

# 中频磁场辐射全身毒性与安全性实验评价

郭静<sup>1</sup>, 李晓<sup>1</sup>, 郭振东<sup>1</sup>, 高晓娜<sup>1</sup>, 冯虹<sup>1</sup>, 朱丽艳<sup>1</sup>, 朱京丽<sup>3</sup>, 洛小林<sup>3</sup>, 唐劲天<sup>2</sup>

1. 福州浩联医疗科技有限公司北京医疗研究中心, 北京 100085
2. 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
3. 中日友好医院放疗科, 北京 100029

**摘要** 通过模拟临床试验条件对 100kHz 中频交变磁场进行安全性评价。选用成年雄性的比格犬, 随机分为对照组、连续辐照组和一周辐照 2 次组。两辐照组均接受为期 4 周的辐照, 分别于辐照前和辐照后进行血液检测、尿液检测、免疫指标检测、骨髓涂片、精子质量和形态检测。辐照后处死比格犬, 取各主要脏器制成病理切片, 进行病理观察。综合分析磁场的生物学影响。分析发现, 两辐照组与对照组及两辐照组间除个别指标外大部分指标无显著差别, 而有差别的指标也在常规检测的正常值范围内。结果表明, 磁感应治疗机产生的中频磁场对生物体无显著的生物学影响, 且辐照时间与磁场的生物学效应无相关关系。

**关键词** 中频交变磁场; 辐照; 安全性; 毒性

**中图分类号** R730.55

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)19-0086-07

## Experimental Evaluation of Systemic Toxicity and Safety of Exposure to Intermediate Frequency Alternating Magnetic Radiation

GUO Jing<sup>1</sup>, LI Xiao<sup>1</sup>, GUO Zhendong<sup>1</sup>, GAO Xiaona<sup>1</sup>, FENG Hong<sup>1</sup>, ZHU Liyan<sup>1</sup>, ZHU Jingli<sup>3</sup>,  
LUO Xiaolin<sup>3</sup>, TANG Jintian<sup>2</sup>

1. Beijing Medical Research Center, Fuzhou Huge Ally Medical Science and Technology Co., Ltd., Beijing 100085, China
2. Key Laboratory of Particle & Radiation Imaging, Ministry of Education; Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China
3. Department of Radiation Oncology, China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China

**Abstract** We performed an experimental study to determine the safety and systemic toxicity of a 100-kHz intermediate frequency alternating magnetic field. Adult male beagle dogs were randomly divided into a control group and two experimental groups, which receive either continuous exposure group or twice-weekly exposure to the magnetic field. Both experimental groups were exposed to the magnetic field for 4 weeks. Blood, urine, immune function, bone marrow smears, sperm quality, and morphology were assessed before and after irradiation. After the 4-week exposure, the dogs were sacrificed and the major organs were collected for pathological observation. Comprehensive analyses of these parameters showed that, except for a few indicators, there were no significant differences between the two experimental groups and the control group. The differences in the conventional indicators were within the normal range. Thus, exposure to an intermediate frequency magnetic field had no significant biological effects in beagle dogs, and there was no correlation between irradiation time or magnetic field with the biological effects. These results provide evidence that intermediate frequency magnetic fields are safe and suitable for use in clinical trials.

**Keywords** medium frequency alternating magnetic field; irradiation; security; toxicity

收稿日期: 2010-06-23; 修回日期: 2010-09-25

基金项目: 清华大学裕元医学基金项目

作者简介: 郭静, 硕士研究生, 研究方向为磁场安全性, 电子信箱: guojing.1006@yahoo.com.cn; 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), 研究方向为临床肿瘤学, 电子信箱: tangjt@mail.tsinghua.edu.cn

## 0 引言

目前对肿瘤的治疗主要以手术、放疗和化疗为主,生物免疫、中医中药等其他治疗相辅。但对于一些经过多次综合治疗且再无手术、放疗或化疗指征的患者,仍没有合适的治疗方法抑制肿瘤甚至消除肿瘤。

磁感应肿瘤治疗技术是利用植入体内的热介质在磁场中发热,从而升高治疗组织温度,最终达到杀死肿瘤细胞的目的。已有许多动物实验表明磁感应肿瘤治疗技术可抑制肿瘤生长甚至对其有杀伤作用<sup>[1-3]</sup>。本实验室经过大量实验和研究,自主研制出一台磁感应肿瘤热疗样机。由于这种仪器在治疗过程中要求人体暴露在磁场中,那么磁场辐射是否会对人体产生不良影响?国内外学者对此均有较深入研究<sup>[4-6]</sup>。人们对磁感应肿瘤治疗技术充满希望的同时,对其所用中频磁场的安全性更加关注<sup>[7]</sup>。

本实验模拟临床试验条件,通过磁感应治疗机对比格犬进行中频交变磁场辐照后进行各项指标的检测,为磁感应治疗的临床试验提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验仪器

