

多环芳烃暴露与血压关联的系统评价与Meta分析



肖雨晴, 施羡文, 刘 琴

重庆医科大学公共卫生学院医学与社会发展研究中心 (重庆 400016)

【摘要】目的 对多环芳烃 (PAHs) 暴露与血压的关联进行系统评价与 Meta 分析。**方法** 计算机检索中国知网、万方、中国生物医学、维普、OVID、PubMed、Web of Science、EBSCO 数据库, 搜集 PAHs 暴露与血压关联的文献, 检索时限均为建库至 2025 年 7 月 25 日。由 2 名研究者独立筛选文献、提取数据并评价纳入研究的偏倚风险后, 进行定量和定性总结。**结果** 共纳入 41 篇文献, 涉及 9 项队列研究和 32 项横断面研究。根据纳入的 3 项横断面研究进行的 Meta 分析, 结果显示苯并 [a] 芘暴露是焦炉工人患高血压的危险因素 [OR=1.44, 95%CI (1.15, 1.80)], 纳入的 3 项队列研究也表明 PAHs 暴露是高血压的危险因素。此外, 11 项研究报告 PAHs 暴露与收缩压呈正相关, 10 项研究报告 PAHs 暴露与舒张压呈正相关, 其余研究报告两者之间呈负相关或未发现关联。**结论** PAHs 暴露与血压存在关联且会增加患高血压的风险。

【关键词】 多环芳烃; 血压; 环境暴露; Meta 分析; 系统评价

【中图分类号】 R 544.1; X 503.1

【文献标识码】 A

Systematic review and Meta-analysis of the association between polycyclic aromatic hydrocarbons exposure and blood pressure

XIAO Yuqing, SHI Xianwen, LIU Qin

Research Center for Medicine and Social Development, School of Public Health, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China

Corresponding author: LIU Qin, Email: liuqin@cqmu.edu.cn

【Abstract】Objective To conduct a systematic review and Meta-analysis for the association between polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) exposure and blood pressure. **Methods** The CNKI, WanFang, CBM, VIP, OVID, PubMed, Web of Science, and EBSCO databases were systematically searched for collecting literature on the relationship between PAHs exposure and blood pressure, from inception to July 25, 2025. After two researchers independently screened the literature, extracted data, and assessed the risk of bias in the included studies, a quantitative and qualitative summary was conducted. **Results** A total of 41 papers were included, involving 9 cohort studies and 32 cross-sectional studies. The results of Meta-analysis based on 3 cross-sectional studies showed that benzo[a]pyrene exposure was a risk factor for hypertension among coke oven workers [OR=1.44, 95%CI (1.15, 1.80)]. Consistently, 3 included cohort studies demonstrated PAHs exposure as a risk of hypertension. In addition, a total of 11 studies reported the positive association between PAHs exposure and systolic blood pressure, and 10 studies reported the a positive association between PAHs exposure and diastolic

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202412025

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (81973067)

通信作者: 刘琴, 博士, 教授, 博士研究生导师, Email: liuqin@cqmu.edu.cn

blood pressure, and the remaining studies reported the negative association or found no association between PAHs and blood pressure. **Conclusion** PAHs exposure was associated with blood pressure and increased the risk of hypertension.

【Keywords】 Polycyclic aromatic hydrocarbons; Blood pressure; Environmental exposure; Meta-analysis; Systematic review

2023 年全球 30~79 岁成年人高血压患病率约为 33%^[1]。全球 19 岁以下儿童青少年高血压合并患病率为 4.0%，高血压前期合并率为 9.67%^[2]。高血压及其所致的脑卒中、缺血性心脏病等疾病将导致较高的疾病负担和健康损失^[3]。高血压是遗传、生活方式、环境暴露等多因素共同作用的结果^[4]，近年来，因环境暴露所致的血压水平改变已成为人们关注的焦点。多环芳烃（polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs）是有机物不完全燃烧的产物^[5]，消化道、呼吸道及皮肤接触是人体暴露于 PAHs 的主要途径^[6]。氧化应激增加、血管收缩、内皮功能障碍和昼夜节律改变被认为是 PAHs 影响血压或心血管病的主要机制^[7]。目前，国内外对于 PAHs 暴露与血压关联的流行病学研究结果仍有差异。有研究表明高水平的 PAHs 暴露与高血压风险呈正相关^[8]。一项对于居住在炼油厂附近儿童的调查显示，尿中总羟基菲与儿童收缩压和舒张压无任何关联^[9]。因此，本研究旨在对 PAHs 暴露与血压的关系进行系统评价与 Meta 分析，为进一步探讨环境暴露与血压的关联提供新的线索，为早期预防高血压提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准：①研究主题：PAHs 暴露与血压的关联；②研究对象：全人群，性别不限；③暴露因素为 PAHs；④结局指标为收缩压、舒张压、高血压风险；⑤研究设计为队列研究、横断面研究。排除标准：①非人群研究（如动物）；②未报告 PAHs 暴露与血压的关联；③研究设计不符（如会议摘要、综述、书信、新闻、评论、社论、项目介绍、文献目录和会议摘要等研究文献）；④重复发表文献；⑤非中英文文献。

