

• 文献综述 •

中低频交变磁场的生物学效应

魏巍 夏启胜^① 综述 刘继光 唐劲天* 审校

(佳木斯大学口腔医学院, 佳木斯 154007)

中图分类号: R-332

文献标识: A

文章编号: 1009-6604(2007)11-1057-03

生物体总是处于一定的磁场环境中,如宇宙磁场、地磁场和人为环境磁场,特别是近些年来工业的发展和医学的进步,人们已经越来越注意到这些环境磁场对人体的危害^[1,2];同时也可利用外加磁场对一些疾病进行治疗,这也让人们看到磁场的两面性,即如何利用磁场的治疗功能并避免磁场危害已成为人类极为关心的问题。本文对近年来国内外中低频交变磁场(3000 kHz 以下)生物学效应研究中的一些结果^[3,4]进行综述,表 1 为近年研究结果的概况。

表 1 国内外中低频交变磁场生物学效应研究结果概况

整体影响	具体方面
对生物体机体状态的影响	如生长、发育、繁殖、摄食和饮水等的变化
对生物组织器官的影响	如心血管系统、神经系统、免疫系统
对细胞的影响	如正常细胞、肿瘤细胞
对遗传的影响	如 DNA 合成、致畸性等
对生物大分子的影响	如蛋白质、酶等

1 磁场的概述

1.1 磁场的物理特性

磁场可分为稳恒磁场和变磁场,变磁场又可分为交变磁场、脉冲磁场、旋磁场。稳恒和变化的属性除与磁场源有关外,还与磁场与机体的相对运动密切相关。描述磁场的参数有:频率(f)和磁场强度(H)。频率 f 常以 Hz 为单位,磁场强度 H 可用国际单位 A/m 表示,也有用奥斯特(Oersted, Oe)来表示的,二者之间的换算为 $1 \text{ Oe} = 79.577 \text{ A/m}$,磁感应强度(B)的单位为特斯拉(tesla, T),也用高斯(gauss, G), $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$,磁场强度(H) = 磁感应强度(B)/磁导率(μ)。电磁波波谱见图 1。

1.2 磁场的生物学效应

任何生物都是具有磁性的,因此,外加磁场、环境磁场和生物体内的磁场都会对生物的组织 and 生命活动产生影响,称为磁场生物效应。这种磁场生物效应的性质和强弱既与磁场的性质和强弱有关,也与生物的种类和受磁场的组织等有关^[5]。从作用机制来讲,稳恒磁场和变化磁场都能在机体内引起电动势而作用于机体,但因他们产生的原因有所差异从而导致两类磁场所引起的生物效应也有异同。变化磁场又因频率高低不同、作用时间长短不一也会产生不同的生物效

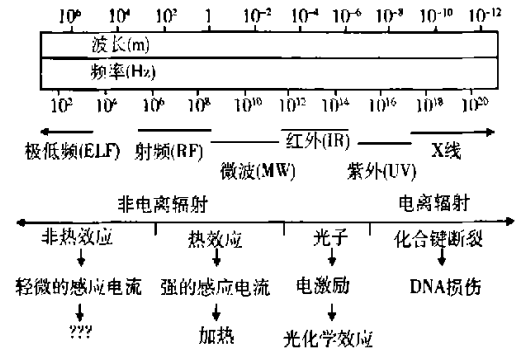


图 1 电磁波波谱中不同波段电磁波的生物学效应

应。磁场生物学效应是磁场和生物体两者共同作用的结果,是与两者的参数密切相连的。磁场参数包括磁场类型、场强大小、均匀性、方向性、作用时间等;机体因子包括机体的磁性、组成、种类、敏感性、血流速度、作用部位等,这些参数都是影响磁场生物学效应的主要因素。

2 对机体状态的影响

生物体总是生活在一定的环境磁场中,磁场的存在必然会引起机体生长、发育、繁殖、摄食和饮水等的变化。明德玉等^[6]观察交变磁场对膝关节关节炎患者的治疗效果,采用 50 Hz 低频交变磁场进行治疗,时间为 30 min/次,1 次/d,治疗 20 次后症状及功能障碍均得到明显改善。贾建治等^[7]用均匀交变磁场对小白鼠的自主活动及戊巴比妥钠阈下催眠影响进行的研究表明,当外加磁刺激为 10 Hz、6.18 mT 及 10 mT 时,有一定的镇静、催眠作用。

