

高强度甚低频电磁辐射对外毛细胞影响的初步研究

赵晶¹ 孙建军² 贾仲红²

[摘要] 目的:了解高强度甚低频电磁辐射作业环境中作业人群的职业暴露现状及其内耳功能的变化。方法:以某高强度甚低频电磁辐射作业环境中作业人群为调研对象并将其分为长期暴露组(>5年)、短期暴露组(<5年)及对照组。应用电磁辐射场强仪和噪声分析仪对作业现场不同工作岗位的作业环境进行电磁辐射强度测试和噪声强度测试,观察作业环境的电磁污染和噪声污染现状。调研采取现场问卷调查的形式。所有调研对象均进行纯音测听(PTA)和DPOAE测试,对于PTA或DPOAE异常的研究对象进行ABR测试。结果:作业场所的电场频率为20kHz,电场强度在21~38kV/m,超出中国标准;噪声强度在52~65dBHL(安全范围)。问卷调查结果提示,长期暴露组中头痛、失眠、耳鸣的发生率明显升高;DPOAE检测结果显示,长期暴露组异常率高于其他2组;DPOAE检测结果显示,长期暴露组在676,933,3616,5130,7253Hz频率的幅值低于短期暴露组和对照组,而短期组和对照组间无明显差别。对DPOAE异常的调研对象行ABR检测未发现异常。结论:该作业环境的电磁辐射强度已严重超出健康标准。DPOAE检测结果提示高强度甚低频电磁辐射的长期暴露可能会引起外毛细胞轻度、散在的改变,有必要及时采取有效地防护措施。

[关键词] 甚低频电磁辐射;生物效应;畸变产物耳声发射;外毛细胞;职业暴露

[中图分类号] R764.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-1781(2013)09-0471-04

Possible outer hair cells hazards from occupational exposure to very low frequency electric and magnetic fields: a pilot study

ZHAO Jing¹ SUN Jianjun² JIA Zhonghong²

(¹Chinese PLA Postgraduate Medical School, General Hospital of Chinese PLA, Beijing, 100853, China; ²Center of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Navy General Hospital, PLA)

Corresponding author: SUN Jianjun, E-mail: jjsun85@sina.com

Abstract Objective: Our purpose was to investigate occupational high-strength very low frequency electric and magnetic fields(VLF EMFs) and assess changes of function of the inner ear. **Method:** The people exposed to high-strength VLF EMFs were divided into three groups: long-term exposure group(>5 years), short-term exposure group(<5 years) and the control group. The field intensity indicator and noise analyzer were employed for the examination of the electromagnetic energy intensity and noise value at the working sites. Self-administered questionnaire was adopted. Universal hearing screening by pure tone audiometry(PTA) and distortion product otoacoustic emission(DPOAE) were done. The subjects who failed the screening tests were confirmed with auditory brainstem response(ABR) test. **Result:** The frequency of the electromagnetic field was 20 kHz, the average electric power density in job locations was 21-38 kV/m, which was higher than national standard(<5 kV/m). Average noise level in job locations was 52-65 dBHL, which was within the standard. Questionnaire presented that VLF EMFs might increase the incidence of headache, insomnia and tinnitus in long-term exposure. The incidence of abnormal DPOAE was higher in the subjects of the long-term exposure group than the short-term exposure group and the control group($P<0.01$). At 676, 933, 3616, 5130, 7253 Hz, the DPOAE amplitudes of the long term exposure group workers were significantly lower than the short-term exposure group and the control group. There was no obvious difference of the incidence of abnormal DPOAE between the short-term exposure group and the control group. The result of ABR with those subjects with abnormal DPOAE were no significant abnormalities. **Conclusion:** The average electric power density in job locations was significant worse than health standards. The changes of DPOAE indicated that the exposure to high-strength VLF EMFs had a subtle, discreet and localized impairing effect on outer hair cells. Effective intervention measures should be taken.

