

噪声与苯系物联合暴露对男工听力损失的影响

王璐^a, 焦建栋^a, 徐鹏^b, 顾妍丽^c, 马倩倩^a, 任晓明^a

摘要: [目的] 探讨职业性噪声和苯系物联合暴露对劳动者听力系统的影响, 为国家制定相应卫生标准提供基础数据。[方法] 以接触噪声和低浓度苯系物(甲苯 $<40\text{ mg/m}^3$)的 71 名男工(低联合暴露组), 噪声和高浓度苯系物(甲苯 $\geq 40\text{ mg/m}^3$)的 96 名男工(高联合暴露组)以及仅接触噪声的 153 名男工(单纯噪声组)为研究对象。采用个体采样法对作业场所中的噪声、苯系物进行测定; 对研究对象进行左、右耳 0.5、1、2、3、4、6 kHz 6 个频率的纯音气导听阈测试; 计算累积噪声暴露量并进行分层分析。[结果] 高联合暴露组男工的高频听力损失患病率(66.67%)高于低联合暴露组(28.17%)和单纯噪声组(37.25%)。各组间高频听力损失患病率与累积噪声暴露量之间存在剂量-反应关系; logistic 回归模型显示各联合暴露组的剂量-反应曲线与单纯噪声组相比, 出现曲线左移、斜率增大的现象。[结论] 接触苯系物会增加噪声作业场所中男工听力损失的患病率, 并主要对高频听力产生影响。

关键词: 男性工人; 职业性噪声; 苯系物; 听力损失; 剂量-反应关系

Effects of Occupational Exposure to Noise and Benzene Series on Hearing Loss in Male Workers
WANG Lu^a, JIAO Jian-dong^a, XU Peng^b, GU Yan-li^c, MA Qian-qian^a, REN Xiao-ming^a (a.Department of Occupational Health b.Department of Outpatient c.Department of Physical and Chemical Test, Wuxi Center for Disease Control and Prevention, Jiangsu 214023, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To analyze the effects on hearing loss of workers exposed to both benzene series and noise, and to provide theoretic basis for developing related national hygienic standard. [Methods] The study recruited 71 male workers who were exposed to both low-level benzene series (toluene $<40\text{ mg/m}^3$) and noise (low combined exposure group), 96 male workers who were exposed to both high-level benzene series (toluene $\geq 40\text{ mg/m}^3$) and noise (high combined exposure group), and 153 male workers exposed to noise only (noise only group). Personal sampling techniques were used to measure the levels of benzene series and noise exposure at workplaces. Pure-tone audiometry tests at 6 frequencies of 0.5, 1, 2, 3, 4, and 6 kHz were used to access hearing thresholds. Cumulative noise exposure (CNE) was calculated for stratified analysis. [Results] The prevalence of high-frequency hearing loss in the high combined exposure group (66.67%) was much higher than that in the low combined exposure group (28.17%) and in the noise only group (37.25%). A significant dose-response relationship was observed between CNE and the prevalence of high-frequency hearing loss in each group. The results of logistic regression analysis showed the left shifted and slope elevated dose-response curves for both combined exposure groups were identified comparing to the curve of the noise only group. [Conclusion] The results suggest that benzene series exposure in noisy working places can elevate the prevalence of hearing loss in male workers, mainly inducing high-frequency hearing loss.

Key Words: male worker; occupational noise; benzene series; hearing loss; dose-response relationship

苯系物在工业生产中常被用作汽油添加剂、溶剂以及苯甲酸和苯甲醛萃取剂, 其中甲苯(toluene)是目前研究比较多的耳毒性物质^[1-3]。其对听觉器官的损伤过程与噪声相似, 均直接作用于外毛细胞, 使细胞的运动性受到选择性损伤, 对声音的敏感度降低^[4]。

在包装、印刷、喷漆等行业的作业场所中, 生产性噪声与苯系物经常同时存在。国外有随访研究发现, 长时间低剂量同时接触噪声和甲苯会引起听力下降^[5]。本研究拟探讨职业性噪声和苯系物联合暴露对男性劳动者听力损失的影响及其剂量-反应关系, 为国家制定相应卫生标准提供基础数据。

[基金项目] 无锡市科技计划项目(编号: CSZ00959)

