

肿瘤磁感应热疗用 115kHz 中频交变磁场对小鼠生殖系统的影响

黄昌硕^{1,2}, 王晓文¹, 潘琳³, 杨欣^{1,2}, 陈本科^{1,2}, 张丹^{1,2}, 赵凌云¹, 赵天德³, 唐劲天¹

1. 清华大学工程物理系; 粒子技术与辐射成像教育部重点实验室, 北京 100084
2. 北京中医药大学中药学院, 北京 100102
3. 中日友好医院临床研究所, 北京 100029

摘要 为了研究肿瘤磁感应热疗用 115kHz 中频交变磁场对精子密度、活动率、精子运动系数和睾丸重量的影响, 以及观察睾丸组织病理变化, 探讨中频交变磁场下生殖系统的生物学现象, 采用 115kHz 中频磁场对 Balb/C 小鼠进行全身短期连续辐照 (7d) 和长期连续辐照 (28d), 辐照强度为 12mT, 时间为 1h/d, 分为对照组 (0T) 和辐照组 (12mT), 每组 8 只小鼠。辐照后取小鼠双侧睾丸称重、固定, 并取附睾精子进行分析。结果表明, 短期辐照可使睾丸重量增加, 长期辐照可使精子密度、活动率增加, 短期与长期辐照中频交变磁场对小鼠雄性生殖系统无损伤效应。由此可得, 肿瘤磁感应热疗用 115kHz 中频交变磁场具有促进睾丸组织细胞增殖的作用, 且无损伤效应。

关键词 115kHz 中频交变磁场; 生殖; 生物学效应

中图分类号 R454.1

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)19-0081-05

Effects of a 115-kHz Intermediate Frequency Alternating Magnetic Field on the Reproductive System of Male Mice

HUANG Changshuo^{1,2}, WANG Xiaowen¹, PAN Lin³, YANG Xin^{1,2}, CHEN Benke^{1,2}, ZHANG Dan^{1,2}, ZHAO Lingyun¹, ZHAO Tiande³, TANG Jintian¹

1. Key Laboratory of Particle & Radiation Imaging, Ministry of Education; Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China
2. School of Chinese Materia Medica, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100102, China
3. Institute of Clinical Science, China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China

Abstract The goal of this study was to assess the potential effect of an intermediate frequency alternating magnetic field on the reproductive system of experimental mice. Male Balb/C mice (18~26g) were randomly divided into four groups ($n=8/\text{group}$). Mice were exposed to the magnetic field (115kHz, 10.5kA/m) for 1h/d for 7 days (short-term exposure group) or for 28 days (long-term exposure group). Each radiation group had a sham control counterpart. After treatment, the mice were sacrificed and the testis and epididymal sperm were separated. Testicular weight, sperm density, sperm activity rate and sperm motility were examined. Histopathological analysis of the testis was also performed. The intermediate frequency alternating magnetic field did not affect sperm activity in experimental mice. The testicular weights were increased by short-term radiation exposure, while sperm density and sperm motility were increased by long-term exposure. Collectively, these results indicate the absence of toxicity on the male reproductive system associated with exposure to a magnetic field at the tested parameters. However, the intermediate frequency alternating magnetic field might promote testis cell proliferation.

Keywords 115kHz intermediate frequency alternating magnetic field; reproductive system; biological effect

收稿日期: 2010-04-19; 修回日期: 2010-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30571779, 10775085)

作者简介: 黄昌硕, 硕士研究生, 研究方向为生物医学工程, 电子信箱: xsnhcs@sina.com; 唐劲天 (通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: S090800253M, E190003065S), 教授, 研究方向为肿瘤磁感应治疗, 电子信箱: tangjt@mail.tsinghua.edu.cn

0 引言

随着热生物学、热生理学与电子技术的发展,肿瘤热疗技术已成为近年来国际肿瘤治疗的研究重点。而磁感应热疗因其热能集中靶向性好、安全性高、升温时间短和微创等特点,成为肿瘤热疗的发展方向。随着磁感应交变磁场治疗机的研制成功、磁介质的进一步优化、无损测温技术的突破以及动物实验所取得的振奋人心的结果,肿瘤磁感应治疗已顺利步入临床研究阶段,为此,研究中频交变磁场的生物安全性具有重要意义。

