

Serum biochemical indicators of New Zealand rabbits under ELF electromagnetic radiation exposure varied with exposure time

Yang LUO¹, Bo ZHANG¹, Ming CHEN², Wei-yin GAO¹, Jun-fu HUANG¹, Wei-ling FU¹

¹Dept. of Laboratory Medicine, Southwest hospital, the Third Military Medical University, Chongqing; China

²Dept. of Laboratory Medicine, Daping hospital, the Third Military Medical University, Chongqing; China

Email: ly.tmmu@gmail.com

Abstract: Extremely low frequency (ELF) electromagnetic radiation (EMR) is a new environmental pollutant source. With no defined standards to check harmful electromagnetic radiation from the environment being emitted internationally, the identification of biological dose-effect relationship will provide supports for early prevention and later therapy. In this experiment, bloods were drawn from 24 New Zealand rabbits under ELF EMR exposure and the changes of various biochemical indicators in serum were analyzed. Results revealed that most of these biochemical indicators altered with the increase of exposure time, indicating different degree of biological hazard induced by ELF EMR. Thus, monitoring the change of biochemical indicators will contribute to revise the national standards for EMR exposing and prevention.

Keywords: Extremely low frequency; electromagnetism radiation; biochemical indicator; dose-effect relationship

ELF 电磁辐射对新西兰兔血清生化指标的影响及其防护

罗 阳¹, 张 波¹, 陈 鸣², 高维寅¹, 黄君富¹, 府伟灵¹

¹第三军医大学附属西南医院检验科, 重庆, 中国, 400038

²第三军医大学附属大坪医院检验科, 重庆, 中国, 400040

Email: ly.tmmu@gmail.com

摘 要:极低频 (ELF) 电磁辐射 (Electromagnetic Radiation) 是继废水、废气、固废、噪声污染之后的新型环境污染源。然而国际上尚无极低频电磁辐射暴露限值的统一规定, 只有各个国家和组织各自制定的标准。明确 ELF 暴露后的生物学量效关系, 对于提前预防和及时处理辐射损伤具有重要意义。本实验以新西兰兔为研究对象, 通过采集不同 ELF 辐照时间后的新西兰兔的全血并进行血清中多种生化指标的动态监测。结果表明 ELF 电磁辐射暴露后生物体内会出现不同程度的器官损害, 其具体表现为多项生化指标的显著变化。因此, 通过动态监测生化指标, 可明确 ELF 暴露后的生物学量效关系, 为进一步修订极低频电磁辐射的暴露和防范措施提供实验依据。

关键词: 极低频; 电磁辐射; 生化指标; 量效关系

1 引言

电磁辐射 (Electromagnetic radiation, EMR) 是一种复合的电磁波, 以相互垂直的电场和磁场随时间的变化而传递能量。由于人体生命活动包含一系列生物电活动, 而这些生物电对环境的电磁波非常敏感, 因此, 电磁辐射可对人体造成影响和损害。随着广播电视、

输电线路和通讯业的不断发展, 电磁辐射污染成了继废水、废气、固废、噪声污染之后的又一大影响城镇居民身体健康的重要污染源。EMR 对人体的危害, 表现为热效应和非热效应两大方面^[1]。热效应, 当人体接受电磁辐射时, 体内分子会随着电磁场的转换快速运动, 使人体升温, 热效应会引起中枢神经和植物神经系统的功能障碍, 主要表现为头晕、失眠、健忘等亚健康表现^[2]。非热效应, 即吸收辐射不足以引起体温增高, 但也引起生理变化和反应。生活和工作在这

基金支持: 国家自然科学基金 (30900348), 军队推广扩试项目 (08JKS01), 重庆市科技攻关项目 (CSTC.2008AC0001), 第三军医大学校管课题 (2008XG24)

种环境中过久,会出现头晕、疲乏无力、记忆力衰退、食欲减退等临床症状。

随着社会的发展和健康意识的增强,人们日益关注电磁环境对人体健康的影响,如手机的电磁辐射及高压输变电设备的工频电磁场等^[3,4]。在商业区和居民集中住宅区等用电负荷较大的区域,需要采用220kV高压变电站深入负荷中心,以提高电网为负荷中心输送电力的能力。因此,工频高压设备安置点与人们的生活范围越来越近,而长期暴露于此类高压输变电设备产生的工频电磁场中,是否会影响人体健康,引起公众的普遍关注。