1.2 文献检索策略

计算机检索中国知网、万方数据库、中国生物医学数据库、维普中文科技期刊数据库、OVID、PubMed、Web of Science、EBSCO 数据库。

检索时限均为各数据库建库至 2025 年 7 月 25 日。中文检索词包括：①多环芳烃、芘、苝、蒽、菲、荧蒽、苊、苯并芘、苯并蒽；②血压、收缩压、舒张压、高血压。英文检索词为：① polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs, Pyrene, Fluorene, Naphthalene, Phenanthrene, Fluoranthene, Acenaphthene, Benzopyrene, polynuclear aromatic hydrocarbons, benzantracene；② blood pressure, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, hypertension。以 PubMed 为例，具体检索策略见框 1。

1.3 文献筛选与资料提取

由 2 名研究者独立筛选文献、提取资料并交叉核对。如有分歧，通过讨论或与第三方协商解决。提取内容包括：①研究基本信息（研究地区和年份、样本来源、研究设计类型等）；②研究对象的基本特征（年龄、性别、样本量等）；③ PAHs 的种类、采样途径、暴露对象及检测时间等；④血压及其测量方式等；⑤ PAHs 与血压的关联指标及其数据。

1.4 纳入研究的偏倚风险评价

采用 NOS 量表（the Newcastle-Ottawa Scale）评价纳入队列研究的偏倚风险，每个条目 1 分，总分 9 分，评分 ≥ 7 分为高质量研究。采用美国卫生保健研究和质量机构（Agency for Healthcare

```
#1 "polycyclic aromatic hydrocarbons"[Title/Abstract] OR
"PAHs"[Title/Abstract] OR "Pyrene"[Title/Abstract] OR
"Fluorene"[Title/Abstract] OR "Naphthalene"[Title/Abstract] OR
"Phenanthrene"[Title/Abstract] OR "Fluoranthene"[Title/Abstract]
OR "Acenaphthene"[Title/Abstract] OR "Benzopyrene"[Title/
Abstract] OR "polynuclear aromatic hydrocarbons"[Title/Abstract]
OR "benzantracene"[Title/Abstract]
#2 "blood pressure"[Title/Abstract] OR "BP"[Title/Abstract] OR
"Systolic blood pressure"[Title/Abstract] OR "SBP"[Title/Abstract]
OR "diastolic blood pressure"[Title/Abstract] OR "DBP"[Title/
Abstract] OR "hypertension"[Title/Abstract]
#3 #1 AND #2
```

框 1 PubMed 检索策略

Box 1. PubMed search strategy

Research and Quality, AHRQ) 的评价标准对横断面研究进行质量评价, 共 11 个条目, 总分 11 分, 评分 ≥ 8 分为高质量文献。正式评价时, 由 2 名研究者独立完成质量评价, 并交叉核对评价结果, 如有分歧经讨论或参考第三方意见解决。

1.5 统计学分析

使用 RevMan 5.4 软件对二分类数据进行 Meta 分析, 各研究间的异质性采用卡方检验 P 值和 I^2 指数进行判定: 若 $P > 0.1$, $I^2 \leq 50\%$, 表示各研究间异质性小, 采用固定效应模型进行 Meta 分析; 若 $P \leq 0.1$, $I^2 > 50\%$, 表示各研究间异质性大, 采用随机效应模型进行 Meta 分析。若纳入研究在 PAHs 种类、采样途径、结局指标等方面存在较大的异质性, 则按照结局指标分别描述和归纳 PAHs 暴露与血压的关联。

2 结果

2.1 文献筛选流程及结果

初检出相关文献 5 728 篇, 经逐层筛选后, 最终纳入 41 篇文献, 涉及 9 项队列研究^[10-15, 41-43]、32 项横断面研究^[7-8, 16-40, 44-48]。文献筛选流程及结果见图 1。

