

影响瞬态电磁生物效应实验重复性的要素*

郭庆功, 马雪莲

(重庆邮电学院, 重庆 400065)

摘要:从瞬态电磁生物效应的特点出发,对影响其实验重复性的主要物理要素进行了分析,并运用量子理论推出了随着实验对象复杂程度的增加,瞬态电磁脉冲所产生的非热生物效应实验的重复性降低,从而得出提高实验重复性的 3 个方向,对研究生物系统内部复杂的相互作用而加以控制,又是其中更为重要的解决手段。

关键词:电磁脉冲; 非热生物效应; 实验重复性

中图分类号:Q64 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5694(2002)01-0084-03

Essential Factors Influencing Experimental Repetition of the Transient Electromagnetic Biological Effects

GUO Qing-gong, MA Xue-lian

(College of Communication and Information Engineering, CUPT, Chongqing, 400065, China)

Abstract: The essential physical factors of experimental repetition are analyzed according to the characteristics of transient electromagnetic biological effects. Based on the quantum theory, with the increase of the complexity of the experimental objects and the decrease of the experimental repetition of the athermal biological effects produced by the transient electromagnetic pulse (EMP), three directions of increasing the experimental repetition are obtained. The study shows to control the complex interaction in the biological system and its control is the most important solution.

Key words: electromagnetic pulse; athermal biological effects; experimental repetition

1 瞬态电磁生物效应的特殊性

在电磁场与生物体作用的过程中,电磁波产生的生物效应及其作用一直是广大研究者关注的重要课题^[1,2]。在过去的近半个世纪中,人们大多致力于研究连续波作用下的致热生物效应,即生物体吸收电磁波能量后产生明显的温度升高,从而导致各种生物功能的变化,目前这方面的研究与应用已基本完善^[3~5]。近 10 年来人们已把研究目标转向于连续

波产生的非热效应,尤其是低强度、长时间弱电磁场作用下,使生物体在无明显升温的情况下,生物体内将会发生各种强烈的生理、生化和功能的生物响应变化。低强度电磁场的非热效应具有如下 3 个显著的特点:①具有非线性特点,不仅很微弱的电磁场能够产生很明显的生物效应,而且场强和效应的强弱之间不存在线性关系;②存在明显的场的频率、功率、作用时间的“窗口”特点,即只有在满足一定条件的低强度电磁场作用下才能引起明显的生物效应;

* 收稿日期:2001-10-04

基金项目:重庆邮电学院青年科技基金资助(A2001-14)

作者简介:郭庆功(1967-),男,新疆伊犁人,讲师,硕士,主要从事微波生物、信号分析与处理的教学与科研工作。

③产生非热效应的能量远大于电磁场本身所提供的能量,由外界小能量的诱导可以在生物体内释放出巨大的能量。

只是近年来国内外开始有部分学者研究低强度瞬态电磁场(具有极窄的脉宽,称脉冲电磁场(EMP))与生物体相互作用及其影响^[6,7],使之成为生物电磁学崭新的一个研究领域。原因之一是瞬态脉冲电磁场较连续波作用下的生物效应在理论分析上要困难得多,它不仅产生热效应,同时还伴随有强烈的非热效应,通常非热效应在其中起主导作用;之二是因为对脉冲电磁场所产生辐射、传输、散射等方面的实验和测量有极大的困难。虽有人通过建模的方法,计算瞬态场作用下波形、脉宽、幅度等对生物材料或细胞作用的影响^[8],但都过于理想化。现已进行的实验研究却普遍存在着实验结果重复性差,甚至得出相反结论的现象。自然界中瞬态电磁脉冲广泛存在,尤其是随着电气及电子工业的发展,环境中的瞬态电磁场无论强度还是出现的频度都已大大提高,例如雷电、高能电子试验装置及移动通信基站都会产生这类脉冲,有关电磁脉冲对人体健康损害的纠纷报道也连年上升,但都因缺乏充足的证据而未得到裁定。提高瞬态电磁生物效应的重复性,对于更进一步认识、分析瞬态电磁场与生物体相互作用的机理,以达到更为科学、安全的利用电磁波是十分有益的。

