

# 某蓄电池厂工人血铅水平及其与血锌原卟啉的相关性

赵秋妮<sup>1,2</sup>, 张恒东<sup>2</sup>, 陈林<sup>1,2</sup>, 朱宝立<sup>1,2</sup>

## 摘要:

[目的] 探讨影响职业性铅作业工人血铅水平的因素, 并分析其与血锌原卟啉(ZPP)的相关性。

[方法] 以江苏省某蓄电池厂所有454名员工(男性300名, 女性154名)作为研究对象, 对其工作岗位空气中铅浓度进行现场检测。采用问卷调查的形式记录工人吸烟、饮酒等行为习惯, 测定其血铅及ZPP, 将血铅质量浓度大于400 μg/L作为高血铅组, <100 μg/L作为低血铅组, 100~400 μg/L之间的人群作为中血铅组, 进行统计分析。以血铅作为接触标志, ZPP作为效应标志, 采用基准剂量计算软件(BMDS 2.6.1)计算血铅基准剂量和基准剂量的95%可信区间下限(BMDL)。

[结果] 三组研究对象的单因素分析中, 血铅值、年龄、受教育程度、工种、工龄、接铅工龄、吸烟和饮酒分布差异有统计学意义; logistic回归分析发现受教育程度低、工种为操作工、饮酒、接铅工龄短是血铅水平增高的危险因素; 线性相关分析显示血铅在100~400 μg/L范围内和ZPP具有正相关性( $P<0.001$ )。以血铅作为接触标志, ZPP作为效应标志, 血铅基准剂量和BMDL分别为562.23 μg/L和441.13 μg/L( $P=0.78$ )。

[结论] 在血铅水平较高时, 血铅与ZPP具有较好的正相关性, ZPP是铅接触的敏感效应生物标志。在实际工作中应用ZPP作为低血铅水平(<100 μg/L)的筛查指标时, 应注意和其他指标联合应用。

**关键词:** 血铅值; 锌原卟啉; 铅中毒; 职业卫生; 筛查

**引用:** 赵秋妮, 张恒东, 陈林, 等. 某蓄电池厂工人血铅水平及其与血锌原卟啉的相关性[J]. 环境与职业医学, 2017, 34(4): 311-315.  
**DOI:** 10.13213/j.cnki.jeom.2017.16581

**Blood lead levels and the association with zinc protoporphyrin in battery factory workers** ZHAO Qiu-ni<sup>1,2</sup>, ZHANG Heng-dong<sup>2</sup>, CHEN Lin<sup>1,2</sup>, ZHU Bao-li<sup>1,2</sup> (1.School of Public Health, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210009, China; 2.Institute of Occupational Disease Prevention, Jiangsu Provincial Center for Disease Prevention and Control, Nanjing, Jiangsu 210028, China). Address correspondence to ZHU Bao-li, E-mail: zhUBL@jcdc.cn • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

## Abstract:

[Objective] To assess the factors influencing blood lead levels of workers occupationally exposed to lead, and the association between zinc protoporphyrin (ZPP) and blood lead.

[Methods] A total of 454 workers (300 males and 154 females) in a lead battery factory located in Jiangsu Province were recruited in the study. Lead concentrations in workplace air were measured. All the subjects underwent structured questionnaire survey on lifestyle and measurement of blood lead and ZPP. Workers with blood lead >400 μg/L, 100-400 μg/L, and <100 μg/L were stratified into high, medium, and low blood lead groups for statistical analysis respectively. Benchmark dose calculation software (BMDS 2.6.1) was used to calculate blood lead benchmark dose and the 95% lower confidence limit of benchmark dose (BMDL) by applying blood lead as the exposure marker and ZPP as the effect marker.

[Results] Statistical differences among the three groups were observed in blood lead, age, educational level, type of work, job seniority, lead-exposed seniority, smoking, and drinking in univariate analysis. Low educational level, operation worker, drinking, and short lead-exposed seniority were the risk factors of high blood lead in logistic regression analysis. There was a positive linear correlation between ZPP and blood lead (100-400 μg/L) ( $P<0.001$ ). The blood lead benchmark dose and the related BMDL were 562.23 μg/L and 441.13 μg/L, respectively ( $P=0.78$ ).