磁感应治疗机(型号 MIH-100/170,清华大学工程物理系研发,产生的额定平行交变磁感应强度为 0.012T,频率为 100kHz);流式细胞仪(BD FACS Aria II 型,美国 BD 公司);全自动血球仪(MEK-6318K,日本光电公司);全自动生化分析仪(TBA-40FR,日本东芝公司);尿液分析仪(Clinitek 50,德国 Bayer 公司);全自动血气仪(SN 2-50487,美国 Heska 公司);全自动凝血分析仪(CA1500,日本 Sysmex 公司)。

### 1.2 实验试剂

EDTA-K2 抗凝管(分析纯, Sanli 公司);氯化钠(分析纯,北京化工厂);甲醛(分析纯,北京化学试剂公司);RAT ANTI DOG CD4/FITC/CD8:RPE(AbD Serotec 公司);流式专用溶血素(元和生物);新生胎牛血清(Hyclone 公司);福尔马林溶液按甲醛:蒸馏水为 100mL:900mL 配制,磷酸二氢钾 4g,磷酸氢二钾 0.5g。

### 1.3 实验动物

实验采用(15±2)kg 的成年雄性比格犬,购于北京市海淀区兴隆实验动物养殖中心(许可证编号 SCXK(京)2006-0007)。

### 1.4 实验步骤

#### 1.4.1 实验动物和分组

比格犬饲养 2 周后随机分为 3 组:对照组、连续辐照组和 1 周辐照 2 次组。辐照后进行各项指标的检测。

#### 1.4.2 辐照处理

实验时,将比格犬蜷卧于磁感应治疗临床机两磁极之间,使其完全暴露在磁场中,每天辐照 30min,两组均连续辐照 4 周,磁场强度为 0.012T。

#### 1.4.3 各项指标检测

从实验前 1 周开始至处死期间每日观察每只比格犬的

饮食、排便等情况,同时在每次辐照前后检测其心率,并进行详实记录。并对其进行各项检测。

**血常规检测。**用无抗凝剂注射器取比格犬上肢静脉血 3mL,制作 2 张血涂片,然后取少量血液加入 EDTA-K2 抗凝,并将抗凝血加入全自动血球仪。将血涂片做吉姆萨染色,于显微镜下进行白细胞分类。整理血常规的实验结果。

**血生化检测。**将剩余的约 2.5mL 血进行离心,3000r/min,5min,取上清加入全自动血液生化分析仪,得生化结果。

**血气检测。**用 3mL EDTA-K2 抗凝管取静脉血至标准刻度,缓慢混匀后加入到血气仪,得血气结果。

**免疫指标检测。**取比格犬静脉血,置入 EDTA-K2 抗凝管;从中吸取 100μL 的外周血置入 EP 管中,加入大鼠抗狗 CD4<sup>+</sup>/CD8<sup>+</sup>抗体 10μL,避光孵育 20~25min,每 3min 摇匀一次;将稀释到工作浓度的流式专用红细胞裂解液 1mL 加入 EP 管中静置 10min,2000r/min 离心 2min,弃上清液;用含有 2% 胎牛血清的 PBS 清洗两遍,2000r/min 离心 2min,弃上清液;最后加入 4% 多聚甲醛 300μL 进行固定,上机检测。

**精子质量和数量检测。**以另一载玻片的顶端呈 35°,抵于精液滴上,向另一端拉去,将精液均匀涂抹于载玻片上。抹片于空气中自然干燥,染色(威廉斯染色法)。

将制好的抹片置于显微镜下,查数不同视野的 500 个精子,计算出其中所含的畸形精子数,求出畸形精子的比率:

$$\text{畸形率} = \frac{\text{畸形精子数}}{\text{精子总数}} \times 100\%$$

**精子顶体检查。**将精液样品抹片置于 1000 倍生物显微镜下用油镜观察。按精子的形态、细胞膜及顶体的完整与否,将精子顶体形态分为 4 种类型。① 顶体完整型:精子头部外形正常,细胞膜和顶体完整,着色均匀,顶脊、赤道段清晰。② 顶体膨变型:顶体着色均匀,但头部边缘不整齐,核前细胞膜不明显或部分缺损。③ 顶体破损型:顶体着色不均匀,顶体脱离细胞核,形成缺口或陷凹。④ 顶体全脱型:赤道段以前的细胞膜缺损,顶体已经全部脱离细胞核。在每张抹片观察 300 个精子,并统计出顶体完整型精子数。

$$\text{精子顶体完整率} = \frac{\text{顶体完整型精子数}}{\text{精子总数}} \times 100\%$$

**精子活力测定。**精子活力测定必须于采样后立刻在 25℃ 的实验室内进行,最好是在 37℃ 的恒温操作台上进行。用玻璃棒蘸取 1 滴原精液或经稀释的精液滴在载玻片上,加上盖玻片,其间应充满精液,为避免产生气泡,也可滴在盖玻片上翻放于凹玻片的凹窝上,置于显微镜下放大 400 倍检查。注意显微镜的载物台须放平,最好是在暗视野中进行观察。精子的活动有 3 种类型,即直线前进运动、旋转运动和振摆运动。评价精子活率是根据直线前进运动精子数而定的,即