目前,国际上尚无关于极低频电磁辐射(ELF)暴露限值的统一规定,许多国家和组织均制定了其各自的标准。其中,得到较广泛认可的主要有国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)制定的《限制时变电场、磁场和电磁场暴露的导则(300GHz以下)》^[5],以及美国电气电子工程师学会(IEEE)所属的国际电磁安全委员会制定的《关于人体暴露到0~3kHz电磁场安全水平的IEEE标准》(IEEE Std C95.6-2002)。其他国家和组织限值的规定大多参考了上述标准^[6]。我国也于2002年发布了《电磁辐射暴露限值和测量方法》的国标征求意见稿。

本实验试图用极低频电磁辐射(ELF)照射新西兰兔,动态持续观察照射后其血清生化指标变化的过程和趋势,初步探讨ELF所致生物学效应。从而为修订电磁辐射防护的国家和行业标准奠定基础。

2 材料与方法

2.1 实验器材及动物

ELF均匀强磁场发生器由保定变压器厂提供(50Hz,强度0~0.1T可调)。选择成年新西兰兔24只,其中雄性13只,雌性11只,体重1.8~2.5kg,平均体重2.12kg。动物购回后,自由进食,单笼饲养观察一周。然后将动物随机为对照组(4只)和处理组(20只),处理组给予ELF均匀强磁场全身照射动物5min/天。照射前对所有动物进行全身检查,下肢浅静脉采血做自身对照。每只动物分别放入透明有机玻璃罩中,站立位,调整高度使动物在电磁脉冲装置高压电场极板的中央,电磁波平行于上下两极板辐射。在相对湿度为50%,环境温度为19℃的条件下整体照射动物。对照组放置于与磁场处理组相同的室温环境。

2.2 标本采集与检测

于照射后1h,24h,5d,10d,20d,40d及100d凌晨8时分别给动物采血(照射后1h立即采血),经4000rpm离心15min后快速分离血清,然后运用OlympusAU2700全自动生化分析仪进行生化指标的检测。具体检测指标包括:血清丙氨酸氨基转移酶(ALT)、血清白蛋白(ALB)、碱性磷酸酶(ALP)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)、血清尿素氮(BUN)、血胆固醇(CHOL)、肌酸激酶(CK)与肌酸激酶同工酶MB(CK-MB)、血肌酐(CRE)、 γ -谷氨酰转肽酶(GGT)、血糖(GLU)、 α -羟丁酸脱氢酶(HBDH)、乳酸脱氢酶(LD)及乳酸脱氢酶同工酶1(LD-1)、血清总蛋白(TP)、血氯(Cl⁻)、血钾(K⁺)、血镁(Mg²⁺)和血钠(Na⁺)。

2.3 统计分析

所有数据经Origin8.0进行分析并作图。并且运用SPSS16.0软件进行重复测量的单因素设计资料的方差分析。

3 结果

ELF照射后新西兰兔血清生化指标变化及检验结果见图1,图2和图3。其中有3只实验组新西兰兔分别于75天、92天和125天各死亡一只,均死于多脏器功能衰竭。

3.1 血清生化指标

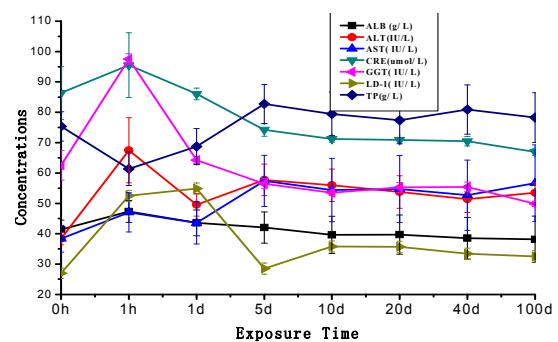


Figure 1. Biochemical indicators varied with different time
图1. 动物血清部分生化指标随暴露时间变化趋势图