•作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[基金项目] 江苏省临床医学科技专项( 编号: BL2014082 )

[作者简介] 赵秋妮(1993—), 女, 硕士生; 研究方向: 职业卫生与职业医学; E-mail: firefly138132@163.com

[通信作者] 朱宝立, E-mail: zhUBL@jcdc.cn

[作者单位] 1.东南大学公共卫生学院, 江苏南京 210009; 2.江苏省疾病预防控制中心职业病防治所, 江苏南京 210028

[Conclusion] High-level blood lead and ZPP are positively correlated, and ZPP is a sensitive indicator of lead exposure. In practical work, other indicators should be combined with ZPP when screening workers with low blood lead level (<100 μg/L).

**Keywords:** blood lead; zinc protoporphyrin; lead poisoning; occupational health; screening

**Citation:** ZHAO Qiu-ni, ZHANG Heng-dong, CHEN Lin, et al. Blood lead levels and the association with zinc protoporphyrin in battery factory workers[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2017, 34(4): 311-315. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.16581

铅(lead, Pb)被广泛应用于工业生产,如蓄电池的制造与修理、铅矿的开采与冶炼、合金制造、颜料和油漆的生产与使用等,接触铅的职业群体数量庞大。随着生产工艺水平的提高、防护措施的改进,急性职业性铅中毒已经比较少见,但由于职业人群的长期接触,慢性铅中毒依旧是职业性中毒防治的重点。根据国家卫生与计划生育委员会2011—2014年公布的新发慢性职业中毒情况,铅及其化合物(不包括四乙基铅)引起的职业性慢性铅中毒均列前三位,分别占各年慢性职业中毒新发病例数的40.3%、18.9%、25.6%和28.2%,是我国最为常见的慢性职业中毒<sup>[1]</sup>,特别在铅酸蓄电池行业时有发生<sup>[2]</sup>。血铅和血锌原卟啉(ZPP)是铅中毒常用的诊断指标。然而,有文献报道当血铅浓度小于1.93 μmol/L(399.51 μg/L)或大于3.36 μmol/L(695.52 μg/L)时,血铅与ZPP的相关性较小或未见关联<sup>[3-4]</sup>。2015年一项研究发现在职业卫生检查达标的蓄电池工厂,男性铅作业工人的血铅和ZPP有相关性,而女性工人则无相关性<sup>[5]</sup>。因此,本研究的目的是观察吸烟、饮酒等个人行为习惯,工厂生产工艺及防护措施等对工人血铅水平的影响,并且探索血ZPP作为铅中毒的筛查指标的适用条件,为职业性铅中毒的预防和筛查提供新的思路。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

2015年,以江苏省某蓄电池厂全部454名工人为研究对象,其中男性300名,女性154名,年龄为(37.15±0.36)岁。依据文献将血铅质量浓度大于400 μg/L者作为高血铅组,小于100 μg/L者作为低血铅组,100~400 μg/L之间者作为中血铅组<sup>[6]</sup>。

### 1.2 工作场所空气中铅水平测定

根据GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》<sup>[7]</sup>于2015年对该蓄电池工厂作业场所中的铅烟(熔铅、焊接、封盖岗位,15个样本)、铅尘(球磨、涂板、分刷片、称片、装配岗位,25个样本)进行定点采样检测,以GBZ/T 160.10—2004

《工作场所空气中铅及其化合物的测定方法》<sup>[8]</sup>中的火焰原子吸收光谱法测定铅的时间加权平均容许浓度(PC-TWA)。根据GBZ 2.1—2007《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》<sup>[9]</sup>,以铅烟、铅尘水平超过PC-TWA(分别为0.03、0.05 mg/m<sup>3</sup>)为超标。

