

· 儿童铅中毒防治 ·

乡镇土法蓄电池回收对环境及儿童健康的影响

吴宜群 黄清霄 周晓容 胡刚 王祖兵 李洪蒙 鲍仁良
闫惠芳 李春林 吴立斌 何凤生

【摘要】 目的 对田营镇的儿童生活环境监测和生物监测,探讨乡镇环境铅污染对当地儿童健康的影响。方法 对当地儿童生活环境中铅含量监测的同时,在 5 所小学 959 名 5~12 岁的学生以及清洁对照区的 207 名学生中开展了血铅、血锌原卟啉和牙齿铅的测定并进行了问卷调查,并分别对污染区和对照区的儿童进行了 WISC-R 儿童智能发育及生长发育指标的检查测试。结果 污染区环境污染相当严重,大气中铅的日平均浓度为 0.0128 mg/m^3 , 超过国家卫生标准 8 倍,超标率为 85%。土壤铅平均含量 1.05%, 为国家卫生标准的 10 倍。主要农作物小麦铅平均含量为 9.63 mg/kg , 高出国家卫生标准 24 倍。污染区儿童血铅和锌原卟啉的平均浓度分别为 $496 \text{ } \mu\text{g/L}$ 和 $9.41 \text{ } \mu\text{g/g Hb}$, 明显高于对照组儿童。污染区儿童韦氏智力测验结果明显低于对照组儿童,血铅水平与儿童语言智商、操作智商和总智商存在负相关关系。儿童体格生长也受到严重影响。结论 土法废旧蓄电池回收业严重污染了当地儿童的生长环境,对儿童的生长发育造成了严重的威胁。

【关键词】 铅中毒;智商;蓄电池回收;血铅

Study on the effects of lead from small industry of battery recycling on environment and children's health WU Yiqun, HUANG Qingxiao, ZHOU Xiaorong, HU Gang, WANG Zubing, LI Hongmeng, BAO Renliang, YAN Hui Fang, LI Chunlin, WU Libin, HE Fengsheng. Institute for Occupational Health and Poison Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China

【Abstract】 Objective In order to minimize lead pollution and to protect the identified individuals with high blood lead level from lead contamination, an epidemiological study was carried on children living around the village and township-owned lead industries in Tianying town. **Methods** Environmental monitoring: lead levels in air, soil, drinking water and crops were measured. Biological monitoring: 959 children aged 5-12 years were selected from villages where the lead smelters located near the residential areas and the battery disassembling was done in some families. The control children (207 pupils) were from other villages without lead exposure. Blood lead, ZnPP and teeth lead were determined. Height, weight and head circle of children and IQ scores were measured. **Results** The environment was seriously polluted. The average lead concentrations in air and soils were 8.5 times and 10 times of the MACs (national health standard) respectively. Eighty-five per cent the air samples with lead concentrations higher than the national health standard. Local crops and wheat at farmers' home were also contaminated by lead dust, with lead content being 24 times higher than the standard. The mean blood lead and ZnPP levels of children lived in the polluted areas were $496 \text{ } \mu\text{g/L}$ and $9.41 \text{ } \mu\text{g/g Hb}$ respectively. The lead exposure caused adverse effects on children's IQ and physical development. **Conclusion** It is necessary to remove and reduce currently active sources of lead pollution in the community and to increase public awareness of potential health effects of lead exposure.

【Key words】 Lead poisoning; Intelligence; Battery recycling; Blood lead level

随着我国工业化、城市化进程的加快,工业含铅废弃物的排放,特别是一些乡镇片面地追求经济效

益,开展有毒有害的废旧物品的回收工作。其中土法废旧铅蓄电池回收业对儿童健康的影响已成为不可忽视的问题。为了改善儿童的生活环境,保护儿童健康,1998~2001 年本课题组对以回收废旧蓄电池为支柱产业的华东某省的一个村镇(田营镇)儿童的生活环境、接触铅的状况以及受到的危害进行了调查。

基金项目:国家“九五”科技攻关项目(96-920-26-03)

作者单位:100050 北京,中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所(吴宜群、黄清霄、周晓容、闫惠芳、李春林、何凤生);安徽职业病防治研究所劳动卫生科(胡刚、王祖兵、吴立斌);界首市卫生防疫站劳动卫生科(李洪蒙);阜阳市卫生防疫站劳动卫生科(鲍仁良)