ALB/ALT/CRE/GGT/LD-1在照射后早期迅速升高,1h达到峰值($P<0.01$),与对照相比升高了约1.5倍,在1d以后逐渐降低,在5d时升高,并随着暴露时间增加而逐步恢复正常。其中ALT/AST/LD-1与对照相比升高显著($P<0.05$)。

天冬氨酸氨基转移酶(AST)/血清总蛋白(TP): AST和TP在照射后呈上下波动走势,但在5d则明显增高($P<0.05$),与对照相比升高了16.82%。

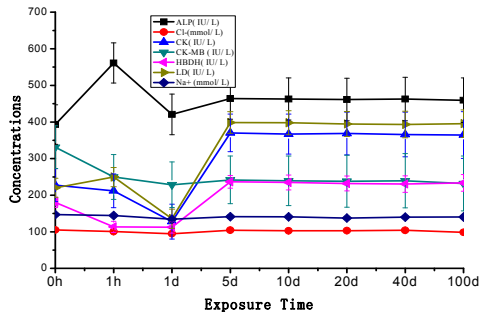


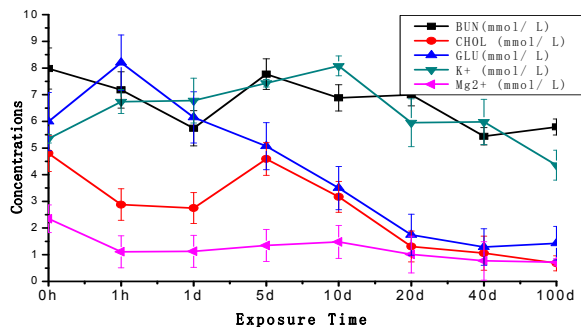
Figure 2. Biochemical indicators varied with different time
图2. 动物血清生化指标随暴露时间变化趋势图(部分)

碱性磷酸酶(ALP):ALP在辐照后呈逐渐上升趋势,在1h达到高峰($P<0.01$),与对照相比升高了63.55%,此后逐渐降低至正常水平。

肌酸激酶(CK)与肌酸激酶同工酶MB(CK-MB):CK在照射后1h时升高,达到峰值($P>0.05$),与对照相比升高了54.93%,此后逐渐降低,5d基本恢复正常;CK-MB在照射后1h时即明显升高,5d达到峰值,与对照相比升高了68.78%,此后逐渐降低,但是一直处于高位,较正常对照高($P<0.01$)。

Figure 3. Biochemical indicators varied with different time
图3. 动物血清生化指标随暴露时间变化趋势图(部分)

血钠(Na^+)/血氯(Cl^-)/血镁(Mg^{2+}): Na^+ 和 Cl^- / Mg^{2+} 在照射后呈现波动变化趋势,但是其最后稳定状态时与基础对照处于同一水平($P>0.05$)。 Mg^{2+} 在照射后3d明显下降($P<0.01$),与对照相比下降了63.16%,但在7d,



14d及90d时则明显升高($P<0.01$),与对照相比分别升高了97.37%,44.74%和30.26%。

胆固醇(CHOL):照射后1h即出现轻微下降,后立即反弹,在5d时达到峰值,后持续下降至低值。

血糖(GLU):照射后早期(1h)即升高,此后逐渐降低,100d时达到最低点($P<0.05$),与对照相比下降了77.56%。

3.2 体重和体温

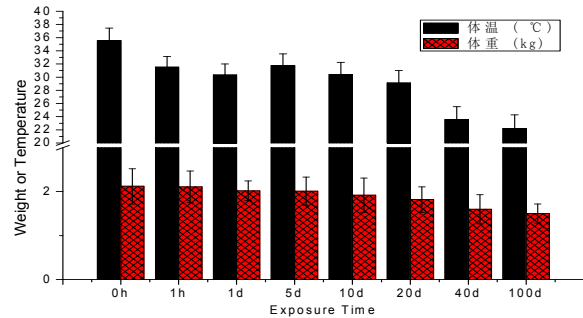


Figure 4. Weight and temperature varied with different time
图4. 新西兰兔大体指标随暴露时间变化趋势图(体重和温度)

实验组新西兰兔体重在照射后3d即开始逐渐下降(见图4),到100d时下降到最低点($P<0.05$),与对照相比下降了20.48%。体温在照射后1hd开始降低,5d时有所反弹,后又逐渐降低,直至最后100d时低于正常对照($P<0.05$)。

