

· 生物电子学 ·

线索化效应的返回抑制研究

田 银^{1,2}, 尧德中¹

(1. 电子科技大学神经信息教育部重点实验室 成都 610054; 2. 重庆邮电大学生物信息学院 重庆 南岸区 400065)

【摘要】针对返回抑制(IOR)脑电研究中线索和靶的交互影响,提出了利用低分辨率源定位算法对外源线索所诱发的源进行定位。结果显示相关神经活动可分为3个阶段:早阶段主要在前额叶皮层、顶内皮层和对侧枕颞皮层;中段在额叶皮层和顶部皮层;晚阶段在同侧顶枕部皮层。上述结果表明, IOR的产生与两个神经网络有关,并支持IOR与注意和动作反应抑制都相关。

关键词 线索化效应; 脑电; 诱发电位; 返回抑制; 低分辨率电磁成像; 神经网络; 阶段
中图分类号 R318 **文献标识码** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-0548.2010.06.029

Study on Inhibition of Return Based on Cueing Effect

TIAN Yin^{1,2} and YAO De-zhong¹

(1. Key Laboratory for NeuroInformation of Ministry of Education, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054;
2. College of Bio-Information, Chongqing University of Posts and Telecommunications Nan'an Chongqing 400065)

Abstract To avoid the interaction between the cue and the target on the electroencephalogram (EEG) study of inhibition of return (IOR), the low-resolution electromagnetic (LORETA) algorithm is used to localize the source after an exogenous cue in this work. The results show that activations may be divided into three stages. In the early stage, activations are in the prefrontal cortex, the intraparietal cortex, and the contralateral occipito-temporal cortex. In the middle stage, activations are in the frontal cortex and the parietal cortex. In the late stage, activations are in the ipsilateral occipito-parietal cortex. These findings indicate that the generation of IOR includes two neural networks, and support that IOR is related to both attention and motor response inhibition.

Key words cueing effect; electroencephalogram; evoked potentials; inhibition of return; low-resolution electromagnetic tomography; neural networks; stages

返回抑制^[1](inhibition of return, IOR)是对外源线索化靶刺激的慢反应,表征对线索化位置突出刺激的反应执行减弱,以此抑制注意重新定向到线索化位置,其最初机制是注意被阻碍返回先前搜索过的位置。自文献[1]报道该效应以来, IOR已成为注意定向研究中的一个重要成分,并成为一个颇有争议的研究热点^[2-3]。

对于外源定向中最初的易化效应与IOR争论的焦点在于:这两种现象是同一加工过程的两阶段还是相互独立的加工过程^[4]。两阶段加工理论被认为是最初对线索化位置进行易化加工,然后被替换成对该位置抑制加工的一个两阶段的注意加工过程。易化效应通常反映的是一个反射性注意转移到刺激位置的结果,并被解释成一个由刺激驱动分配注意

资源到线索化位置的加工。而IOR则被认为是一种阻碍注意回到先前注意过的位置,或一种阻碍对先前注意过位置的反应^[2]。

与两阶段加工理论不同,相对独立加工理论认为对线索化位置最初的易化和返回抑制是有着不同时程的相对独立的两个加工过程,最初表现在反应时的快反应是由于易化效应大于抑制效应的结果;而随着注意从线索化位置上的脱离,易化效应减弱,在反应时表现的慢反应则是抑制为主导的结果,表明IOR与最初的易化效应是同时出现的,至少在最初阶段被较大的易化所掩蔽^[1]。由于外源注意定向在短间隔可能掩蔽抑制效应,则行为反应时不能表现出IOR。一些研究表明IOR可以在SOA(stimulus onset asynchrony)为0~4 000 ms的时间范围内被发

收稿日期: 2009-05-18; 修回日期: 2010-03-25

基金项目: 国家自然科学基金(30525030, 60736029, 60701015)

作者简介: 田 银(1972-), 女, 博士生, 主要从事视觉搜索、内外源定向及IOR等脑电和功能磁共振等方面的研究。

现^[4], 而且在短时间隔(SOA)没有显著的易化效应。

支持单一加工阶段的相关研究^[2]发现, 易化和抑制都是受注意相关的网络所调制, 主要涉及到右后顶(right posterior parietal cortex, PPC)、前颞叶(superior temporal area)、颞中区域(middle temporal area)、枕叶中部(middle occipital area)、前扣带回(anterior cingulate gyrus)以及丘脑背内侧(dorsal medial thalamic areas)。支持相对独立的两加工过程研究^[4-5]发现, 它们由两个相对独立的神经网络调制:

(1) 注意相关的网络;

(2) 反应相关的网络, 该网络主要涉及额叶眼区(frontal eye field, FEF)、额中回(middle frontal gyrus)等眼动反应相关的区域。

尽管以往的研究采用经典的空间线索-靶范式, 即先出现线索提示, 然后在一定的时间间隔后(SOA)出现靶刺激, 要求被试者对靶刺激按键反应。对易化和返回抑制的神经网络进行的研究主要集中在对靶刺激所引起的脑电成分进行分析, 由于靶刺激出现在线索刺激之后, 所引起的脑电成分可能受到先前出现的线索刺激所引起的脑电污染, 即两个刺激所引起的脑电有重叠, 从而使分析产生较大的误差。相关的神经心理学原理表明, 线索的出现会引起相应脑区的神经活动, 由于线索和靶刺激的时间间隔不同, 即SOA的变换可能导致不同的效应如注意的保持、脱离、转移以及重新定向等等神经心理活动的出现。因此, 有必要研究在特定的实验条件下(如线索-靶范式)由线索所引起的脑区活动随时间变化的动力学过程, 通过该方式可以更好地探测线索在空间定向的易化和抑制的神经响应过程, 从而有利于对该现象的进一步了解。

目前国内外尚未见在空间线索-靶范式下利用线索所引起的脑电成分及源定位分析探测易化和抑制的神经机制。既然在经典的实验中, 外周线索是引起IOR的关键因素, 本文采用事件相关电位和LORETA源定位技术, 对由外源非信息化线索所引起的脑电进行研究。其目的就是为了研究易化和IOR是由同一神经网络控制的还是由不同的神经网络调制的结果, 更好地探测易化和抑制的神经动力学过程。根据经典实验的研究结果, 注意所引起的易化效应主要出现在线索出现后250 ms左右, 即大于该时间则抑制将会出现, 因此, 本文将线索引起的脑电假定为3个阶段:

(1) SOAs<250 ms为早阶段(即线索出现后在250 ms内所引起的神经过程为早阶段的神经响应);

(2) SOAs>350 ms为晚阶段(即线索出现350 ms后所引起的神经过程为晚阶段的神经响应);

(3) 两者之间的转换阶段为中阶段。

1 实验方法

1.1 被试者

10名研究生与本科生参加了实验, 其中男性5名, 女性5名, 年龄20~27岁, 视力正常或矫正正常。所有被试者均为右利手, 自愿参与实验, 实验后给付报酬。

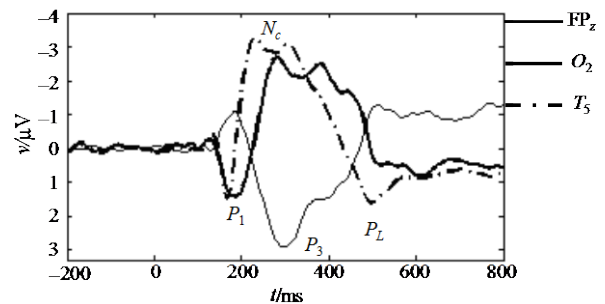


图1 线索引起的ERPs

线索引起的ERPs如图1所示, P_1 为线索刺激引起的第一个正波, N_c 为线索引起的一系列负的复合波, P_3 为线索引起的产生时间在300 ms左右的一个正波, P_L 为线索引起的一个晚正波; FP_z 为前额叶中部电极, O_2 为右枕部电极, T_5 为左侧颞顶电极; 0点为线索出现的时间, -200~0为ERP的基线。

1.2 脑电记录

实验仪器采用美国EGI公司生产的129导脑电采集仪。参考电极点为Cz, 在双眼外眦和眼眶上下缘分别记录水平眼电(HEOG)与垂直眼电(VEOG)。滤波带通0.1~40 Hz, 电极阻抗小于40 kΩ, 分析时间1 000 ms(含基线200 ms)。连续记录EEG数据, 在获得数据后, 进一步用软件将它们转换成以平均电极为参考的记录。离线式(Off-line)叠加处理。

1.3 刺激设置

实验刺激由呈现在屏幕中央的一个十字($0.5^\circ \times 0.5^\circ$)及其两侧小框构成, 外周线索为持续50 ms闪烁的任一外周小框构成。靶刺激为一($0.75^\circ \times 0.25^\circ$)的竖线构成, 呈现时间为200 ms, 线索与靶的间隔时间(SOA)为900~1 200 ms。被试者的任务为检测靶的出现情况, 要求被试者看见靶出现后, 既快又准地进行反应按键。整个实验由800次测试构成, 分5次完成, 其中20%为只有线索出现的情况。脑电信号通过129导脑电采集仪的EGI系统记录, 电极阻抗小