2 影响实验的主要物理因素

2.1 电磁波波型因素

生物电磁学实验中常用电磁波波形有连续波、脉冲波及其它形式的调制波,在连续波或调制波作用下,生物体特性的变化往往与频率、平均功率和作用时间长短直接有关,而瞬态电磁场作用下,由于瞬态场的幅度相对较高,重复周期很长,有时就是单次电磁脉冲作用,平均功率密度已失去意义,因此它对生物体的作用直接与瞬态电磁场的波型因素——波形、幅度、脉冲宽度及重复频率直接有关。

2.2 生物样品处的环境功率密度及其比吸收率

众所周知只有进入生物体样品内且被其吸收部分的电磁波才能与生物效应有关,生物样品处的环

境功率密度 P 与生物样品的比吸收率(SAR; Specific Absorption Rate)是间接和直接描述这部分电磁能量的参数,研究中以比吸收率 SAR 作为基本计算量,其算式为:

$$R_{SAR} = P_{at}/M_t \quad (1)$$

即为生物样品吸收的总电磁功率 P_{at} 与生物样品质量 M_t 之比。由于瞬态电磁脉冲对生物体作用的特殊性,特别是对细胞的作用是一个非线性过程,而且为一不稳定的过程,使得实验中定量测定及定性计算分析都较连续波复杂得多。

2.3 照射生物样品系统环境

目前的电磁生物效应实验为避免外场干扰多采用封闭系统,传统的实验装置主要有波导照射系统和微波无反射传输室。不同系统在实验中存在如下差异:①不同电磁系统受外界电磁场的影响不同;②不同照射系统产生照射的场分布不同,均匀度也不同;③生物样品所在处的电磁波的驻波系数不同。所有这些都导致 SAR 的差异。由于瞬态电磁脉冲的频谱很宽,实验装置必须是一个超频带(UWB)系统,例如 GTEM cell 系统^[9]。

2.4 温度等环境因素的影响

环境因素的变化有时可能引起与电磁波照射相同的生物学效应,因而只有排除这些因素变化带来的影响,才能得出更为科学有效的结论,而其中以温度要素的影响为甚,其原因有3:①电磁波照射总会在生物体内产生热量,引起温度或各部分能量的变化,从而导致某些生物学效应的产生,那么如何确定该效应是常规加热方式产生的还是电磁波所特有的?②电磁波的非热效应是与进入生物样品内转变为热的那部分电磁能无关的效应,所以更应控制温度以排除其变化带来的影响;③瞬态脉冲电磁场作用下的生物效应不仅产生热效应,同时还伴随有强烈的非热效应,甚至非热效应在其中起主导作用,如何更有效地排除外界环境温度对实验结果的影响?目前国内外学者研究证明^[10]具有峰值电场强度为 100 kV/m 的 EMP 作用于生物体时,会导致生物体内产生强烈的感应电流和很强的感应电场,但时间仅持续 20 ns ,即相当于在 $2 \times 10^{-8} \text{ s}$ 的时间内有 24 MW 的电功率加到生物体与大地间,结果相当于即使生物体内一克水升温仅 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$,但却对生物细胞

有强烈的破坏作用,显然这并非是热效应的结果。为此要求在瞬态电磁生物实验中,使电磁传输室具有恒温控制装置,以保证实验组与放于恒温箱中的对照组保持同温,使实验数据结果更具可比性。