### 1.3 血铅和血ZPP的测定

班前工人皮肤用3%稀硝酸和去离子水洗涤后消毒,用含肝素的真空采血管采手背外周静脉血4 mL。采用PE900T石墨炉原子吸收光谱仪(PerkinElmer,美国)测定血铅,ZPP206D型锌原卟啉测定仪(AVIV,美国)检测血中ZPP,依据GBZ 37—2015《职业性慢性铅中毒的诊断》<sup>[10]</sup>,红细胞ZPP≥2.91 μmol/L为异常。

### 1.4 问卷调查

采用统一设计的调查表进行问卷调查,调查员经培训后面对面访问,问卷内容包括年龄、性别、受教育程度、吸烟饮酒情况、职业史及既往病史等。吸烟每天大于等于1支,持续1年以上即定义为吸烟;饮酒每天大于等于1次,持续1年以上即定义为饮酒。

### 1.5 基准剂量(BMD)和基准剂量的95%可信区间下限(BMDL)的计算

以血铅作为接触标志,ZPP作为效应标志,将数据进行二分变量处理作为效应终点,采用基准剂量计算软件(BMDS 2.6.1)计算基准剂量反应(BMR)为10%时,效应标志的血铅BMD和BMDL。

### 1.6 统计学分析

利用EpiData 3.0建立问卷数据库并进行双录入,采用SPSS 21.0进行统计分析。符合正态分布的数据采用 $\bar{x} \pm s$ 描述,均数间的比较使用方差分析,两两比较使用LSD法;非正态分布数据采用中位数和上、下四分位数描述。两组间率的比较采用卡方检验。多因素分析采用逐步logistic回归分析。

## 2 结果

### 2.1 工作场所空气中铅烟(尘)质量浓度

检测结果显示,该企业15个铅烟与25个铅尘

检测点质量浓度分别为 $0.001\sim0.023\text{ mg/m}^3$ 和 $0.004\sim0.017\text{ mg/m}^3$ , 均低于GBZ 2.1—2007规定的限值。

## 2.2 基本情况

高、中、低血铅组工人的血铅质量浓度平均值分别为( $446.80\pm6.79$ )、( $252.20\pm3.98$ )和( $68.57\pm4.08$ ) $\mu\text{g/L}$ ,

各组间差异有统计学意义( $P<0.001$ );三组工人ZPP浓度均值分别为( $1.40\pm0.10$ )、( $1.12\pm0.04$ )和( $0.71\pm0.03$ ) $\mu\text{mol/L}$ ,差异有统计学意义( $P<0.001$ );三组工人年龄、工龄、接铅工龄、文化程度、工种、吸烟和饮酒差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。见表1。

表1 研究对象的一般情况

因素	总体(n=454)	分组			$P$
		高血铅组(n=44)	中血铅组(n=382)	低血铅组(n=28)	
血铅( $\mu\text{g/L}$ )	$259.74\pm4.92$	$446.80\pm6.79^{**}$	$252.20\pm3.98^*$	$68.57\pm4.08$	<0.001
ZPP( $\mu\text{mol/L}$ )	$1.12\pm0.03$	$1.40\pm0.10^{**}$	$1.12\pm0.04^*$	$0.71\pm0.03$	<0.001
男性(%)	66.1	79.5	63.9	75.0	0.068
已婚(%)	98.2	97.7	98.7	92.9	0.058
年龄(岁)	$37.15\pm0.36$	$39.60\pm1.19^*$	$37.03\pm0.40$	$35.07\pm1.12$	0.036
工龄(年)	$9.08\pm0.37$	$9.86\pm1.27^{**}$	$8.62\pm0.40^*$	$13.86\pm1.31$	0.002
接铅工龄(年)	$5.00\pm0.21$	$4.00\pm0.41^*$	$4.83\pm0.23^*$	$9.04\pm1.21$	<0.001
文化程度(%)					<0.001
文盲	2.2	0.0	2.6	0.0	
小学	8.2	9.1	8.7	0.0	
初中	51.3	50.0	53.8	22.2	
高中	32.3	38.6	31.5	33.3	
大专及以上	5.8	2.3	3.4	44.4	
工种(%)					<0.001
操作工	81.3	84.1	84.0	39.3	
辅助工	7.3	11.4	7.3	0.0	
管理人员	11.5	4.5	8.6	60.7	
吸烟(%)	36.1	40.9*	37.2	14.3	0.042
饮酒(%)	22.7	34.1*	22.8*	3.6	0.011