$$\text{精子活率} = \frac{\text{呈直线前进运动精子数}}{\text{总精子数}} \times 100\%$$

**病理检测。**待各项指标检测完成后,以 0.05mL/kg 肌肉注射 846 麻醉,然后再静脉注射 KCl 20mL,使其安乐死,然后取脑、眼球、心脏、肝脏、脾脏、肾脏、肺、胃、胰腺、睾丸、附睾、结

肠、空肠、盲肠、直肠、回肠、十二指肠,用 10%福尔马林固定,石蜡包埋,切片,用苏木精-伊红染色,进行病理检查。

1.4.4 统计

文中数据以均值±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示。用 SPSS 10.0 分析软件对所得数据的均值进行单因素方差分析法检验,当  $P<0.05$  时认为差异有显著性。

2 结果

2.1 血液检测结果

各项血常规指标检测结果如表 1 所示,可以看出,连续辐照组与对照组相比,其单核细胞比率显著升高( $P<0.01$ ),淋

巴细胞的比率也有所升高( $P<0.05$ )。但是 1 周辐照 2 次组与对照组相比,各项指标均无显著差异,与连续辐照组相比,其淋巴细胞比率升高 ( $P<0.05$ ),单核细胞比率显著降低 ( $P<0.01$ )。

表 2 为血气检测结果,可以看出,连续辐照组与对照组的各项指标均无显著差异。1 周辐照 2 次组除尿素氮、钾的含量较辐照前含量高( $P<0.05$ ),阴离子间隙较连续辐照组小 ( $P<0.05$ ),其他指标无显著差异。

血生化检测结果如表 3 所示,连续辐照组指标无显著变化,1 周辐照 2 次组辐照后其白蛋白、尿素氮、钾的含量和白蛋白/球蛋白较辐照前升高( $P<0.05$ )。

表 1 各项血常规指标检测结果 ( $\bar{x}\pm s, n=9$ )

Table 1 Results of blood test ( $\bar{x}\pm s, n=9$ )

名称	红细胞/ $10^{12}L^{-1}$	红细胞比积/ $(L\cdot L^{-1})$	血红蛋白/ $(g\cdot L^{-1})$	平均红细胞体积/ $10^{-15}L$	平均红细胞血红蛋白含量/ $10^{-12}g$	平均红细胞血红蛋白浓度/ $(g\cdot dL^{-1})$	白细胞/ $10^9L^{-1}$
对照组	6.81±1.24	0.44±0.07	155.13±27.16	61.91±2.95	21.58±1.16	34.84±0.10	16.91±11.43
连续辐照组	7.7±0.72	0.43±0.03	151.67±8.62	61.80±4.57	21.60±1.64	34.93±0.31	12.33±3.11
1 周辐照 2 次组	6.60±0.60	0.42±0.02	146.00±11.53	63.23±3.03	22.10±0.00	33.90±0.00	10.07±0.29

名称	叶状中性粒细胞/%	杆状中性粒细胞/%	单核细胞/%	淋巴细胞/%	嗜酸性粒细胞 (Eos)/%	嗜碱性粒细胞/%	血小板/ $10^9L^{-1}$
对照组	69.00±4.75	3.50±2.45	2.99±1.68	23.21±7.1	2.61±1.84	0.14±0.20	301.63±91.06
连续辐照组	70.33±1.53	1.67±0.58	8.67±1.15**	16.33±3.51*	2.67±1.15	0.33±0.58	211.33±8.62
1 周辐照 2 次组	74.00±5.57	4.00±2.65	3.00±1.41▲▲	18.33±7.51▲	1.67±1.53	0.00±0.00	275.00±95.50
正常值范围			3~10	12~30			

注: \* 与对照组相比,  $P<0.05$ ; \*\* 与对照组相比,  $P<0.01$ ; ▲ 与连续辐照组相比,  $P<0.05$ ; ▲▲ 与连续辐照组相比,  $P<0.01$ 。

Notes: \* is compared with the control group,  $P<0.05$ ; \*\* is compared with the control group,  $P<0.01$ ; ▲ is compared with the continuous exposure group,  $P<0.05$ ; ▲▲ is compared with the continuous exposure group,  $P<0.01$ .

