

更加充分利用众多层次上的复杂性来优化材料的性能. 目前,已经探明的部分还只相当于冰山浮露在水面上的部分,大部分问题还潜伏在水面之下,尚有待于进一步的探测.

参 考 文 献

- [1] 冯端、金国钧,凝聚态物理学新论,上海科技出版社,(1992).
- [2] R. Feynman, *Engineering and Science*, Feb. (1960) ,22.
- [3] R. M. White, T. H. Geballe, *Long Range Order in Solids*, Academic Press.
- [4] 夏建白、朱邦芬,半导体超晶格,上海科技出版社,(1995).
- [5] M. A. Hause et al., *Appl. Phys. Lett.*, **59**(1991) ,1272.
- [6] L. T. Canham, *Appl. Phys. Lett.*, **57**(1990) ,1046.
- [7] L. S. Liao et al., *Appl. Phys. Lett.*, **66**(1995) ,2882.
- [8] G. Prinz, *Phys. Today*, April(1995) ,58.
- [9] H. Gleiter, *Progr. Mat. Sci.*, **33**(1989) ,4.
- [10] 闵乃本,凝聚态物理学进展,江苏科技出版社,(1993) ,26.
- [11] P. P. Edwards, C. N. R. Rao, (eds.), *The Metallic and Nonmetallic States of Matter*, Taylor and Francis, (1985).
- [12] J. C. Fuggle, G. A. Sawatzky, J. W. Allen, (eds.), *Narrow Band Phenomena*, Plenum Press, (1988).
- [13] 张其瑞(主编),高温超导电性. 浙江大学出版社,(1992).
- [14] S. Jin et al., *J. Appl. Phys.*, **76**(1994) ,6929.
- [15] P. G. De Gennes, J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals*, 2nd ed., Clarendon Press, (1993).
- [16] J. Kido et al., *Science*, **267**(1995) ,1332.
- [17] P. G. De Gennes, *Scaling Concepts of Polymer Physics*, Cornell Uni. Press, (1979).
- [18] J. H. Burroughs et al., *Nature*, **347**(1990) ,539.
- [19] K. Meerholz et al., *Nature*, **371**(1994) ,497.
- [20] R. S. Phadke, *Cond. Mat. News*, **4-4**(1995) ,18.

高级脑活动的功能性核磁共振成像*

崔 汪云九 陈润生

(中国科学院生物物理研究所,北京 100101)

唐 孝 威

(中国科学院高能物理研究所,北京 100039)

摘 要 功能性核磁共振成像(fMRI)技术可以显示大脑各个区域内静脉毛细血管中血液氧合状态所起的磁共振信号的微小变化.使用fMRI的方法,可以在正常的活体上无损伤地实现大脑活动的功能定位,时空分辨率可分别达到秒和毫米数量级,尽管目前还面临一系列技术上的困难,fMRI已日益成为观察大脑活动,研究人脑的拓扑结构,进而揭示脑和思维关系的一种重要方法.

关键词 功能性核磁共振成像(fMRI),大脑,认知活动

Abstract Functional magnetic resonance images (fMRIs) exhibit small differences in the magnetic resonance signal intensity in positions corresponding to focal areas of brain activation. These signal are caused by variation in the oxygenation state of the venous vasculature. Using this non-invasive and dynamic method, it is possible to localize functional brain activation, in vivo, in normal individuals, with an accuracy of millimeters and a temporal resolution of seconds. Though a series of technical difficulties remain, fMRI is increasingly becoming a key method for visualizing the working brain, and uncovering the topographical organization of the human brain, and understanding the relationship between

* 1995年10月16日收到初稿,1995年12月15日收到修改稿.

brain and the mind.

Key words Functional magnetic resonance imaging (fMRI), Brain, Cognitive Activity

人类的大脑和双手是一切文明的源泉,是我们征服自然改造世界不可替代的物质基础,揭示思维的本质对于人工智能系统的开发、新一代计算机的研制以及神经系统疾病的防治等无疑都具有至关重要的意义.本世纪以来,神经科学取得了一系列重要成就,特别是在脑功能的细胞和分子基础的研究方面获得了突破性的进展.但我们必须清楚地看到,今天我们虽然较为详尽地了解脑是怎样组成的,但却不知它是如何工作的,特别的有关脑的高级功能的认识还相当肤浅.这主要因为脑是一个由上百亿个神经元通过精巧结合而成的多层次、高水平的信息加工处理系统.感知和识别,学习和记忆,运动和控制,语言和思维,情感和意志,智能和创造等等脑的高级功能都是涉及整个皮层大量神经元相互作用的整体性动力学行为,体现为一种协同现象,它决非神经元个体行为的简单叠加,而是成百上千具有不同专门功能子系统协作的结果.传统的自上而下、化整为零、孤立静止的研究方法无法反映脑的精神和物质世界的真实面貌.脑的高级功能的研究需要新的理论方法和实验技术.