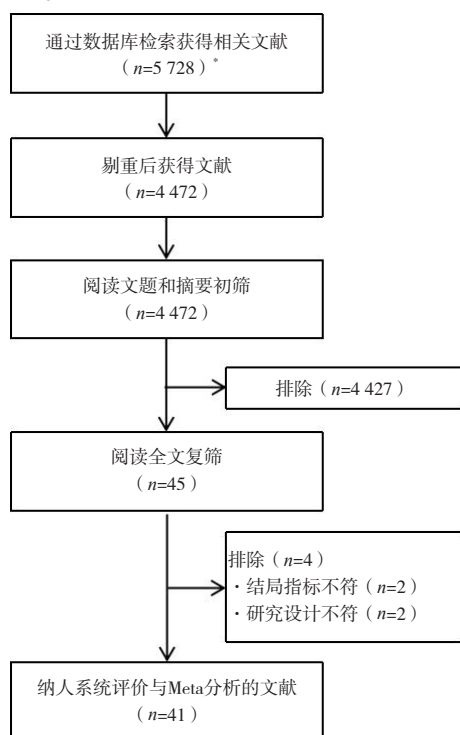


图1 文献筛选流程图

Figure 1. Flow chart of literature screening

注: *检索的数据库及检出文献数具体为: PubMed ($n=2\ 224$)、OVID ($n=13$)、EBSCO ($n=115$)、Web of Science ($n=1\ 188$)、CBM ($n=1\ 232$)、VIP ($n=242$)、WanFang Data ($n=490$)、CNKI ($n=224$)。

2.2 纳入研究的基本特征及质量评价结果

纳入的 41 项研究中, 涉及成人 36 项^[7-8, 10-11, 13, 15-22, 24-29, 31-41, 43-44, 46-48], 儿童青少年 6 项^[12, 14, 23, 30, 42, 45]。纳入的队列研究 NOS 评分为 5~9 分, 横断面研究 AHRQ 评分为 6~10 分。纳入队列研究和横断面研究的基本特征及质量评价结果见附件表 1 和表 2。

2.3 PAHs暴露与高血压的关联与Meta分析

纳入的 41 项研究中, 共 24 项报告了 PAHs 暴露与高血压风险的关联。其中, 3 项队列研究^[13-15]均表明 PAHs 暴露是高血压的危险因素。横断面研究中多数研究表明 PAHs 暴露是增加高血压风险的危险因素, 而 Peng 等^[46]的研究发现 3-羟基菲、6-羟基蒽烯 + 11-羟基苯并[a]蒽与女性高血压风险降低相关, 仅 Xu 等^[31]的研究未发现 PAHs 暴露与高血压的关联, 详见附件表 2。

根据 3 项研究^[34, 37-38]进行的 Meta 分析结果显示, 苯并[a]芘暴露组发生高血压的风险是对照组的 1.44 倍 $[95\%CI(1.15, 1.80)]$, 见附件图 1。

2.4 PAHs暴露与收缩压和舒张压的关联

2.4.1 PAHs暴露与收缩压的关联

7 项队列研究探讨了 PAHs 暴露与收缩压的关联, 其中 5 项研究^[11-12, 14, 41, 43]观察到 PAHs 暴露与收缩压之间呈正相关; Feng 等^[10]开展的半纵向研究虽然发现 PAHs 通过睾酮水平间接影响血压, 但在高睾酮水平亚组中却未观察到 PAHs 暴露与收缩压的显著相关性; 而一项在孟加拉国开展的研究并未发现 PAHs 暴露与儿童收缩压的关联^[42], 见附件表 1。

10 项横断面研究报告了 PAHs 暴露与收缩压的关联, 其中周莉^[7]分别基于美国 NHANES 数据库及中国煤矿工人开展的 2 项研究发现, 2-羟基萘、2-羟基苈、3-羟基苈与美国人群收缩压呈正相关, 但 9-羟基菲、1-羟基芘与中国煤矿工人的收缩压呈负相关; 另有 4 项研究^[26-27, 39, 44-45]报告 PAHs 暴露与收缩压呈正相关; 2 项研究^[25, 30]报告为负相关; 2 项研究^[18, 28]未发现 PAHs 暴露与收缩压的关联, 见附件表 2。

2.4.2 PAHs暴露与舒张压的关联

7 项队列研究报告了 PAHs 暴露与舒张压的关联, 其中 5 项研究发现 PAHs 暴露与舒张压升高有关^[10, 12, 14, 41, 43]; 而 Jacobs 等^[11]的研究发现附着在颗粒物上的 PAHs 与舒张压之间呈负相关;

Trask 等^[42]的研究也发现 $\Sigma\text{OH-PAHs}$ 与儿童舒张压呈显著负相关；此外，殷文军等^[14]的研究指出尿 OH-PAHs 浓度对血压值的影响呈现滞后效应，肥胖指标（BMI、腰围）会对 PAHs 暴露与血压关联产生中介效应。

12 项横断面研究报告的结果存在较大异质性，其中 5 项报告为正相关^[16, 23, 26, 28, 45]；而周莉开展的 2 项研究均发现 1-羟基芘暴露与舒张压呈负相关^[7]，与 Sancini 等^[25]的研究一致；此外，还有 4 项研究^[18, 39, 44, 47]未发现两者之间的关联，见附件表 2。