Key words very low frequency electric and magnetic fields; biological effect; distortion product otoacoustic emission; outer hair cells; occupational exposure

科技进步在为人们带来便捷生活的同时,也使得人们暴露于日益复杂的高强度电磁辐射环境中。

电磁辐射对人体的生物学效应研究已成为目前亟待开展的重要课题。以往有研究证实,电磁辐射暴露与神经内分泌系统、免疫系统、心血管系统、肿瘤等疾病存在相关性^[1-3]。电磁辐射内耳生物效应方面的文献报道主要集中于射频电磁辐射对内耳的

¹解放军军医进修学院(解放军总医院)(北京,100853)

²海军总医院全军耳鼻咽喉头颈外科中心

通信作者:孙建军, E-mail: jjsun85@sina.com

生物学效应研究^[4]。长波电磁辐射的内耳生物学效应研究极少,并且存在较多争议^[5-7]。因此准确了解相关现状、掌握作业人群暴露于高强度电磁辐射的程度和其对内耳产生的生物效应有着重要的现实意义。

1 资料与方法

1.1 研究对象

以某地质勘测单位作业人员为研究对象,选取在调查前连续 3 个月以上未脱离电磁辐射作业环境人员 200 例,其中在该环境工作时间 > 5 年的 100 例工作人员作为长期电磁辐射暴露组,工作时间 < 5 年的 100 例工作人员作为短期电磁辐射暴露组,另选取该单位非长波电磁辐射暴露人员 100 例作为对照组。3 组作业人员全部为男性,年龄、工龄、文化程度相近,工作强度一致。

1.2 调查内容与方法

1.2.1 作业环境污染检测 以作业人员的工作岗位为检测点,采用电磁辐射场强仪(EFA-300,德国)对电场强度进行测试,间隔 5 m 为以测试点。每个测试点每间隔 1 min 测试 1 次,连续测量 5 次取平均值即为有效值。同时采用噪声统计分析仪(BK2231,丹麦)对作业环境不同岗位的噪声强度进行检测,其测定点和测定次数同电磁辐射强度测定方法。

1.2.2 问卷调查 围绕电磁辐射危害的环境特点和暴露人群生物效应,通过检索、分析国内外相关研究资料,拟定电磁辐射可能导致内耳损害的症状体征及相关影响因素,设计流行病学调查表。调查指标包括一般情况(年龄、民族、文化程度、工种、结婚生育情况),作业环境暴露(工龄、工作强度、保护措施等),自觉内耳功能损害症状(听力减退、耳鸣、眩晕等),饮食生活习惯(膳食、吸烟史、饮酒史、户外活动等),共计 60 项内容。在调查前对参加调查人员进行培训,明确调查目的,掌握方法,统一操作技术;进行人群调查时采用座谈方式,作好被调查者的思想工作,使其积极、认真地参加调查,以提高调查的顺应性和结果的可靠性。填写问卷表,详细询问有无感冒史、耳流脓史、长期噪声接触史、基础疾病史(如高血压、糖尿病、颈椎病史等)。

1.2.3 听力功能测试 测试在相对隔声室内进行,本底噪声小于 40 dB(A)。测试前仪器均经解放军医用声学计量测试研究总站校准。测试前向研究对象解释测试过程及要求。所有调研对象均进行纯音测听和 DPOAE 检测,对纯音测听检测中连续 2 个频率纯音听阈 > 20 dBHL 或 DPOAE 检测中任一频率未通过者进行 ABR 检测。

1.2.4 纯音听阈检查 测试用美国 VIASYS NEUROCARE 公司生产的 GSI 61 型听力计,THD-50 头戴式耳机。测试方法采用国际标准

ISO8253-1 进行,按 GB-7583-87 规定的 0.25 ~ 8.00 kHz 频率测试。

1.2.5 DPOAE 测试 测试用美国 Bio-logic 公司生产的耳声发射分析仪(3.45.00 版本)记录。参数设置: $f_2/f_1 = 1.22$, $L_1 = 65$ dB SPL, $L_2 = 55$ dB SPL,以大于本底噪声 3 dB 为 DPOAE 引出的标准。以 2 个初始纯音频率的几何均数代表所表达的频率为测试频率 f_0 ,测试内容为 $2f_1 - f_2$ 幅值和信噪比(SNR)。以 f_0 作为横坐标(676、933、1305、1818、2589、3616、5130 及 7253 Hz)绘制 DPOAE 听力图。

