

• 基础实验研究论著 •

50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠生殖系统和外周血细胞的影响

马玲娟^{1,2}, 张涛¹, 高鹏¹, 府伟灵², 储芳¹, 李丽¹, 卢永辉¹, 张彦文^{1△}

(第三军医大学: 1. 军事预防医学院劳动卫生学教研室; 2. 附属西南医院检验科, 重庆 400038)

摘要:目的 研究 50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠生殖系统和外周血细胞的影响。方法 将 SD 大鼠随机分为 1 个对照组和 3 个辐照组, 分别全身暴露于 0(对照组)、20、100 及 500 μT 50 Hz 磁场中, 每天 2 h, 连续 4 周, 每周测其体重变化, 暴露结束后收集外周血和睾丸组织, 检测大鼠血清睾酮水平和外周血细胞, 测定睾丸脏器系数, 光镜病理学分析大鼠睾丸组织形态结构。结果 暴露期间各组大鼠体重质量无明显差异。20 μT 和 100 μT 剂量的暴露对血清睾酮水平、睾丸脏器系数、外周血细胞均无明显影响。500 μT 剂量暴露后大鼠血清睾酮水平较对照组差异有统计学意义($P < 0.05$), 睾丸脏器系数差异无统计学意义($P > 0.05$), 外周血白细胞数量较对照组显著增加, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。HE 染色发现, 大鼠睾丸间质组织可见局灶性充血水肿现象, 并随着暴露剂量的增加, 充血水肿越明显, 呈剂量-效应关系。结论 在该实验条件下, 50 Hz(500 μT) 磁场慢性暴露对雄性大鼠生长发育无明显影响, 可引起大鼠睾丸结构和功能的变化以及外周血白细胞数量的增加。

关键词: 电磁场; 环境暴露 血清睾酮; 外周血; 大鼠, Sprague-Dawley

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4130.2012.07.004

文献标识码: A

文章编号: 1673-4130(2012)07-0777-03

Effects of chronic exposure to 50 Hz extremely low frequency electromagnetic field(ELF-EMF) on reproductive system and peripheral blood cells in rats

Ma Lingjuan^{1,2}, Zhang Tao¹, Gao Peng¹, Fu Weiling², Chu Fang¹, Li Li¹, Lu Yonghui¹, Zhang Yanwen^{1△}

(1. Department of Occupational Health, Military Preventive Medicine College, Third

Military Medical University, Chongqing 400038, China; 2. Department of Clinical Laboratory,

Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: **Objective** To evaluate the effects of chronic exposure to 50 Hz extremely low frequency electromagnetic field(ELF-EMF) on reproductive system and peripheral blood cells in rats. **Methods** SD rats were randomly divided into 4 groups and exposed to ELF-EMF with 0 (control group), 20, 100 and 500 μT for 2 hours every day. After 4 weeks, blood samples were collected for detecting serum testosterone and peripheral blood cell counts, testes were removed for weighting and histological analysis. **Results** The number of white blood cell and serum testosterone level were significantly increased in 500 μT group compared with control group($P < 0.05$). Moreover, there was focal hyperemia and edema in the interstitial tissue of the exposed testes. Other significant difference was not found. **Conclusion** Chronic exposure to ELF-EMF with 500 μT might not affect the growth and development of male rats, but adversely affect reproductive and hematological system.

Key words: electromagnetic fields; environmental exposure; testosterone; peripheral blood; rats, Sprague-Dawley

随着经济的发展和信息时代的来临, 各种类型的电子产品及电子设备在家庭和工作环境中的大量使用, 使人们暴露于 50 Hz 磁场的概率增大, 其健康效应已引起人们的广泛关注。已有研究资料表明 50 Hz 磁场暴露对动物的血液学、血清生化指标及生殖系统等可产生一定影响, 但同时也存在较大争议^[1-4]。现根据实际生活和工作中接触 50 Hz 磁场强度情况相关卫生标准和文献报道, 本研究设计 3 种等比暴露剂量, 进一步观察 50 Hz 磁场长期暴露对雄性大鼠生殖系统和外周血液学的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 64 只 4~5 周龄、健康雄性 SD(Sprague Dawley)大鼠, 体质量 140~165 g, 由第三军医大学大坪医院实验动物中心提供。适应性饲养 1 周后, 测体质量, 随机分为暴露组和对照组, 暴露组按照暴露剂量不同又分别 20 μT 组、100 μT 组和 500 μT 组, 每组 16 只大鼠。用 PMM8053B 电磁辐射剂量仪监测暴露剂量, 将暴露组大鼠按设计剂量全身暴露于 50 Hz 磁场中, 每天 2 h, 连续 4 周。对照组除不接受电磁辐射