材料与amp;方法

1. 现场选择 :选择以土法回收铅蓄电池为支柱产业的田营镇的 4 个行政村为调查现场。1988 年村民开始从事废旧蓄电池的回收作业 ,至 1995 年时基本形成了回收废旧蓄电池加工基地。村民个体收购废旧蓄电池 ,电池的拆卸工作主要由各农户分散在家中进行。11 家小型炼铅厂分布于村内 ,多数建在村里与住宅和学校为邻。工厂为半开放式作业 ,无三废处理设备。环境污染严重 ,居民铅中毒事件屡有发生。

2. 研究对象 :本次调查属典型调查 ,采用整群抽样的方式。接触组全部来自以田营镇从事铅回收作业的 4 个自然村内 5 所小学的在校学生(5~12 岁) ,对照组为 3 km 以外的非工业铅污染地区一所小学的在校生。调查对象都是在当地出生并长期居住的儿童。自出生以来累计外出居住时间不超过 30 d。调查前 2 个月没有进行过驱铅治疗。

3. 环境监测 :

(1) 空气监测 :按梅花布点方法 ,在污染区内 ,选择 5 所小学操场中央和农户庭院共计 20 个监测点 ,在对照区内小学操场中央为监测点。采用上海宏伟 Fc-A-III 粉尘采样器、用微孔滤膜(0.8 μm) 以 10 L/min 速度采样 60 min ,每个监测点分别于上、下午各采样一次 ,共采集 62 个样品。用石墨炉原子吸收光谱法测定空气中铅含量。

(2) 饮用水监测 :污染区和对照区饮用水源均为 20 m 左右的浅层地下水 ,采用梅花布点的方法 ,通过手压井采样 ,取样前先放水约 1 min 后 ,取水样 500 ml。用石墨炉原子吸收光谱法测定水中铅浓度。

(3) 土壤监测 :采样布点同空气。用小手铲按梅花布点铲取 5 个重量大致相同的表层土(深度约 10 cm) ,混匀后按四分法取 1 000 g 土壤装入塑料袋内。用石墨炉原子吸收光谱法进行土壤中铅含量的测定。

(4) 农作物的监测 :采样布点同空气(除各小学外) ,在污染区和对照区内各点采集当地的主要农作物小麦约 500 g ,装入塑料袋内。如果采样点无小麦 ,则在其周围任意一农户家采集样品即可。用石墨炉原子吸收光谱法测定粮食中铅含量。

4. 生物学监测 :

(1) 血铅测定 :采集污染区 959 名学生(接触组)

和清洁对照区 207 名学生(对照组) 的静脉血。皮肤用 5% 的硝酸、去离子水洗涤后消毒 ,采集 0.4 ml \times 2 静脉血 ,肝素抗凝后 ,存放在无铅污染的微量采血管中 ,于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 保存。用石墨炉原子吸收光谱法测定血铅。

(2) 锌原卟啉测定 :采集血样的同时 ,将一滴静脉血直接滴在玻璃载片上 ,采用锌原卟啉荧光测定仪测定血中锌原卟啉。

(3) 手污染情况检查 :对接触组和对照组采用随机抽样方法 ,在采集静脉血的同时随机抽取接触组 36 名学生和 10 名对照组学生 ,用一次性棉签沾蒸馏水 ,分 3 次分别擦洗儿童右手拇指和食指 ,将棉签剪下放入塑料容器内储存。样品中铅含量用石墨炉原子吸收光谱法测定。

(4) 牙齿铅含量测定 :收集儿童脱落的牙齿 ,接触组 136 颗 ,对照组 21 颗。牙齿洗净称重 ,经微波消解后 ,用火焰原子吸收光谱法进行测定。

5. 体格发育检查 :按标准方法测量儿童的身高、体重和头围。

6. 智力测试 :543 名 6~8 岁的有效血铅测定结果的儿童 ,其中接触组 358 名 ,对照组 185 名。对接触组按年龄、机械随机抽取 60% (215 名) 儿童作智商测验 ,对照组儿童血铅值 $\leq 150 \mu\text{g/L}$ 者 ,作智商测验。采用中国儿童 WISC-R 智力量表测定儿童智商。主试者经过统一培训 ,并严格按照量表的要求进行。