1.2.6 ABR 测试 选用美国 Bio-logic 公司生产的脑干诱发电位仪(AEP 7.0.0)。记录电极置于乳突,参考电极置于前额,红色电极置于对侧乳突;极间电阻 ≤ 5 k Ω 。刺激声类型:短声(click),以突发性高频率声音刺激获得起始点清楚的听诱发反应。刺激速率为 3 011 次/s,带通滤波 100 ~ 300 Hz,分析时间 20 ms,叠加次数为 1 024 次,头戴式耳机。刺激强度取 80 dBnHL 作为初始给声强度,根据是否出现典型的可重复的 ABR 波形,提高或降低刺激强度来测定反应阈值,以出现清晰 V 波的最小分贝数为阈值标准。

1.3 统计分析

所有数据采用 SPSS 13.0 统计软件进行处理。采用非参数检验(Wilcoxon)分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 环境污染检测结果

对现场不同工作岗位进行电磁辐射检测显示,作业现场可受到 10 ~ 30 kHz 频率范围的甚低频电磁辐射,主要频率约为 20 kHz,最大输出功率为 500 kW,作业场所的电场强度在 12 ~ 37 kV/m,远高于国家卫生标准(GB175-88,5 kV/m)。对照组工作环境电场强度未检出。所选调研对象暴露环境的噪声强度范围为 52 ~ 65 dBHL(安全范围)。其中噪声过大的工作岗位的工作人员被剔除。

2.2 问卷调查结果分析

长期电磁辐射暴露的 100 例经过问卷调查和耳部体检剔除 9 例,由剩余的 91 例(182 耳)构成长期暴露组;短期电磁辐射暴露的 100 例经过问卷调查和耳部体检剔除 5 例,由剩余的 95 例(190 耳)构成短期暴露组;对照组 100 例剔除 6 例,由剩余 94 例(188 耳)组成。暴露组与对照组人群基本情况及日常生活中接触电磁辐射情况差异无统计学意义($P > 0.05$)。暴露组与对照组人群一般情况的比较见表 1。

2.3 听力检查结果

纯音测听结果显示,长期暴露组与短期暴露组、对照组比较低频听阈提高,但差异无统计学意

义($P>0.05$),分析认为低频听阈间的差别可能与本底噪声对低频听阈的影响较大有关。3 组间语言频率的平均听阈在正常范围内($P>0.05$),高频听阈差异无统计学意义($P>0.05$)。DPOAE 检测结果显示,长期暴露组各频率的引出率明显低于短期暴露组和对照组,676、933、3 616、5 130、7 253 Hz 频率的 DPOAE 幅值较短期暴露组和对照组降低,差异有统计学意义($P<0.01$),见表 2、3。对纯音测听检测中连续 2 个频率纯音听阈 >20 dBHL 或 DPOAE 检测中任一频率未通过者(共 56 例)进行 ABR 检测,ABR 潜伏期及阈值并无明显异常。

表 1 暴露组与对照组人群一般情况的比较

	长期暴露组 (91 例)	短期暴露组 (95 例)	对照组 (94 例)
年龄/岁	32.79±6.12	33.36±6.35	32.85±6.24
文化程度			
初中	19.8%	22.1%	20.2%
高中	34.1%	32.6%	31.9%
大学	46.1%	45.3%	47.9%
手机使用时间/年	9.65±4.10	9.61±3.95	9.92±4.33
失眠	58.2%	17.9% ¹⁾	21.3% ¹⁾
头痛	57.1%	22.1% ¹⁾	20.2% ¹⁾
耳鸣	35.2%	10.5% ¹⁾	8.5% ¹⁾
听力下降	6.7%	7.4%	5.3%
眩晕	5.5%	4.2%	5.3%

与长期暴露组比较,¹⁾ $P<0.05$ 。

表 2 3 组 DPOAE 不同频率点检出率的比较 %

检测频率 /Hz	长期暴露组 (182 耳)	短期暴露组 (190 耳)	对照组 (188 耳)
676	72.5	95.8 ¹⁾	97.9 ¹⁾
933	75.8	97.9 ¹⁾	100.0 ¹⁾
1 305	98.4	95.8	100.0
1 818	91.8	97.4	98.9
2 589	96.3	97.9	100.0
3 616	80.2	95.2 ¹⁾	99.0 ¹⁾
5 130	88.0	98.1 ¹⁾	100.0 ¹⁾
7 253	71.9	96.5 ¹⁾	98.0 ¹⁾