暴露外, 其余条件与暴露组相同。暴露期间每周测定各组大鼠体质量。在大鼠持续暴露 4 周后, 用 20% 的乌拉坦麻醉后经心脏采取血液样本, 并取出双侧睾丸, 测其质量, 计算其脏器系数, 然后置于甲醛固定液中固定, 进行光镜病理形态学检查。

1.2 方法 本实验中的电磁暴露仪器为工频磁场发生器, 该装置由稳压电源、安捷伦信号发生器、雅马哈功率放大器、自制亥母赫兹线圈组成。线圈内部产生垂直于线圈平面的 50 Hz 磁场, 强度均匀、方向一致, 且磁场强度范围可调。将大鼠放入可透射磁场的有机玻璃盒中, 置于线圈的中央进行暴露。

1.3 仪器与试剂 血清睾酮检测采用化学发光法(美国 Beckman-Coulter UniCel DxI 800 化学发光分析仪)。血常规测定采用电阻抗法(日本 SYSMEX XE-800 五分类血液分析仪)。睾丸组织光镜病理形态学观察按常规方法进行, 即甲醛固定、脱水包埋、石蜡切片、HE 染色、显微镜下观察及照相。

1.4 统计学处理 使用 SPSS 13.0 软件对实验数据进行统计分析, 数据均以均数士标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 各组间差异比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

△ 通讯作者, E-mail: zhangyw20022002@yahoo.com.cn.

2 结 果

2.1 50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠体质量的影响 暴露期间,大鼠饮食和活动表现良好。每周体质量测定结果显示,暴露组大鼠体质量与对照组差异无统计学意义($P>0.05$)。表明在本实验条件下 50 Hz 磁场暴露对动物生长发育无明显影响。

2.2 50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠血清睾酮水平的影响 50 Hz 磁场暴露 4 周后,20 μ T 组和 100 μ T 组大鼠血清睾酮水

平较对照组有增高趋势,但差异无统计学意义($P>0.05$),500 μ T 组大鼠血清睾酮水平与对照组比较明显增高,差异有统计学意义($P<0.05$)。提示 50 Hz 磁场暴露(500 μ T)可能对大鼠生殖功能产生一定影响。见图 1。

2.3 50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠睾丸脏器系数的影响 50 Hz 磁场暴露 4 周后,各剂量组大鼠睾丸质量和脏器系数与对照组比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。

表 1 50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠外周血细胞的影响($\bar{x}\pm s,n=16$)

项目	对照组	20 μ T 组	100 μ T 组	500 μ T 组
WBC($\times 10^9/L$)	8.73 $\pm$ 3.92	11.43 $\pm$ 4.55	11.59 $\pm$ 6.09	12.22 $\pm$ 4.11 *
RBC($\times 10^{12}/L$)	7.86 $\pm$ 0.67	7.63 $\pm$ 0.55	7.84 $\pm$ 0.47	7.44 $\pm$ 0.72
Hb(g/L)	151.44 $\pm$ 7.83	152.63 $\pm$ 9.77	152.77 $\pm$ 13.57	146.93 $\pm$ 11.19
HCT(L/L)	0.46 $\pm$ 0.06	0.44 $\pm$ 0.55	0.46 $\pm$ 0.07	0.45 $\pm$ 0.07
MCV(fL)	58.84 $\pm$ 4.22	59.84 $\pm$ 3.50	60.38 $\pm$ 3.60	60.26 $\pm$ 4.70
MCH(pg)	19.34 $\pm$ 1.13	20.01 $\pm$ 1.19	19.22 $\pm$ 1.05	19.82 $\pm$ 1.08
MCHC(g/L)	331.50 $\pm$ 39.33	336.20 $\pm$ 29.48	319.46 $\pm$ 22.47	311.80 $\pm$ 41.43
RDWSD(fL)	36.62 $\pm$ 9.55	32.93 $\pm$ 9.15	34.99 $\pm$ 2.87	35.17 $\pm$ 4.37
RDWCV(%)	16.23 $\pm$ 4.78	15.65 $\pm$ 4.43	16.89 $\pm$ 2.04	17.36 $\pm$ 1.78
PLT($\times 10^9/L$)	841.44 $\pm$ 127.82	851.75 $\pm$ 117.40	854.77 $\pm$ 173.94	904.47 $\pm$ 165.34
MPV(fL)	7.56 $\pm$ 2.47	7.30 $\pm$ 2.24	8.67 $\pm$ 1.55	8.28 $\pm$ 1.88
PDW(%)	12.47 $\pm$ 4.19	13.36 $\pm$ 4.30	12.61 $\pm$ 3.27	12.73 $\pm$ 3.94