表 2 各项血气检测指标统计结果 ( $\bar{x}\pm s, n=9$ )

Table 2 Results of blood gas test ( $\bar{x}\pm s, n=9$ )

名称	血糖/ $(mg\cdot dL^{-1})$	尿素氮/ $(mg\cdot dL^{-1})$	钠/ $(mg\cdot dL^{-1})$	钾/ $(mmol\cdot L^{-1})$	氯/ $(mmol\cdot L^{-1})$	二氧化碳总量/ $(mmol\cdot L^{-1})$	阴离子间隙/ $(mmol\cdot L^{-1})$
对照组	101.13±6.79	12.00±4.17	142.25±2.43	4.05±0.23	109.50±2.62	22.25±2.25	12.63±2.00
连续辐照组	97.00±4.00	12.00±2.65	143.33±0.58	4.07±0.42	112.00±1.00	19.33±2.08	14.00±1.00
1 周辐照 2 次组	98.33±7.57	18.00±2.65*	144.67±4.16	4.37±0.25*	112.67±4.93	22.00±1.00	10.00±3.00▲
正常值范围		10~26		3.4~4.9			8~25

名称	血细胞比容/%	血红蛋白/ $(g\cdot dL^{-1})$	酸碱度	二氧化碳分压/ $mmHg$	碳酸氢根/ $(mmol\cdot L^{-1})$	细胞外液碱剩余/ $(mmol\cdot L^{-1})$
对照组	44.25±4.23	15.04±1.45	7.38±0.06	36.10±6.24	21.14±1.95	-3.88±2.03
连续辐照组	44.00±2.65	14.97±0.91	7.36±0.01	32.60±3.60	18.47±1.82	-7.00±1.73
1 周辐照 2 次组	43.67±2.52	14.63±0.64	7.38±0.02	34.60±2.29	20.43±1.50	-3.67±0.58

注: \* 与对照组相比,  $P<0.05$ ; \*\* 与对照组相比,  $P<0.01$ ; ▲ 与连续辐照组相比,  $P<0.05$ ; ▲▲ 与连续辐照组相比,  $P<0.01$ 。

Notes: \* is compared with the control group,  $P<0.05$ ; \*\* is compared with the control group,  $P<0.01$ ; ▲ is compared with the continuous exposure group,  $P<0.05$ ; ▲▲ is compared with the continuous exposure group,  $P<0.01$ .

表 3 各项血生化指标检测结果统计 ( $\bar{x}\pm s, n=9$ )

Table 3 Results of blood biochemical test ( $\bar{x}\pm s, n=9$ )

名称	总胆红素 $/(μmol\cdot L^{-1})$	直接胆红素 $/(μmol\cdot L^{-1})$	谷丙转氨酶 $/(U\cdot L^{-1})$	谷草转氨酶	谷草比谷丙	总蛋白 $/(g\cdot L^{-1})$	白蛋白 $/(g\cdot L^{-1})$	球蛋白 $/(g\cdot L^{-1})$
对照组	2.22±1.55	0.97±0.59	36.63±21.86	27.25±4.20	0.96±0.42	69.88±6.69	29.75±1.58	43.33±5.01
连续辐照组	1.07±0.15	0.63±0.32	29.00±5.57	29.67±8.39	1.06±0.43	74.33±5.13	29.67±3.51	44.67±8.08
1周辐照2次组	1.63±0.55	1.00±0.00	34.33±15.50	27.33±5.86	0.85±0.18	70.33±1.53	33.00±1.00*	46.33±2.31
正常值范围							24~38	

名称	白蛋白 /球蛋白	$\gamma$ -谷氨酰转 肽酶/ $(U\cdot L^{-1})$	碱性磷酸酶 $/(U\cdot L^{-1})$	尿素氮 $/(mmol\cdot L^{-1})$	肌酐 $/(μmol\cdot L^{-1})$	葡萄糖 $/(mmol\cdot L^{-1})$	甘油三脂 $/(mmol\cdot L^{-1})$	胆固醇 $/(mmol\cdot L^{-1})$
对照组	0.70±0.08	3.00±1.55	77.50±28.72	4.92±1.37	76.33±21.62	5.81±0.37	0.69±0.14	4.50±0.59
连续辐照组	0.69±0.18	3.00±1.00	74.00±26.23	5.17±0.86	90.67±22.85	5.79±0.21	0.70±0.01	4.47±0.85
1周辐照2次组	0.71±0.08	2.00±1.73	87.00±53.25	6.56±0.18*	89.33±7.02	5.41±0.44	0.60±0.15	4.63±0.87
正常值范围				1.8~10.4				

名称	磷酸肌酸激酶 $/(U\cdot L^{-1})$	乳酸脱氢酶 $/(U\cdot L^{-1})$	钾 $/(mmol\cdot L^{-1})$	钠 $/(mmol\cdot L^{-1})$	氯 $/(mmol\cdot L^{-1})$	钙 $/(mmol\cdot L^{-1})$	无机磷 $/(mmol\cdot L^{-1})$	淀粉酶(AMY) $/(U\cdot L^{-1})$
对照组	78.83±13.64	38.17±13.80	4.33±0.41	142.33±3.35	104.21±3.04	2.72±0.10	1.32±0.22	1336.50±374.94
连续辐照组	84.67±27.14	32.67±4.51	4.51±0.17	145.73±2.34	103.00±1.31	2.65±0.14	1.44±0.06	1130.33±62.12
1周辐照2次组	66.67±29.50	62.33±57.74	5.00±0.29*	147.03±1.46	106.90±2.59	2.58±0.05	1.52±0.29	1639.67±472.62
正常值范围			3.8~5.8					

注:\*与对照组相比, $P<0.05$ 。

Note: \* is compared with the control group,  $P<0.05$ .