[作者简介] 王璐(1981—), 女, 硕士, 主管医师; 研究方向: 职业卫生;
E-mail: lu_wang79@126.com

[作者单位] 无锡市疾病预防控制中心 a. 职业卫生部 b. 门诊部 c. 理化检验科, 江苏 214023

1 对象与方法

1.1 研究对象

单纯噪声暴露组为某酸加工企业单纯从事噪声作

业 1 年以上的男性工人 153 名, 主要作业岗位为粉碎、发酵、组装, 平均年龄 (38.16 ± 7.99) 岁。噪声 + 苯系物联合暴露组为无锡市某包装企业接触噪声和苯系物 1 年以上的男性工人 167 名, 主要作业岗位为晒版、半自动丝网印刷、涂布覆膜。以甲苯为标志物, 依照其浓度分成两组, 其中低联合暴露组 (甲苯 $< 40 \text{ mg/m}^3$) 71 人, 平均年龄 (32.72 ± 7.92) 岁; 高联合暴露组 (甲苯 $\geq 40 \text{ mg/m}^3$) 96 人, 平均年龄为 (34.16 ± 7.68) 岁。以上研究对象已排除前期流行病学调查时发现存在爆震史、耳部疾病家族史、耳部外伤史或耳毒性药物使用史的 17 人。

1.2 研究方法

1.2.1 个体噪声暴露测量 研究对象的噪声暴露采用个体噪声暴露测量, 采取典型抽样方法, 选取被测班次在岗工人 (单纯噪声暴露组 54 人、低联合暴露组 29 人、高联合暴露组 35 人), 随身佩戴 EDGE5 个人声暴露计 (美国 QUEST 公司) 记录每个检测对象的个体噪声暴露数据, 在正常生产条件下连续测量 3 d, 计算 40 h 等效声级 ($L_{\text{Aeq},40\text{h}}$), 取算术平均值。将每组检测对象 $L_{\text{Aeq},40\text{h}}$ 的均数作为该组研究对象的个体噪声暴露水平。按等能量原理, 将 $L_{\text{Aeq},40\text{h}}$ 与研究对象的噪声作业工龄合并为累积噪声暴露量^[6] (cumulative noise exposure, CNE), $CNE = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{(L_{\text{Aeq},40\text{h}})_i / 10} \times T_i \right\}$, 其中 n 为职业史中检测对象噪声作业共有几段, i 用于标识第几段噪声作业相关的数据, T_i 为该段时间的噪声作业工龄。本研究中 $n=1$, $CNE = L_{\text{Aeq},40\text{h}} + 10 \lg T$ 。

1.2.2 个体空气样的采集与检测 以噪声 + 苯系物联合暴露组研究对象中接受个体噪声暴露测量的人员为检测对象, 将校正好流量的 LFS-113 型低流量个体空气采样器 (美国 SENSIDYNE 公司) 挂在检测对象腰部, 连接胶管 (内装热解析活性炭管) 至检测对象领口处固定, 与呼吸带等高。以 50 mL/min 流速每次采集 4 h 空气 (下午 1 时至 5 时), 在正常生产条件下连续采样 3 d, 使用 CP-3800 型气相色谱仪 (美国 VARIAN 公司) 测定苯系物浓度。

1.2.3 纯音听力测试 依据 GB/T 16403—1996《声学 测听方法 纯音气导和骨导听阈基本测听法》, 使用 MIDIMATE-622 型电测听仪 (丹麦 MADSEN 公司), 在本底噪声值 $< 30 \text{ dB}$ 的隔音室内, 对研究对象进行纯音听阈测试。气导测试频率的顺序为: 1、2、3、4、6、1、0.5 kHz。在复测 1 kHz 时, 若结果与第一次差

值 $> 10 \text{ dB}$, 则重测各频率。测试前研究对象脱离噪声作业环境 16 h 以上, 测定结果根据 GBZ 49—2007《职业性噪声诊断标准》进行年龄、性别校正。对 0.5、1 和 2 kHz 经校正的平均听阈左、右耳均 $\geq 25 \text{ dB}$ 者定义为语频听力损失 (speech-frequency hearing loss); 3、4 和 6 kHz 中任一频率经校正的听阈 $\geq 25 \text{ dB}$ 者为高频听力损失^[7] (high-frequency hearing loss)。

1.2.4 问卷调查 使用自行设计的调查表, 由经过专业培训的医师对研究对象进行问卷调查, 内容包括一般情况、个人生活史、职业史、既往史 (耳毒性药物使用史、耳部疾病史、爆震史以及耳聋家族史等)、工作岗位、噪声接触工龄以及苯系物接触工龄等情况。