* : $P<0.05$,与对照组比较。

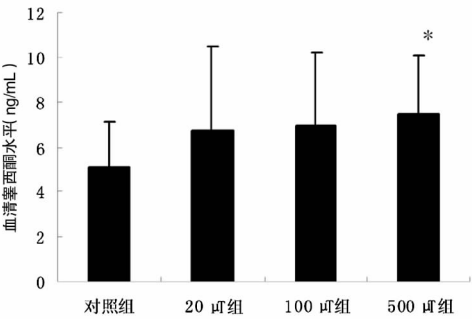


图 1 50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠血清睾酮水平的影响

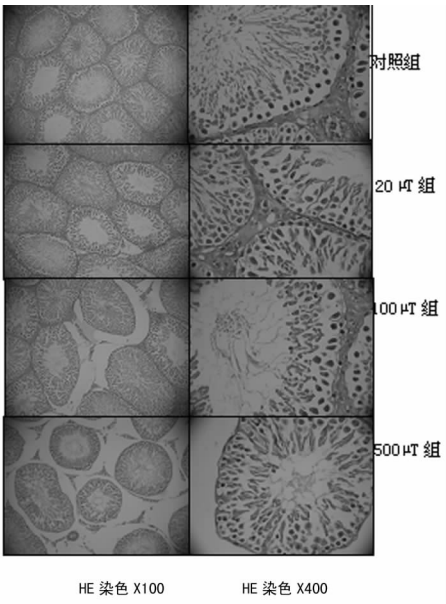


图 2 大鼠睾丸光镜病理形态学观察

2.4 50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠睾丸光镜形态结构的影响 睾丸组织经 HE 染色后在光镜下观察发现,50 Hz 磁场暴露 4 周后,各组大鼠睾丸曲细精管结构存在,可见各级生精细胞及成熟精子,基底膜完整。暴露组大鼠睾丸组织间质可见局灶性充血水肿,并且随着暴露剂量的增大,间质充血水肿越明显。提示在本实验条件下 50 Hz 磁场慢性暴露可引起组织血管通透性增加,间质炎性改变,并呈剂量-效应关系。见图 2。

2.5 50 Hz 磁场慢性暴露对雄性大鼠外周血细胞的影响 50 Hz 磁场暴露 4 周后,20 μ T 组和 100 μ T 组大鼠外周血白细胞数量较对照组有增高趋势,但差异无统计学意义($P>0.05$),500 μ T 组大鼠外周血白细胞数量与对照组比较明显增多,差异有统计学意义($P<0.05$);各暴露组大鼠外周血红细胞、血红蛋白、红细胞比容、血小板等与对照组比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

3 讨 论

在雄性生殖系统中睾丸是维持正常生理功能和繁殖后代的重要器官,其结构与功能的改变直接影响着精液参数和雄性激素合成,对雄性动物的生殖能力起着至关重要的作用。50 Hz 或 60 Hz 磁场暴露对动物生殖系统的影响一直受到生物学家的关注。但由于暴露剂量、暴露时间和研究对象的不同,50 Hz 磁场对生殖系统的影响也不同。Kato 等^[5]研究发现 1、5、50 μ T 50 Hz 磁场暴露 6 周,雄性 SD 大鼠血清睾酮无明显变化。Bruyn 和 Jager^[6]研究发现,0.5 μ T 和 77 μ T 50 Hz 磁场暴露对动物血清睾酮和睾丸质量无明显影响,但可使精子数量和运动能力下降。Kim 等^[7]研究认为,100 μ T 和 500 μ T 磁场(60 Hz)暴露 8 周,14 μ T 和 200 μ T 磁场(60 Hz)暴露 16 周均不引起动物体质量、睾丸质量以及血清睾酮的变化,但睾丸组织精原细胞凋亡明显。25 μ T 和 100 μ T 磁场(50 Hz)暴露 34 d(5 h/d),5 μ T 磁场(50 Hz)暴露 1~4 周,动物血清睾酮均无明显改变,FSH 和 LH 明显上升;但 25 μ T 和 100 μ T 磁场暴