## 2.2 骨髓涂片检测结果

取骨髓液涂片后观察发现,连续辐照组和1周辐照2次组与对照组比无显著变化,两组间亦无显著差异(见表4)。

## 2.3 精子质量和形态检测结果

取精液检测其精子活率,观察精子畸形率(表5),发现两

辐照组间及辐照组与对照组相比,各项指标差异无显著性。

## 2.4 免疫指标检测

免疫方面仅检测了淋巴细胞、CD4、CD8、CD4/CD8(表6)的含量。检测结果表明,连续辐照组、1周辐照2次组与对照组均无显著变化,两辐照组也无显著差异。

表 4 骨髓涂片结果 ( $\bar{x}\pm s, n=9$ , 单位: %)

Table 4 Results of bone marrow smears ( $\bar{x}\pm s, n=9$ , unit: %)

名称	原粒 细胞	早幼粒 细胞	中幼粒 细胞	晚幼粒 细胞	杆状核粒 细胞	分叶核粒 细胞	原红细胞	早幼红 细胞	中幼红 细胞	晚幼红 细胞
对照组	0±0	1.17±0.21	8.93±0.32	9.87±0.23	14.03±0.93	18.83±0.40	0.20±0.00	3.93±0.21	26.80±0.70	15.37±0.32
连续辐照组	0±0	1.35±0.07	9.20±0.14	9.80±0.00	14.60±0.14	18.45±0.07	0.20±0.00	4.10±0.00	27.05±0.07	15.25±0.07
1周辐照2次组	0±0	1.23±0.15	8.67±0.57	9.93±0.12	14.53±0.21	18.90±0.44	0.17±0.06	3.80±0.26	27.30±0.00	15.47±0.45

表 5 精子活率、精子形态、精子质量检测结果 ( $\bar{x}\pm s, n=9$ , 单位: %)

Table 5 Results of tests on sperm motility, sperm morphology and sperm quality ( $\bar{x}\pm s, n=9$ , unit: %)

名称	精子头部畸形率	精子颈部畸形率	精子尾部畸形率	总畸形率	正常比例	精子活率	平均精子顶体 完整率
对照组	5.67±1.84	11.67±0.24	5.33±2.89	24.00±1.47	77.67±3.92	74.33±1.86	83.33±6.26
连续辐照组	5.00±1.00	12.00±0.00	5.67±2.08	22.67±3.06	77.33±3.06	75.33±2.52	84.50±1.80
1周辐照2次组	5.33±2.08	12.33±0.58	6.00±3.61	23.67±5.51	76.33±5.51	73.67±5.51	81.50±7.00

表 6 免疫指标检测结果 ( $\bar{x} \pm s, n=9$ , 单位: %)

Table 6 Results of immune function test ( $\bar{x} \pm s, n=9$ , unit: %)

名称	淋巴细胞	CD4	CD8	CD4/CD8
对照组	9.1±4.37	3.77±1.83	1.75±0.93	2.31±1.06
连续辐照组	7.59±1.77	2.97±0.79	1.58±0.89	2.53±1.32
1周辐照2次组	9.21±3.48	3.96±1.67	1.71±0.41	2.55±1.60

### 2.5 病理检测结果

分别将对照组、连续辐照组和 1 周辐照 2 次组的主要脏器,如脑、眼球、心脏、肝脏、脾脏、肾脏、肺、胃、胰腺、睾丸、附睾、结肠、空肠、盲肠、直肠、回肠、十二指肠制成病理切片,置于显微镜下进行观察分析比较(图 1)。观察发现,两辐照组间以及辐照组与对照组间的脏器均无显著的病理变化发生。