关于电磁辐射生物安全性的研究报道跨越了近一个世纪,其所存在的争论也持续了近 50 年。近年来,WHO 粗略地将电磁辐射分为静(0Hz)、极低频交变(0~300Hz)、中频交变(300Hz~10MHz)和射频(10MHz~300GHz)4 种类型,而以往的电磁辐射生物安全性研究主要在静、极低频交变及射频范围,中频交变电磁辐射相关方面的研究较少,这也与其使用接触范围较少及认识不足有关。20 世纪 70 年代以来,国外流行病学调查陆续发现,极低频磁场暴露与部分肿瘤性疾病发病率上升有相关性,例如儿童白血病和男性乳腺癌^[1-6],为此,许多学者^[7-8]分别以不同类型的电磁辐射对机体状态、组织器官(主要是心血管、神经、免疫等系统)以及正常细胞和肿瘤细胞、遗传及生物大分子的影响进行研究,综合其研究结果发现,有害作用主要存在于静磁场及高频脉冲电磁场范围,而以极低频和中频为代表的交变磁场,其结果以阴性为主,但其中也不乏一些有益的研究报道。生殖系统是极其重要且具有显著特点的一类器官,其高速分裂分化的特点使其极为敏感,而其安全性又关系到下一代的生存与健康。在以往的研究中,国内学者应用极低频电磁场(50Hz)微剂量刺激小鼠的生殖系统,发现精子数量和活动度下降,畸形率显著增加^[9],同时,有学者发现人类长期生存在低强度微波环境下,会发生性欲降低和自然受孕时间滞后等现象^[10],也有国内学者进行了一些保护精子的研究,认为其是有可能实现的^[11-12]。国外一些学者认为低频电磁场对生殖系统精子的发育有一定的影响,其机制可能是破坏精子的线粒体 DNA 和核内蛋白质^[16],手机辐射会发生急性损伤,其结果是精子的活动度明显下降,而长期的暴露则可能导致精子结构和功能的改变^[17]。但也有一些研究者持不同意见,Iorio 等^[18]研究发现,极低频电磁辐射可能改善精子的活动能力。这些实验研究因其方法学和磁场参数复杂性等方面的原因,不同实验室的研究结果也不尽相同,还需进一步的实验揭示其分子机制和真正的生物学效应^[14-19]。本文拟通过研究中频磁场辐照对小鼠精子密度、活动率、运动系数、睾丸重量、睾丸组织的病理结构的影响,探讨中频磁场下小鼠生殖系统的生物学现象。

1 材料与方 法

1.1 实验动物与试剂

7 周大 BALB/C 小鼠(购于北京市海淀区兴隆实验动物研究中心),实验前体重 20~25g。实验前适应环境 4d,然后饲

养于(22±1)℃、(50±5)%空气湿度的标准动物房中,给予每天 12h 的明暗转换,小鼠在饲养中自由饮食,并提供标准鼠粮。小鼠被随机分为 4 组,每组两笼,每笼 4 只。第 1 组每天暴露于 115kHz 中频磁场 1h,持续 7d;第 2 组于同等实验环境每天 1h,持续 7d,但不给予磁场辐照;第 3 组每天暴露于 115kHz 中频磁场 1h,持续 28d;第 4 组于同等实验环境每天 1h,持续 28d,但不给予磁场辐照。

EDTA-K2 抗凝管购于 Sanli 公司;氯化钠、甲醛、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾,均为分析纯,北京化学试剂公司生产;戊巴比妥钠,上海市 SCRC 国药集团化学试剂有限公司生产。