4 讨论

WHO国际癌症研究机构(IARC)及WHO专题工作组经评估认为ELF($<100kHz$)磁场与儿童白血病及脑癌有关,当ELF(50/60Hz)磁场暴露强度超过 $0.3\mu T$ 或 $0.4\mu T$ 时儿童白血病的患病风险增加2倍,据WHO统计显示约1%~4%的儿童长期暴露于强度大于 $0.3\mu T$ 的工频磁场环境^[7]。国内外流行病学调查和实验研究已经证实,电磁辐射的生物损伤效应广泛。主要是神经、内分泌、造血、免疫、生殖系统及晶状体的损伤,超强度电磁辐射甚至可致死亡。目前,在电磁波的生物效应研究中,有关工频电磁辐射与生物体的相互作用研究较少,因为脉冲波的能量衰减非常快。脉冲电磁波对生物体作用有以下特点:①连续波引起的生物效应与其频率、平均功率密度和作用时间相关;②脉冲电磁波对生物体的作用,特别是对细胞的作用是一个非线性过程,而且是一个瞬态的不稳定过程,因此对生物体的影响更为明显。

本实验结果显示,当ELF照射新西兰兔后其心肌酶谱早期即出现明显的紊乱,其中的LB/ALT/CRE/GGT/LD-1在照射后早期迅速升高,1h达到峰值($P<0.01$),与对照相比升高了约1.5倍,在1d以后逐渐降低,5d时升高,并随着暴露时间增加而逐步恢复正常。其中ALT/AST/LD-1与对照相比升高显著($P<0.05$)。从上述ELF照射新西兰兔后心肌酶谱的变化

不难看出, ELF照射不仅可致其早期紊乱, 还具有一定的持续和后期效应。由于上述酶类正常情况下大量存在于心肌细胞胞浆内, 当其细胞受到损伤时, 将大量漏出细胞而致血清浓度的异常增高。上述结果提示ELF辐照可直接引起心肌组织的损伤。ELF照射新西兰兔后其肝脏相关酶ALT, ALP, GGT和AST, 主要在肝脏合成的CHOL, TP和ALB也出现明显的紊乱, 表现在ALP和GGT在照射后立即升高。上述结果提示ELF照射可引起肝脏细胞的损伤, 从而导致其胞浆内酶的异常漏出。因此TP的降低主要是由球蛋白的异常降低所致, 提示ELF照射可引起机体免疫力的逐步降低。

ELF照射新西兰兔后GLU在照射后早期(6h)即升高, 24h达到峰值($P<0.05$), 与对照相比升高了28.98%, 此后逐渐降低。提示ELF照射可引起糖代谢紊乱, 是否为ELF照射引起胰腺胰岛细胞损伤后胰岛素分泌减少所致, 还有待于进一步证实。ELF照射新西兰兔后 $K^+/Na^+/Cl^-$ 在照射后分别明显降低, 提示ELF照射可引起水盐及离子代谢紊乱, 是由于肾上腺皮质受损后所致的水盐代谢紊乱, 还是机体细胞膜直接受损后细胞内离子的漏出所致, 有待于进一步实验证实。

ELF照射后对新西兰兔体重和体温的检测发现, 新西兰兔体重在辐照后1d即开始逐渐下降, 到100d时下降到最低点($P<0.05$), 与对照相比下降了30.42%。新西兰兔呈逐渐耗竭状态, 可能是ELF辐照后多脏器损伤的综合结果。而新西兰兔体温在辐照后10d开始降低, 100d则明显降低($P<0.05$), 与对照相比下降了9.25%。是ELF照射对体温中枢的直接损伤, 还是全身多脏器损伤后所致基础代谢率降低, 仍需要大量工作证实。

目前对ELF辐照的损伤机制仍缺乏系统研究, 可能是通过以下几种机制引起组织的损伤: ①改变分子结构; ②改变化学反应率; ③改变膜功能。其所致的生物分子DNA及细胞膜系统损伤是由于生物体在瞬态ELF作用下, 在细胞膜原有静息电位基础上, 产生一个跨膜电压, 跨膜电压的大小、持续时间及产生方式会直接影响细胞的各种生物学特性^[8]。