与长期暴露组比较,¹⁾ $P<0.01$ 。

表 3 3 组 DPOAE 不同频率点的反应幅值

检测频率/Hz	长期暴露组	短期暴露组	对照组	dB SPL
676	8.50(3.80~11.40)	8.40(3.45~10.35) ¹⁾	9.00(8.10~11.40) ¹⁾	
933	8.00(0.40~8.80)	9.50(5.90~15.10) ¹⁾	10.10(8.30~14.40) ¹⁾	
1 305	9.40(8.02~13.50)	9.60(6.80~15.80)	9.50(8.50~12.30)	
1 818	9.40(6.80~13.90)	9.60(8.00~15.80)	9.50(8.60~12.40)	
2 589	9.50(8.03~14.50)	9.50(6.80~14.40)	9.50(8.60~13.90)	
3 616	8.70(5.50~10.35)	9.95(8.30~16.52) ¹⁾	9.50(8.60~13.90) ¹⁾	
5 130	9.00(5.40~13.10)	10.00(6.50~16.30) ¹⁾	10.00(8.30~13.80) ¹⁾	
7 253	8.50(4.50~10.20)	9.50(8.20~16.00) ¹⁾	9.70(8.30~12.70) ¹⁾	

与长期暴露组比较,¹⁾ $P<0.01$ 。

3 讨论

大量流行病学调研、细胞生物学以及神经化学方法方面的研究结果表明,电磁辐射对生物体确实存在着显著生物效应^[1-3,8]。本研究所调查的某地质勘探作业环境的电磁辐射强度已严重超出健康标准。问卷调查结果显示,长期暴露组的作业人员耳鸣、头痛、失眠等不适症状的发生率明显高于短期暴露组和对照组,差异有统计学意义($P<0.01$),而短期暴露组和对照组间无明显差异。

尽管目前的研究尚不能证明电磁辐射会对内耳造成损害,但电磁辐射对内耳的影响仍不能被排除,高强度长期电磁辐射暴露对内耳的生物效应仍有待进一步观察。目前电磁辐射的内耳生物效应研究主要集中于手机射频电磁辐射,而长波、极长波电磁辐射对内耳的生物效应研究较少,并且存在较多争议。Budak 等^[5-6]通过动物实验研究发现,长波电磁辐射以频率依赖的方式对内耳外毛细胞造成伤害。与之相反,Morales 等^[7]的实验结果提示,低强度的极长波电磁辐射并不会引起外毛细胞的损伤。上述截然相反的研究结果可能与暴露电磁辐射环境的频率、强度以及检测手段的不同有关。

在本研究中,我们首先应用纯音测听和 DPOAE 对调研对象的听力情况进行了筛查,对上述 2 项检测项目中存在异常的调研对象进行了 ABR 检测。纯音听阈反映的是对应频率部位的耳蜗内、外毛细胞及其相关听神经纤维的功能状态。本研究的纯音测听检测结果提示,调研对象的听阈(尤其是语言频率)无明显异常改变。DPOAE 的能量主要来源于外毛细胞,是耳蜗内主动机械活动的结果,其活动通过微机械作用使基膜振动,并经中耳传出,可灵敏地反映耳蜗外毛细胞的功能^[9]。有研究指出,DPOAE 的幅值反映是耳蜗整体外毛细胞的总体活性,当外毛细胞排列混乱、数量减少或缺失时,DPOAE 反应幅值下降^[10]。正常人耳 DPOAE 引出率在 90% 以上,有报告达 98%,甚至 100%^[11]。本研究长期暴露组 DPOAE 引出率在

676、933、3616、5130 和 7253 Hz 均低于短期暴露组和对照组,差异有统计学意义;同时发现长期暴露组 DPOAE 幅值降低,提示可能在外毛细胞功能障碍的早期表现,由此推断长期的甚低频电磁辐射暴露可能会造成外毛细胞轻度、散在的损伤,并且该损伤存在频率特异性。在本实验中,我们对 DPOAE 异常的作业人员进行了 ABR 测试,发现 ABR 与纯音测听结果一致,ABR 阈值和潜伏期均在正常范围内,与 DPOAE 无必然联系。该结果与 Budak 报告的结果一致。