除上述因素外,受瞬态电磁场辐射生物体的尺寸、质量、实验生物体的生理与心理状况、实验样本数和生物统计分析法等都可能影响到实验的结果。

3 瞬态电磁生物效应实验的重复性

造成瞬态电磁生物效应实验重复性较差的原因是多方面的,除上述各物理实验条件等要素外,系统对象及其实验方法又是影响其结果的另一重要因素。这是由生物代谢动态进程中的电磁干扰假设可知,瞬态电磁脉冲作用下的非热生物效应是弱电磁场对离子、生物大分子和化学键等的作用,通过新陈代谢得以放大的宏观结果。瞬态电磁场对这些微观结构的影响往往是一种概率作用,下面从量子力学的原理出发给予证明。

一生物系统可描述为由多个非平衡的子系统构成的动态平衡系统,假设实验中某一时刻将多个开放子系统 O_i 与电磁系统 O_r 共同构成一孤立系统 S ,而各子系统 $O_i (i=1, 2, \dots, n)$ 间具有复杂的相互作用。

当孤立系统仅由 O_1, O_2 及电磁辐射 O_r 三个子系统构成时,并设 $|i_1\rangle_{O_1}, |i_2\rangle_{O_2}$ 和 $|i_r\rangle_{O_r}$ 分别为完备正交归一化态矢量,在 O_r 作用下,求得对 O_1+O_2 测量态 $|i_1\rangle_{O_1} |i_2\rangle_{O_2}$ 性质的概率为:

$$W_{12} = O_2 \langle i_2 | O_1 \langle i_1 | \rho_m | i_1 \rangle_{O_1} | i_2 \rangle_{O_2} \quad (2)$$

式(2)中 ρ_m 为开放系统 O_1+O_2 的密度算符,同样在 O_r 作用下,对 O_1 测量态 $|i_1\rangle_{O_1}$ 性质的概率为:

$$W_1 = \sum_{i_2} W_{12} \quad (3)$$

对任一次测量总有 $W_{12} \geq 0$,且 W_{12} 不恒为零,则

$$W_1 > W_{12} \quad (4)$$

由于 O_1+O_2 是包含有 O_1 ,而比 O_1 更复杂的子系统, $W_1 > W_{12}$ 说明了通过实验测量瞬态电磁场对 O_1 作用结果的概率大于测量对 O_1+O_2 作用结果的概率,即前者的实验重复性要好于后者,也正是子系统之间相互作用的不确定性,使实验重复性降低了。

如果 O_1 与 O_2 间的相互作用完全确定,即对每一个 $|i_1\rangle_{O_1}$ 只有唯一的态 $|i_1\rangle_{O_1} |i_2\rangle_{O_2}$ 与之对应,则:

$$W_1 = W_{12} \quad (5)$$

进一步假设 S 是由 m 个子系统和 O_r 构成的孤立系统,同理可证:

$$W_{o_{m-k}} > W_{o_{m-k} o_m} \quad k < m \quad (6)$$

O_{m-k} 是由 $(m-k)$ 个子系统构成的开放系统,而 O_m 是含有 O_{m-k} ,并比其更复杂的子系统。由此即证明了瞬态场产生的非热生物电磁效应的概率随生物系统复杂程度的增加而减小。

4 结论

由上述讨论可知,为提高瞬态电磁生物效应试验的重复性须从以下 3 个方面入手:一是针对瞬态电磁效应的特殊性,选择合适的实验装置及物理实验要素条件;二是采用尽可能简单的生物对象来进行实验;三是将生物体内部的复杂的相互作用关系研究清楚并加以控制。前 2 种方法是我们目前常采用的方法,但实验的重复性仍不理想,因采用简单的生物对象进行实验所取得的成果(如离体细胞的生物效应),有时很难推广到复杂生物(如动物活体)对象中,因此我们认为采用第三种方法来提高瞬态电磁生物效应实验的重复性更为可取,但同时难度也较大。正因如此,解决瞬态电磁生物效应实验重复性的关键在于要深入研究生物体内部的各种相互作用,尤其是研究各种新陈代谢变化间的相互影响,并加以控制。

参 考 文 献

[1] STUCHLI M A. Electromagnetics in biology and medicine[J]. Radio Science 1995, 30(1): 471-522.
 [2] 高细红. 电磁场的生物效应[J]. 电子科技导报, 1995, 4: 14-16
 [3] ZOLIN V F. Bioelectromagnetics in russia [J]. Radio Science, 1995, 30(1): 255-265.
 [4] 李辑熙, 牛中奇. 生物电磁学概论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990.

