

工频电场作业人员神经行为功能和健康状况的研究

秦景香, 刘武忠, 周敏, 翁玮, 沈富荣, 朱骏, 郑爱国, 符英英

摘要: [目的] 评价企业变配电场所工作人员的工频电场和磁场暴露情况及其对神经行为功能和健康状况的影响。

[方法] 使用 HI-3604 低频电磁场测量仪对 18 家公司工频作业场所电场强度和磁场强度进行测量。采用 WHO 推荐的神经行为功能核心测试组合(NCTB)对 105 名暴露组和 110 名对照组人员进行神经行为功能测试, 使用问卷对两组人员的神经系统方面的不适症状进行调查, 并对两组人员进行白细胞数(WBC)、淋巴细胞数(LYMPH)、中性粒细胞数(NEUT)、单核细胞数(MONO)、嗜酸粒细胞数(EO)、嗜碱粒细胞数(BASO)、红细胞数(RBC)、血红蛋白量(HGB)、平均红细胞体积(MCV)、平均红细胞血红蛋白量(MCH)、平均红细胞血红蛋白浓度(MCHC)、血小板数(PLT)、IgA、IgG、IgM 测定。

[结果] 220kV 变电站电场强度明显高于 35kV 配电间, 差别有统计学意义($P < 0.01$); 但二者磁场强度的差异无统计学意义($P > 0.05$)。在情绪情感方面, 暴露组的紧张、抑郁、愤怒、疲劳及慌乱得分均高于对照组($P < 0.05$), 而暴露组的有力分值低于对照组($P < 0.05$); 暴露组视觉保留记忆分值明显低于对照组($P < 0.05$), 正确打点数和总打点数得分均明显低于对照组($P < 0.01$)。在神经系统不适症状方面, 暴露组的头痛、头晕、失眠、多梦、记忆力减退等症状的发生情况明显高于对照组($P < 0.01$); 暴露组 LYMPH 高于对照组, 而 MCHC 低于对照组, 差别有统计学意义($P < 0.05$)。IgG、IgM、IgA 浓度均值在暴露组和对照组中的差别均未见统计学意义($P > 0.05$)。[结论] 工频电场可能对工人的神经行为功能造成一定影响, 长期接触可能造成工人的神经系统不适症状和血液系统的轻微改变, 但尚不能肯定工频电场对作业人员免疫系统造成影响。

关键词: 工频电磁场; 神经行为功能; 血常规检测; 免疫球蛋白; 神经行为核心测试组合

Study on Neurobehavioral Function and Health Condition of Workers under Power Frequency Electric Field QIN Jing-xiang, LIU Wu-zhong, ZHOU Min, WENG Wei, SHEN Fu-rong, ZHU Jun, ZHENG Ai-guo, FU Ying-ying (Baoshan District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201901, China)

Abstract: [Objective] To evaluate the possible effects of power frequency electromagnetic fields (EMF) (50 Hz) on the health condition and neurobehavioral function of workers in transformer stations. [Methods] Intensity of EMF at transformer stations of 18 factories was measured with HI-3604 EMF radiation meter. Neurobehavioral function of 105 electricians and 110 controls were examined with Neurobehavior Core Test Battery (NCTB) recommended by World Health Organization (WHO). Some neural discomfort symptoms of the two groups were recorded by questionnaires. Hematological indices of the two groups were determined including IgG, IgM, IgA, leukocyte formulae (neutrophil, lymphocyte, monocyte, eosinophil, basophil), erythrocyte indices (hemoglobin, hematocrit, mean corpuscular volume, mean corpuscular hemoglobin, mean corpuscular hemoglobin concentration) and platelet. [Results] Electric field intensity of 220 kV transformer stations was significantly higher than that of 35 kV transformer stations ($P < 0.01$), but the magnetic field intensity in the two kinds of workplaces were not significantly different ($P > 0.05$). It showed that in the exposure group the emotional state of tension, depress, anger, fatigue and confusion appeared more obviously than those in the control group ($P < 0.05$), but the score of vigour was lower ($P < 0.05$). The average scores of Benton visual retention, correct tapping dots and sum tapping dots of electricians were all lower than those of controls ($P < 0.05$). The prevalence of headache, dizzy, insomnia, dreamful and hypomnesia in electricians were higher than those in the control group ($P < 0.01$). Average lymphocyte count of electricians was higher than that of controls ($P < 0.05$), but mean corpuscular hemoglobin concentration level of electricians was lower than that of controls ($P < 0.05$). There was no significant difference of IgG, IgM and IgA between the two groups. [Conclusion] Neurobehavioral function of electricians working under power frequency electric fields may be impaired to a certain extend. Long term exposure to power frequency electric field may induce neural symptoms and slight alterations in some hematological indices, but it is not concluded that occupational exposure to 50 Hz EMF can influence their immune system.

