物, 苯并[b]荧蒽属于 2B 类致癌物。孕产妇血液中芘含量影响新生儿蒽、蒽、萘含量, 4 环 PAHs 不仅可以影响 4 环结构, 还可能影响 2、3 环结构的 PAHs。蒽是煤焦油及洗油深加工的主要产品之一, 蒽在煤焦油中约占 1.2%~1.8%, 是含量较多的化合物^[24]。刘芷彤等^[25]研究发现萘的来源主要通过工业化学品的生产、使用和

泄露, 废弃物焚烧、金属冶炼等工业热过程中的产生和排放。本研究显示: 新生儿脐血中苯并[k]荧蒽与孕产妇外周静脉血的苯并[k]荧蒽含量相关。苯并[k]荧蒽是由5个熔融环组成的淡黄色芳香烃, 是有机物不完全燃烧产生的。苯并[k]荧蒽主要存在于汽油尾气、香烟烟雾、煤焦油、煤和石油燃烧排放物、润滑油、用过的机油和原油中, 且苯并[k]荧蒽属于5环结构, 孕期减少苯并[k]荧蒽可能来源物的接触, 对保障新生儿的健康具有一定的意义。这些具有潜在致癌性的PAHs类物质通过母体接触、穿透胎盘屏障作用于子代, 是否会影响子代胎源性疾病的发生, 也是值得研究的一个重要问题。

PAHs在实验动物研究中已被证实可以跨越胎盘屏障, 胎儿剂量至少比母体剂量低一个数量级^[26-27]。但董少霞等^[15]的研究发现, 脐血中的PAHs含量通常高于母体血中的含量。本研究发现新生儿脐血中芴、菲浓度的中位数比孕产妇高, 而其余14种PAHs浓度则比孕产妇外周静脉血中的浓度中位数低。因此, 需要进一步研究母体与胎儿之间不同种类PAHs体内负荷水平变化情况, 确定二者之间的关系, 以明确PAHs对孕产妇及新生儿的危害。

本研究对母婴PAHs暴露水平的检测处于初步阶段。国内外研究中, 同时检测孕产妇外周静脉血及新生儿脐血中16种PAHs暴露水平的研究资料较少, 多数研究都是检测孕产妇尿液PAHs代谢物水平, 而血液中的PAHs是未经代谢的, 作为研究指标更加准确。本研究仅对乌鲁木齐市一家综合性三甲医院一年的孕产妇及新生儿作为研究对象, 样本量相对较小。本研究对孕产妇外周静脉血及新生儿脐血中PAHs暴露水平进行现况调查, 仅探讨了孕产妇外周静脉血及新生儿脐血中PAHs暴露水平。没有对采暖期和非采暖期、被动吸烟、烹饪方式等因素进行深入探讨, 今后可根据流行病学资料进行深入研究。

本研究显示: 乌鲁木齐市孕产妇及新生儿血中可检测出多种多环芳烃, 而且孕妇与新生儿体内的多种多环芳烃浓度存在弱相关关系, 提示孕产妇多环芳烃暴露可能会导致新生儿体内的多环芳烃负荷水平增加, 从而影响新生儿健康。应重视对PAHs暴露高敏感人群PAHs的长期全面监测和健康风险的评估。

参考文献

[1] 杨德中, 梁书航, 王宇希, 等. 非职业人群多环芳烃暴露

对血脂代谢的影响[J]. 环境与健康杂志, 2019, 36(3): 232-236.

[2] SUN JH, WANG GL, CHAI Y, et al. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Henan reach of the Yellow River, Middle China [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2009, 72(5): 1614-1624.

[3] 王晴萱. 有机污染物多环芳烃检测方法及其进展[J]. 中国环境管理, 2013, 5(3): 49-52.

[4] International Programme on Chemical Safety, World Health Organization. Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons [R]. Geneva: World Health Organization, 1998.

[5] PENG C, CHEN W, LIAO X, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils of Beijing: Status, sources, distribution and potential risk [J]. Environ Pollut, 2011, 159(3): 802-808.

[6] 蔡任之, 钱耐思, 虞慧婷, 等. 母亲孕中期空气污染暴露与新生儿出生体重的相关性[J]. 环境与职业医学, 2017, 34(6): 479-482.

[7] 成琳, 李艳宁, 邓云琚, 等. 母亲孕期多环芳烃暴露对新生儿体格发育的影响[J]. 环境与职业医学, 2017, 34(5): 385-391.