1.2 实验仪器

本实验采用的磁场是由清华大学自主设计的仪器产生的平行交变磁场,截面积为 24.5cm×24.5cm,两磁极间距为 39cm,52A 的交流电流经变压后加在线圈两端,交变磁场强度为 12mT,频率为 115kHz,仪器由清华大学工程物理系提供;伟力彩色精子质量检测系统(北京伟力新世纪科技发展有限公司,WLJY-9000),电热恒温培养箱(天津市中环实验电炉有限公司,DHP-360),电子天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司,AL204-IC),光学显微镜(Olympus IX51),医用手术器械,载玻片及盖玻片等。

1.3 精子动力学分析实验

取 1mL 生理盐水,置于培养皿中。将实验小鼠断颈处死,解剖,取双侧附睾,将其放入预先准备好的培养皿中,迅速剪碎,之后置于 37℃的电热恒温培养箱中孵育 10min,使精子充分游离,制备成精子悬液。

将孵育好的精子悬液取出,吸取 20μL,置于载玻片,在彩色精子质量检测系统下进行精子动力学分析。

1.4 睾丸组织称重和光镜观察

颈椎脱臼处死后,取睾丸组织称重,并用 10%甲醛固定,常规梯度乙醇脱水,二甲苯透明,石蜡包埋,切片厚度 5μm,进行 HE 染色。在光镜下观察并照相。

1.5 统计分析

数据均以均数与标准差($\bar{x}\pm s$)表示。采用 SPSS 10.0 分析软件对所得数据的均值进行分析,小鼠血生化指标和脏器称重指标用 *t* 检验,小鼠精子质量统计用单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 中频磁场辐照后小鼠精子密度及活动率指标变化

辐照 7d 后精子密度及活动率指标差异无显著性($P>0.05$),辐照 28d 后精子密度及活动率极显著升高($P<0.001$),结果如表 1 和表 2 所示。

2.2 中频磁场辐照后小鼠精子运动系数各项指标变化

如表 3 和表 4 所示,辐照 7d 后小鼠精子运动系数各指标曲线速度(VCL)、直线速度(VSL)、平均路径速度(VAP)、平均移动角度(MAD)、侧摆幅度(ALH)、鞭打频率(BCF)、线性性(LIN)、摆动性(WOB)、前向性(STR)无显著性差异($P>0.05$),辐照 28d 后精子 VCL,VSL,VAP,MAD,ALH,WOB 无显著性

研究论文 (Articles)

差异 ($P>0.05$), 但 BCF 显著降低 ($P<0.05$), STR、LIN 显著增加 ($P<0.05$)。

2.3 中频磁场辐照后小鼠睾丸组织重量变化

辐照 7d 后睾丸重量显著升高 ($P<0.05$), 辐照 28d 后睾丸重量无显著性差异 ($P>0.05$) (表 5 和表 6)。

表 1 115kHz 中频交变磁场 12mT 强度辐照 7d 精子密度和活动率指标比较 ($\bar{x}\pm s, n=8$)

Table 1 Comparison of sperm activity rate and sperm density between the control and experimental groups for 7 days ($\bar{x}\pm s, n=8$)

	精子密度/ 10^6mL^{-1}	精子活动率/%
对照组	16.31±2.61	53.24±5.68
辐照组	21.65±10.45	57.91±9.6

表 2 115kHz 中频交变磁场 12mT 强度辐照 28d 精子密度及活动率指标比较 ($\bar{x}\pm s, n=8$)

Table 2 Comparison of sperm activity rate and sperm density between the control and experimental groups for 28 days ($\bar{x}\pm s, n=8$)

	精子密度/ 10^6mL^{-1}	精子活动率/%
对照组	11.13±3.63	28.45±9.52
辐照组	27.06±10.58**	48.06±14.84*

注: 与对照组相比, * 表示差异显著 ($P<0.05$); ** 表示差异极显著 ($P<0.01$)。以下同。

Notes: *, significant differences as $P<0.05$; **, significant differences at $P<0.01$ compared with the control group. The same as below.