7. 问卷调查 :儿童一般情况和家庭情况调查表由调查员和儿童家长共同完成。包括儿童年龄、性别、卫生情况、饮食习惯、3 岁前身体状况、写作业注意力集中与否、父母亲的职业和文化程度、居住地铅污染情况和家庭经济状况等。教师对学生上课注意力以及学习情况做出评价。

8. 数据统计 :统计分析方法采用 t 检验、Wilcoxon 秩和检验、 χ^2 检验和协方差分析、相关分析和多元回归分析。

结 果

1. 环境铅污染状况 :

(1) 空气 :高污染区大气中铅的日平均浓度为 0.012 8 mg/m^3 ,超过国家卫生标准(0.001 5 mg/m^3) 8 倍 ,超标率为 85% ,最高日平均浓度为 0.098 8 mg/m^3 ,超标达 65 倍。

(2) 土壤 :污染区土壤铅平均含量 1.05% ,高出

国家卫生标准(0.1%)10倍,最高土壤铅含量为7.90%,超过国家标准近80倍。

(3)农作物:污染区主要农作物小麦铅平均含量为9.63 mg/kg,为国家卫生标准(0.4 mg/kg)的24倍,最高含量为48.45 mg/kg,超过国家标准近100倍。

(4)饮用水:污染区20 m左右地下饮用水铅平均浓度为0.016 mg/L(0.004~0.035 mg/L),低于国家饮用水卫生标准(0.02 mg/L),但污染区明显高于对照区。

2. 生物监测结果:

(1)血铅浓度:在所调查的儿童中,接触组儿童血铅值呈偏态分布,而对照组儿童血铅值呈正态分布。血铅浓度见表1。

表1 接触组和对照组学生血铅测定结果($\mu\text{g/L}$)

组别	例数	年龄(岁)	\bar{x}	<i>s</i>	<i>M</i>	最大值	最小值	<i>P</i> 值
接触组	959	5~12	496	135	489	893	195	0.000 1
对照组	207	5~9	126	47	123	248	46	

(2)血锌原卟啉:在所调查的儿童中,接触组和对照组儿童血锌原卟啉值都呈偏态分布。血锌原卟啉浓度见表2。

表2 接触组和对照组学生血锌原卟啉测定结果($\mu\text{g/g Hb}$)

组别	例数	年龄(岁)	\bar{x}	<i>s</i>	<i>M</i>	最大值	最小值	<i>P</i> 值
接触组	959	5~12	9.41	6.04	8.00	35.8	0.6	0.000 1
对照组	207	5~9	0.94	0.33	0.90	3.8	0.3	

(3)牙齿铅含量:测定接触组和对照组儿童乳牙中铅的含量,见表3。

表3 接触组和对照组学生牙齿铅测定结果($\mu\text{g/g}$)

组别	例数	\bar{x}	<i>s</i>	<i>M</i>	最大值	最小值	<i>P</i> 值
接触组	136	62.6	65.9	51.5	691	3.5	0.001
对照组	21	1.9	1.3	1.7	5.4	0.0	

(4)手指铅污染:对随机抽取的46名儿童进行手指铅测定,得到46份合格样品。其中接触组36名,对照组10名。接触组手指铅25%~75%的区间为11.15~28.75 μg /右手指,对照组手指铅25%~75%的区间为0.50~0.75 μg /右手指。接触组儿童手指铅含量是对照组的20~40倍。

3. 体格发育检查:

(1)身高:接触组儿童的身高与对照组相比在各年龄段均有不同程度偏低,最大的差别可达5 cm。进行两组均数的*t*检验时,所有年龄组男童的身高和6岁、8岁女童的身高有统计学差异,对照组儿童身高高于接触组。

(2)体重:接触组低于对照组。经组间*t*检验,7岁男童体重有统计学差异。

(3)头围:无明显规律。按不同年龄分别做血铅与身高、体重、头围的相关性分析。血铅与儿童身高、血铅与7岁、8岁儿童体重呈负相关关系($P < 0.05$),血铅与儿童头围大小关系不明显。

4. 血铅对儿童智能发育的影响:

(1)一般情况描述:本研究应调查570人,实际调查548人,调查率为96%,其中接触组360人,得到358份合格的儿童血标本和调查问卷表,合格率为99.44%;对照组188人,得到185份合格的儿童血标本和调查问卷表,合格率为98.40%。