3 讨论

目前，关于 PAHs 暴露对儿童青少年血压影响的队列研究较少，仅 1 项研究发现 PAHs 尿液羟基代谢物与 4~13 岁儿童收缩压及舒张压的升高有关^[12]。而横断面研究结果尚不一致，有研究发现母亲产前接触 PAHs 与儿童血压升高显著相关^[45]，而 PAHs 暴露会通过减少体内的抗氧化剂导致儿童血压下降^[30]。目前报道 PAHs 暴露与儿童青少年血压关联的研究较少，且不同的 PAHs 采样途径和研究对象年龄段的选取也可能导致结果存在差异，因此，两者之间是否存在关联仍需开展高质量的队列研究予以证实。

有关 PAHs 暴露对成人血压的影响的研究结果尚不一致，这可能与接触的 PAHs 种类、接触时间^[49]和暴露环境^[50]等有关。对焦炉工人而言，其更易暴露在高浓度的 PAHs 环境下，其尿 1-羟基芘的浓度及蓄积量更多，高血压患病率更高^[15]；对于老年人来说，附着在空气颗粒物上的含氧 PAHs 与其收缩压和脉压升高有关，但与舒张压呈负相关^[11]，此外尿 $\Sigma\text{OH-PAHs}$ 与老年血压升高显著相关^[43]。殷文军等^[14]选取了三个年龄段（< 18 岁，18~60 岁，≥ 60 岁）的人群作为研究对象，其研究结果未发现基于尿 $\Sigma\text{OH-PAHs}$ 水平估算的每日摄入苯并[a]芘毒性当量与血压、高血压前期之间存在相关关系，但尿 $\Sigma\text{OH-PAHs}$ 与血压、高血压前期之间呈正相关，对于每一种 OH-PAHs 是否都与血压相关联还需更多的研究来证实。此外，研究发现肥胖可能是 PAHs 暴露与血压间的重要中介因素^[51]，同时暴露于多种环境污染物则可能造成混杂^[44]。

PAHs 暴露引起血压变化的机制已取得部分

进展，现有研究发现激活芳香烃受体信号通路、增加糖皮质激素水平、损害内皮型一氧化氮合酶和一氧化氮通路以及激活肾素-血管紧张素系统等是使血压升高的可能路径^[52]。此外，长期 PAHs 暴露可能导致 SD 大鼠和原代人脐静脉内皮细胞的内皮功能障碍，从而导致心血管损伤引起血压改变^[53]。Morales-Rubio 等^[54]发现孕鼠暴露于含 PAHs 的超细小颗粒会通过炎症反应及氧化应激促进胎盘应激并使肾素-血管紧张素系统相关蛋白表达增加，从而导致后代血压改变。

人体对 PAHs 暴露主要通过吸入、皮肤接触和摄入等途径发生，从采样途径来看，纳入研究主要通过空气采样、尿液中 OH-PAHs 的测定两种方式对人体 PAHs 暴露量进行估算，但除了上述两种方法现有研究中还使用了组织样本收集^[29]、皮肤擦拭采样^[55]方法来评估人体 PAHs 的暴露水平，不同的采样途径可能会造成结果之间的差异，而上述采样方法各有优势和局限性，应根据具体的研究目的和条件选择合适的检测技术和评估模型。

本研究也存在一定的局限性。由于纳入研究在 PAHs 种类、采样途径、结局评价标准等方面存在较大差异，因此无法将纳入研究的所有结果进行定量合并分析。本研究纳入 Meta 分析的研究数量较少且年份较为久远，尚不能判断与现今研究间的差异。纳入队列研究数量有限，尤其是以儿童青少年为研究对象的高质量队列研究较为缺乏，现有研究多关注 PAHs 暴露对成人尤其是特殊职业暴露人群的影响且有关 PAHs 暴露影响人群血压变化的机制有待进一步阐明。

综上所述，目前的研究发现 PAHs 暴露与儿童青少年及成人的血压呈现相关性，且纳入的多数研究认为 PAHs 暴露与收缩压和舒张压的升高有关且是高血压的危险因素。但由于采样途径不同、研究人群不同、队列研究较少等因素，仍需开展高质量的队列研究来探究 PAHs 的不同暴露途径在人体的蓄积以及其他因素在 PAHs 暴露与血压关联的中介效应，同时还应关注 PAHs 长期低剂量暴露对不同年龄群体血压的影响是否一致。

附件见《医学新知》官网附录（<https://yxxz.whuznhmedj.com/futureApi/storage/>

[appendix/202412025.pdf](#))