一次,以便比较各算法码矢趋于最优的情况。实验结果见表1。

表1 实验结果

Tab.1 Result of experiment

测试图像	DCL 算法 重构质量(dB)	FSCL 算法 重构质量(dB)	FSOFM 算法 重构质量(dB)
Miss	40.3587	39.5126	36.5855
Girl	40.5284	38.5851	36.9443

从表1可见,DCL算法趋于最优(速度最快),恢复的峰值信噪比高于其它两种。因此,在较大压缩比的情况下,DCL算法是较好的形成码书的算法。

DCL算法下,对采用非线性插补矢量量化技术后,编码算法情况下的恢复图像的质量(峰值信噪比PSNR),如表2所示。快速算法带来的信噪比的下降是很小的,基本不影响恢复图像的主观质量。

表2 恢复图像的质量

Tab.2 Quality after image restoration

测试图像	一般矢量量化的 恢复质量(dB)	非线性插补技术 的恢复质量(dB)
Miss	40.3587	40.2895
Girl	40.5284	40.4292

4 结 论

从以上实验结果可知,本文提出的基于小波变换的矢量量化编码算法,矢量量化器的性能是较优的,在较高的压缩比条件下能获得较好的图像恢复

质量,是一种有效的图像压缩编码算法。

参 考 文 献

- [1] YAIR E, et al. Competitive learning and soft competition for vector quantizer design [J]. IEEE Trans on SP, 1992, 40(2):294-309.
- [2] 黎烘松,全子一. 图像矢量量化—频率敏感自组织特征映射算法[J]. 通信学报, 1995, 16(2):59-64.
- [3] CIERNIAK R, RUTKOWSKI L. On image compression by competitive neural networks and optimal linear predictors [J]. SP Image Communication, 2000, 15:559-565.
- [4] 王进,等. 矢量量化的误差竞争学习算法[J], 数据采集与处理, 2000, 15(3):281-283.
- [5] GERSHO A. Asymptotically optimal block quantization [J]. IEEE Trans on IT, 1979, 28(2):157-166.
- [6] 李弼程,等. 小波变换中滤波器的选择[J]. 信号处理, 1998, 14(增):28-32.
- [7] GERSHO A. Optimal nonlinear interpolative vector quantization [J]. IEEE Trans On Com. 1990, 38(9):1285-1287.
- [8] LINDE Y, et al. An algorithm for vector quantizer design [J]. IEEE Trans On Com 1980, 28(1): 84-95. (编辑:郭继笃)

(上接 86 页)

- [5] 黄卡玛. 生物代谢动态过程中的电磁干扰 [J]. 中国科学, B 辑, 1995, 25(3): 289-294.
- [6] GAILEY PC, Easter CE. Cell membrane Potentials induce during exposure to EMP fields [J]. Electro-and Magnetobiology, 1994, 13(2):195-201.
- [7] 王保义,杨杰斌,郭庆功. 毫微秒电磁脉冲的生物效应实验研究和机理分析[J]. 中国科学, C 辑, 1997, 27(1):35-39.
- [8] PAOLO Bernardi. A Nonlinear analysis of the effects of transient EM fields on excitable menbrances [J]. IEEE Trans, 1984,

32(7):670-678.

- [9] HUANG Kama, LIU Yongqing. A simple method for calculating electric and magnetic fields in GTEM cell [J]. IEEE Trans, 1994, EMC 36(4):335-340.
- [10] GUY A W. Analysis of time domain induced Current, SAR and absorbed energy distributions in human and nonhuman Primates exposed to EMP electric fields [R]. Final report, University of Washington, Seattle, 1990. (编辑:龙能芬)