[8] LEE J, KALIA V, PERERA F, et al. Prenatal airborne polycyclic aromatic hydrocarbon exposure, LINE1 methylation and child development in a Chinese cohort [J]. Environ Int, 2016, 99: 315-320.

[9] ZEDLER BK, MANN AL, KIM MM, et al. Buprenorphine compared with methadone to treat pregnant women with opioid use disorder: a systematic review and meta-analysis of safety in the mother, fetus and child [J]. Addiction, 2016, 111(12): 2115-2128.

[10] JEDRYCHOWSKI WA, PERERA FP, CAMANN D, et al. Prenatal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and cognitive dysfunction in children [J]. Environ Sci Pollut Res, 2015, 22(5): 3631-3639.

[11] 陈小兰, 王斌, 王佳楣, 等. 北京市城区孕妇多环芳烃暴露水平及季节变化特征[J]. 中国公共卫生, 2016, 32(1): 113-117.

[12] TSANG HL, WU S, LEUNG CK, et al. Body burden of POPs of Hong Kong residents, based on human milk, maternal and cord serum [J]. Environ Int, 2011, 37(1): 142-151.

[13] 孟琪, 王艳梅, 徐宁, 等. 哈尔滨市新生儿脐血中多环芳烃水平及影响因素[J]. 环境与职业医学, 2016, 33(5): 427-432.

- [14] 王君, 付慧, 冯国双, 等. 孕期妇女体内苯并(a)芘负荷水平调查[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(4): 323-325.
- [15] 董少霞, 丁昌明, 张美云, 等. 胎儿宫内多环芳烃暴露水平及其母婴暴露关系研究[J]. 卫生研究, 2009, 38(3): 339-342.
- [16] 李永红, 王欣心, 程义斌, 等. 母婴多环芳烃负荷水平及其毒性贡献率评价[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(4): 305-308.
- [17] 刘志阳. 武汉室内灰尘中典型持久性有机物的污染特征及人体暴露风险评估[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2015.
- [18] 张凤. 我国室内环境多环芳烃残留特征源解析及人体暴露评估[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [19] 赵克明. 焚风对乌鲁木齐冬季大气污染的影响探析[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [20] 罗治江. 乌鲁木齐市冬季大气污染成因分析及防治对策初探[J]. 资源节约与环保, 2017(7): 58, 60.
- [21] LIMU YL, LIFU DL, MITI AB, et al. Autumn and wintertime polycyclic aromatic hydrocarbons in PM_{2.5} and PM_{2.5-10} from Urumqi, China [J]. Aerosol Air Qual Res, 2013, 13(1): 407-414.
- [22] CHEN M, HUANG P, CHEN L. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Urumqi, China: distribution, source contributions, and potential health risks [J]. Environ Monit Assess, 2013, 185(7): 5639-5651.
- [23] 张凤. 我国室内环境多环芳烃残留特征源解析及人体暴露评估[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [24] 李浩, 王康康, 李改锋, 等. 茚的用途及提取工艺研究进展[J]. 广州化工, 2016, 44(11): 5-6, 9.
- [25] 刘芷彤, 刘国瑞, 郑明辉, 等. 多氯萘的来源及环境污染特征研究[J]. 中国科学: 化学, 2013, 43(3): 279-290.
- [26] BARR DB, BISHOP A, NEEDHAM LL. Concentrations of xenobiotic chemicals in the maternal-fetal unit [J]. Reprod Toxicol, 2007, 23(3): 260-266.
- [27] NEUBERT D, TAPKEN S. Transfer of benzo(a)pyrene into mouse embryos and fetuses [J]. Arch Toxicol, 1988, 62(2/3): 236-239.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 王晓宇)

· 告知栏 ·

关于假冒《环境与职业医学》编辑的声明

近期发现有个人或机构通过电子邮件和微信冒用《环境与职业医学》编辑身份, 以组稿或确认稿件信息等名义, 请求添加作者的微信。

特此郑重声明: 本刊编辑不会以私人微信添加作者账号, 所有编辑均使用以 scdc.sh.cn 为后缀的邮箱, 请作者务必注意甄别。

本刊网址: www.jeom.org; 微信公众号: 环境与职业医学; E-mail: jeom@scdc.sh.cn; 电话: 021-62084529。

提醒: 不要轻易点开网址链接, 不要扫码或添加来路不明的微信号, 不要向假冒个人或机构转账或发送稿件。

如有疑问, 请及时与本刊编辑部联系确认。

《环境与职业医学》编辑部
2020年10月25日