3 对组织器官的影响

3.1 心血管系统

磁场作用于人体后,可以对心血管机能产生明显的调节作用,发挥抗高血压、降血脂、改善微循环、防治动脉粥样硬化和冠心病等治疗作用。

3.2 神经系统

神经系统的活动与带电粒子的运动密切相关,容易受到磁场的影响。研究磁场对神经系统的影响可以以体外培养的神经细胞为模型,研究电磁活动对其生理活动的影响;也

① (中日友好医院临床医学研究所,北京 100029)

* 通讯作者(清华大学工程物理系医学物理与工程研究所,北京 100084)

可利用流行病学调查找出外界磁场和疾病的关联性。张小云等^[8]用交变磁场作用于新西兰兔和运动系统疾病患者,结果表明磁场能促进机体血浆 β -内啡肽显著升高,此种变化是构成磁场止痛的内在基础之一。李怡等^[9]采用 5 Hz 或 20 Hz, 8 mT 交变磁场对离体新生鼠中脑神经干细胞进行干预,能明显促进神经干细胞向神经元的分化。由此推测,磁场是通过加快微循环、促进神经营养因子表达和神经细胞的分化与再生、减少自由基生成等综合影响因素发挥其神经保护作用。

3.3 免疫系统

磁场对免疫功能有双向作用。以往研究结果表明,高强度磁场(50~100 mT)连续暴露 48~96 h 可引起免疫功能降低。丁翠兰等^[10]用不同强度的 50 Hz 交变磁场作用于小鼠,结果能够非常显著地提高巨噬细胞的吞噬百分率和吞噬指数,表明低频交变磁场能增强机体的细胞免疫功能。

4 对细胞的影响

4.1 正常细胞

生物膜对离子的主动和被动输运不仅是细胞兴奋的基础,也是进行一些重要新陈代谢和能量转换过程的条件。电磁场对生物膜的离子转运能力的影响会导致一些生化和生理过程的变化,从而影响与生物电活动相关的各种过程。田冰等^[11]采用 50 Hz 正弦磁场以不同强度、不同时间长时间作用于 L02 和 CHL 细胞后,2 种细胞的增殖均受抑制,但抑制程度与磁场作用量并非呈简单的线性关系;磁场短时间作用对细胞增殖无明显影响。Katsir 等^[12]研究不同强度(0.06~0.7 mT)、不同频率(100 Hz、60 Hz、50 Hz)的正弦变化磁场对鸡胚胎成纤维细胞增殖的影响,结果显示当频率为 100 Hz 时,0.7 mT 的电磁辐射 24 h 使细胞增殖增高 64%,并且细胞的增殖效应随强度而异;在强度固定为 0.7 mT 时,则细胞增殖随着频率的增高而增高。

4.2 肿瘤细胞

磁场对肿瘤的作用包括其致癌作用和抗癌效应。王晓

杰等^[13]将 H22 肝癌瘤株接种于小鼠,结果表明 2.0~2.2 T 的交变脉冲强磁场有直接杀伤癌细胞、抑制肿瘤组织生长的作用,对荷瘤小鼠的免疫功能有一定的调节作用。利用显微荧光技术,黄春明等^[14]动态监测了鼠嗜铬细胞瘤 PC-12 株细胞内游离 Ca^{2+} 浓度的变化,实验结果表明,50 Hz、100 μ T 的正弦磁场照射引起 Ca^{2+} 浓度明显升高,而在同等强度的静磁场和 2000 Hz 的正弦磁场照射下 Ca^{2+} 浓度基本维持不变,证实了一定强度下特定频率的极低频弱磁场能够影响钙离子的跨膜运输和胞内钙库的释放,从而在细胞和分子水平产生生物效应。德国 Jordan 等^[15]用 500 kHz、磁场强度为 10 kA/m 的磁场加热设备,将纳米级的铁氧体粒子用葡聚糖分子包裹,在水中溶解后注入肿瘤部位,通电加热时,肿瘤部位的温度可以达到 47 $^{\circ}$ C,慢慢杀死癌细胞,而临近的健康组织丝毫不受影响。进一步研究表明^[16],凡是接近强磁场既可能增加白血病和脑瘤的机会。国外学者进行了大量在体动物实验和细胞学研究来观察磁场与诱发肿瘤的关系,既有阴性结果也有阳性结果,均不足以说明低于射频电磁场的频率范围内有明显的至癌作用^[17,18]。

