

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26730082

研究課題名(和文) 波による注意制御機構の経頭蓋磁気刺激を用いた検証

研究課題名(英文) Study for oscillatory alpha control of attention using the transcranial magnetic stimulation

研究代表者

岡崎 由香 (Okazaki, Yuka)

国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・研究員

研究者番号：10718547

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：感覚器官から外部情報を受け取って意識的経験を生じさせるまでに注意による情報選択が行われていることは多くの研究で示唆されている。多くの研究は、アルファ振動に反映された抑制機能が情報選択に関与していることを示唆している。しかし、これまでの研究は網膜質状態経路を通る視覚入力に対する神経応答を観察していたため、視床レベルまたは新皮質レベルでの選択を区別できなかった。本研究では、注意課題中に大脳皮質を直接刺激することによって、皮質興奮性および指向性を持った領野間結合がパワーの強度に応じて動的に変化することを見出した。

研究成果の概要(英文)：Information selection by attention is being done while receiving external information from sensory organs and producing conscious experience. Many studies have suggested that suppression functions reflected in alpha oscillations are involved in information selection. However, since previous studies observed neural responses to visual inputs through the retinogeniculate pathway, it was not possible to distinguish selections at the thalamic or neocortical level. In this study, we found that by directly stimulating the cortex during attention tasks, cortical excitability and directional inter-area coupling dynamically changes according to the intensity of power.

研究分野：認知科学

キーワード：TMS-EEG

### 1. 研究開始当初の背景

視索から脳へ送られる情報量はただ目を開けているだけで1秒間に数千万ビットにもものぼる。この大量のデータを全て同等に処理し、さらに体が一度に複数の行動をとることは不可能である。実際にある一つの視覚刺激に対する神経応答は他の刺激を同時呈示することによって減少する。しかしこのような外部刺激間の競合は、一方の刺激に内的バイアス(注意)をかけることで解消される(注意のバイアス化競合モデル)ことから、注意が過剰な情報の負荷を防ぐためのゲートのような役割を果たしていると考えられている。では脳の領野間ネットワークにおいてゲートを開閉する仕組みは何か?多くの研究で8-12Hzの神経振動(α波)がネットワーク上の不用なノードのはたらきを抑制することに関連すると示唆されている。何故なら空間的注意の移動に応じたαパワーの変動は皮質上で非常に規則正しい空間分布を示すからである。つまりαパワーの上方または下方調節が注意の情報選択機能の仕組みであると考えられる。

### 2. 研究の目的

これまでのヒトを対象とした研究では注意誘発性のα波の変動と課題成績との相関は示されているが、実際に情報処理ネットワークにおいてα波が皮質反応性や領野間の動的結合性を反映しているのかどうかは明らかにされていない。本研究課題では、経頭蓋磁気刺激(TMS)と脳波(EEG)を同時使用して、関連領域を直接刺激することにより、注意課題中に変動するα波と皮質反応性及び領野間結合との関係を調べる。

### 3. 研究の方法

被験者(22名)がTMS-EEG実験に参加した。実験では手がかり刺激(矢印)を先行して呈示し、被験者の注意を左右視野のどちらかに誘導した状態でTMSを右初期視覚野に印加した(図1a)。また、被験者の注意を誘導するために視覚刺激(グレーティング)が両視野に出現する試行をランダムに導入した。視覚刺激が出現する試行において、被験者は矢印側に呈示されたグレーティングの傾きを判別するよう要求された。ここで、TMSは右半球視覚野に印加されたため左注意時と右注意時はそれぞれ課題関連領域(task-relevant)または非関連領域(task-irrelevant)となる(図1b)。

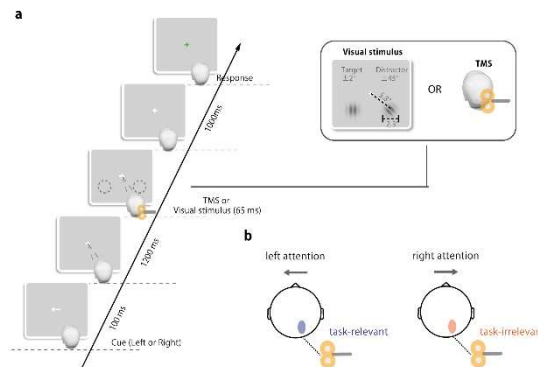


図1 (a) 注意課題の試行事例 (b) 注意状態に依存したTMS条件

脳波は国際10-10電極配置に基づいた63チャンネルから計測した。ICA等を用いてTMSや筋電のアーチファクトを除去した後に、TMS誘発電位(TEP)およびチャンネル間の位相同期(lagPLV)を計算した。

$$\text{lagPLV} = \left| \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \exp(j(\varphi_{02,k}(f, t_{TMS \text{ onset}}) - \varphi_{Y,k}(f, t))) \right|$$

ここで、 $k$ : 試行数、 $f$ : 周波数、 $t$ : 時間、 $\varphi_{02}$ : チャンネル02における脳波の位相、 $\varphi_Y$ : その他のチャンネルYにおける脳波の位相。

これらの居所的または大域的なTMS応答がαパワーの状態に依存してどう異なるのかを調べた。

### 4. 研究成果

パワーの時間周波数解析から手がかり刺激後からTMS前の区間でαパワーが注意方向に依存して変化することが確認できた(図2)。このようなαパワーの変調度合いで全試行をソートし、変調の大きい試行(High-ALI)と小さい試行(Low-ALI)に分けて以降の解析を行った。