伦理声明: 不适用

作者贡献: 文献收集与筛选、偏倚风险与适用性评价、数据分析、论文撰写: 肖雨晴、施羨文; 论文审校及修改、经费支持: 刘琴

数据获取: 本研究中使用和 (或) 分析的所有数据均包含在本文中

利益冲突声明: 无

致谢: 不适用

参考文献

- 1 孙芹, 田伟帆, 罗婷婷, 等. 2023 年世界卫生组织《全球高血压报告》解读 [J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2024, 31(2): 203–208. [Sun Q, Tian WF, Luo TT, et al. Interpretation of the World Health Organization global report on hypertension 2023[J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2024, 31(2): 203–208.] DOI: [10.7507/1007-4848.202311032](#).
- 2 Song P, Zhang Y, Yu J, et al. Global prevalence of hypertension in children: a systematic review and Meta-analysis[J]. JAMA Pediatr, 2019, 173(12): 1154–1163. DOI: [10.1001/jamapediatrics.2019.3310](#).
- 3 罗云梅, 曾智, 何文博, 等. 我国成人高血压的流行病学现状及趋势 [J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2024, 31(6): 922–928. [Luo YM, Zeng Z, He WB, et al. Current epidemiology and trend of hypertension in Chinese adult[J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2024, 31(6): 922–928.] DOI: [10.7507/1007-4848.202310058](#).
- 4 Zappa M, Golino M, Verdecchia P, et al. Genetics of hypertension: from monogenic analysis to GETomics[J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2024, 11(5): 154. DOI: [10.3390/jcdd11050154](#).
- 5 Huang S, Li Q, Liu H, et al. Urinary monohydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons in the general population from 26 provincial capital cities in China: levels, influencing factors, and health risks[J]. Environ Int, 2022, 160: 107074. DOI: [10.1016/j.envint.2021.107074](#).
- 6 Dobraca D, Lum R, Sjodin A, et al. Urinary biomarkers of polycyclic aromatic hydrocarbons in pre- and peri-pubertal girls in northern California: predictors of exposure and temporal variability[J]. Environ Res, 2018, 165: 46–54. DOI: [10.1016/j.envres.2017.11.011](#).
- 7 周莉. 尿多环芳烃代谢物水平与高血压的关联研究 [D]. 山西: 山西医科大学, 2022. [Zhou L. Study on the association between urine polycyclic aromatic hydrocarbon metabolite level and hypertension[D]. Shanxi: Shanxi Medical University, 2022.] DOI: [10.27288/d.cnki.gsxyu.2021.000485](#).
- 8 Wang F, Wang Y, Wang Y, et al. Urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites were associated with hypertension in US adults: data from NHANES 2009–2016[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2022, 29(53): 80491–80501. DOI: [10.1007/s11356-022-21391-8](#).
- 9 Trasande L, Urbina EM, Khoder M, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons, brachial artery distensibility and blood pressure among children residing near an oil refinery[J]. Environ Res, 2015, 136: 133–140. DOI: [10.1016/j.envres.2014.08.038](#).
- 10 Feng Q, Wei J, Wang Y, et al. Focusing on testosterone levels in male: a half-longitudinal study of polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and diastolic blood pressure in coke oven workers[J]. Environ Pollut, 2023, 329: 121614. DOI: [10.1016/j.envpol.2023.121614](#).
- 11 Jacobs L, Buczynska A, Walgraeve C, et al. Acute changes in pulse pressure in relation to constituents of particulate air pollution in elderly persons[J]. Environ Res, 2012, 117: 60–67. DOI: [10.1016/j.envres.2012.05.003](#).
- 12 Liu M, Zhao L, Liu L, et al. Associations of urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites and blood pressure with the mediating role of cytokines: a panel study among children[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2022, 29(49): 74921–74932. DOI: [10.1007/s11356-022-21062-8](#).
- 13 Zhu Y, Zhang C, Liu D, et al. Ambient air pollution and risk of gestational hypertension[J]. Am J Epidemiol, 2017, 186(3): 334–343. DOI: [10.1093/aje/kwx097](#).
- 14 殷文军. 个体 PAHs 暴露特征与血压、动脉粥样硬化性心血管疾病风险的影响因素研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2018. [Yin WJ. Characteristics of individual-level exposure to PAHs and factors affecting the association of individual PAHs exposure with blood pressure or risk of atherosclerotic cardiovascular disease[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2018.] DOI: [10.7666/d.D01546249](#).
- 15 张永雷, 吕懿, 李扬帆, 等. 焦炉工人高血压发病队列研究[J]. 中国药物与临床, 2016, 16(12): 1705–1709. [Zhang YL, Lyu Y, Li YF, et al. Incidence of hypertension in coke oven workers: a cohort study[J]. Chinese Remedies & Clinics, 2016, 16(12): 1705–1709.] DOI: [10.11655/zgywylc.2016.12.001](#).
- 16 Alhamdow A, Lindh C, Albin M, et al. Early markers of cardiovascular disease are associated with occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 9426. DOI: [10.1038/s41598-017-09956-x](#).
- 17 Bangia KS, Symanski E, Strom SS, et al. A cross-sectional analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons and diesel particulate matter exposures and hypertension among individuals of Mexican origin[J]. Environ Health, 2015, 14: 51. DOI: [10.1186/s12940-015-0039-2](#).
- 18 Barros B, Paiva AM, Oliveira M, et al. Baseline data and associations between urinary biomarkers of polycyclic aromatic hydrocarbons, blood pressure, hemogram, and lifestyle among wildland firefighters[J]. Front Public Health, 2024, 12: 1338435. DOI: [10.3389/fpubh.2024.1338435](#).
- 19 Lee T, Kim DH, Ryu JY. Association between urinary polycyclic aromatic hydrocarbons and hypertension in the Korean population: data from the Second Korean National Environmental Health Survey (2012–2014)[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 17142. DOI:

- 10.1038/s41598-020-74353-w.
- 20 梁娇君, 易桂林, 毛革诗, 等. 焦炉逸散物对工人血压和心电图的影响[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2016, 34(9): 667-669. [Liang JJ, Yi GL, Mao GS, et al. Influence of coke oven emissions on workers' blood pressure and electrocardiographic findings[J]. Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases, 2016, 34(9): 667-669.] DOI: [10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2016.09.007](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2016.09.007).
- 21 Liao D, Xiong S, An S, et al. Association of urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites with gestational diabetes mellitus and gestational hypertension among pregnant women in southwest China: a cross-sectional study[J]. Environ Pollut, 2024, 343: 123206. DOI: [10.1016/j.envpol.2023.123206](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123206).
- 22 Lu L, Ni R. Association between polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and hypertension among the U.S. adults in the NHANES 2003-2016: a cross-sectional study[J]. Environ Res, 2023, 217: 114907. DOI: [10.1016/j.envres.2022.114907](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114907).
- 23 Prunicki M, Cauwenberghs N, Ataam JA, et al. Immune biomarkers link air pollution exposure to blood pressure in adolescents[J]. Environ Health, 2020, 19(1): 108. DOI: [10.1186/s12940-020-00662-2](https://doi.org/10.1186/s12940-020-00662-2).
- 24 Ranjbar M, Rotondi MA, Arderi CI, et al. Urinary biomarkers of polycyclic aromatic hydrocarbons are associated with cardiometabolic health risk[J]. PloS one, 2015, 10(9): e137536. DOI: [10.1371/journal.pone.0137536](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137536).
- 25 Sancini A, Caciari T, Sinibaldi F, et al. Blood pressure changes and polycyclic aromatic hydrocarbons in outdoor workers[J]. Clin Ter, 2014, 165(4): e295-e303. DOI: [10.7417/CT.2014.1746](https://doi.org/10.7417/CT.2014.1746).
- 26 Shahsavani S, Fararouei M, Soveid M, et al. The association between the urinary biomarkers of polycyclic aromatic hydrocarbons and risk of metabolic syndromes and blood cell levels in adults in a Middle Eastern area[J]. J Environ Health Sci Eng, 2021, 19(2): 1667-1680. DOI: [10.1007/s40201-021-00722-w](https://doi.org/10.1007/s40201-021-00722-w).
- 27 Shahsavani S, Fararouei M, Soveid M, et al. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon-induced oxidative stress in Shiraz, Iran: urinary levels, health risk assessment and mediation effect of MDA on the risk of metabolic syndromes[J]. Int Arch Occup Environ Health, 2022, 95(5): 1043-1058. DOI: [10.1007/s00420-021-01822-8](https://doi.org/10.1007/s00420-021-01822-8).
- 28 Sun Y, Kan Z, Zhang Z, et al. Association of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in workers with hypertension from a northeastern Chinese petrochemical industrial area[J]. Environ Pollut, 2023, 323: 121266. DOI: [10.1016/j.envpol.2023.121266](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121266).
- 29 Wang B, Li Z, Ma Y, et al. Association of polycyclic aromatic hydrocarbons in housewives' hair with hypertension[J]. Chemosphere, 2016, 153: 315-321. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2016.03.067](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.067).