[注]\*:与低血铅组比较, $P<0.05$ 。#:与中血铅组比较, $P<0.05$ 。血铅、ZPP、年龄、工龄和接铅工龄的比较使用方差分析,两两比较使用LSD法;性别、婚姻、吸烟和饮酒的比较用卡方检验;文化程度和工种的比较使用Fisher确切概率法。

## 2.3 血铅与血ZPP相关性分析

Spearman相关分析结果显示,总体血铅与血ZPP的呈正相关( $r=0.527$ , $P<0.001$ );男、女性血铅与血ZPP均呈正相关( $r=0.541$ , $r=0.548$ , $P<0.001$ );中血铅组血铅与血ZPP呈正相关( $r=0.510$ , $P<0.001$ ),高、低血铅组血铅与血ZPP未见相关( $r=0.278$ , $P=0.067$ ; $r=0.228$ , $P=0.244$ )。

## 2.4 ZPP异常检出率比较

由表2可知,高、中血铅组工人ZPP异常检出率分别为2.3%和2.4%;低血铅组无超标。三组间ZPP异常检出率差异无统计学意义( $P=0.67$ )。

表2 高、中、低血铅组ZPP异常检出率的比较

分组	ZPP		$P$
	<2.91 $\mu\text{mol/L}$	$\geq2.91\mu\text{mol/L}$	
高血铅	43(97.7%)	1(2.3%)	
中血铅	373(97.6%)	9(2.4%)	0.67
低血铅	28(100.0%)	0(0.0%)	

## 2.5 ZPP作为效应标志的血铅BMD和BMDL

BMR为10%,以血铅作为接触标志,ZPP作为效应标志时,血铅BMD和BMDL分别为 $562.23\text{ }\mu\text{g/L}$ 和 $441.13\text{ }\mu\text{g/L}$ ( $\chi^2=428.35$ , $P=0.78$ )。

## 2.6 高血铅危险因素的logistic回归分析

逐步logistic回归分析变量赋值见表3。由表4可见,血铅水平较高的危险因素分别是文化程度低、操作工和辅助工工种、饮酒、接铅工龄<5年和5~10年。

表3 血铅增高危险因素的logistic回归分析变量赋值

变量	赋值与说明
吸烟与否	0=吸烟; 1=不吸烟
饮酒与否	0=饮酒; 1=不饮酒
年龄(岁)	1=<30; 2=30~; 3=40~; 4=>50
工龄(年)	1=<10; 2=10~; 3=>20
接铅工龄(年)	1=<5; 2=5~; 3=>10
文化程度	1=文盲; 2=小学; 3=初中; 4=高中; 5=大专及以上
工种	1=操作工; 2=辅助工; 3=管理人员

表4 血铅增高危险因素的logistic回归分析

因素	b	Wald $\chi^2$	P	OR	95%CI
文化程度					
文盲	1.246	0.803	0.370	1.117	1.325~3.559
小学	0.814	6.529	0.011	2.080	0.485~3.676
初中	0.656	9.079	0.003	1.975	0.690~3.260
高中	0.649	10.991	0.001	2.151	0.880~3.423
大专及以上				1.000	
工种					
操作工	0.531	8.938	0.003	1.589	0.547~2.631
辅助工	0.703	11.076	0.001	2.338	0.961~3.715
管理人员				1.000	
吸烟					
不吸烟	0.320	2.411	0.120	0.498	0.130~1.125
吸烟				1.000	
饮酒					
饮酒	0.330	5.985	0.014	1.238	1.161~1.455
不饮酒				1.000	
年龄(岁)					
<30	0.734	2.164	0.141	1.080	2.518~0.359
30~	0.704	1.770	0.183	0.936	2.316~0.443
40~	0.689	0.866	0.352	0.641	1.993~0.710
>50				1.000	
工龄(年)					
<10	0.591	0.176	0.675	0.248	1.406~0.911
10~	0.610	0.635	0.426	0.486	1.681~0.709
>20				1.000	
接铅工龄(年)					
<5	0.620	8.039	0.005	1.759	0.543~2.974
5~	0.591	7.553	0.006	1.624	0.466~2.781
>10				1.000	