[基金项目] 上海市公共卫生优秀青年人才培养计划(编号: 08GW080); 上海市、区(县)疾病预防控制中心学科人才培养科研项目资助计划(编号: 区 2007-26)

[作者简介] 秦景香(1973-), 女, 硕士, 副主任医师; 研究方向: 职业卫生; E-mail: qinjingxiang@hotmail.com

[作者单位] 上海市宝山区疾病预防控制中心, 上海 201901

Key Words: power frequency electromagnetic field; neurobehavioral function; blood routine test; immunoglobulin; Neurobehavior Core Test Battery

工频电场是频率为 50 Hz 的极低频电场^[1], 随着工业发展, 电力在社会生产和人类生活中广泛应用, 形成现代社会特有的电磁污染。工频电场也已经成为工厂企业中常见的职业危害因素之一, 有许多研究已证明在工频电磁场和人体健康影响之间存在一定的联系, 但也有不少研究结果持否定态度^[2], 因此工频电场对职业人群的危害还存在争议。为了掌握企业变配电场所工作人员的电场、磁场暴露情况及其对神经行为功能和工人健康状况的影响, 本项目拟对工频电场及其暴露人员开展调查。

1 对象与方法

1.1 对象

随机抽取宝山区 11 家工厂工频电场作业工龄 1 年以上的接触工人 105 名为暴露组, 在其他工厂企业随机抽取无神经毒物接触史的工人 110 名为对照组; 两组工人均为男性, 且排除有神经精神疾患、视听觉和手部运动功能障碍、感冒、测试前 24 h 服用镇静剂及酗酒者。

1.2 方法

1.2.1 作业场所工频电磁场强度测定 根据 GB/T 189.3—2007 工作场所物理因素测量第 3 部分: 工频电磁场^[3], 使用 HI-3604 低频电磁场测量仪对 18 家公司工频作业场所电磁场强度进行测量。

1.2.2 个人症状调查 采用专门设计的调查问卷, 调查内容包括一般情况(姓名、性别、年龄、工种、工龄等)和神经系统不适症状及主诉。

1.2.3 神经行为功能测试 采用 WHO 推荐的神经行为功能核心测试组合(NCTB)对暴露组 and 对照组进行神经行为功能测试^[4], 测试项目包括情感状态特征(POMS)问卷、简单反应时、数字跨度、数字译码、视觉保留记忆、目标追踪等 6 项。其中简单反应时使用华东师范大学科教仪器厂生产的 EP202/203 型反应时测定仪进行测试。测试在安静舒适的环境中进行, 由经过培训的调查员按统一的方法进行调查。参试者依次离岗单独参加测试, 测试前询问和记录受试者文化程度、工龄等信息, 并向其详细解释测试方法, 平均每人测试时间为 25~35 min。

1.2.4 血常规及抗体测定 使用抗凝管采血 2 mL 进行血常规测定, 项目包括白细胞数(WBC)、红细胞数(RBC)、淋巴细胞数(LYMPH)、中性粒细胞数(NEUT)、单核细胞数(MONO)、嗜酸粒细胞数(EO)、嗜碱粒细胞数(BASO)、血红蛋白量(HGB)、平均红细胞体积(MCV)、平均红细胞血红蛋白量(MCH)、平均红细胞血红蛋白浓度(MCHC)、血小板数(PLT)等; 使用非抗凝管采血 3 mL 进行血清免疫球蛋白 IgA、IgG、IgM 测定。血常规和抗体检测委托上海交通大学附属第三人民医院检验科完成。