鉴于高级认知活动本身的一些特点,有关的探测必然在技术上受到以下约束:首先,实验必须可以在高级哺乳动物活体上进行,最好可以直接用于人.还要使实验对象处于清醒状态.传统的电生理实验大多是在动物处于麻醉丧失意识的条件下进行的,脑的高级功能此时已无法表现;其次,实验观测必须是无损伤的,这一方面来自于伦理上的要求,另一方面也是保证观测时正常生理活动不受干扰.还有,实验必须是在整体水平上进行观测的协同性研究.高级功能的实现需要许多脑区的协作,小尺度的记录是无法获得这种协同性信息的,因此,实验仪器要有一定的探测尺度和空间分辨率.另外,这种实验必须是一种动态研究.因为脑的高级活

动是一种复杂的动力学过程,仅仅研究其中一个或少数几个状态片段是无法洞察其整个行为过程的.因此,这种观测要有一定的时间分辨率.90年代以来功能性核磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)技术的发展,正是为在活体情况下无损伤地记录脑的整体性动态活动打开了一扇希望之窗^[1,2].

由于原子核具有磁矩,处于外加静磁场中的原子核系统会发生塞曼能级分裂,当它受到某一频率的电磁波作用时,在它的不同磁能级之间会发生共振跃迁,这就是核磁共振.自从1946年美国物理学家珀塞尔(E. M. Purcell)和布洛赫(F. Bloch)各自独立地发现了该现象以来,它已被广泛应用于物理、化学、生物、医学等诸多领域,特别是在人体断层成像方面取得了长足的进展^[3,4].

人体核磁共振成像中,被探测核目前主要是氢核.人体的不同组织具有不同的氢核浓度、纵向弛豫时间(自旋-晶格弛豫时间) T_1 和横向弛豫时间(自旋-自旋弛豫时间) T_2 .如果对人体内被探测核的空间位置进行编码,就能获得氢核 T_1 , T_2 组合信息的空间分布.

核磁共振成像的方法有许多种,发展也非常快,但它们都有一个共同点,就是在主磁体均匀磁场上叠加一梯度磁场,利用被探测对象处的空间磁场进行编码.因为处于不同场强中的氢核将产生不同共振频率的信号,这样就可以区分不同空间位置的信息.

常规MRI直接编码有关氢核组合信号的空间分布,得到的是体内组织的静态结构信息,无法反映其功能上的变化.而fMRI的主要探测的生物学指标是大脑皮层在完成某一功能的过程中静脉毛细血管内血氧浓度的变化,需要进行连续的动态记录,往往还要对得到的信号进行相减,以扣除结构信息带来的影响.血液中氧合血红蛋白是抗磁性物质,脱氧血红蛋白是

顺磁性物质,它们又具有不同的弛豫时间,如果大脑皮层组织中的静脉毛细血管内有较多的氧合血红蛋白,则经过射频脉冲激发后的弛豫过程较慢,此时记录到的核磁共振信号强度就要比脱氧血红蛋白含量高的条件下的信号强度高.脑活动时,皮层组织代谢活动的增强将引发不同微区内的血流量,流速以及含氧程度的增加,从而导致磁共振信号强度的改变.利用快速高分辨回波磁共振成像即可显示这种变化的时空分布,从而识别一定的功能区域,建立刺激响应关系,进而研究大脑的工作机制^[5,6].

利用fMRI方法定性观察一定刺激下脑功能对应的皮层活动区域,获得图像的空间分辨率目前可以达到1mm以下,与大脑皮层功能柱尺度相似,明显高于正电子发射断层图(positron emission tomography, PET)等传统脑成像方法.而且fMRI还有较高的采样速度,十分钟内连续拍摄数千张脑状态图目前是不成问题的,实验结果也具有较好的可重复性,这就使得跟踪比较研究某些认知过程和神经系统功能性疾病成为可能.除此之外,还可以利用选择性化学移位快速梯度回波成像与定位核磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)方法相结合研究脑活动过程中各微区的神经递质及代谢产物的变化,实现无损伤地在分子水平上研究神经系统的活动^[7].

与传统方法相比,fMRI不仅具有无放射性,无试剂侵入,可在同一被试者身上多次重复实验,多种可观测因素和多种信号对比机制,快速高分辨(时空分辨率近期可望分别达到100 μ m和几十毫秒)等优点,而且通过近两年来技术上的改进,可以只需利用磁感应强度在1—2T左右的常规核磁共振成像仪和FLASH(fast low-angle shot)脉冲等普通成像技术即可实现,从而突破EPI(echo planar imaging)对硬件设备、采样方式及处理过程的特殊要求,因此有关实验可以在无需投入较大成本的条件下即可进行.