露 17 d, 动物血清睾酮却明显下降, 而 FSH 和 LH 无明显改变^[8-9]。AKhras 等^[10]用 25 μ T 50 Hz 磁场辐照大鼠 18 周, 发现血清睾酮水平在暴露 6 周和 12 周后也明显下降, 动物体质量和睾丸质量未改变, 但精囊质量和精子数量却明显下降。另有文献表明 50 Hz 磁场暴露后, 动物血清睾酮水平明显上升或睾丸间质细胞生成睾酮能力增加。如 1 μ T 磁场(50 Hz)暴露 13 d, 雄性小鼠血清睾酮水平明显增加^[11]; 100 μ T 磁场(50 Hz)暴露 14 d(23.5 h/d), 雄性小鼠睾丸间质细胞在 hCG 刺激下生成睾酮能力增加^[12]; 100 μ T 磁场(50 Hz)辐照培养的间质细胞 48 h, 培养液中睾酮水平增加明显^[13]。本研究发现, 500 μ T 磁场(50 Hz)连续暴露 4 周后, 大鼠血清睾酮水平明显增加, 睾丸间质充血水肿明显, 但动物体质量、睾丸质量却未有明显改变。表明 50 Hz 磁场慢性暴露对大鼠睾丸结构和功能产生了一定影响。结合上述文献, 本组推测, 小于或等于 500 μ T 磁场(50 Hz)慢性暴露一般不会影响动物的生长发育; 较低剂量长期暴露主要可引起动物血清睾酮下降, 精子浓度和质量下降, 影响动物的生育能力; 较高剂量长期暴露主要可引起动物血清睾酮上升, 这可能与其较强的热效应刺激间质细胞合成睾酮能力增加有关。本组推测还需要进一步的、大量深入的系统研究。

本研究还同时进行了血液学常规检查, 发现随着暴露剂量的增加, 白细胞数量逐渐增加, 并且 500 μ T 剂量暴露与其他剂量比较, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。这与已有文献报道存在不一致现象。有学者研究报道 40 周暴露(5~500 μ T, 21 h/d), 动物外周血细胞无明显变化^[14-15]。50 d 和 100 d 暴露(0.97 μ T, 3 h/d), 雌性大鼠外周血红蛋白、血小板平均体积、嗜酸性粒细胞均升高(仍在生理学范围内), 而白细胞等其他指标未见明显变化^[1]。而 5 μ T 剂量暴露小鼠外周血细胞表现为波动现象: 暴露 20 d, 白细胞、红细胞明显下降; 暴露 43 d 和 63 d 恢复; 暴露 90 d, 白细胞、中性粒细胞、嗜酸性粒细胞等明显下降; 暴露 350 d, 上述改变又全部恢复^[16]。不过, 在本实验中外周血白细胞数量的变化与睾丸间质充血水肿的程度相一致。因此推测大鼠外周血白细胞数量的增加可能与 50 Hz 磁场热效应所致的睾丸间质炎性损伤有关, 与骨髓造血系统改变可能无关, 因为除白细胞数量改变外, 其他外周血液学指标无明显变化。另有体外和体内的研究表明, 50 Hz 磁场暴露可引起白细胞与内皮细胞相互作用增强, 白细胞趋化活性降低, 白细胞中热休克蛋白表达增加^[17-19]。这提示在今后的研究中要关注实验动物体温、骨髓造血系统和白细胞功能的变化, 以进一步解释上述现象和推测。