电磁辐射的生物效应包括 3 个方面:热效应、非热效应及累积效应^[12]。非热效应是近年研究的热点,主要指电磁能量密度不是很强、在人体内产生的热量较少、体温升高并不明显的情况下对生物体造成的影响^[13]。低频电磁辐射主要通过非热效应对生物体产生影响。国际卫生组织报告提供的数据显示,生物体暴露于频率 50~60 Hz 的磁场中,当磁感应强度 < 5 mT,无明显生物效应;当磁感应强度在 5~50 mT 时,短期暴露(几小时)对人体产生较小的、短暂的健康影响,但目前尚缺乏长期暴露后产生的生物效应的研究。当磁场高于 50 mT 时,磁感应强度已超过各种细胞兴奋水平的阈值,对人体健康有影响。工频电场暴露的生物效应研究认为暴露的电场强度最高上限是 4 kV/m。

在本研究中,为排除噪声对听力影响的干扰,我们对调研对象工作环境的噪声强度进行了监测,并将工作环境噪声超过标准的配电组排除在外,选取工作环境噪声在正常范围内的作业人员作为调研对象。选用了纯音测听、DPOAE、ABR 等 3 项指标进行作业人员的内耳效应测定,对高强度甚低频电磁辐射长期暴露的行为危害进行了初步探索,所得结论为作业人群健康问题的深入研究提供了依据。

参考文献

[1] FEYCHTING M, JONSSON F, PEDERSEN N L, et al. Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease [J]. *Epidemiology (Cambridge Mass)*, 2003, 14: 413-419, 427-418.
 [2] KHEIFETS L, AFIFI A A, SHIMKHADA R. Public

health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields[J]. *Environ Health Perspect*, 2006, 114: 1532-1537.
 [3] GARCIA A M, SISTERNAS A, HOYOS S P. Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a meta-analysis[J]. *Int J Epidemiol*, 2008, 37: 329-340.
 [4] 赵晶,孙建军. 射频电磁污染对内耳的生物效应研究[J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2012, 20(6): 591-595.
 [5] BUDAK G G, BUDAK B, OZTURK G G, et al. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on transient evoked otoacoustic emissions in rabbits[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2009, 73: 429-436.
 [6] BUDAK B, BUDAK G G, OZTURK G G, et al. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on distortion product otoacoustic emissions in rabbits[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2009, 36: 255-262.
 [7] MORALES J, GARCIA M, PEREZ C, et al. Low frequency electromagnetic radiation and hearing[J]. *J Laryngol Otol*, 2009, 123: 1204-1211.
 [8] 杨丽,乔晓艳,董有尔. 磁场生物效应的研究现状与展望[J]. *中国医学物理学杂志*, 2009, 26(21): 1022-1024.
 [9] TRAUTWEIN P, HOFSTETTER P, WANG J, et al. Selective inner hair cell loss does not alter distortion product otoacoustic emissions[J]. *Hearing Res*, 1996, 96: 71-82.
 [10] GORGA M P, NEELY S T, OHLRICH B, et al. From laboratory to clinic: a large scale study of distortion product otoacoustic emissions in ears with normal hearing and ears with hearing loss[J]. *Ear Hear*, 1997, 18: 440-455.
 [11] 梁晓阳,杨爱初,杨丽文,等. 噪声作业工人的畸变产物耳声发射观察[J]. *职业卫生与应急救援*, 2008, 26(4): 295-297.
 [12] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz) [J]. *Health phys*, 2010, 99: 818-836.
 [13] 卑伟慧,曹毅. 电磁辐射的生物学效应[J]. *辐射防护通讯*, 2007, 27(1): 27-30.

(收稿日期:2013-02-16)

读者·作者·编者

量和单位的规范用法

胆固醇、三酰甘油、葡萄糖的旧制单位 mg/dl 现已废除,新的法定计量单位为 mmol/L。胆固醇、三酰甘油、葡萄糖新旧单位之间的换算系数分别为: 0.025 9、0.011 3、0.055 5。例如:胆固醇: 110 mg/dl × 0.025 9 → 2.85 mmol/L;三酰甘油: 20 mg/dl × 0.0113 → 0.226 mmol/L;血糖: 70 mg/dl × 0.055 5 → 3.89 mmol/L。