1.3 统计分析

用 EpiData 3.10 软件双轨输入数据, 建立专门数据库并进行逻辑核查。所有统计分析采用 STATA (9.0) 软件分析完成。环境中的苯系物浓度经对数转换后服从正态分布, 故以几何均数 (G) 表示平均水平; 离散趋势以四分位数间距表示。噪声组间均数比较用方差分析, 组间率的比较用 χ^2 检验, 并用 Scheffe 法对组间均数及组间率的差异进行两两比较。根据 CNE 进行分层, 计算各组高频听力损失的患病率, 并进行趋势 χ^2 检验。选用 logistic 函数曲线对各组的 CNE 与高频听力损失患病率的关系进行剂量-反应曲线的拟合。

2 结果

2.1 研究对象基本情况

三组男工的平均年龄存在差异 ($F=14.31$, $P<0.01$), 两两比较显示单纯噪声暴露组的平均年龄高于其他两组 ($P<0.05$)。各组研究对象工龄 ($F=0.25$, $P>0.05$) 组间分布无差异; 受教育程度、吸烟及饮酒情况差异无统计学意义 (均 $P>0.05$), 见表 1、2。

表 1 不同组别研究对象年龄与工龄 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Age and employment years in different groups

组别 Group	人数 <i>n</i>	平均年龄 (岁) Age (Years)	平均工龄 (年) Employment (Years)
单纯噪声暴露组 (Noise only group)	153	38.16 ± 7.99	11.25 ± 3.25
噪声 + 低浓度苯系物暴露组 Low-level benzene series & noise group	71	32.72 ± 7.92	10.92 ± 3.89
噪声 + 高浓度苯系物暴露组 High-level benzene series & noise group	96	34.16 ± 7.68	11.06 ± 3.26
<i>P</i>	—	< 0.05	> 0.05

表 2 不同组别研究对象基本情况
Table 2 Demographic characteristics of recruited male workers in different groups

变量 Variable	单纯噪声暴露组 Noise only group (n=153)		噪声 + 低浓度苯系物暴露组 Low-level benzene series & noise group (n=71)		噪声 + 高浓度苯系物暴露组 High-level benzene series & noise group (n=96)		P
	人数 n	构成比(%) Proportion	人数 n	构成比(%) Proportion	人数 n	构成比(%) Proportion	
年龄(岁)(Age, years)							<0.01
<30	23	15.03	32	45.07	30	31.25	
30~	64	41.83	21	29.58	37	38.54	
40~	66	43.14	18	25.35	29	30.21	
受教育程度(Education)							0.58
初中及以下(Junior high school and below)	49	32.03	18	25.35	35	36.46	
高中或中专(Senior high school or vocational school)	75	49.02	36	50.70	45	46.87	
大学及以上(University and above)	29	18.95	17	23.95	16	16.67	
吸烟(Smoking)							0.31
否(No)	114	74.51	53	74.65	68	70.83	
是(Yes)	39	25.49	17	23.94	25	26.04	
已戒(Quit)	0	0.00	1	1.41	3	3.13	
饮酒(Drinking)							0.08
否(No)	98	64.05	57	80.28	73	76.04	
是(Yes)	54	35.29	14	19.72	23	23.96	
已戒(Quit)	1	0.65	0	0.00	0	0.00	

2.2 职业卫生现场调查

噪声 + 苯系物联合暴露组研究对象分布于包装企业的彩印车间和涂布车间, 实行三班两运转制, 每班工作时间 10 h, 实际暴露时间为 8 h, 工人固定岗位工作。车间为联合厂房, 作业环境基本相同, 共有半自动丝网印刷机 16 台, 油墨搅拌机 10 台。车间以自然通风为主, 未设置局部排风装置, 清洗溶剂的化学品安全技术说明书(material safety data sheet)显示其中甲苯含量为 45%~75%, 研究对象未采用防护用品。

单纯噪声暴露组研究对象所在的柠檬酸加工企业实行三班三运转制, 每班工作时间 8 h, 实际暴露时间为 6 h, 工人固定岗位工作。噪声危害的关键岗位为淀粉车间谷物粉碎、离心、烘干以及酸车间发酵、提