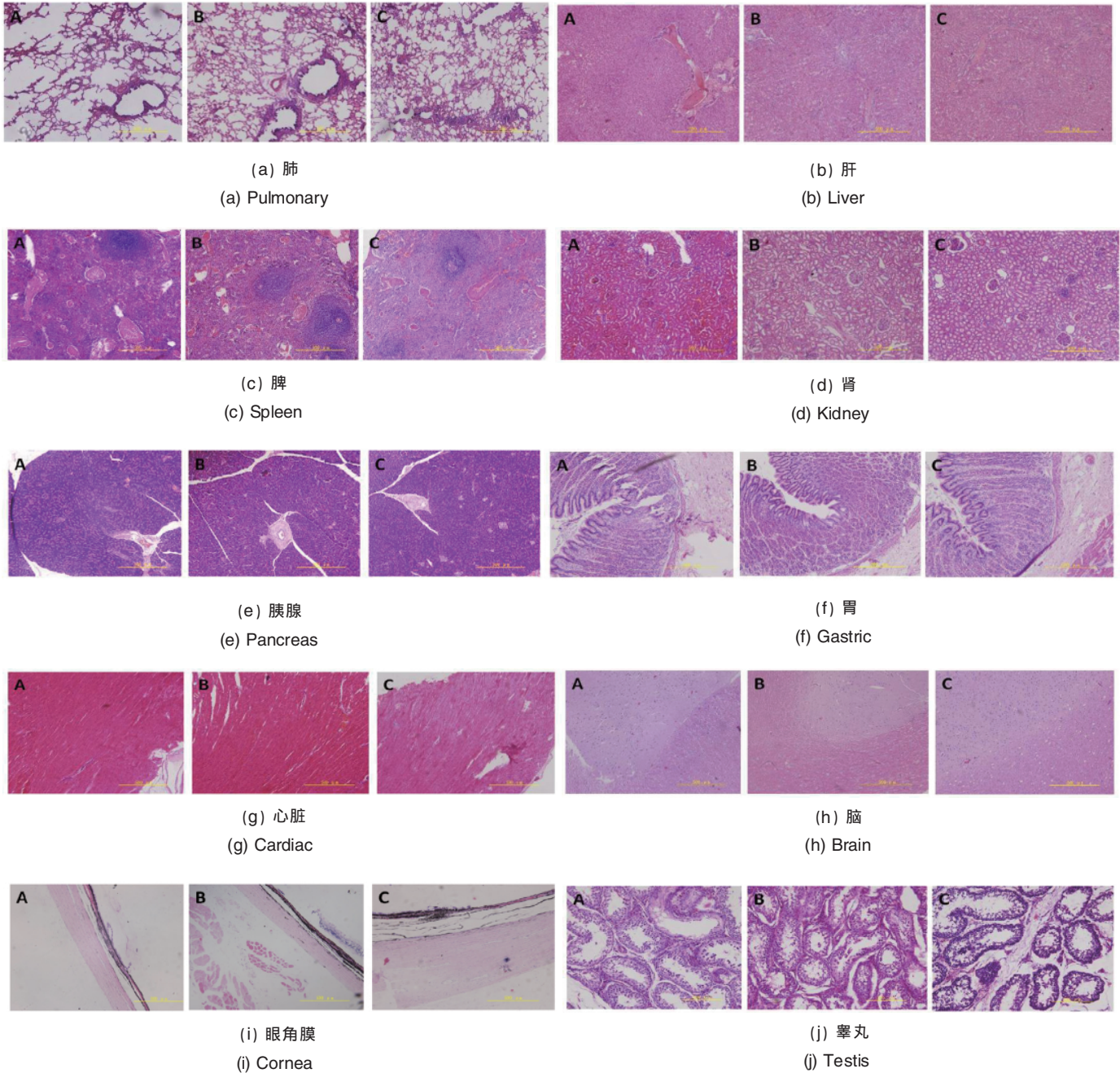


图 1 病理切片图片

Fig. 1 Pathology images

注: A—对照组; B—连续辐照组; C—1 周辐照 2 次组。

Notes: A, control group; B, continuous exposure group; C, one week irradiation twice group.