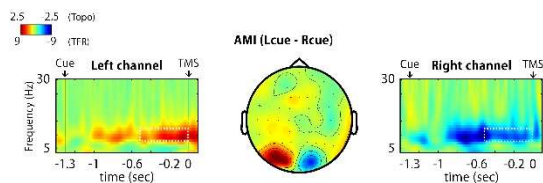


図2. 左注意試行と右注意試行の差に関するパワーの時間周波数マップ

TMSに対する最初の誘発反応は刺激から

20ms後に現れた(P20)。課題関連領域でのこの誘発反応は非関連領域に比べて有意に強かった。また、この差は刺激前の $\alpha$ パワーの変調が強いときにのみ観測された(図2)。

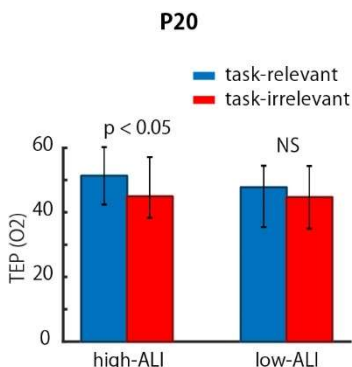


図3. 刺激直下電極(O2)におけるTMS誘発反応

次にlagPLVを用いて $\alpha$ パワー変調と情報伝達の間関係を調べた。lagPLVはTMSによる外乱の伝播を送信領域と受信領域の位相関係の変化から評価する。課題関連領域へのTMSの結果、 $\beta$ と $\gamma$ 帯域で大域的な位相同期が発生した(図4a)。また刺激後、約80ms程度遅れて後頭頂領域から前頭領域へと位相同期が発生した(図4b)。一方で非関連領域への刺激では位相同期は伝播しなかった。また、このような違いは刺激前の $\alpha$ パワーの変調が強いときにのみ観測された。

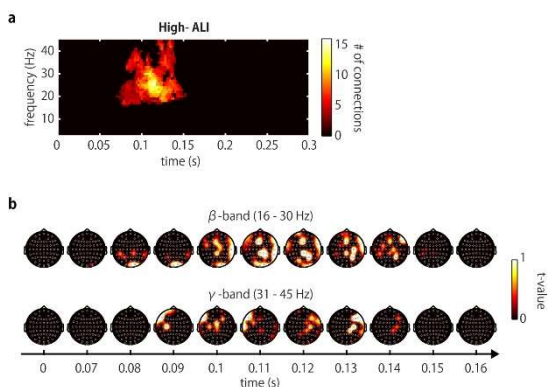


図4. (a) 課題関連領域刺激時と課題非関連領域刺激時の差に関するlagPLVの時間周波数マップ (b)  $\beta$ と $\gamma$ 帯域でのlagPLVの空間マップ。色はクラスター統計(Maris & Oostenveld, 2007)によって有意となった $t$ 値

空間的注意によって視覚刺激に対する皮質応答は変調されることが過去の研究で明らかになっているが、今回の結果から、視床レベルで変調されているだけではなく、大脳皮質自体の反応性も変化していることが明らかに

なった。また、情報の送信側と受信側の結合が注意によって変動していることを結合の指向性の観点から直接的に示すことができた。さらにこれらの変化は刺激前の $\alpha$ 波パワーの変調度合いに大きく依存したことから、 $\alpha$ 波が局所的または大域的な調整に重要な役割を果たしていることが示唆される。

TMS-EEGの同時使用は、多くの技術的課題がある。その問題に関して、注意深く実験を設計し、実行すること、またデータを分析することが必要である。TMS-EEGを用いて大脳皮質、特に関連領域への直接刺激によって状態依存的に変化する皮質反応性や結合性を調べることは、例えば、皮質結合性の異常などで引き起こされる精神疾患/脳損傷後の予後等の診断や未知の異常を発見するための手法として期待される。

#### <参考文献>

Maris E, Oostenveld R (2007) Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of neuroscience methods* 164:177-190.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① K. Kitajo and Y.O. Okazaki (2016). TMS-EEG for probing distinct modes of neural dynamics in the human brain. *Advances in Cognitive Neurodynamics V*, 211-216 (査読有)
- ② Y.O. Okazaki, J.M. Horschig, L. Luther, R. Oostenveld, I. Murakami and O. Jensen (2015). Real-time MEG neurofeedback training of posterior alpha activity modulates subsequent visual detection performance. *NeuroImage* 107, 323-332 (査読有)
- ③ Y.O. Okazaki, P. De Weerd, S. Haegens and O. Jensen (2014). Hemispheric lateralization of posterior alpha reduces distracter interference during face matching. *Brain Research* 1590, 56-64. (査読有)

[学会発表] (計5件)

- ① Y.O. Okazaki, Y. Nakagawa, T. Hanakawa, Y. Mizuno, K. Kitajo, RepetitiveTMS

can modulate local phase and global phase synchronization of human brain activity. *International Conference on Transcranial Brain Stimulation* (Göttingen in Germany, 2016)

- ② F. Duan, Y.O. Okazaki, K Kitajo, & K Aihara, Viewing the neural dynamics of the human brain in a visual attention task by DNB landscape. *東京大学生命科学シンポジウム* (Tokyo in Japan, 2016)
- ③ Y. Okazaki, Y. Mizuno, & K. Kitajo. Attention controls transitions between states of distinct stability in neural dynamics. *Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping* (Hawaii in USA, 2015).
- ④ Y. Okazaki, Y. Mizuno, & K. Kitajo. A TMS-EEG study for attentional gating by oscillatory alpha activity. *International Brain Stimulation Conference* (Singapore in Singapore, 2015).
- ⑤ Y. Nakagawa, Y. Okazaki, T. Hanakawa, Y. Mizuno, K. Kitajo. Repetitive TMS-modulated local and global phase dynamics of human brain activity. *International Brain Stimulation Conference* (Singapore in Singapore, 2015).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡崎由香 (OKAZAKI, Yuka)

国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・研究員

研究者番号：10718547