表 3 115kHz 中频交变磁场 12mT 强度辐照 7d 精子运动系数指标比较 ($\bar{x}\pm s, n=8$)

Table 3 Comparison of sperm motility between the control and experimental groups for 7 days ($\bar{x}\pm s, n=8$)

	曲线速度 $/(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	直线速度 $/(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	平均路径 速度/ $(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	平均移动 角度/ $(^\circ)$	侧摆幅度 $/\mu\text{m}$	鞭打频率 $/\text{Hz}$	直线性 $/\%$	摆动性 $/\%$	前向性 $/\%$
对照组	39.03±8.54	17.58±6.73	20.93±7.10	65.12±6.13	1.43±0.34	7.97±0.90	52.14±5.19	60.57±4.53	80.51±3.21
辐照组	36.67±6.78	16.92±2.99	19.69±3.10	63.63±7.41	1.46±0.54	7.61±0.52	57.19±8.53	64.52±6.69	83.99±5.90

表 4 115kHz 中频交变磁场 12mT 强度辐照 28d 精子运动系数指标比较 ($\bar{x}\pm s, n=8$)

Table 4 Comparison of sperm motility between the control and experimental groups for 28 days ($\bar{x}\pm s, n=8$)

	曲线速度 $/(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	直线速度 $/(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	平均路径 速度/ $(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	平均移动 角度/ $(^\circ)$	侧摆幅度 $/\mu\text{m}$	鞭打频率 $/\text{Hz}$	直线性 $/\%$	摆动性 $/\%$	前向性 $/\%$
对照组	45.70±5.64	18.24±2.71	22.96±2.68	65.36±14.34	1.56±0.42	8.43±1.47	46.29±10.67	57.19±11.26	74.15±5.72
辐照组	43.28±13.55	23.59±9.6	27.09±10.16	53.00±18.81	1.81±0.76	6.50±1.59*	61.15±16.56*	69.50±14.05	83.15±8.13

表 5 115kHz 中频交变磁场 12mT 强度辐照 7d 睾丸重量指标比较 ($\bar{x}\pm s, n=8$)

Table 5 Comparison of testicular weight between the control and experimental groups for 7 days ($\bar{x}\pm s, n=8$)

分组情况	睾丸重量/mg
对照组	181.56±14.56
辐照组	206.75±20.29*

表 6 115kHz 中频交变磁场 12mT 强度辐照 28d 睾丸重量指标比较 ($\bar{x}\pm s, n=8$)

Table 6 Comparison of testicular weight between the control and experimental groups for 28 days ($\bar{x}\pm s, n=8$)

分组情况	睾丸重量/mg
对照组	185.98±33.83
辐照组	208.34±19.69

2.4 小鼠睾丸组织病理变化

显微镜观察显示, 辐照 7d 和 28d 后小鼠睾丸与对照组相比, 睾丸小叶的各级精母细胞和精子细胞均有增加, 且精子排列整齐 (图 1), 睾丸支持细胞及睾丸间质细胞密集度增加 (图 1 和图 2)。

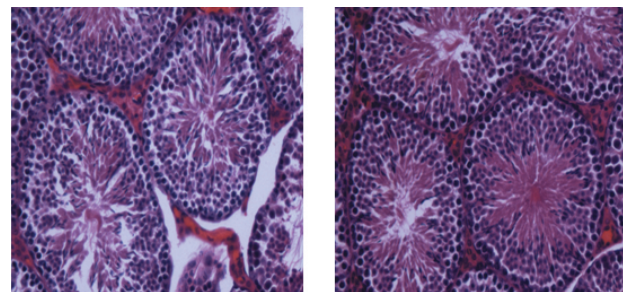


图 1 辐照 7d 后睾丸组织病理切片 (100x)

Fig. 1 Testis tissue biopsies 7 days after irradiation (100x)

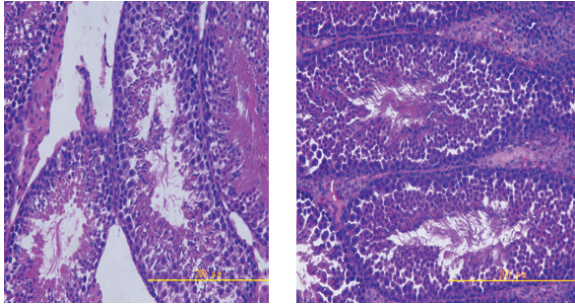


图2 辐照 28d 后睾丸组织病理切片 (100×)

