磁刺激穴位对人体神经功能调节作用

徐桂芝[1] 张秀[1] 杨庆新[2] 杨硕[1] 颜威利[1]
（1. 河北工业大学电磁场与电器可靠性省部共建国家重点实验室 天津 300130 2. 天津工业大学电气工程与自动化学院 天津 300160）

摘要 针灸的基本作用在于疏通经络、调和阴阳、扶正祛邪，本质是通过针刺产生的生物信息调整机体的功能。磁刺激以其诸多优点在人体神经功能调控、疾病治疗与康复理疗等方面具有独特的成效，与传统针灸作用有异曲同工之处。本文在分析磁刺激和针灸对人体神经调节功效基础上，将磁刺激技术和传统的经络理论相结合，采用脉冲磁场刺激穴位，同时采集诱发的脑电信号，利用样本熵分析不同刺激频率下脑电信息的差异，研究磁刺激穴位对大脑神经功能所产生的影响。

关键词：磁刺激 穴位 脑电信号 神经功能 机理分析
中图分类号：TM15

Effects of Magnetic Stimulation on Acupoints for Regulation of Human Neural Function

Xu Guizhi[1] *Zhang Xiu*[1] *Yang Qingxin*[2] *Yang Shuo*[1] *Yan Weili*[1]
（1. Province-Ministry Joint Key Lab of Electromagnetic Field and Electrical Apparatus Reliability Hebei University of Technology Tianjin 300130 China 2. Tianjin Polytechnic University Tianjin 300160 China）

Abstract The basic principle of acupuncture is to regulate the body function by mean of the biological information evoked by stimulating some acupuncture points. The special functions of acupuncture are to dredge the pass of veins and arteries of a human body for promoting blood circulation and then to attain the purpose of disease cure. Magnetic stimulation also has many excellent effects in nervous regulation, disease cure, and rehabilitation as well as many ways, which are similar effects with acupuncture. In this paper, the functions and mechanism of magnetic stimulation and acupuncture are analyzed respectively, some effects of magnetic stimulation on acupoints for human neural function are explored by the analysis of evoked EEG signals with sample entropy method.

Keywords：Magnetic stimulation, acupoint, EEG(electro encephalogram), neural regulation, mechanism

国家自然科学基金（50877023）和河北省自然科学基金（E2008000053）资助项目。
收稿日期 2009-12-11 改稿日期 2010-01-21

1 引言

1985 年，Baker 等人将平面线圈置于正常人运动区的头皮上，观察到手肌的抽动，用表面电极在小指外展肌记录到运动皮质诱发电位，这是磁刺激（magnetic stimulation）技术首次在人体上实现的大脑皮层中枢神经刺激。在迄今的几十年时间里，磁刺激以其有效、无痛、无损伤、无需接触电极、易于重复和操作简便等显著的优点，在中枢神经功能检测和神经肌肉功能恢复等应用中日益成为生物医学工程研究的热点[1-2]。

针灸学古老而优秀，是我国古代的一大发明，

在国际上处于领先地位的学科。目前已有 160 多个国家接受并开始使用针灸，针灸的科学研究已成为科学界关注的热点之一 [3]。在针灸原理研究方面，研究针灸效应的生物学基础及经穴的效应规律，探讨针灸效应的信息传导机制、规律及其途径，是揭示针灸疗效原理、阐述经络学说的重要科学问题，近年来被科技部和国家自然科学基金委列为重点资助的研究内容。

目前，磁刺激及其应用方面的研究主要是面向经颅磁刺激在脑认知、脑功能及诊疗作用的研究居多。对磁刺激诱发生物体内电信号特征、信号在组织中传导的机理、磁刺激的定量分析等研究的较少，尤其是在磁刺激与传统中医穴位功效相结合方面的研究目前更少。

磁刺激以其诸多优点在人体神经功能调控、疾病治疗与康复理疗等方面具有独特的成效，穴位是中医针灸调控神经系统由体表刺激到体内的切入点。本文将磁刺激和传统中医穴位、经络传导相结合，研究磁刺激穴位对人体神经功能的调节作用，为磁刺激技术在临床应用中开辟另一新途径，同时也为中医针灸技术的理论研究和定量化分析提供基础。

2　磁刺激与针灸的作用功效对比分析

2.1　磁刺激对人体神经功能调节作用分析

人体的一些组织如大脑皮质、周围神经以及心肌可以在外界用时间变化的电磁场加以刺激，产生兴奋。这种刺激可以通过对组织直接进行电刺激或者用电磁诱发的方式（磁刺激）实施。