1.2.5 统计分析 数据经核对后用 EpiData3.02 录入计算机, 用 SPSS 12.0 软件进行统计分析。

统计学检验, 电场、磁场强度检测值分布呈偏态分布, 因此, 用中位数(M)表示其平均水平; 二者比较采用秩和检验。人群的一般症状、体征及神经行为功能检查结果呈正态分布, 故以 $\bar{x} \pm s$ 表示其结果; 二组间数值资料比较采用 *t* 检验, 分类变量资料比较采用 χ^2 检验。

2 结果

2.1 工频电场强度

对 13 个 35 kV 配电间及 5 个 220 kV 变电站内控制室及巡检线路电场强度和磁场强度进行检测, 结果 220 kV 变电站的电场强度中位数高于 35 kV 配电间, 经秩和检验, $P < 0.01$; 但二者磁场强度的差别未见统计学意义, $P > 0.05$ 。工人工作日内通常在控制室, 在变配电设备周围巡检时间一般为 2 h 左右。工作场所一般都具有屏蔽、接地防护设施, 但也发现 2 家 220 kV 变电站部分设备无屏蔽设施, 无屏蔽设备巡检路线上电场强度最高值达到 6.25 kV/m, 磁场强度达到 18.8 μ T(表 1)。

表 1 工频作业场所电场、磁场强度检测结果

Table 1 Measurements of electric and magnetic fields in workplaces					
场所类别 Workplace categories	检测点 Total number of detection	电场强度(V/m) Electric field intensity		磁场强度(μ T) Magnetic field intensity	
		范围 Range	中位数 Medium	范围 Range	中位数 Medium
35 kV 变电室 35 kV transformer stations	27	0.35~170	5.45	0.020~9.1	0.15
220 kV 变电站 220 kV transformer stations	23	0.38~6 250	34.00	0.012~18.8	1.00
Z	—	—	2.686	—	1.637
P	—	—	0.007	—	0.102

2.2 工人一般情况

暴露组 105 人, 男性, 年龄(37.91 $\pm$ 10.06)岁, 范围 23~59 岁; 工龄(13.95 $\pm$ 10.53)年, 范围 1~39 年。对照组 110 人, 男性, 年龄(35.78 $\pm$ 11.58)岁, 范围 20~52 岁; 工龄(10.63 $\pm$ 11.37)年, 范围 1~40 年。两组人员年龄、文化程度差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 症状主诉

经过对暴露组和对照组在神经系统方面不适症状的询问, 发现在排除疾病状态(如感冒等)的情况下, 暴露组的头痛、头晕、失眠、多梦、记忆力减退等症状的发生情况明显高于对照组, 见表 2。

2.4 神经行为功能测试

2.4.1 情感状态特征(POMS)分析 暴露组的紧张、抑郁、愤怒、疲劳及慌乱得分均高于对照组, 差异具有统计学意义($P < 0.05$); 而暴露组的有效分值低于对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 见表 3。

表 2 两组各种主诉症状发生情况比较

Table 2 Comparison of discomfort symptoms prevalence between the two groups

组别 (Group)	头痛 (Headache)		头晕 (Dizzy)		失眠 (Insomnia)		多梦 (Dreamful)		记忆力减退 (Hypomnesia)	
	人数 (n)	发生率 (%)	人数 (n)	发生率 (%)	人数 (n)	发生率 (%)	人数 (n)	发生率 (%)	人数 (n)	发生率 (%)
暴露组 (Exposure)	38	36.2	46	43.8	48	45.7	61	58.1	66	62.9
对照组 (Control)	21	19.1	23	20.9	28	25.5	36	32.7	37	33.6
χ^2	7.888 9		12.927 2		9.648 5		13.961 7		18.380 1	
P	0.005 0		0.000 3		0.001 9		0.000 2		0.000 0	

表 3 两组情感状态特征得分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of profile of mood situation (POMS) scores between the two groups