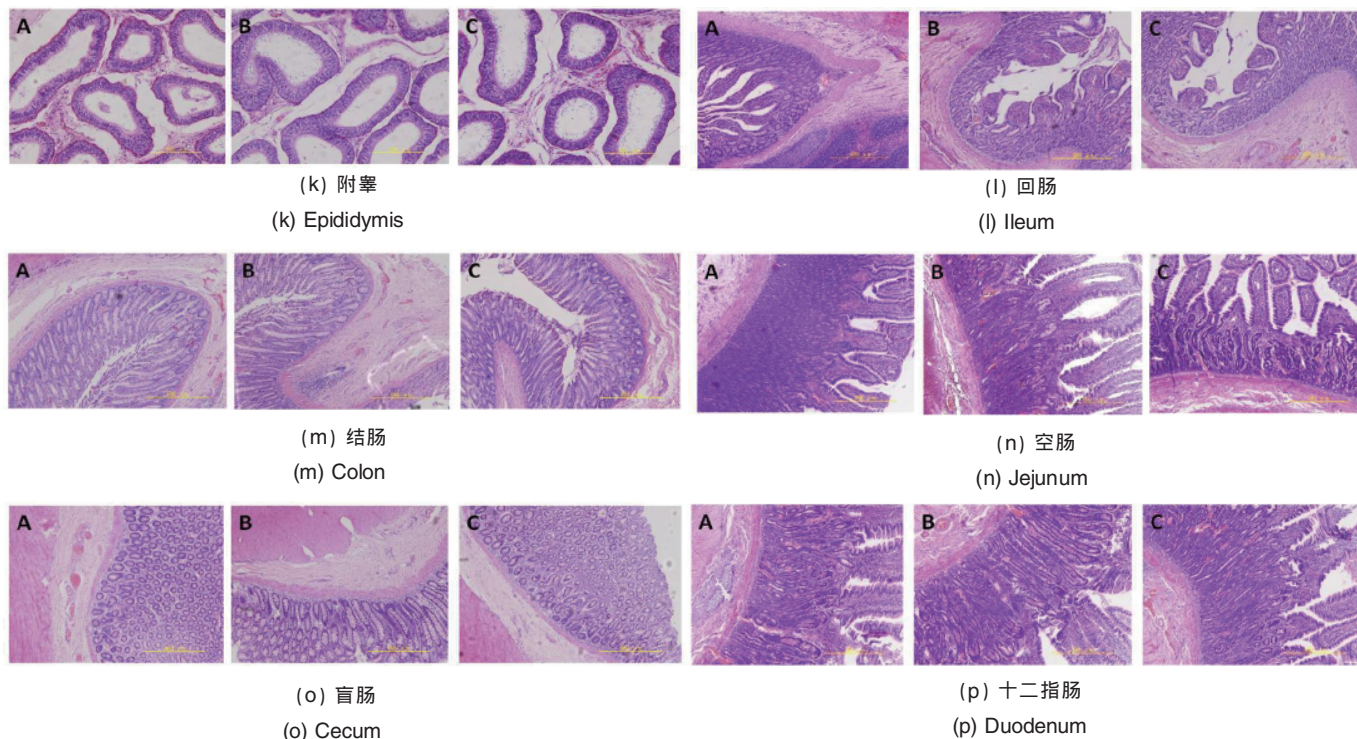


图 1 病理切片图片 (续)

Fig. 1 Pathology images (continued)

注: A—对照组; B—连续辐照组; C—1 周辐照 2 次组。

Notes: A, control group; B, continuous exposure group; C, one week irradiation twice group.

### 3 讨论

临床试验中预计的磁场照射条件为 1 周 2 次, 共 6 次, 每次辐照约为 30min, 本实验模拟此条件进行动物实验, 各项检测结果均未发现异常。

本实验同时设计了极限辐照量部分, 即连续 28d 每天照射 30min, 结果显示辐照后各项指标均没有明显变化, 而且没有任何病理改变。

血液检测的结果中, 有些指标组间差异有统计学意义, 其中血常规检测结果可看到连续辐照组的单核细胞比率升高和淋巴细胞比率降低, 且与其他两组有差异, 此现象提示有炎症反应出现, 同时其白细胞、中性粒细胞总数无变化, 可以推测为初期的炎症反应。1 周辐照 2 次组的单核细胞比率与淋巴细胞比率与对照组的指标相比, 并无显著差异。3 组结果虽有差异但数值均在农业大学动物医院检验结果报告中提供的正常值范围内。

血气分析结果和血生化结果中, 1 周辐照 2 次组的白蛋白、尿素氮、钾、阴离子间隙与对照组指标存在差异, 但均在正常值范围内, 可见两辐照组比格犬的个别指标发生变化的幅度不大, 仍属正常生理状态。

有文献表明电磁辐射对造血系统、生殖系统和免疫系统有不利影响<sup>[8-9]</sup>, 且不同强度、不同辐照时间、针对不同的细胞或组织会产生完全不同的效果<sup>[10-13]</sup>。本实验骨髓涂片、精子活率及质量和免疫指标检测中各组间无显著性差异。结合对肝

脏、脾脏、肾脏、胃、胰腺、睾丸、附睾、结肠、空肠、盲肠、直肠、回肠、十二指肠等脏器的病理分析结果, 初步判定中频磁场辐照对比格犬的造血系统、消化系统、生殖系统、泌尿系统等无显著的生物学影响。

血液和血气检测指标中有个别有变化, 但均属正常值范围, 可能是由于实验中各组样本量较少, 个体差异带来的统计结果变化, 也可能是因为循环系统和呼吸系统均属于较易受外界环境影响的系统, 因此环境的微小变化即能引起检测指标的浮动。通过病理观察也可看出心脏和肺并无病理变化, 可以推测该条件下的中频磁场辐照对比格犬的循环系统和呼吸系统无显著的生物学影响。

有实验研究发现极低频磁场和射频磁场对脑和视网膜有一定的损伤<sup>[14-15]</sup>。但本实验的脑组织和眼角膜病理观察未发现辐照组与对照组的组织形态有显著变化, 说明此条件下的中频电磁辐射对比格犬的脑及眼无明显影响。