取、包装等, 所采用设备本身噪声值较高且高噪声设备集中布置。所选取的两家企业的噪声性质均为连续稳态噪声, 问卷调查和现场观察证实, 研究对象未使用或很少使用耳塞。

2.3 个体噪声及苯系物检测结果

根据同岗位典型抽样原则进行个体噪声暴露测量, 结果显示各组的 $L_{Aeq,40h}$ 差异有统计学意义($F=118.15$, $P<0.01$), 其中单纯噪声暴露组的 $L_{Aeq,40h}$ 为(85.42 ± 1.40)dB(A), 高于其他两组($P<0.01$)。由于各组间工龄差异不大, 3 组男工的CNE差异也存在统计学意义($F=75.31$, $P<0.01$), 其中单纯噪声暴露组的CNE [95.75 ± 2.02 dB(A) · a] 高于其他两组($P<0.01$), 见表 3。

表 3 不同组别研究对象噪声暴露情况
Table 3 Noise exposure levels in different groups

组别 Group	n	噪声暴露声级 Noise[dB(A)]	范围 Range[dB(A)]	作业工龄(年) Employment(Years)	CNE[dB(A) · a]
单纯噪声暴露组(Noise only group)	54	85.42 ± 1.40	83.14~88.45	2~19	95.75 ± 2.02
噪声 + 低浓度苯系物暴露组(Low-level benzene series & noise group)	29	81.70 ± 2.23	78.61~86.82	7~27	91.86 ± 2.83
噪声 + 高浓度苯系物暴露组(High-level benzene series & noise group)	35	82.73 ± 2.20	78.00~87.10	6~21	93.00 ± 2.68

对噪声 + 苯系物联合暴露组研究对象接触的苯系物进行检测发现, 车间空气以甲苯为主, 苯及二甲苯含量较低。高联合暴露组接触甲苯浓度的几何均数为 77.48 mg/m³(40.04~165.67 mg/m³), 其中 59 人(61.46%) 接触的甲苯浓度大于甲苯环境暴露限值(PC-TWA)

50 mg/m³。低联合暴露组接触甲苯浓度的几何均数为 26.58 mg/m³(16.78~39.65 mg/m³), 该组研究对象所接触的甲苯浓度均小于 40 mg/m³。低联合暴露组中苯及二甲苯的几何均数分别为 1.38 mg/m³ 和 1.90 mg/m³, 与高联合暴露组相比(1.57 mg/m³, 2.36 mg/m³), 差异无

统计学意义 ($P>0.05$)。

2.4 听力损失患病情况及剂量-反应关系分析

电测听检查结果显示, 噪声+苯系物联合暴露组 ($n=167$) 和单纯噪声暴露组 ($n=153$) 共发现语频听力损失 12 人, 患病率分别为 4.79% (8/167) 和 2.61% (4/153), 组间差异无统计学意义 ($\chi^2=1.05$, $P=0.31$)。各组间高频听力损失的患病率不同 ($\chi^2=30.05$, $P<0.01$), 两两比较显示高联合暴露组高频听力损失的患病率为 66.67%, 高于低联合暴露组 (28.17%) 及单纯

噪声暴露组 (37.25%)。依据 CNE 分层后, 各组的高频听力损失患病率数据显示, 二者的趋势 χ^2 检验差异均有统计学意义 ($P<0.01$) (表 4), 提示 CNE 与高频听力损失之间存在剂量-反应关系。

进一步采用 logistic 函数进行曲线拟合分析剂量-反应关系, 可见噪声+苯系物联合暴露组的剂量-反应关系曲线与单纯噪声暴露组相比, 出现曲线左移、斜率增大的现象 (图 1), 提示苯系物的联合暴露增强了噪声对高频听力的损害。

表 4 不同组别男工高频听力损失的患病率

Table 4 Prevalence of high-frequency hearing loss in different groups

CNE [dB(A)·a]	单纯噪声暴露组 Noise only group			噪声+低浓度苯系物暴露组 Low-level benzene series & noise group			噪声+高浓度苯系物暴露组 High-level benzene series & noise group		
	病例数 Case	人数 Number	患病率 (%) Prevalence	病例数 Case	人数 Number	患病率 (%) Prevalence	病例数 Case	人数 Number	患病率 (%) Prevalence
87~	0	0	0.00	0	19	0.00	2	16	12.50
90~	1	13	7.69	8	30	26.67	15	31	48.39
93~	17	70	24.29	3	13	23.08	30	32	93.75
96~101	39	70	55.71	9	9	100.00	17	17	100.00
合计 (Total)	57	153	37.25	20	71	28.17	64	96	66.67
χ^2 趋势			2.77			2.34			2.80
P			0.04			0.11			0.03