总之, ELF可引起新西兰兔血清多种酶、蛋白、血糖、代谢产物及多种离子的紊乱, 既有早期影响, 也表现为一定的持续效应。其特点是发生迅速, 于照后6h即见异常; 持续时间较长, 至90d仍见多种异常; 累及脏器较多, 具有全身性特点。从酶谱、蛋白、血糖、代谢产物及多种离子变化异常的程度和时间来看, 提示新西兰兔对ELF照射的敏感性可能依次为: 心脏>肾上腺>肝脏>肾脏。

基于以上结果, 我们应该加大对ELF电磁辐射的防护工作, 最简单有效的方法是减少电磁辐射污染源。除非有紧急情况, 凡经计算或用场强计测量超过 $40\mu W/cm^2$ 的区域不允许人员在未采取防护措施的情况下进入。应利用防护用品使辐射危害减至最小, 必须保证在发射天线射束区内工作的维护人员穿好防护服。应该禁止身上带有金属移植件, 心脏起搏器等辅助装置的人员进入电磁辐射区。应给受到辐射源, 电磁能和高压装置辐射的人员作定期身体检查。

对于室内环境中办公设备、家用电器和手机带来的电磁辐射危害, 人们应采取如下保护措施:

1. 自觉遵守国家标准, 正确使用电脑、手机、微波炉等办公设备和家用电器。电器摆放不能过于集中。在卧室中, 要尽量少放, 甚至不放电器。电器使用时间不宜过长, 尽量避免同理使用多台电器。
2. 对辐射较大的家用电器, 如电褥子、微波炉、电磁炉等, 可采用不锈钢纤维布做成罩子, 或进行化学镀膜来反射和吸收阻隔电磁辐射。
3. 正确使用手机。人们最好在手机接通几十秒后再接电话。在接电话时, 要尽量使头部离手机远一点, 或采用分离耳机与话筒来接听电话。同时, 尽量减少通话时间, 最好左右耳朵轮流听。平时不要将开着的手机挂在胸前, 以防心脏受损。特别是女性, 电磁辐射对内分泌和孕妇的影响更为显著。

致 谢

感谢第三军医大学劳动卫生教研室(电磁辐射医学防护教育部重点实验室)余争平教授对本实验给予的支持和帮助。感谢重庆外国语学校樊玉婷女士在动物实验方面给予的支持。

References (参考文献)

- [1] Selmaoui B, Lambrozo J, Touitou Y, Magnetic fields and pineal function in humans: evaluation of nocturnal acute exposure to extremely low frequency magnetic fields on serum melatonin and urinary 6-sulfatoxymelatonin circadian rhythms[J]. *Life Sci*. 1996, 58(18), 1539-1549.
- [2] Behari J, Paulraj R, Biomarkers of induced electromagnetic field and cancer[J]. *Indian J Exp Biol*. 2007, 45(1), 77-85.
- [3] Yokus B, Cakir DU, Akdag MZ, Sert C, Mete N, Oxidative DNA damage in rats exposed to extremely low frequency electromagnetic fields[J]. *Free Radic Res*. 2005, 39(3), 317-323.
- [4] Heikkinen P, Kosma VM, Alhonen L, et al., Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumourigenesis in ornithine decarboxylase transgenic and non-transgenic mice[J]. *International Journal of Radiation Biology*. 2003, 79(4), 221-233.
- [5] Guideline I, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)[J]. *Health Phys*. 1998, 74(4), 494-522.

- [6] Reilly JP, An analysis of differences in the low-frequency electric and magnetic field exposure standards of ICES and ICNIRP[J]. *Health Phys.* 2005, 89(1), 71.
- [7] Monti MG, Pernecco L, Moruzzi MS, Battini R, Zaniol P, Barbiroli B, Effect of ELF pulsed electromagnetic fields on protein kinase C activation process in HL-60 leukemia cells[J]. *Electromagnetic Biology and Medicine.* 1991, 10(1), 119-130.
- [8] Kheifets L, Shimkhada R, Childhood leukemia and EMF: review of the epidemiologic evidence[J]. *Bioelectromagnetics.* 2005, 26(S7), S51-S59.