5 对基因与蛋白质的影响

吴全义等^[19]用 50 Hz 交变磁场,经 10 mT 和 15 mT 照射小鼠,4 h/d,连续 10 d,结果表明强度为 10 mT 时小鼠微核率无明显差异,而 15 mT 时可使细胞微核率增加,可能会致突变。贾建治等^[20]通过鼠伤寒沙门氏菌组氨酸缺陷型诱变实验及 SOS 显色诱导实验对均匀交变磁场进行了致突变性研究,在 10 Hz、3.82、6.18、10、12 mT 作用下无致突变作用。

细胞内的大分子如蛋白质、酶等或带不同电荷的基团,或含有过渡族金属离子,这些部分往往是酶的活性中心,在磁场的作用下可以改变酶的活性,进而影响到细胞的正常生理活动。

表 2 中低频交变磁场的生物学效应总结

年代	作者	频率	场强	实验对象	实验方法	实验结果
(Hz)	(mT)					
体外实验						
2000	黄春明 ^[14]	50	0.1	鼠 PC-12 瘤细胞	照射 20 min	细胞内游离钙离子浓度明显升高
2001	贾建治等 ^[20]	10	12	鼠伤寒沙门菌组氨酸缺陷型	加磁 3 h 和 6 h Ames 法	所用磁场无致突变作用
2002	李怡等 ^[9]	5 或 80	20	新生鼠中脑神经干细胞	2 次/d, 每次 15 min, 分别作用 3 d, 1、2、3 周	明显促进神经干细胞向神经元的分化
体内实验						
2000	贾建治等 ^[7]	10	6.18, 10	小白鼠	加磁时间从注射戊巴比妥钠完毕到小鼠睡眠结束	良好的镇静催眠作用
2001	吴全义等 ^[19]	50	10, 15	小鼠	4 h/d, 10 d	10 mT 时无差异, 15 mT 时细胞微核率增加, 可能致突变
2002	Rehman 等 ^[22]	50 000	5	猪	在猪肾、肝、子宫腺里植入数颗热籽, 并相互平行间隔 1 cm 排列	在热籽正确排列的猪组织内热籽周围温度超过 50 $^{\circ}$ C, 坏死区从热籽表面可向周围延伸 2 mm
2003	丁翠兰等 ^[10]	50	5, 15	小白鼠	2 次/d, 1 h/次, 连续 10 d	显著提高巨噬细胞的吞噬百分率和吞噬指数
2004	明德玉等 ^[6]	50	150	膝骨关节炎患者	30 min/次, 1 次/d, 治疗 20 次	症状及功能障碍均得到明显改善

6 医疗方面的应用

利用交变磁场进行磁疗已经广泛应用于临床。目前,利用交变磁场进行肿瘤热疗的方法逐渐兴起。铁磁热籽加温治疗时所采用的磁场范围主要在中低频范围(10~500 kHz),选择这一范围主要是考虑到过低频率的交变磁场易在人体内产生神经肌肉刺激症状,而过高的频率则可使人体组织内产生涡流加热,使正常组织温度也升高^[21]。此外,交变磁场设备所产生的磁场在线圈内是最大的,在线圈外则迅速降低,因而对环境一般不会产生较大影响。Rehman 等^[22]在猪的肾、肝、子宫、胰腺里植入了数颗热籽,热籽以相互平行间隔 1 cm 排列,50 kHz 强度为 50 G 的交变磁场下,显示在热籽正确排列的猪组织内热籽周围的温度超过 50℃,坏死区从热籽表面可向周围延伸 2 mm,表明利用铁磁热籽的微创原位热切除是可行的。

7 总结与展望

综上所述,中低频交变磁场的生物学效应是从多方面、多层次上体现的。近年来,国内外学者在实验资料上积累了许多的资料,在理论上也提出了一些新假设,但是并未出现重大突破,全球有关研究结果和观点也不尽一致^[23,24]。由于缺乏严谨完善且为大家所普遍接受的生物物理机制,中低频交变磁场是否对活的有机体产生影响仍大有争议。表 2 对中低频交变磁场的生物学效应进行了总结。

有关人体在强磁场中暴露的容许强度标准,目前国内外尚未正式颁布卫生标准,国内尚处于研究阶段,国外仅由某些机构或学者提出容许强度或阈限值的建议值,主要有前苏联和美国的标准见表 3~5^[25]。

表 3 前苏联建议的磁场暴露容许强度

作用部位	磁感应强度(mT)	磁场梯度(mT/cm)
全身	30	0.5~2
上肢	70	1~2

表 4 美国斯坦福大学直线加速器中心建议的磁场暴露容许强度

作用	磁感应强度(mT) 部位	
	长期暴露(数小时)	短期暴露(数分钟)
全身或头部	20	200
上肢	200	2000

表 5 美国能源部提出的磁场暴露暂定容许标准

暴露部位	磁感应强度(mT)		
	每天 8 h	每天 <1 h	每天 <10 min
全身	10	100	500
四肢	100	1000	2000

国内学者提出全身长时间暴露于恒定磁场的安全限建议值为 10 mT。我们相信中低频交变磁场生物效应理论与实验的进步,必将使人们了解其详细的物理、化学过程,更有效地利用中低频交变磁场造福于人类。

参考文献

1 Rosenthal K. Is electromagnetic interference still a risk? Nurs Manage, 2005, 36(4): 68-71.
2 Feychting M. Non-cancer EMF effects related to children.