于40 k Ω , 记录线索出现后所引起的脑电^[6]。

1.4 实验数据处理及分析

脑电的采样频率为250 Hz, 滤波范围为0.1~40 Hz。被试者的电极位置通过一个三维的Fastrak数字仪测量, 电极位置的平均头皮位置用于头表拓扑图(基于EMSE软件)和估计分布源位置(LORETA定位方法^[7])。在叠加平均脑电数据之前, 所有EEG信号都去除眼动、眨眼、肌电等伪迹(去除标准为绝对值大于65 μ V的波幅), 行为反应不正确的测试也被去除。EEG分段为线索出现前200 ms到出现后1 000 ms。采用LORETA算法估计ERP特定成分的产生源。

2 实验结果

本文将反应时(RT)小于100 ms、大于900 ms的线索都作为错误去掉。有效(线索和靶出现在同侧)测试的RT(430 ms)明显长于无效(线索和靶出现在异侧)的RT(407 ms) ($F(1, 9) = 27.11, p < 0.01$), 表明获得了经典的IOR效应。线索所引起的ERP的波形如图1所示, 主要有 P_1 、 N_c 、 P_3 和 P_L , 其相应成分的LORETA定位结果如图2所示, 早阶段的源主要分布在枕顶叶区域以及额叶区域, 如图2a所示; 中阶段的源主要分布在后顶叶区域(PPC), 如图2b所示; 晚阶段的源主要分布在刺激位置同侧的颞顶联合区(TPJ), 如图2c所示。

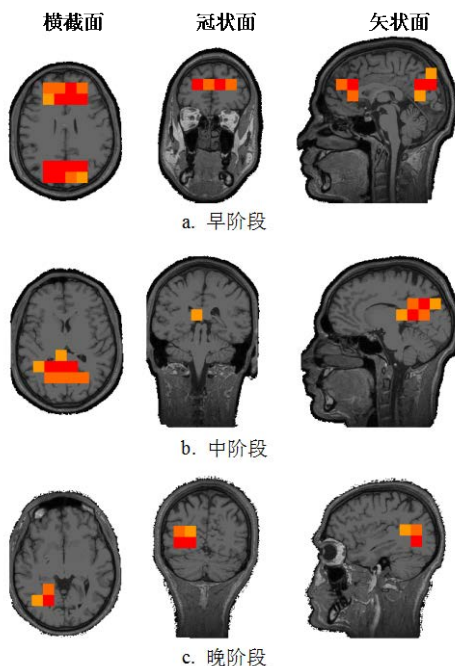


图2 LORETA源定位结果

3 实验结果讨论

本文采用分阶段对线索引起的脑电进行了源定位分析, 早阶段定位的结果主要涉及到感知觉相关的活动源^[8-9](见图2b)。由此可以推测, 其所涉及的神经网络主要是与感觉加工相关的, 即一个是背侧网络涉及到感觉加工, 一个是腹侧网络通过更高级的脑功能区域对视觉信息加工进行处理。中阶段的活动源在PPC^[10]是负责抑制加工的主要区域, 该过程是IOR产生的关键阶段。晚阶段的活动区域主要在TPJ、腹侧通路等^[9-10], 该区域主要与一种top-down机制有关, 是由于中阶段的抑制对该阶段进行注意转移而形成重新定向所致。

3.1 实验模式的特点

本文的实验采用经典的外源线索靶范式, 其特点为:

- (1) 分析的主要部分为线索所引起的脑电, 可更好地研究大脑对外源线索所引起的活动源;
- (2) 采用高密度(129导)的脑电采集仪结合LORETA定位方式, 更详尽地研究人脑相应的活动源对线索刺激的时间特性;
- (3) 利用经典实验探测IOR的时间特性, 可有利于对线索引起的活动源进行分阶段分析, 更好地刻画其运行的网络特性。