神经细胞（也称为神经元）是构成神经系统结构和功能的基本单元。跨膜电压是细胞膜内外两侧的钾和钠离子等离子浓度不同而形成的细胞膜两侧的电位差。当组织细胞受刺激作用时，跨膜电压会发生变化。当跨膜电压超过一定的阈值以后，细胞膜对钾离子和钠离子的通透性会发生变化。

生物组织有对外界因素发生反应的能力，当作用达到阈值后，组织发生反应（如肌肉收缩等），被称为兴奋。这些反应的共同特征都是由于受到刺激的细胞膜两侧的电压（即跨膜电压）发生改变的结果。

磁刺激是通过在放置于体表上方的线圈中通入脉冲电流，进而在线圈周围产生脉冲磁场，由脉冲磁场在体内产生感应电流，引起跨膜电压的变化，从而影响组织或神经系统的功能状态和大脑的活动状态，达到刺激目的。如果刺激造成膜内电位升高，就被称为兴奋性刺激。反之，如果刺激造成膜内电位比原来更负，就被称为抑制性刺激。

在中枢神经功能检测和神经肌肉功能恢复的医疗研究中，传统的方法是使用表面电极对组织进行电刺激，由于皮肤、骨骼和脂肪传导性低，使得电刺激很难刺激到深部的组织和神经，且因为大的表面电流会产生疼痛感甚至无法忍受。在磁刺激中，由于各生物组织或器官的磁导率基本相同，磁场容易透过皮肤和骨骼而达到深层组织，因而磁刺激技术可无创性应用于神经刺激以及深部神经组织中。磁刺激线圈不与受测试者身体有任何接触，不需要对皮肤进行任何预处理就可以直接刺激受损伤部位和暴露部位，不会引起疼痛，机体与外界无电联系，因而安全性好。因此，磁刺激较传统的电刺激有很多优点，这也正是磁刺激成为神经科学特别是脑神经研究热点的原因 [4-5]。

2.2　针灸对人体神经功能调节作用分析

针灸已成为世界公认的体表穴位刺激的代表，是人类医疗健康体系的重要组成部分。

当针刺穴位时，相应的神经细胞受到刺激，因为细胞膜离子通道有化学受体门控和电学电压门控之分，所以针刺穴位能够产生化学和电学两种生物信号，由此形成化学和电学两种信息。两种信息既相互独立又相互作用，利用人体极其复杂的信息网络调节机体内的能量和物质代谢，进而调整人体各器官的生理机能。如，针灸具有良好的镇痛作用已为国内外医学界所公认，其可能的机理是针刺镇痛开始于穴位深部感受器的兴奋，针刺信号沿着一定的外周径路和中枢径路逐步传导到脑的高级部位，从而形成针感并产生镇痛和针刺镇痛效应。

关于针灸的机理方面，有的学者指出：经络学说的科学价值在于揭示人体 “体表与体表 ”和“体表与内脏 ”之间特定的联系规律。针刺信息的传递是神经体液的通路。经络功能可能是神经 —内分泌—免疫三个系统网络在某些功能作用上的综合体现。神经不等于经络，但经络与神经密切相关。针刺穴位后，针刺信息由外周传入通路进入中枢有关各级脑部，经中枢整合调节后，通过传出途径对脏腑器官的活动和痛反应进行调节和控制，已有实验证明，针刺效应的外周传出途径与神经反射性通路和神经—体液途径有关。

针灸疗法用于缓解疼痛和治疗其他疾病已有几千年的历史。以往的研究表明，中枢神经系统对不同频率的穴位体表电刺激有不同的反应。这些结果

提示，中枢神经系统可能具有对不同频率的穴位体表电刺激做出特异性反应的能力。这些特异性反应可能代表了不同针灸手法和不同电刺激参数产生不同治疗效果的可能机制 [6-7]。

2.3 磁刺激与针灸的作用功效对比分析

综上所述，磁刺激在人体神经功能调控、疾病治疗与康复理疗等方面的成效，与传统针灸作用有异曲同工之处，可以归纳为以下三个方面：

（1）在刺激方式方面

磁刺激和针灸都是属于体表刺激。针灸治病没有物质的输入，既不是药物疗法也不是手术疗法而是一种特殊的信息疗法。磁刺激也没有物质的输入，同样既不是药物疗法也不是手术疗法，而是一种特殊的信息疗法。

（2）在作用机理方面

针灸疗法本质是通过针刺产生的生物信息调节机体的各种功能，信息调控是针刺疗效的基本特征。穴位区是个感受器，也可以看作是生物换能器，是针刺电信号的产生源，也是针刺转换为动作电位序列的转换器。