### 3 讨论

该铅蓄电池企业各岗位检测点铅烟、铅尘质量浓度均低于GBZ 2.1—2007《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》规定的限值，可能与企业于2012年进行过生产工艺流程的革新有关。工厂的许多岗位均为自动化、密闭式作业，大大减少工人铅暴露的机会。

以往的研究发现，除了生产环境中铅水平以外，工人的年龄、性别、接铅工龄、工种、个人卫生习惯等都有可能引起机体内铅水平的变化<sup>[11~13]</sup>。本研究logistic回归分析未发现性别对血铅有影响，这与苗超等<sup>[14]</sup>研究结果相一致，但是有报道在相同外暴露剂量下，某印刷厂女性工人相对于男性对铅更为敏感<sup>[15]</sup>，还有报道蓄电池组装工厂的男性工人血铅水平高于女性工人<sup>[16~17]</sup>，推测出现上述不同的结论可能与工人在不同工厂接触铅的化合物种类不同有关。

研究结果显示，低接铅工龄是血铅增高的危险因素，这可能与铅的耐受性有关。工人接铅作业的初期，

血液中的铅增高，表现出低接铅工龄者血铅值最高；而随着接铅时间变长，铅在骨骼中沉积，并达动态平衡，此时的血铅水平可能会降低。本研究还发现饮酒是血铅增高的危险因素，可能是因为酒精改变了体内酸碱平衡，不溶解的磷酸铅转化为可溶的二盐基磷酸铅转移至血液，造成血铅浓度的升高。但是，本研究未发现吸烟对血铅水平有影响，这与以往报道<sup>[14]</sup>结果一致。另外，工人受教育程度越低，体内血铅水平越高，提示低教育水平是高血铅的危险因素，但是本研究将厂内管理人员作为对照，而不同岗位人员受教育程度不同，使得本结论可能存在偏倚。

该蓄电池工厂工人的ZPP与血铅水平呈一定的正相关性，男性和女性工人的ZPP与血铅均有正相关性，但是值得注意的是，只有中血铅组(血铅100~400 μg/L)工人的ZPP与血铅呈正相关，未发现高血铅和低血铅组工人的ZPP与血铅有相关性。查阅文献发现，有报道在职业卫生达标的蓄电池工厂，男性铅作业工人的血铅和ZPP呈正相关，而女性工人无相关性<sup>[5]</sup>。另外还有人认为，血铅与ZPP的相关性以190 μg/L为阈值，当血铅质量浓度大于190 μg/L，两者呈正相关，但是当血铅低于此阈值时，血铅和ZPP无相关性，认为ZPP不适合用于低血铅水平的筛查<sup>[18]</sup>。应用基准剂量法分析发现，ZPP在血铅质量浓度大于441.13 μg/L时是血铅接触的敏感效应标志。本研究的结果和文献报道提示，需深入研究在不同血铅水平下ZPP是否可以作为稳定的铅中毒筛查指标。

本研究存在一些不足：首先，由于条件所限，只能选择本厂的管理人员作为对照，可能会引起偏倚；其次，高血铅组的样本量不够大；最后，本研究仅局限于该厂的铅作业工人，需要在更大的样本中进行验证。综上所述，本研究发现受教育程度低、饮酒、操作工种及低接铅工龄是高血铅的危险因素，而血铅水平较高时与ZPP具有正相关性，在实际工作中应用ZPP作为低血铅水平(<100 μg/L)的筛查指标时，应注意和其他指标联合应用。该企业仍旧要加强对工人的健康宣教和健康干预，提高个人防护水平和自我保护意识，进一步提高工人的职业健康水平。

### 参考文献

- [1] 张兴, 吉俊敏, 张正东. 2007—2012年全国职业病发病情况及趋势分析[J]. 职业与健康, 2014, 30( 22 ): 3187~3189.