(2)将接触组随机抽取的215名儿童进行智商测定,得到214份WISC-R儿童智力测验结果,对照组剔除血铅值高于150 $\mu\text{g/L}$ 者外,126名儿童全部进行WISC-R儿童智力测验,得到126份有效测验结果。两组儿童年龄、性别比与抽样前相近,接触组和对照组儿童的语言智商(VIQ)、操作智商(PIQ)和总智商(FIQ)经正态性检验均符合正态分布。

比较两组儿童平均智商(VIQ、PIQ、FIQ):由于两组儿童年龄构成不同,故利用协方差分析法,以儿童年龄为协变量,分别比较两组儿童的VIQ、PIQ和FIQ。结果两组儿童差异均有显著性(P 均 ≤ 0.02),对照组高于接触组3分。

(3)影响儿童智商的多因素分析:儿童智商受许多因素的影响,如遗传、家庭社会环境、疾病、母亲妊娠和分娩史等。为了分析铅过量接触对儿童智商的影响,首先以FIQ为因变量,以可能影响儿童智商的11个因素为自变量(包括父母文化程度、父母生育年龄、儿童出生体重、出生时是否顺产、儿童3岁前带养人、家庭子女数、儿童排行、人均收入、血铅),采用逐步回归法进行多因素回归分析。结果,影响儿童智商的因素进入回归方程的有:母亲文化程度、孩子出生时母亲的年龄和儿童血铅值3个因素。

用多元协方差分析的方法将接触组和对照组,除血铅外进入方程的变量化为齐同后,再比较两组间智商差异。结果两组间VIQ、PIQ、FIQ差异均有显著性(表4)。

表4 儿童智商(校正均数)的比较

组别	例数	血铅($\mu\text{g/L}$) ($\bar{x} \pm s$)	VIQ	PIQ	FIQ
接触组	214	522 ± 138	82.2	80.0	79.3
对照组	126	107 ± 25	84.6	83.0	82.2
P 值		0.000 1	0.043 9	0.009 7	0.008 8

讨 论

1. 田营镇环境铅污染严重。污染区环境监测结果表明,当地的环境铅污染极其严重。由于蓄电池的拆卸在村中进行,为手工、敞开式操作,作业场所与居住处混杂相连。污染区大气、土壤和农作物的含铅量已大大超过国家标准。尽管当地居民饮用的是地下深层水,取水井口未直接暴露于外环境,饮用水含铅量未超过国家饮水卫生标准,但是儿童从呼吸道、消化道摄入大量的铅是不可避免的。

2. 儿童体内铅负荷明显增高。牙齿铅含量能反映体内累积的铅负荷。污染区儿童牙齿平均铅含量超过对照组近 30 倍,说明长期的铅接触,污染区儿童体内铅负荷明显升高。在长期稳定的铅接触水平下,血铅水平也能反映体内的铅负荷状况。血铅测定方法成熟、质量控制体系完善,因此,目前血铅仍是运用最多的反映铅负荷的指标。本研究采用严格的质量控制方法,对污染区儿童进行了血铅测定,血铅均值为 496 $\mu\text{g/L}$,远远高于对照组儿童的平均水平 126 $\mu\text{g/L}$ 。近 20 多年来,国内外专家大规模的流行病学调查和临床研究,证实了儿童血铅水平在 100 $\mu\text{g/L}$ 左右时,已能对儿童的智能发育、体格生长、学习记忆能力和感觉功能产生不利影响^[1]。1991 年美国 CDC 将儿童血铅水平 100 $\mu\text{g/L}$ 制订为社会干预水平,同时作为儿童铅中毒的诊断标准^[2]。与该标准比较,田营镇几乎所有的小学生的血铅水平都超过标准,大部分儿童的血铅水平已达到需要治疗的程度,这是必须要引起严密注意的。

研究结果还显示,随着血铅值升高,血锌原卟啉增加,当血铅超过 180 $\mu\text{g/L}$,两者间存在良好的线性关系(相关系数为 0.564, $P < 0.05$)。血锌原卟啉有可能成为筛查铅中毒高危人群指标。

3. 影响儿童血铅水平的因素。通过问卷调查和分析,环境铅污染是影响田营镇儿童血铅水平的主要原因。家庭经济来源以炼铅和拆卸废旧蓄电池为主,及居住区附近有铅冶炼厂,是影响儿童血铅浓度的主要因素。从手指含铅量的调查结果来看,接触组儿童手指铅含量普遍较高,儿童通过手-口接触将