磁刺激是基于电磁感应的基本原理，在外界用时变电磁场以无创的方式对人体可兴奋细胞进行刺激。这种刺激对组织用电磁诱发的方式实施，诱发电场会造成跨膜电压的变化，从而引起生物电流在组织中传导，使神经纤维、神经元和肌肉去极化并发放神经冲动，最终使组织或神经系统的功能状态发生改变。

因此，两者都是通过体表刺激诱发机体进行信息调控，影响生物组织或神经系统的功能。

（3）作用效果和应用方面

中医理论认为，针灸的基本作用在于疏通经络、调和阴阳、扶正祛邪，主要用于人体机能调整，在疾病的预防和治疗、身体功能康复与保健等方面具有其独特的效果。

磁刺激的作用主要是神经功能的调控，不仅在神经、精神疾病（如癫痫、抑郁症、帕金森等） 的治疗及机体功能康复等方面具有独特的疗效，而且也是脑神经功能、脑认知等方面研究的有效手段之一。

两者均用于机体功能的调控、疾病的治疗、康复，基本属于物理疗法，无需手术和药物。

3 磁刺激穴位作用效应研究

本研究旨在将通过磁刺激穴位，同时提取脑电、心电、肌电信号，分析不同的磁刺激参数（频率、强度等）以及不同穴位的刺激所引起的差异，分析其作用效应及对神经功能的调节作用，以及不同穴位与脑功能区域的映射关系，具体研究工作思路如图 1 所示。

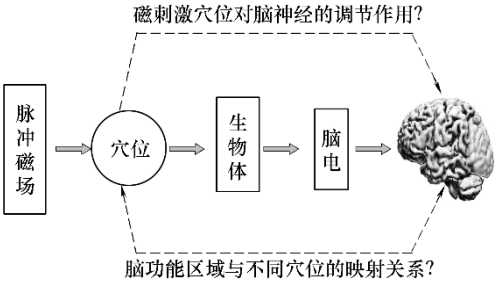


图 1 磁刺激穴位研究问题的思路示意图

Fig.1 Illustration of research problems of magnetic stimulation on acupoint

本文分别选取神门、足三里、合谷等与脑神经功能有密切关联的穴位作为刺激的靶点目标，采用英国 Magstim 公司生产的重复频率磁刺激器（Rapid²）设计产生磁刺激的脉冲序列，分别进行相同强度、不同频率（ 0.5Hz、1Hz 和 3Hz）的磁刺激。利用美国 NeuroScan 公司的 128 导脑电分析仪，同步采集磁刺激诱发的脑电信号，将采集到的脑电信号进行样本熵分析，绘制了基于样本熵值的脑电信息图，研究不同磁刺激频率与安静状态下脑电样本熵值的变化以及不同磁刺激频率对穴位的作用成效和不同穴位的特异性。初步的研究结果表明 [8]：

（1）磁刺激穴位可以引起脑电样本熵值的变化，但是不同的频率引起的变化不同。因此，可以利用样本熵值把不同状态下的脑电信号较好地区分开来。图 2 给出了磁刺激足三里穴位时脑电信号的样本熵值曲线，从图中可以看出，随着磁刺激频率的增加，样本熵值相应地增加。其中， 3Hz 磁刺激时样本熵值的增加是最明显的，即大脑处于最复杂的状态，神经元的活动更加无序，说明大脑的复杂度升高，大脑处于较兴奋的状态，可以认为这与足三里穴可以消除疲劳的功能相关。图 3 给出了不同频率磁刺激足三里穴位时基于样本熵值的脑电信息图，从图中也可以得到同样的结论。

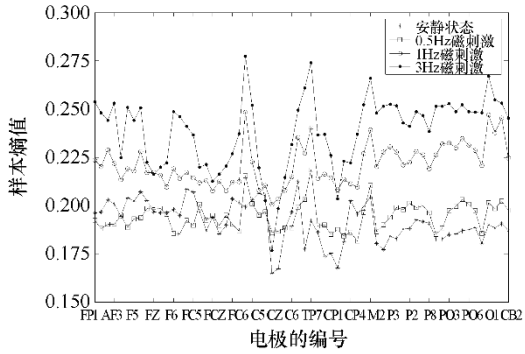


图 2　不同频率磁刺激足三里穴时脑电样本熵值

Fig.2　EEG sample entropy after stimulating the acupoint Zusanli with different frequencies