- [2] 邓玮淳, 林潮鑫, 蔡振练. 2005—2010年某蓄电池厂铅接触职业危害的情况[J]. 职业与健康, 2013, 29(3): 304-306.
- [3] 吕玲, 林果为, 徐麦玲, 等. 铅中毒筛选指标的再评价[J]. 中华预防医学杂志, 1999, 33(5): 275-278.
- [4] 孙谷兰, 蒋学之, 王秀贞, 等. 血铅、红细胞游离原卟啉及锌原卟啉对铅中毒诊断值的探讨[J]. 劳动医学, 1990, 7(2): 1-3.
- [5] 何晓庆, 罗进斌, 裴淑华, 等. 职业卫生达标环境铅作业人员血铅和血锌原卟啉的变化[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(8): 1247-1249.
- [6] Rastogi SK. Renal effects of environmental and occupational lead exposure [J]. Indian J Occup Environ Med, 2008, 12(3): 103-106.
- [7] 工作场所空气中有害物质监测的采样规范: GBZ 159—2004[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2006.
- [8] 工作场所空气中铅及其化合物的测定方法: GBZ/T 160.10—2004[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2004.
- [9] 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分: 化学有害因素: GBZ 2.1—2007[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [10] 职业性慢性铅中毒的诊断: GBZ 37—2015[S]. 北京: 国标准出版社, 2016.
- [11] 吴维群, 刘美霞, 李建华, 等. 某蓄电池企业职业性铅接触评估与防制模式研究[J]. 环境与职业医学, 2006, 23(3): 259-261.
- [12] 金玖华, 张鹏, 刘弢. 铅酸蓄电池制造行业职业性铅危害文献分析[J]. 环境与职业医学, 2010, 25(10): 641-644.
- [13] 窦建瑞, 朱宝立, 仲立新, 等. 蓄电池厂工人血铅水平的相关因素研究[J]. 中国工业医学杂志, 2011, 24(1): 12-15, 33.
- [14] 苗超, 邵迪初. 职业性铅暴露人群血铅的危险因素研究[J]. 中国预防医学杂志, 2012, 13(3): 221-224.
- [15] 王金明. 低浓度铅对不同性别印刷工人健康的影响[J]. 职业与健康, 2008, 24(6): 527-528.
- [16] 张鹏, 刘弢, 金玖华, 等. 蓄电池组装企业铅作业劳动者职业健康状况调查[J]. 卫生研究, 2011, 40(2): 242.
- [17] 胡飞飞, 周倩倩, 张恒东, 等. 某铅酸蓄电池企业职业危害因素识别与评价[J]. 中国工业医学杂志, 2013, 26(2): 114-117.
- [18] 杨红, 张恒东, 周倩倩, 等. 低水平职业性铅接触人群生物标志物间关系的研究[C]//中华预防医学会劳动卫生与职业病分会. 第十三次全国劳动卫生与职业病学术会议论文汇编. 泰安: 中华预防医学会劳动卫生与职业病分会, 2014: 1.

(收稿日期: 2016-08-22; 录用日期: 2017-02-21)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 王晓宇)

**【告知栏】****《环境与职业医学》杂志微信公众号正式上线**

《环境与职业医学》杂志微信公众号已于近期正式上线, 该平台包括“读者”“作者”和“我们”三个主菜单, 主要提供稿件状态查询、当期最新内容及稿件撰写要求等内容, 同时也发布国内外最新研究动态及发展前沿等资讯, 满足读者网络时代碎片化阅读的需求。本平台旨在为编者、作者、读者之间搭建一个分享、学习、互动的平台, 以此推动《环境与职业医学》杂志的健康发展。

请直接扫描二维码或在公众号中搜索“环境与职业医学”(微信号: JEOM), 即可关注本刊微信公众号。



《环境与职业医学》编辑部