Bioelectromagnetics, 2005, 7: S69-S74.
3 王学斌,李东风,蒋锦昌. 极低频磁场致癌效应的细胞学进展. 生物物理学报, 2003, 19(4): 347-352.
4 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. 中华物理医学与康复杂志, 2005, 27(1): 5-8.
5 李国栋. 2003-2004 年生物磁学研究和应用的新进展. 生物磁学, 2004, 4(4): 25-27.
6 明德玉,单磊,孙文玲,等. 交变磁场改善膝骨关节炎患者疼痛及运动能力. 中国临床康复, 2004, 8(5): 954.
7 贾建治,李翔. 磁场的生物学效应研究. 天津师范大学学报(自然科学版), 2000, 20(2): 63-65.
8 张小云,罗振国,张维德. 交变磁场对神经内分泌活动的影响与止痛效应. 中国临床康复, 2004, 8(5): 994-995.
9 李怡,赵仑,邢萱,等. 5 Hz 和 20 Hz 磁场对中脑神经干细胞分化的影响. 航天医学与医学工程, 2002, 15: 374-376.
10 丁翠兰,李良菊,王胜军,等. 低频交变磁场对小鼠细胞免疫功能的影响. 江苏大学学报(医学版), 2003, 13(2): 116-118.
11 田冰,贾彩丽,陈树德. 50Hz 低频环境磁场对细胞增殖的影响及其机理探讨. 上海环境科学, 2003, 22(12): 991-994, 1012.
12 Katsir G, Baram SC, Parola AH. Effect of sinusoidally varying magnetic fields on cell proliferation and adenosine deaminase specific activity. Bioelectromagnetics, 1998, 19(1): 46-52.
13 王晓杰,胡大为,张秀芹,等. 脉冲强磁场对小鼠 H22 肝癌杀伤作用的影响. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26: 600-602.
14 黄春明. 极低频弱磁场对 PC-12 瘤细胞内游离钙离子浓度的影响. 生物医学工程学报, 2000, 17(1): 63-65.
15 Jordan A, Scholz R, Klans MH, et al. Presentation of a new magnetic field therapy system for the treatment of human solid tumors with magnetic fluid hyperthermia. J Magn Magn Mater, 2001, 225: 118-126.
16 Naarala J, Hoyto A, Markkanen A. Cellular effects of electromagnetic fields. Altern Lab Anim 2004, 32(4): 355-360.
17 Alfieri RR, Bonelli MA, Pedrazzi G. Increased levels of inducible HSP70 in cells exposed to electromagnetic fields. Radiat Res, 2006, 165(1): 95-104.
18 Lantow M, Schuderer J, Hartwig C. Free radical release and HSP70 expression in two human immune-relevant cell lines after exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation. Radiat Res, 2006, 165(1): 88-94.
19 吴全义,端礼荣,丁翠兰,等. 低频交变磁场安全性的研究. 中国医学物理学杂志, 2001, 18(1): 44-45.
20 贾建治,王益民,张伯礼. 非均匀稳恒磁场及均匀交变磁场的致突变性研究. 天津师范大学学报(自然科学版), 2001, 21(1): 51-53.
21 Moroz P, Jones SK, Gray BN, et al. Magnetic mediated hyperthermia: current status and future directions. Int J Hyperthermia, 2002, 18: 267-284.
22 Rehman J, Landman J, Tucker RD, et al. Ferromagnetic self-regulating reheatable thermal rod implants for in situ tissue ablation. J Endouro, 2002, 16: 523-531.
23 Juutilainen J. Developmental effects of electromagnetic fields. Bioelectromagnetics, 2005(Suppl 7): S107-S115.
24 Dini L, Abbio L. Bioeffects of moderate-intensity static magnetic fields on cell cultures. Micron, 2005, 36(3): 195-217.

(收稿日期:2007-01-15)

(修回日期:2007-07-27)

(责任编辑:李贺琼)