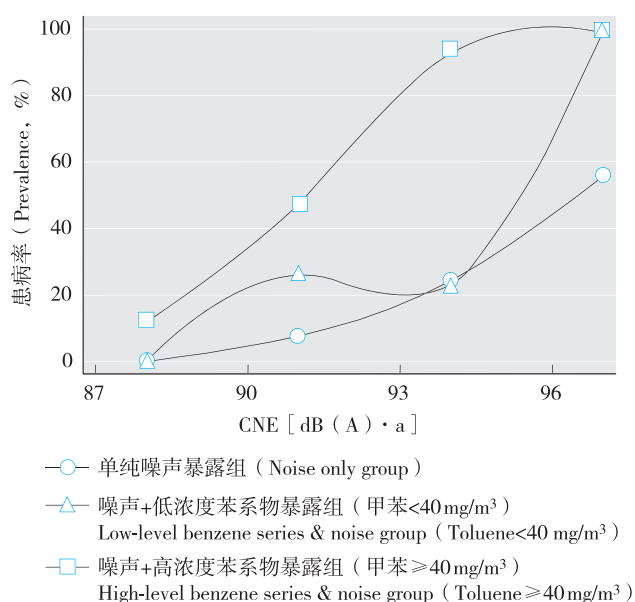


图 1 CNE 与高频听力损失患病率的 logistic 回归拟合曲线

Figure 1 Logistic regression curves of dose-response relationship between CNE and the prevalence of high-frequency hearing loss

3 讨论

最早关于甲苯和噪声对耳毒性交互作用的报道见于 1984 年, BARREGARD 和 AXELSSON^[8]通过 Fisher 大鼠实验首次发现了这一效应, 随后的一系列动物实验证实了在较短时间内接触高剂量的甲苯会导致听

力损伤, 并建立了剂量-反应关系^[9-10]。研究发现, 甲苯可通过血液从血管纹或螺旋凸起蔓延经过外沟, 直接作用于外毛细胞, 使这些细胞的运动性受到选择性损伤, 对声音的敏感度降低^[11-12]。这一过程与长期噪声刺激对耳蜗基底部损伤类似, 过度的噪声刺激使毛细胞内的钙离子浓度升高, 外毛细胞去极化与细胞内钙离子浓度相关, 由此影响毛细胞功能, 导致听力下降。

本研究通过分析长时间接触职业性噪声、苯系物与高频听力损失之间的剂量-反应关系, 初步证实了噪声与苯系物对男性作业工人高频听力损失有协同作用, 这与 CHANG^[7]以及王建宇^[13]的研究结论相近, 研究中采用的听力损失判断标准与 CHANG 研究相同, 但各组听损率均低于该研究, 可能与不同行业间暴露剂量不同以及样本含量等因素有关。本研究采用了比年龄更能反映累积剂量水平的 CNE 作为研究指标, 结果表明随着 CNE 的增加, 男性工人高频听力损失逐渐加重, 并呈现明显的剂量-反应关系。

由于噪声和苯系物都有累积作用的特性, 早发现听力系统损伤对保护劳动者具有十分重要的意义, 因此本研究并没有采用 GBZ 49—2007《职业性噪声聋诊断标准》作为高频听力损失的判断标准, 而是结合了

临床对听力下降的判断依据。本研究的缺陷之一是没有设立单纯苯系物接触组,因而未能分析噪声与苯系物间的交互作用。下一步研究将扩大样本量,进一步证实两者之间的关系,为制定复合暴露条件下的职业防护标准提供基础数据。