参考文献

- [1] Cakir DU, Yokus B, Akdag MZ, et al. Alterations of hematological variations in rats exposed to extremely low frequency magnetic fields(50 Hz)[J]. Archives of Medical Research, 2009, 40(5): 352-356.
- [2] Yaghmaei P, Parivar K, Doranian D, et al. Study the effect of extremely low frequency electromagnetic fields on some blood serum's lipoproteins, liver enzymes and P448/P450 cytochrome enzyme system in NMRI female mice[J]. Journal of Paramedical Sciences, 2010, 1(1): 46-52.
- [3] Harakawa S, Takahashi I, Doge F, et al. Effect of a 50Hz electric field on plasma ACTH, glucose, lactate and pyruvate levels in stressed rats[J]. Bioelectromagnetics, 2004, 25(5): 346-351.
- [4] Sakurai T, Satake A, Sumi S, et al. An extremely low frequency

- magnetic field attenuates insulin secretion from the insulinoma cell line, RIN-m[J]. Bioelectromagnetics, 2004, 25(3): 160-166.
- [5] Kato M, Honma K, Shigemitsu T, et al. Circularly polarized, sinusoidal, 50 Hz magnetic field exposure does not influence plasma testosterone levels of rats[J]. Bioelectromagnetics, 1994, 15(6): 513-518.
- [6] Bruyn L, Jager L. Effect of long-term exposure to a randomly varied 50 Hz power frequency magnetic field on the fertility of the mouse[J]. Electromagnetic Biology and Medicine, 2010, 29(2): 52-61.
- [7] Kim YW, Kim HS, Lee JS, et al. Effects of 60 Hz 14 micro magnetic field on the apoptosis of testicular germ cell in mice[J]. Asian J Androl, 2004, 6(1): 29-34.
- [8] Ahangarpour A, Fathi MH, Birgani MJ, et al. Hypothalamic-pituitary-gonadal axis responses of the male rats to short and long time alternative magnetic fields(50 Hz) exposure[J]. Journal of Research in Medical Sciences, 2009, 14(4): 231-238.
- [9] Mostafa RM, Moustafa YM, Ali FM, et al. Sex hormone status in male rats after exposure to 50 Hz, 5 mTesla magnetic field[J]. Archives of Andrology, 2006, 52(5): 363-369.
- [10] Akhras MA, Darmani H, Elbetieha A. Influence of 50 Hz magnetic field on sex hormones and other fertility parameters of adult male rats[J]. Bioelectromagnetics, 2006, 27(2): 127-131.
- [11] Furuya H, Aikawa H, Hagino T, et al. Flow cytometric analysis of the effects of 50Hz magnetic fields on mouse spermatogenesis[J]. Japanese Journal of Hygiene, 1998, 53(2): 420-425.
- [12] Forgács Z, Somosy Z, Kubinyi G, et al. Effects of whole-body 50-Hz magnetic field exposure on mouse Leydig cells[J]. The Scientific World Journal, 2004, 4(2): 83-90.
- [13] Forgács Z, Thuróczy G, Paksy K, et al. Effect of sinusoidal 50 Hz magnetic field on the testosterone production of mouse primary Leydig cell culture[J]. Bioelectromagnetics, 1998, 19(7): 429-431.
- [14] Chung MK, Yu WJ, Kim YB, et al. Lack of a copromotion effect of 60 Hz circularly polarized magnetic fields on spontaneous development of lymphoma in AKR mice[J]. Bioelectromagnetics, 2010, 31(2): 130-139.
- [15] Chung MK, Kim JC, Myung SH, et al. Developmental toxicity evaluation of ELF magnetic fields in sprague-dawley rats[J]. Bioelectromagnetics, 2003, 24(4): 231-240.
- [16] Bonhomme FL, Macé A, Bezie Y, et al. Alterations of biological parameters in mice chronically exposed to low-frequency (50 Hz) electromagnetic fields [J]. Life Sciences, 1998, 62(14): 1271-1280.
- [17] Ushiyama A, Masuda H, Hirota S, et al. Subchronic effects on leukocyte-endothelial interactions in mice by whole body exposure to extremely low frequency electromagnetic fields[J]. In Vivo, 2004, 18(4): 425-432.
- [18] Amati M, Mariotti L, Ciuccarelli M, et al. Biological effects of low-frequency electromagnetic fields; An in vitro study[J]. Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia, 2006, 28(3): 326-327.
- [19] Coulton LA, Harris PA, Barker AT, et al. Effect of 50 Hz electromagnetic fields on the induction of heat-shock protein gene expression in human leukocytes[J]. Radiation Research, 2004, 161(4): 430-434.