铅摄入体内的可能性不可避免。

调查现场地处普通的农村,交通运输较为落后,居民居住区附近无主要交通要道,故认为该地区受汽油铅的污染很小。

4. 过量铅接触影响儿童的生长发育。Schwartz^[3]利用美国 NHANES II 资料分析了 2 695 名 6 个月至 7 岁儿童的血铅与体格生长的关系,发现血铅在 55~350 $\mu\text{g/L}$ 范围内时,血铅与身高、体重及胸围间存在着有统计学意义的负相关,且这种关系完全独立于性别、种族、食物中蛋白质含量、总能量、红细胞压积及转铁蛋白水平对生长的影响。国内沈晓明、颜崇淮^[4]的研究也发现,血铅水平高于 250 $\mu\text{g/L}$ 者身高和体重明显落后于相对低铅的儿童。研究结果显示,按不同年龄分别作血铅与身高、体重、头围的相关性分析,结果血铅与儿童身高、血铅与 7 岁、8 岁儿童体重呈负相关关系($P < 0.05$)。总之,长期生活在铅污染环境中,过量铅接触影响儿童体格生长,尤其对身高的影响明显,应引起有关部门的重视,并采取相应的防护措施。

5. 接触组儿童平均智商较对照组低。血铅与儿童智商发育之间存在负相关关系,铅可能是导致接触组儿童智商偏低的原因之一。

许多国家和地区的大多数研究结果认为铅与儿童智商存在负相关关系。国内既往的研究也证实,儿童血铅水平在 250 $\mu\text{g/L}$ 以上时可影响儿童的智能发育^[5-9]。本研究中,当以 FIQ 为因变量,以血铅及其他可能影响儿童智能发育的相关因素为自变量,进行多元回归分析时,血铅在 0.1 的剔除标准下进入回归方程。利用协方差分析方法,将接触组和对照组的相应变量校正后,发现两组间 VIQ、PIQ、FIQ 的差异有显著性意义。当血铅值 $< 600 \mu\text{g/L}$ 时,血铅每升高 200 $\mu\text{g/L}$,儿童操作智商降低约 2 分。可以认为血铅可能是影响接触组儿童智商发育的原因之一。

流行病学的调查结果揭示了田营镇环境污染及对儿童健康影响的严重性。为保护儿童健康,在反复向当地农民和企业主宣传相关法律、法规和土法炼铅对儿童健康造成的危害的同时,提出搬迁铅冶炼厂,并进行有效的消烟除尘技术改造,采取有效措施,做到蓄电池拆卸工作不在村中进行,清除垃圾,彻底改变现有环境,加强健康教育,培养儿童良好的卫生习惯,以及对部分铅中毒的儿童进行治疗的建议。

参 考 文 献

- 1 沈晓明,主编.儿童铅中毒.北京:人民卫生出版社,1996.4-7.
- 2 Center for Disease Control. Preventing lead poisoning in young children. CDC,1991.1-5.
- 3 Schwartz J. Relationship between children blood lead levels and stature. *Pediatrics*,1986,77:281-287.
- 4 沈晓明,颜崇淮.低水平铅接触对早期婴儿发育的影响.中华儿科杂志,1996,34:255-257.
- 5 Baghurst PA,Becker CE. Exposure to environmental lead and visual-motor integration at age 7 years: the port pirie cohort study. *Epidemiol*,1995,6:104-109.
- 6 Needleman HL,Gastsonis GA. Low-level lead exposure and the IQ of children: a meta-analysis of modern studies. *JAMA*,1990,263:673-678.
- 7 Pocock SJ, Ashby D, Smith MA. Lead exposure and children's intellectual performance. *Int J Epidemiol*,1987,16:57-66.
- 8 Harvey PG, Hamlin MW, Kumar R, et al. Blood lead, behavior and Intelligence test performance in preschool children. *Sci Total Environ*,1984,40:48-60.
- 9 Lucchi L, Memo M. Chronic lead treatment induces in rat a specific and differential effect on dopamine receptors in different brain areas. *Brain Research*,1981,213-397.

(收稿日期 2001-12-24)

(本文编辑:段江娟)