•作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] MORATA TC. Chemical exposure as a risk factor for hearing loss[J]. J Occup Environ Med, 2003, 45(7): 676-682.
- [2] 赖树生, 周志俊. 同时接触职业有害因素加重噪声的听力损害[J]. 职业卫生与应急救援, 2004, 22(3): 139-141.
- [3] HODGKINSON L, PRASHER D. Effects of industrial solvents on hearing and balance: A review[J]. Noise Health, 2006, 8(32): 114-133.
- [4] FUENTE A, MCPHERSON B. Organic solvents and hearing loss: The challenge for audiology[J]. Int J Audiol, 2006, 45(7): 367-381.
- [5] SCHAPER M, DEMES P, ZUPANIC M, et al. Occupational toluene exposure and auditory function: results from a follow-up study[J]. Ann Occup Hyg, 2003, 47(6): 493-502.
- [6] 赵一鸣, 张书珍, SPEAR R, 等. 累积噪声暴露量与高血压患病率的剂量-反应关系[J]. 中华劳动卫生与职业病学杂志, 1993, 11(6): 325-327.
- [7] CHANG SJ, CHEN CJ, LIEN CH, et al. Hearing loss in workers exposed to toluene and noise[J]. Environ Health Perspect, 2006, 114(8): 1283-1286.
- [8] BARREGRAD L, AXELSSON A. Is there an ototraumatic interaction between noise and solvents?[J]. Scand Audiol, 1984, 13(3): 151-155.
- [9] LATAYE R, CAMPO P. Combined effects of a simultaneous exposure to noise and toluene on hearing function[J]. Neurotoxicol Teratol, 1997, 19(5): 373-382.
- [10] MCWILLIAMS ML, CHEN GD, FECHTER LD. Low-level toluene disrupts auditory function in guinea pigs[J]. Toxicol Appl Pharmacol, 2000, 167(1): 18-29.
- [11] HENDERSON D, BIELEFELD EC, HARRIS KC, et al. The role of oxidative stress in Noise-induced hearing loss[J]. Ear Hear, 2006, 27(1): 1-19.
- [12] MAGUIN K, CAMPO P, PARIETTI WC. Toluene can perturb the neuronal voltage-dependent Ca^{2+} channels involved in the middle-ear reflex[J]. Toxicol Sci, 2009, 107(2): 473-481.
- [13] 王建宇, 丘创逸, 耿继武, 等. 甲苯与职业噪声暴露对听力损害调查[J]. 中国热带医学, 2010, 10(3): 310-311.

(收稿日期: 2012-12-31)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 王晓宇; 校对: 徐新春)

【EHP 专栏】

出生第一年交通相关空气污染暴露与 7 岁时行为评分

Nicholas C. Newman, Patrick Ryan, Grace LeMasters, Linda Levin, David Bernstein,
Gurjit K. Khurana Hershey, James E. Lockey, Manuel Villareal, Tiina Reponen,
Sergey Grinshpun, Heidi Sucharew, Kim N. Dietrich

摘要: [背景] 交通相关的空气污染 (TRAP) 对发育中大脑的潜在影响受到越来越多的关注。由于流行病学研究有限, TRAP 暴露对儿童期行为的影响尚不完全清楚。[目的] 采用一种 TRAP 替代品 (归因于交通的元素碳, ECAT) 探讨生命早期 TRAP 暴露与 7 岁时注意力缺失/多动症 (ADHD) 症状之间的关联。[方法] 从辛辛那提儿童过敏与空气污染研究 (CCAAPS) 出生队列中, 收集婴儿期 ECAT 暴露和 7 岁时行为得分的数据。入组 CCAAPS 的儿童, 其父母中至少有一位患遗传性过敏症, 并且出生居所距离一条主要公路 < 400 m 或者 > 1 500 m。这些儿童的随访时间为自婴儿期至 7 岁。根据 27 个空气采样点的测量值和土地利用回归模型, 估计生命第一年的 ECAT 暴露。当儿童 7 岁时, 由家长填写完成儿童行为评估系统 (第 2 版)。通过过度活跃 (hyperactivity)、注意力问题 (attention problem)、攻击性 (aggression)、行为问题 (conduct problems) 和非典型 (atypicality) 分量表对 ADHD 相关症状进行评估。[结果] 儿童生命第一年中 ECAT 暴露位于最高三分位数, 与其 7 岁时处于“风险”范围的过度活跃 T 评分明显相关 [调整后比值比 (aOR)=1.7; 95%CI: 1.0~2.7]。对母亲教育程度分层后发现, 在母亲具有较高教育程度的儿童中关联性更强 (aOR=2.3; 95%CI: 1.3~4.1)。[结论] 婴儿期 ECAT 暴露与儿童较高多动症评分相关, 这种关联限于母亲具有高中以上教育程度的儿童。

关键词: 注意力缺失/多动症; 儿童行为; 流行病学; 土地利用回归; 交通相关空气污染

原文详见 *Environmental Health Perspectives*, 2013, 121(6): 731-736.