组别 (Group)	紧张-焦虑 (Tension)	抑郁-沮丧 (Depression)	愤怒-敌意 (Anger)	疲劳-惰性 (Fatigue)	有力-好动 (Vigor)	慌乱-困惑 (Confusion)
暴露组 (Exposure)	9.00 ± 4.60	12.63 ± 9.16	11.10 ± 7.51	7.58 ± 7.02	18.68 ± 4.84	6.80 ± 3.86
对照组 (Control)	7.14 ± 4.94	9.72 ± 8.03	8.56 ± 6.75	5.52 ± 4.63	21.10 ± 5.50	5.35 ± 3.81
t	2.860	2.479	2.612	3.424	2.553	2.780
P	0.005	0.014	0.010	0.001	0.011	0.006

2.4.2 行为测试 简单反应时包括光简单反应时和声简单反应时、数字跨度、数字译码得分两组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$); 但暴露组视觉保留记忆分值明显低于对照组 ($P < 0.05$); 目标追踪方面, 正确打点数和总打点数得分暴露组均明显低于对照组 ($P < 0.01$), 但错误点数在两组间的差异尚未见统计学意义 ($P = 0.05$), 见表 4。

表 4 两组行为功能测试得分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Comparison of behavioral function scores between the two groups

组别 Group	简单反应时		数字跨度	数字译码	视觉保留记忆	目标追踪		
	Simple reaction test(SRT)					Pursuit aiming test		
	光反应时 Light SRT	声反应时 Sound SRT				正确点数 Correct dots	错误点数 Error dots	总点数 Sum dots
暴露组(Exposure)	218.26 ± 79.11	199.41 ± 54.30	16.10 ± 3.70	53.07 ± 11.86	7.54 ± 1.47	182.17 ± 33.50	15.43 ± 14.06	197.60 ± 40.13
对照组(Control)	206.91 ± 26.04	188.53 ± 31.43	16.55 ± 3.74	55.64 ± 10.69	7.95 ± 1.52	206.47 ± 40.00	11.71 ± 13.55	218.27 ± 45.40
<i>t</i>	1.398	1.787	0.886	1.670	2.021	4.838	1.975	3.531
<i>P</i>	0.164	0.076	0.377	0.096	0.045	0.000	0.050	0.001

2.5 血液检查

2.5.1 血常规 经检测, 两组人员 WBC、RBC、NEUT、MONO、EO、BASO、HGB、MCV、MCH、PLT 平均值差异无统计学意义。暴露组 LYMPH 高于对照组, 而 MCHC 低于对照组, 差别

有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 5。
2.5.2 免疫球蛋白浓度 虽暴露组的 IgG 均值低于对照组、IgA 均值高于对照组, 但 IgG、IgM、IgA 平均浓度均值在暴露组和对照组间的差异均未见统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 6。

表 5 两组血常规检测结果比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 5 Comparison of the results of blood cell routine test between the two groups

组别 (Group)	WBC (10 ⁹ /L)	NEUT (10 ⁹ /L)	LYMPH (10 ⁹ /L)	MONO (10 ⁹ /L)	EO (10 ⁹ /L)	BASO (10 ⁹ /L)
暴露组 (Exposure)	6.56 ± 1.50	3.63 ± 1.11	2.29 ± 0.60	0.50 ± 0.15	0.13 ± 0.93	0.026 ± 0.013
对照组 (Control)	6.26 ± 1.35	3.50 ± 1.07	2.12 ± 0.59	0.49 ± 0.15	0.12 ± 0.93	0.028 ± 0.016
t	-1.487	-0.879	-2.039	-0.153	-0.209	1.078
P	0.139	0.380	0.043	0.879	0.835	0.282
组别 (Group)	RBC (10 ¹² /L)	HGB (g/L)	MCV (fL)	MCH (pg)	MCHC (g/L)	PLT (10 ⁹ /L)
暴露组 (Exposure)	5.10 ± 0.34	153.75 ± 15.86	89.30 ± 4.96	30.57 ± 1.43	341.28 ± 7.95	202.81 ± 45.17
对照组 (Control)	5.01 ± 0.42	153.25 ± 10.25	89.10 ± 4.79	30.67 ± 1.88	344.29 ± 9.89	212.39 ± 52.91
t	-1.671	-0.266	-0.299	0.460	2.407	1.398
P	0.096	0.790	0.796	0.646	0.017	0.164