神经科学家目前已经利用fMRI对大脑皮层感知和运动等中枢进行了较为系统的研究,

在正常人脑上证实并拓宽了以前在病人脑和灵长类动物脑上得到的实验结果,获得了更为详尽的资料,例如,加州大学圣迭戈分校的Sereno等人使用fMRI和相位编码刺激技术成功地实现了人脑视皮层V1, V2, VP, V3, 和V4各个子区的活体精确定位^[8];明尼苏达大学医学院的Kim等人对大脑半球运动区的fMRI研究结果表明,无论受试者是左利手还是右利手,大脑右半球运动区的磁共振信号的变化总是在左手运动时达到最大,右手运动引发的信号变化却很小,相反,左、右手运动引起的右半球运动中枢的信号却非常接近,尤其是对左利手者左、右手引起的信号变化近乎相等,这不仅在正常人脑上证实了以往神经心理学研究中通过病人实验得出的结论,还进一步揭示了大脑半球运动功能的不对称性及其与惯用手之间的关系^[9,10];美国国立卫生院的Karni等人训练健康成年人反复学习一套较复杂的手指运动,并同时使用fMRI观测其初级运动皮层(M1区)的信号变化时发现,在初期训练模式,在M1区内激活的信号变化范围有变小的迹象,这相当于一种习惯化,但稍后激活范围就会逐渐变大,显示出一种增强效应,四个星期后受试者完成训练模式运动时M1区激活范围要比完成非训练模式运动时的激活范围大,而且这种变化可以保持长达几个月之久,这对于理解成年人的技巧性学习与运动皮层可塑性变化的关系具有重要的意义^[11],这些信息都是目前其他研究方法难以获得的.而且,还可以通过巧妙地设计实验,拍摄心理操作过程中大脑活动“电影”的方法逐步揭示高级思维活动的机制.

fMRI目前还是一门蓬勃发展的技术,需要进一步做的工作还非常多,例如:fMRI探测的毕竟只是血氧浓度的变化,而不是神经元本身的电活动,血液磁化率或含氧量与fMRI信号强度之间有何定量关系,它们究竟可以在多大程度上反映大脑的功能,成像体积元大小,回波时间,磁场强度等因素到底对成像质量有何影响.还有,通过fMRI的观测结果对大脑活动进行结构、功能和机制上的整体性描述和解释,

更是需要长期深入细致的研究^[12].

总之, fMRI 的出现无疑会对当代脑和认知科学的发展起巨大的推动作用, 是高级神经活动实验研究的一条行之有效的途径. 但遗憾的是, 时至今日, 我国在该领域内的研究尚处于空白状态, 要从根本上改变这一局面, 不仅需要神经科学家和心理学家, 还需要真正对脑感兴趣的物理学家、生物化学家和计算机科学家的通力合作.

参 考 文 献

[1] M. Barinaga, *Science*, **268**(1995), 803.
[2] S. A. Engel, D. E. Rumelhart, B. A. Wandell et al., *Nature*, **369**(1995), 525.

[3] R. Damadian, *Science*, **171**(1971), 1151.
[4] P. C. Lauterber, *Nature*, **242**(1973), 242.
[5] M. S. Cohen & S. Y. Bookheimer, *TINS*, **17**(1994), 268.
[6] J. Sergent, *TINS*, **17**(1994), 221.
[7] R. A. Kauppinen, S. R. Williams, A. L. Busza et al., *TINS*, **16**(1993), 88.
[8] M. I. Sereno, A. M. Dale, J. B. Reppas et al., *Science*, **268**(1995), 889.
[9] S.-G. Kim, et al., *Science*, **265**(1994), 949.
[10] S.-G. Kim, J. Ashe, K. Hendrich et al., *Science*, **261**(1993), 615.
[11] A. Karni, G. Meyer, P. Jezard et al., *Nature*, **377**(1995), 155.
[12] L. G. Ungerleider, *Science*, **270**(1995), 769.

纳米复合稀土永磁材料*

——稀土永磁领域的新方向

孙校开 赵新国

(中国科学院金属研究所, 沈阳 110015)

张 寿 恭

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

摘 要 纳米复合稀土永磁材料是近几年来在稀土永磁材料研究中发展起来的新兴领域. 它可能是发展新一代稀土永磁材料的重要途径. 文章简要综述了它的理论与实验方面的最新进展.

关键词 纳米复合稀土永磁材料, 剩磁增强效应, 最大磁能积

Abstract Research into nanocomposite rare earth permanent magnet (REP) materials has become very active recently, and may lead to an important means of developing a new generation of REP materials. A brief review of the theoretical and experimental progress in this field is given.

Key words nanocomposite REP materials, remanence enhancement effect, maximum magnetic energy product

的能力, 这两方面品质可以用磁体的最大磁能积 $(BH)_{\max}$ 综合地反映出来. 简单的磁路计算

1 历史概述

永磁体应该具有在无外磁化场情况下保存磁通的能力, 以及在反向磁场作用下反抗退磁

* 国家自然科学基金资助项目.

1995年9月15日收到初稿, 1995年12月25日收到修改稿.