3.2 行为IOR

本文研究的行为实验很好地刻画了线索化效应, 即在长的SOA(900~1 200 ms)情况下, 被试者对有效线索化位置的靶刺激反应明显慢于对无效情况。

3.3 大脑对外源线索分阶段加工

3.3.1 大脑对外源线索早阶段加工

根据经典实验, 本文将线索出现后的时间段(0~250 ms)作为早阶段。早阶段所引起的特征波形主要是与注意相关的 P_1 和 N_c 系列成分中的早成分。这些成分主要定位于与感觉加工相关的神经源, 并分布在枕叶皮层到顶叶皮层(occipital-parietal cortex)的背侧通路; 以及定位于高级认知加工相关的神经源, 并主要分布在额叶皮层到顶叶皮层(frontoparietal cortex)的通路中。

这些神经活动源主要涉及到两个同时运行的网络:

- (1) 自下而上(bottom-up, BU)的加工网络;
- (2) 自上而下(top-down, TD)的加工网络。

3.3.2 大脑对外源线索中阶段加工

本文将线索出现后的时间段(250~350 ms)作为

中阶段。线索在中阶段所引起的波形主要成分为 P_3 , 该成分被定位于额中回(middle frontal gyrus, MFG)、前扣带回(anterior cingulate gyrus, ACC)以及 N_c 系列成分中的中成分, 该成分主要的分布源为后顶区域(PPC)。中阶段所涉及的活动源主要是与抑制加工有关的神经网络码, 它们的激活表明IOR相关的抑制标记作用于PPC, 并与IOR的产生及运行密切相关。尽管以往的研究报道^[2]PPC、MFC以及ACC构成了抑制加工的神经网络, 但由于该类研究大多使用fMRI(虽然该技术具有高空间分辨率, 但其时间信息却难以确定), 而本文采用高时间分辨率的脑电技术结合LORETA定位技术, 可有效地探测该抑制网络活动的时间信息。

3.3.3 大脑对外源线索晚阶段加工

本文将线索引起ERP的成分时间段(350~650 ms)作为晚阶段。该阶段所涉及到的特征成分主要是一系列正的晚成分 P_L , 该成分被定位到对测的颞顶叶联合区域(temporal-parietal junction, TPJ)、舌回(fusiform gyrus)以及枕叶皮层(middle occipital gyrus, MOG)等。相关的活动源是与注意转移有关的神经网络, 该网络活动使注意从线索化位置脱离、转移, 从而产生线索化位置的抑制效应。

4 结束语

与以往采用ERP技术研究IOR的神经过程不同, 本文研究了线索所引起的ERP成分及其相应的大脑活动源。通过高密度的脑电技术结合源定位分析, 结果表明早阶段注意主要涉及加工相关的活动, 而在中阶段和晚阶段主要涉及注意和动作抑制加工, 以及注意重新定向的过程。

参 考 文 献

- [1] POSNER M I, RAFAL R D, CHOATE L S, et al. Inhibition of return: Neural basis and function[J]. *Cognitive Neuropsychology*, 1985, 2: 211-228.
- [2] KLEIN R M. Inhibition of return[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2000, 4(4): 138-147.
- [3] LUPÍÁÑEZ J, KLEIN R M, BARTOLOMEO P. Inhibition of return: twenty years after[J]. *Cognitive Neuropsychology*, 2006, 23: 1005-1014.
- [4] MAYER A R, DORFLINGER J M, RAO S M, et al. Neural networks underlying endogenous and exogenous visual-spatial orienting[J]. *Neuroimage*, 2005, 23: 534-541.
- [5] MAYER A R, SEIDENBERG M, DORFLINGER J M, et al. An event-related fMRI study of exogenous orienting: supporting evidence for the cortical basis of inhibition of return[J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2004, 16: 1262-1271.
- [6] TUCKER D M. Spatial sampling of head electrical fields: the geodesic sensor net[J]. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology*, 1993, 87: 154-163.
- [7] PASCUAL-MARQUI R D, MICHEL C M, LEHMANN D. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 1994, 18: 49-65.
- [8] TIAN Yin, YAO De-zhong. A study on the neural mechanism of inhibition of return by the event-related potential in the Go/Nogo task[J]. *Biological Psychology*, 2008, 79(2): 171-178.
- [9] HOPFINGER J B, WEST V M. Interactions between endogenous and exogenous attention on cortical visual processing[J]. *Neuroimage*, 2006, 31: 774-789.
- [10] 田 银, 尧德中. 基于视觉搜索的外源易化和返回抑制脑机制研究[J]. *生物物理学报*, 2009, 25(3): 203-208.
TIAN Yin, YAO De-zhong. Brain mechanism for exogenous facilitation and inhibition of return in visual search[J]. *Acta Biophysica Sinica*, 2009, 25(3): 203-208.

编辑 黄 莘