表 6 两组抗体检测结果比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 6 Comparison of immunoglobulin level between the two groups

组别 (Group)	IgG (g/L)	IgM (g/L)	IgA (g/L)
暴露组 (Exposure)	12.45 ± 2.57	1.14 ± 0.53	2.47 ± 0.961
对照组 (Control)	12.60 ± 2.81	1.14 ± 0.47	2.21 ± 0.94
t	0.424	0.046	1.958
P	0.672	0.963	0.052

3 讨论

工频电场由输电线路或带电设备的电荷 (电压) 产生, 随

电压的变化而变化, 电场分布受带电导体、绝缘体和接地体的相互影响; 工频磁场由导体中的运动电荷 (电流) 产生, 受导体附近物体影响较小, 电流集中的地方和设备附近的磁场较强, 线路导线的布置方式也与磁场的分布有关^[5]。本调查发现, 220 kV 变电场所的工频电场强度明显高于 35 kV 变电场所; 尤其是建成时间较长的变电场所, 由于无屏蔽设施, 巡检路线上工频电场、磁场强度均较高。《工作场所有害因素职业接触限值第 2 部分: 物理因素》(GBZ 2.2—2007) 规定, 8 h 工作场所工频电场职业接触限值为 5 kV/m; 国际非电离辐射防护委员

会(ICNIRP)于1988年规定50 Hz工频磁场的职业人员接触限值为 $500\mu\text{T}$ ^[5]。本次调查到的最高磁场强度为 $18.8\mu\text{T}$,远远低于ICNIRP的接触限值。虽然220 kV变电场所巡检线路上存在电场强度高于 5kV/m ,但接触时间较短,一般为2 h/d,所以8 h接触强度一般在限值允许范围内。我国目前尚未对工频磁场强度制定职业接触限值,国外文献中对极低频电磁场的评价多采用以“ μT ”为单位的磁场强度为接触限值评价指标^[6-8];检测仪器一般采用个体磁场计量器,可以更好地反映工频磁场的个人暴露情况。由于条件所限,本研究仅对作业场所的电场强度和磁场强度最大值进行测量,可能在反映个体暴露情况方面存在欠缺。

在情绪情感方面,暴露组的紧张、抑郁、愤怒、疲劳及慌乱得分均明显高于对照组,而暴露组的有力分值低于对照组,提示工频电场作业人员的心理状况可能受到一定影响。在神经行为方面,本次调查发现暴露组视觉保留记忆分值明显低于对照组;目标追踪方面,正确打点数和总打点数得分也均明显低于对照组,提示工频电场作业人员的短期图形记忆、手眼协调能力可能有所下降。王兵等^[9]对75名电工和63名对照人员进行神经行为功能调查,结果未发现两组各项指标的差异,此调查结果的差异可能与调查对象人数的差异有关。邓朝辉等^[10]对雷达部队电磁辐射作业人员进行神经行为功能调查,结果发现雷达部队作业人员心理状态和手部作业能力均受到一定影响,但雷达部队接触的电磁波频率较高,可能不一定能代表工频电磁场的危害。国外学者报告短时间(30 min)接触 $400\mu\text{T}$ 电磁场未能引起受试者在情绪、心理、生理、认知功能、症状主诉方面的明显改变^[11],但不能说明长期暴露是否会对接触者造成影响。工频电磁场对神经行为功能的影响仍有待进一步研究。

工频电磁场对人体健康的影响仍存在诸多争论。有研究表明,暴露于极低频电磁场(50 Hz, 0.97mT)可能对健康造成微弱的生物影响,可能影响免疫和血液系统,但关于对血液系统影响的研究结果尚存在矛盾^[12]。

流行病学调查显示,在经常接触电磁辐射的职业暴露人群中,失眠、头痛、记忆力减退、精神抑郁等症状的发生率明显增加^[13]。本调查发现,暴露组的头痛、头晕、失眠、多梦、记忆力减退等症状的发生情况明显高于对照组。王建强^[14]对接触50 Hz、25~27.5 kV高压工频电磁场的电力机车司机进行调查,也发现观察组和对照组在失眠、头痛、多梦方面存在差异。