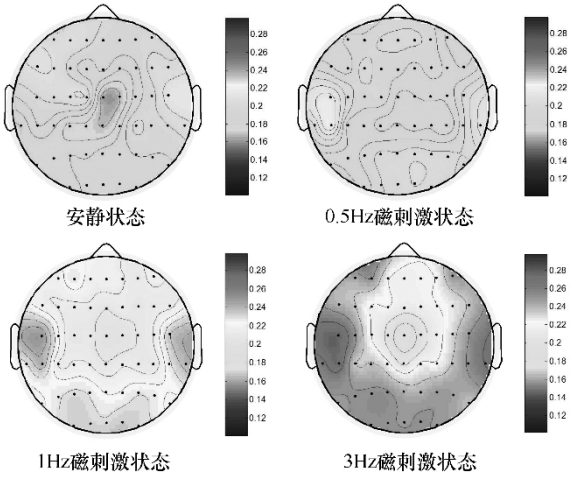


图 3　不同频率磁刺激足三里穴时基于样本熵值的脑电信息图

Fig. 3　Brain information mapping based on sample entropy with different stimulations on Zusanli

（2）对不同穴位进行相同频率磁刺激时，大脑不同功能区的样本熵的变化是不同的，反应了不同穴位的特异性。例如 0.5Hz 磁刺激时，足三里穴的结果中是左颞叶区和右枕区的样本熵值的增加较明显，神门穴的结果中是颞叶和枕叶的样本熵值的增加较明显，合谷穴的结果中样本熵值的变化除枕叶外呈明显的减少趋势。

（3）不同频率磁刺激神门穴时，尤其是 0.5Hz 和 1Hz 时会导致部分脑功能区样本熵值的减小，大脑复杂度较低，神经元活动趋于有序，可以认为与神门穴的安神功能有关；对合谷穴的磁刺激结果中发现：0.5Hz 和 1Hz 磁刺激后，脑电的样本熵值有大范围的减小，可以认为这与合谷穴的镇静止痛功能相关联。

需说明的是，由于实验条件及分析方法有限以及不同被试的差异，上述结果还有待进一步验证。

4　总结与讨论

本文在分析磁刺激和针灸对人体神经功能调节作用的基础上，将磁刺激和传统中医穴位、经络传导相结合，对磁刺激穴位诱发的脑电信号进行分析，探讨磁刺激穴位的作用功效，为磁刺激穴位的理论研究和临床应用奠定了基础。

穴位磁刺激技术是现代医学技术和传统中医学相结合的新范例，不仅为磁刺激技术应用又赋予新的内容，同时让传统的中医学显示出更强的威力，为机体调控、疾病治疗与康复、神经功能研究又开辟了新的途径。这为传统中医学和现代医学技术在此找到了一个共同的切入点，一切都还刚刚开始，希望在于探索。

参考文献

[1] Barker A T, Freeston I L, Jalinous R, et al. Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation[J]. Neurosurgery, 1987, 20(1): 100-109.

[2] 陈昭燃，张蔚婷，韩济生．经颅磁刺激：生理、心理、脑成像及其临床应用 [J]．生理科学进展，2004, 35(2): 102-106.
Chen Zhaoran, Zhang Weiting, Han Jisheng. Transcranial magnetic stimulation (TMS): physiology, psychology, brain mapping and clinical applications[J]. Progress in Physiological Sciences, 2004, 35 (2): 102-106.

[3] 世界针灸学会联合会主办针灸中国网 . http: //www. acucn. com

[4] Kai Hsiung Hsu, Nagarajan S S, Durand D M. Analysis of efficiency of magnetic stimulation[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2003, 50(11): 1276-1285.

[5] Yamaguchi S, Ogiue-Ikeda M, Sekino M, et al. The effect of repetitive magnetic stimulation on the tumor development[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2004, 40(4):3021-3023.

[6] 金真，张蔚婷，罗非，等．人脑对不同频率穴位电刺激反应的功能性磁共振成像 [J]．生理学报，2001, 53(4): 275-280.
Quan Zhen, Zhang Weiting, Luo Fei, et al.

Frequency-specific responses of human brain to peripheral transcutaneous electric nerve stimulation: a functional magnetic resonance imaging study[J]. ACTA Physiologica Sinica, 2001, 53(4): 275-280.

[7] Yew Long Lo, Cui S L, Chong S Fook. The effect of acupuncture on motor cortex excitability and plasticity[J]. Neuroscience Letters, 2005, 384: 145-149.

[8] 张秀. 磁刺激穴位诱发脑电信号分析 [D]. 天津: 河北工业大学 , 2008.

作者简介:徐桂芝 女，1962 年生，教授，研究方向为生物电磁技术，医学电子学。张 秀 女，1983 年生，博士研究生，研究方向为生物电磁技术。