Fig. 2 Testis tissue biopsies 28 days after irradiation (100×)

3 讨论

长期均值辐照和短期急性辐照是评价电磁场生物学效应主生殖毒性两种实验模型^[20]。长期均值辐照是营造肿瘤磁感应热疗病人和医护人员中频磁场工作环境及中频磁场辐照环境影响的模型;而短期急性辐照是以短时间(日)的模式模拟一些急性中频交变磁场辐照的工作环境。本研究分别采用这两种实验模型研究中频磁场辐照对生殖系统的安全性问题。

睾丸重量是生殖毒性中的重要指标之一。在以往研究中, Kim 等^[21]研究发现在 60Hz 低频电磁场, 强度为 14 μ T, 辐照 16 周, 每天 24h 之后发现, 睾丸重量相比对照组有显著升高, 但 200 μ T 组睾丸重量相比对照组无显著差异。Kim 等^[22]研究发现在频率为 60Hz 强度为 0.5 和 1.5mT 低频电磁场辐照 46 周后, 1 代和 2 代小鼠睾丸重量显著下降。Hong 等^[23]研究发现, 暴露于强度为 6.4mT 低频电磁场 4 周后, 小鼠睾丸重量显著下降。但在 1.35mT 低频电磁场每天 2h, 连续辐照 2 周与 25 μ T 低频电磁场辐照 18 周的研究结果均为对睾丸重量无影响^[24-25]。细胞的增殖与凋亡是细胞总数稳态控制的动态平衡结果, 而短期辐照促使睾丸重量的显著增加, 暗示了中频磁场可以促进较为敏感的生殖系统的细胞增殖, 本研究中, 在睾丸组织病理切片中也发现了这一现象, 睾丸小叶的各级精母细胞及精子细胞均有增加, 且精子排列整齐(图 1 和图 2), 睾丸支持细胞及睾丸间质细胞密集度增加。而本实验室之前的研究发现, 对于不敏感的器官, 如心、肝等, 并没有发现这种促进增殖的作用, 并且, 在长期辐照实验中, 睾丸重量呈现升高趋势, 但没有短期辐照显著, 这也可能是长期的环境应激适应结果。所以, 本研究发现在 115kHz 中频磁场急性辐照后, 睾丸重量显著增加, 并结合病理切片观察结果, 显示中频磁场可以促进生殖系统的细胞增殖。

精子运动是精子许多功能的一种综合的和直观的表现。正常的精子运动是在正常生理状态下, 完成授精过程的基础。精子的功能状况和结构变化可以通过精子运动的改变加以体现。精子密度、活动率及运动系数同样也直接反应雄性生殖能力, 因此, 研究精子运动、精子密度及活动率是体现外界环境因素对雄性生殖生理影响的重要指标。本实验研究发现, 中频磁场辐照后精子密度及活动率显著提高, 并且精子

运动系数中的鞭打频率显著降低, 直线性显著提高, 这可能是中频磁场促进睾丸组织细胞增殖作用的结果, 但其运动能力的改变原因和机制还需进一步研究和探讨。

本实验采用的磁场是由清华大学自主设计的仪器产生的平行交变磁场, 在辐照的过程中, 上下磁极会产热, 导致上下磁极温度可达 65 $^{\circ}$ C 左右。如何在辐照过程中排除热效是本实验能否客观、正确的关键因素。本实验采用底部有支架的辐照鼠笼, 距离上下磁极 35cm, 从而在辐照过程中排除了热效应, 鼠笼温度始终控制在 29 $^{\circ}$ C, 本实验室在之前的实验中, 并没有考虑到热效应可能的影响, 所得到的结果也有较大差异^[26-27]。中频交变磁场的生物学现象及机制还有待发掘, 本实验室将在未来的实验中进一步阐明。