- 30 Wang Q, Xu X, Zeng Z, et al. Antioxidant alterations link polycyclic aromatic hydrocarbons to blood pressure in children[J]. Sci Total Environ, 2020, 732: 138944. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.138944](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138944).
- 31 Xu J, Niehoff NM, White AJ, et al. Fossil-fuel and combustion-related air pollution and hypertension in the Sister Study[J]. Environ Pollut, 2022, 315: 120401. DOI: [10.1016/j.envpol.2022.120401](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120401).
- 32 商惠珍, 孙建娅, 张玉英, 等. 某焦化厂接触多环芳烃的工人代谢综合征患病情况[J]. 职业与健康, 2011, 27(20): 2291-2293. [Shang HZ, Sun JY, Zhang YY, et al. Prevalence of metabolism syndrome among workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons in a coke-oven plant[J]. Occup and Health, 2011, 27(20): 2291-2293.] DOI: [10.13329/j.cnki.zyyjk.2011.20.007](https://doi.org/10.13329/j.cnki.zyyjk.2011.20.007).
- 33 马一飞, 姚喜元, 王慧敏, 等. 焦炉工尿中多环芳烃代谢物和正常高值血压的关系[J]. 中国职业医学, 2022, 49(6): 621-625. [Ma YF, Yao XY, Wang HM, et al. Association between urinary polycyclic aromatic hydrocarbons and high-normal blood pressure in coke oven workers[J]. China Occupational Medicine, 2022, 49(6): 621-625.] DOI: [10.20001/j.issn.2095-2619.2022.1204](https://doi.org/10.20001/j.issn.2095-2619.2022.1204).
- 34 邱崇莹. 焦化工人接触焦炉逸散物和苯并[a]芘与血压和心电图损害的研究[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2013. [Qiu CY. The effect of occupational exposure to coke oven emission and benzo[a]pyrene on blood pressure and electrocardiogram in coke oven workers[D]. Chongqing: ChongQing Medical University, 2013.] DOI: [10.7666/d.Y2412608](https://doi.org/10.7666/d.Y2412608).
- 35 芮青妍. 天津区域人群血浆中硝基多环芳烃的内暴露水平及健康风险分析[D]. 天津: 天津理工大学, 2020. [Rui QY. Internal exposure level and health risk analysis of nitro polycyclic aromatic hydrocarbons in human plasma in Tianjin area[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2020.] DOI: [10.27360/d.cnki.gtlgy.2020.000592](https://doi.org/10.27360/d.cnki.gtlgy.2020.000592).
- 36 石磊, 智永芬, 张红明, 等. 尿 1-羟基芘与年龄交互作用对焦化工人高血压患病的影响[J]. 中国药物与临床, 2017, 17(1): 7-9. [Shi L, Zhi YF, Zhang HM, et al. Effect of urinary 1-hydroxypyrene interaction with age on prevalence of hypertension in coke-oven workers[J]. Chinese Remedies & Clinics, 2017, 17(1): 7-9.] DOI: [10.11655/zgwyylc2017.01.003](https://doi.org/10.11655/zgwyylc2017.01.003).
- 37 谭皓, 李济超, 杨晓波, 等. 焦炉作业与代谢综合征的相关性研究[J]. 环境与职业医学, 2006, 23(2): 93-95. [Tan H, Li JC, Yang XB, et al. Study on the correlation between metabolic syndrome and coke oven work[J]. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2006, 23(2): 93-95.] DOI: [10.13213/j.cnki.jeom.2006.02.003](https://doi.org/10.13213/j.cnki.jeom.2006.02.003).
- 38 田凤契, 郑金平, 孙建娅, 等. 焦炉作业工人高血压患病率及其危险因素分析[J]. 山西医科大学学报, 2008, 39(6): 548-550. [Tian FJ, Zheng JP, Sun JY, et al. Morbidity rate and its risk factors of hypertension among coke-oven workers[J]. Journal of Shanxi Medical University, 2008, 39(6): 548-550.] DOI: [10.3969/j.issn.1007-6611.2008.06.021](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-6611.2008.06.021).
- 39 尹京晶. 焦炉逸散物致线粒体 DNA 甲基化及血压改变的分子流行病学研究[D]. 辽宁: 中国医科大学, 2022. [Yin JJ. Molecular epidemiology study on the mitochondrial DNA methylation and blood pressure alterations induced by coke