### 4 结论

本实验结果表明正常辐照量和极限辐照量的中频交变磁场是安全的。初步推测中频交变磁场短期辐照无全身性的生物毒性, 该条件下的磁场是安全的, 可供临床使用。

### 参考文献 (References)

[1] Gneveckow U, Jordan A, Scholz R, et al. Description and characterization

- of the novel hyperthermia and thermoablation system MFH 300F for clinical magnetic fluid hyperthermia[J]. *Med Phys*, 2004, 31(6): 1444-1451.
- [2] 刘轩, 徐波, 夏启胜, 等. 磁感应加热对兔耳 VX-2 肿瘤的杀伤效应[J]. 中国微创外科杂志, 2007, 7(11): 1035-1037.  
Liu Xuan, Xu Bo, Xia Qisheng, et al. *Chin J Min Inv Surg*, 2007, 7(11): 1035-1037.
- [3] 夏启胜, 刘轩, 徐波, 等. 热籽感应加热对恶性黑色素瘤细胞的杀伤作用[J]. 中国微创外科杂志, 2007, 7(11): 1038-1042.  
Xia Qisheng, Liu Xuan, Xu Bo, et al. *Chin J Min Inv Surg*, 2007, 7(11): 1038-1042.
- [4] Kheifets L, Shimkhada R. Childhood leukemia and EMF: Review of the epidemiologic evidence[J]. *Bioelectromagnetics*, 2005, 17: 51-59.
- [5] L-Akhras M, Elbetieha A, Hasan M, et al. Effects of extremely low frequency magnetic field on fertility of adult male and female rats[J]. *Bioelectromagnetics*, 2001, 22: 340-344.
- [6] 曹兆进, 赵晓琳, 陶勇, 等. 移动电话手机对神经衰弱症状影响的调查[J]. 卫生研究, 2000, 29(6): 366-368.  
Cao Zhaojin, Zhao Xiaolin, Tao Yong, et al. *Journal of Hygiene Research*, 2000, 29(6): 366-368.
- [7] Sung H K, Hae J L, Soo Y C, et al. Toxicity bioassay in sprague-dawley rats exposed to 20 kHz triangular magnetic field for 90 days[J]. *Bioelectromagnetics*, 2006, 27: 105-111.
- [8] Wdowiak A, Wdowiak L, Wiktor H. Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility[J]. *Ann Agric Environ Med*, 2007, 14: 169-172.
- [9] 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.
- [10] 许正平, 姜槐. 电磁场对生物体的影响及可能干预途径[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2002, 20(4): 313-317.  
Xu Zhengping, Jiang Huai. *Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 2002, 20(4): 313-317.
- [11] Vukova T, Atanassov A, Ivanov R, et al. Intensity-dependent effects of microwave electromagnetic fields on acetylcholinesterase activity and protein conformation in frog skeletal muscles [J]. *Med Sci Monit*, 2005, 11(2): 50-56.
- [12] Onodera H, Jin Z, Chida S, et al. Effects of 10-T static magnetic field on human peripheral blood immune cells [J]. *Radiat Res*, 2003, 159(6): 775-779.
- [13] Weintraub M I, Wolfe G I, Barohn R A, et al. Static magnetic field therapy for symptomatic diabetic neuropathy: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84(5): 736-746.
- [14] 汪峰, 周学军, 余争平, 等. 电磁辐射对家兔视觉器官组织结构的影响[J]. 眼外伤职业眼病杂志, 2006, 28(8): 569-572.  
Wang Feng, Zhou Xuejun, Yu Zhengping, et al. *Chinese Journal of Ocular Trauma and Occupational Eye Disease*, 2006, 28(8): 569-572.
- [15] Regel S J, Tinguely G, Schuderer J, et al. Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: Dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance[J]. *J Sleep Res*, 2007, 16: 253-258.

(责任编辑 王芷)

## ·学术动态·

## “第九届全国搜索引擎和网上信息挖掘 学术研讨会”征文



中国计算机学会将于 2011 年 5 月 20—22 日在河北省保定市召开“第九届全国搜索引擎和网上信息挖掘学术研讨会”。

征文内容: 信息检索模型、算法及基础理论; 面向行业的信息检索; 跨语言和多语言信息检索; 面向信息检索的机器翻译技术; 交互式检索; 多媒体信息检索; 用户模型及分析; 基于任务的信息检索; 智能问题回答系统; 文本分类、文本聚类及相关的机器学习方法; 信息过滤与信息抽取; 文本倾向性分析、意见挖掘及舆情监控社区发现; 网络信息检索的建模、实现和应用; 搜索引擎设计; 信息检索中的机器学习; 自然语言理解在信息检索中的应用。

征文截止时间: 2010 年 11 月 7 日。

联系电话: 13933221661 (张明); 电子信箱: sewm2011@hbu.cn, 会议网址: http://sewm2011.hbu.cn。

## “第九届国际可靠性、维修性、安全性会议”征文

中国现场统计研究会将于 2011 年 6 月 12—16 日在贵阳市召开“第九届国际可靠性、维修性、安全性会议”。

征文内容: 可靠性、安全性理论及其应用; 可靠性、安全性管理; 可靠性、维修性、安全性设计和分析; 可靠性试验及验证; 可靠性设计方法和工具; 概率风险评估方法; 高价速应力测验; 加速寿命试验; 贮存可靠性; 故障诊断技术; 软件可靠性; 软件安全性。

摘要截稿日期: 2011 年 1 月 31 日。

联系地址: 北京石龙经济开发区永安路 1 号 (102308) 邓周辉; 电话: 15885019114; 传真: 010-60806888; 电子信箱: icrms2011@geu.edu.cn, 会议网站: www.icrms.cn。