4 结论

115kHz 中频磁场 12mT 强度辐照 7d 和 28d 后, 短期辐照使睾丸重量增加, 长期辐照使精子密度、活动率增加, 中频交变磁场有促进睾丸组织细胞增殖的作用。

参考文献 (References)

- [1] Kheifets L, Shimkhada R. Childhood leukemia and EMF: Review of the epidemiologic evidence[J]. *Bioelectromagnetics*, 2005, 7(Suppl): S51-S59.
- [2] Henshaw D L, Reiter R J. Do magnetic fields cause increased risk of childhood leukemia via melatonin disruption? [J]. *Bioelectromagnetics*, 2005, 7(Suppl): S86-S97.
- [3] Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L. EMF and health [J]. *Annu Rev Public Health*, 2005, 26(1): 165-189.
- [4] Santini M T, Ferrante A, Rainaldi G. Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: A review[J]. *Int J Radiat Biol*, 2005, 81(1): 1-11.
- [5] Rosenthal K. Is electromagnetic interference still a risk?[J]. *Nurs Manage*, 2005, 36(4): 68, 71.
- [6] Feychting M. Non-cancer EMF effects related to children[J]. *Bioelectromagnetics*, 2005, 7(Suppl): S69-S74.
- [7] 王学斌, 李东风, 蒋锦昌. 极低频磁场致癌效应的细胞学研究进展[J]. *生物物理学报*, 2003, 19(4): 347-352.
Wang Xuebin, Li Dongfeng, Jiang Jinchang. *Acta Biophysica Sinica*, 2003, 19(4): 347-352.
- [8] 赵敏, 许建中, 周强. 脉冲电磁场诱导人骨髓间充质干细胞向成骨细胞分化的研究[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2005, 27(1): 5-8.
Zhao Min, Xu Jianzhong, Zhou Qiang, et al. *Chinese Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2005, 27(1): 5-8.
- [9] 洪蓉, 张燕, 刘赞, 等. 极低频电磁场对小鼠睾丸细胞 DNA 以及精子染色质结构的影响[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2005, 23(6): 414-417.
Hong Rong, Zhang Yan, Liu Yun, et al. *Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 2005, 23(6): 414-417.
- [10] 阎素文, 汤洁, 张宁, 等. 低强度微波辐射环境对男性生殖健康的影响[J]. *解放军医学杂志*, 2005, 30(1): 77-79.
Yan Suwen, Tang Jie, Zhang Ning, et al. *Medical Journal of Chinese People's Liberation Army*, 2005, 30(1): 77-79.
- [11] 刘阳, 乔萍, 朱玉琢. 甘草对雄性生殖细胞遗传损伤的保护作用[J].