国外有动物实验表明,在50 Hz、 $0.1\sim 0.2\mu\text{T}$ 电磁场中暴露50 d后大鼠血液中嗜酸粒细胞、血红蛋白水平明显下降^[12]。本调查与国内其他学者研究结果不同的是,在血液指标检测中,只有LYMPH和MCHC在两组间有差异;暴露组LYMPH高于对照组,而MCHC低于对照组。IgG、IgM、IgA浓度均值在两组间的差别均未见统计学意义,可能是由于长期暴露于电磁场中,会刺激骨髓的增殖,造成淋巴细胞增生活跃,提示骨髓可能是电磁辐射的一个敏感组织。许溟宇等^[15]研究表明,工频电磁场可使T淋巴细胞活化能力上调,血清IgG水平增高;谢健华等^[16]研究表明,部分工种工频作业人员RBC、PLT、HGB明显高于对照组,WBC、LYMPH均低于对照组,IgG、IgA水平低于对照组。不同条件电磁场对免疫系统功能有双向变化影

响,可能与暴露于电磁场的强度、暴露时间、个体差异和免疫细胞调节机制不同有关,尚有待进一步深入研究。

(致谢:复旦大学公共卫生学院WHO职业卫生合作中心金泰虞、周志俊、夏昭林教授对本课题组给予悉心指导,并对本文进行细心修改,在此表示衷心感谢。)

参考文献:

- [1] 中华人民共和国卫生部. GBZ 2.2—2007 工作场所有害因素职业接触限值第2部分:物理因素[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [2] 阮江军,夏斐,陈志楠,等.近30年的工频磁场生物效应研究—没有定论[J].高压电技术,1999,25(2):92-95.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GBZ 189.3—2007 工作场所物理因素测量第3部分:工频电场[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [4] 梁友信.介绍WHO推荐的神经行为核心测验组合[J].工业卫生与职业病,1987,13(6):331-339.
- [5] 邹雄,万保权.输变电工程的电磁环境[M].北京:中国电力出版社,2009:14-47.
- [6] KHEIFETS L, AFIFI A A, SHIMKHADA R. Public health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields[J]. Environ Health Perspect, 2006, 114(10): 1532-1537.
- [7] MEE T, WHATMOUGH P, BROAD L, et al. Occupational exposure of UK adults to extremely low frequency magnetic fields[J]. Occup Environ Med, 2009, 66(9): 619-627.
- [8] JOHANSEN C, RAASCHOU-NIELSEN O, SKOTTE J, et al. Validation of a job exposure matrix for assessment of utility worker exposure to magnetic fields[J]. Appli Occup Environ Hyg, 2002, 17(4): 304-310.
- [9] 王兵,刘静坤.高压工频电场对作业人员神经行为功能影响的研究[J].职业与健康,2004,20(8):1-2.
- [10] 邓朝辉,龚茜芬,余争平,等.雷达部队电磁辐射对作业人员神经行为功能的影响[J].中国辐射卫生,2008,17(2):136-137.
- [11] NEVELSTEEN S, LEGROS J, CRASSON M. Effects of information and 50Hz magnetic fields on cognitive performance and reported symptoms[J]. Bioelectromagnetics, 2007, 28: 53-63.
- [12] CAKIR DU, YOKUS B, AKDAG MZ, et al. Alterations of hematological variations in rats exposed to extremely low frequency magnetic fields (50 Hz)[J]. Arch Med Res, 2009, 40: 352-356.
- [13] 隋建峰,范郑丽.电磁场的神经生物学效应及机制研究进展[J].环境与职业医学,2009,26(4):409-411.
- [14] 王建强.高压工频电磁对电力机车司机职业危害调查[J].中国公共卫生,2004,20(12):1497-1498.
- [15] 许溟宇,赵锐,黄瑾,等.工频电磁场对人体免疫功能的作用[J].中华劳动卫生职业病杂志,1999,17(6):335-337.
- [16] 谢健华,朱连标,王起恩,等.铁路电力牵引工频电磁场对职工健康影响的探讨[J].海峡预防医学杂志,2002,8(3):5-7.

(收稿日期:2010-07-12)

(英文编审:黄建权;编辑:丁瑾瑜;校对:徐新春)