- ovenemissions[D]. Liaoning: China Medical University, 2022.] DOI: [10.27652/d.cnki.gzyku.2022.001680](https://doi.org/10.27652/d.cnki.gzyku.2022.001680).
- 40 黎丹妮, 张丽娥, 杨洁, 等. 广西某人群尿中多环芳烃代谢物与高血压 1 期的关系 [J]. 环境卫生学杂志, 2020, 10(6): 527–533. [Li DN, Zhang LE, Yang J, et al. Association between polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites in urine and stage 1 hypertension in a population of Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Journal of Environmental Hygiene, 2020, 10(6): 527–533.] DOI: [10.13421/j.cnki.hjwsxzz.2020.06.002](https://doi.org/10.13421/j.cnki.hjwsxzz.2020.06.002).
- 41 Kim JH, Hong Y. Associations among urinary 1-hydroxypyrene level, oxidative stress, and high blood pressure: a panel study among elderly Koreans[J]. Chemosphere, 2024, 368: 143693. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2024.143693](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143693).
- 42 Trask M, Rahman SM, Kampouri M, et al. Childhood exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and cardiometabolic indicators in childhood and adolescence: findings from a cohort study in rural Bangladesh[J]. Environ Res, 2025, 278: 121653. DOI: [10.1016/j.envres.2025.121653](https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121653).
- 43 贺森, 孙庆华, 王彦文, 等. 多环芳烃混合暴露对老年人血压的影响: 一项多中心定群研究 [J]. 环境卫生学杂志, 2025, 15(6): 530–538. [He M, Sun QH, Wang YW, et al. Impact of mixed exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons on blood pressure in the elderly: a multicenter cohort study[J]. Journal of Environmental Hygiene, 2025, 15(6): 530–538.] DOI: [10.13421/j.cnki.hjwsxzz.2025.06.010](https://doi.org/10.13421/j.cnki.hjwsxzz.2025.06.010).
- 44 Abulikemu A, Zhang X, Su X, et al. Particulate matter, polycyclic aromatic hydrocarbons and metals, platelet parameters and blood pressure alteration: multi-pollutants study among population[J]. Sci Total Environ, 2024, 941: 173657. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2024.173657](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173657).
- 45 Chen X, Dong L, Yang L, et al. Prenatal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and blood pressure in the early life of children[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2025, 291: 117830. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2025.117830](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.117830).
- 46 Peng F, Lin C, Wada R, et al. Cardiovascular risk factors in relation to hair polycyclic aromatic hydrocarbons in the NESCAV study[J]. Environ Int, 2024, 194: 109170. DOI: [10.1016/j.envint.2024.109170](https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109170).
- 47 Sun M, Li X, Geng M, et al. Associations of coke oven emission exposure with pulmonary function, blood pressure, blood cell parameters, and biochemical indices in coking workers: a cross-sectional pilot study[J]. Environ Sci Process Impacts, 2025, 27(1): 91–103. DOI: [10.1039/d4em00306c](https://doi.org/10.1039/d4em00306c).
- 48 孙瑜, 宋莉, 马万里, 等. 石化工人多环芳烃暴露促进高血压中介机制分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2025, 57(5): 22–29. [Sun Y, Song L, Ma WL, et al. Analysis of mediating mechanisms of polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in hypertension among petrochemical workers[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2025, 57(5): 22–29.] DOI: [10.11918/202405003](https://doi.org/10.11918/202405003).
- 49 Mann JK, Lutzker L, Holm SM, et al. Traffic-related air pollution is associated with glucose dysregulation, blood pressure, and oxidative stress in children[J]. Environ Res, 2021, 195: 110870. DOI: [10.1016/j.envres.2021.110870](https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110870).
- 50 Jain RB. Contributions of dietary, demographic, disease, lifestyle and other factors in explaining variabilities in concentrations of selected monohydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons in urine: data for US children, adolescents, and adults[J]. Environ Pollut, 2020, 266(Pt 1): 115178. DOI: [10.1016/j.envpol.2020.115178](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115178).
- 51 Yin W, Hou J, Xu T, et al. Obesity mediated the association of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon with risk of cardiovascular events[J]. Sci Total Environ, 2018, 616–617: 841–854. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.10.238](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.238).
- 52 鲁新宇, 沈昊阳, 张颖, 等. 多环芳烃影响心血管类疾病发生及其机制的研究进展 [J]. 暨南大学学报 (自然科学与医学版), 2024, 45(2): 210–226. [Lu XY, Shen HY, Zhang Y, et al. Research progress of effects and mechanism of polycyclic aromatic hydrocarbons on cardiovascular diseases[J]. Journal of Jinan University (Natural Science & Medicine Edition), 2024, 45(2): 210–226.] DOI: [10.11778/j.jdx.20230233](https://doi.org/10.11778/j.jdx.20230233).
- 53 Liu J, He J, Liao Z, et al. Environmental dose of 16 priority-controlled PAHs induce endothelial dysfunction: an in vivo and in vitro study[J]. Sci Total Environ, 2024, 919: 170711. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2024.170711](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170711).
- 54 Morales-Rubio RA, Alvarado-Cruz I, Manzano-Leon N, et al. In utero exposure to ultrafine particles promotes placental stress-induced programming of renin-angiotensin system-related elements in the offspring results in altered blood pressure in adult mice[J]. Part Fibre Toxicol, 2019, 16(1): 7. DOI: [10.1186/s12989-019-0289-1](https://doi.org/10.1186/s12989-019-0289-1).
- 55 郭建, 罗孝俊, 管克兰, 等. 石化工业园员工 PAHs 的皮肤暴露及健康风险 [J]. 中国环境科学, 2022, 42(11): 5427–5435. [Guo J, Luo XJ, Guan KL, et al. A study on employees'skin exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and health risk in a petrochemical industrial park[J]. China Environmental Science, 2022, 42(11): 5427–5435.] DOI: [10.3969/j.issn.1000-6923.2022.11.049](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6923.2022.11.049).

收稿日期: 2024 年 12 月 05 日 修回日期: 2025 年 08 月 04 日

本文编辑: 桂裕亮 曹越

引用本文: 肖雨晴, 施溪文, 刘琴. 多环芳烃暴露与血压关联的系统评价与Meta分析[J]. 医学新知, 2025, 35(9): 1084–1090. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202412025](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-5511.202412025).

Xiao YQ, Shi XW, Liu Q. Systematic review and Meta-analysis of the association between polycyclic aromatic hydrocarbons exposure and blood pressure[J]. Yixue Xinzhi Zazhi, 2025, 35(9): 1084–1090. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202412025](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-5511.202412025).