- 中国公共卫生, 2005, 21(10): 1203-1204.
- Liu Yang, Qiao Ping, Zhu Yuzhuo. *China Public Health*, 2005, 21(10): 1203-1204.
- [12] 杨欣, 丁彩飞, 张永华, 等. 菟丝子水提取物对人精子膜结构和功能氧化损伤的干预作用[J]. 中国药学杂志, 2006, 31(5): 422-424.
- Yang Xin, Ding Caifei, Zhang Yonghua, et al. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2006, 31(5): 422-424.
- [13] Juutilainen J. Developmental effects of electromagnetic fields[J]. *Bioelectromagnetics*, 2005, 7(Suppl): S107-S115.
- [14] Dini L, Abbro L. Bioeffects of moderate-intensity static magnetic fields on cell cultures[J]. *Micron*, 2005, 36(3): 195-217.
- [15] Naarala J, Hoyto A, Markkanen A. Cellular effects of electromagnetic fields[J]. *Altern Lab Anim*, 2004, 32(4): 355-360.
- [16] Aitken R J, Bennetts L E, Sawyer D, et al. Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline[J]. *Int J Androl*, 2005, 28(3): 171-179.
- [17] Eroglu O, Oztas E, Yildirim I, et al. Effects of electromagnetic radiation from a cellular phone on human sperm motility: An *in vitro* study[J]. *Arch Med Res*, 2006, 37(7): 840-843.
- [18] Iorio R, Scrimaglio R, Rantucci E, et al. A preliminary study of oscillating electromagnetic field effects on human spermatozoon motility [J]. *Bioelectromagnetics*, 2007, 28(1): 72-75.
- [19] Bodega G, Forcada I, Suarez I. Acute and chronic effects of exposure to a 1-mT magnetic field on the cytoskeleton, stress proteins, and proliferation of astroglial cells in culture[J]. *Environ Res*, 2005, 98(3): 355-362.
- [20] Bernabo N, Tettamanti E, Pistilli M G, et al. Effects of 50Hz extremely low frequency magnetic field on the morphology and function of boar spermatozoa capacitated *in vitro*[J]. *Theriogenology*, 2007, 67(4): 801-815.
- [21] Kim Y W, Kim H S, Lee J S, et al. Effects of 60Hz 14mT magnetic field on the apoptosis of testicular germ cell in mice [J]. *Bioelectromagnetics*, 2009, 30(1): 66-72.
- [22] Kim Y W, Lee J S, Jang I E, et al. Effects of continuous exposure of 60Hz magnetic fields on the mice through the third-generation [J]. *Mag Inst Electron Eng Korea*, 2001, 28: 220-233.
- [23] 洪蓉, 刘赞, 喻云梅, 等. 极低频电磁场对雄性小鼠生殖的影响[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2003, 21(5): 342-345.
- Hong Rong, Liu Yun, Yu Yunmei, et al. *Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 2003, 21(5): 342-345.
- [24] Akdag M Z, Dasdag S, Aksent F, et al. Effect of ELF magnetic fields on lipid peroxidation, sperm count, p53, and trace elements [J]. *Med Sci Monit*, 2006, 12(11): 366-371.
- [25] Al-Akhras M, Darmani H, Elbetieha A. Influence of 50Hz magnetic field on sex hormones and other fertility parameters of adult male rats[J]. *Bioelectromagnetics*, 2006, 27(2): 127-131.
- [26] 曹兴午, 赵天德, 王传航, 等. 交变磁场照射对小鼠睾丸生殖功能的影响[J]. 中华男科学杂志, 2009, 15(6): 530-533.
- Cao Xingwu, Zhao Tiande, Wang Chuanhang, et al. *National Journal of Andrology*, 2009, 15(6): 530-533.
- [27] 郭静, 魏巍, 王晓文, 等. 中频磁场对小鼠血液及重要脏器的影响[J]. 中国微创外科杂志, 2009, 6(9): 498-501.
- Guo Jing, Wei Wei, Wang Xiaowen, et al. *Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery*, 2009, 6(9): 498-501. (责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·



“第十一届全国渗流力学学术会议暨 国际渗流力学研讨会”征文

中国力学学会、中国石油学会、中国煤炭学会、中国岩石力学与工程学会将于2011年4月在重庆召开“第十一届全国渗流力学学术会议暨国际渗流力学研讨会”。会议主题为渗流力学的新进展、新挑战与战略思考。

征文内容: 渗流力学的新进展、新挑战与战略思考; 资源能源开发(石油、天然气、煤层/成气、地热、核能等)与渗流力学; 实验渗流力学; 计算渗流力学; 非达西、非牛顿、非等温、非线性渗流力学新理论; 生物渗流力学; 环境、化工与渗流力学; 物理化学渗流力学; 地下水渗流与污染控制; 岩土、水利工程与渗流力学; 多尺度渗流理论; 多场多相耦合渗流理论及应用; 多孔介质传热与传质分析; 其他与渗流相关内容。

征文截止时间: 2010年11月10日。

联系方式: 重庆市沙坪坝区沙坪坝正街174号重庆大学资源及环境科学学院渗流力学学会务组(400044), 电话: 023-65106873(白云彪), 电子信箱: shenliu11@163.com。

会议网址: <http://pe.upc.edu.cn/disp.asp?ID=1061>。