

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：32301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500679

研究課題名(和文) 成功と失敗行動の予測 - 遂行機能連携の解明 (TMS EEGによる非侵襲的介入検討)

研究課題名(英文) Prefrontal-TMS affects cognitive process in the error behavior.

研究代表者

竹内 成生 (Takeuchi, Shigeki)

上武大学・ビジネス情報学部・准教授

研究者番号：10329162

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では予期 - 遂行 - 評価過程の重要な指標の一つであるエラー関連電位と行動変化について、Arrow orientation課題遂行中のTMSによって検討した。その結果、PzにおけるERN頂点振幅、ならびにPeの頂点潜時がTMS直後の試行で変化、それに伴うパフォーマンスの改善が認められた。本研究の結果は、これまで示されていたERN、Peそれぞれのエラー処理における機能的役割と将来の行動選択への寄与を仮想障害実験から示した。

研究成果の概要(英文)：We investigated the relationship between the error related potentials and post error behavior using the transcranial magnetic stimulation (TMS), when subjects performed the arrow orientation task. In the present study, we found the remarkable changes of ERN and Pe with behavioral changes in post error trials. Our findings suggest that the error related potentials reflects its functional role and the engagement of future behavior.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：経頭蓋磁気刺激 事象関連電位 行動修正

### 1. 研究開始当初の背景

我々はコミュニケーション、運動、経済活動といった日常生活の多くの場面で『予測 - 遂行 - 評価』という行動様式を採っている。一連の処理を中断なく行うことによって、我々は円滑に生活しているが、いずれかの機能に破綻をきたした場合、忽ち日常生活は困難となる。したがって、予測 - 遂行 - 評価の機能連携に関する知見は、人間行動の根底理解において重要である。特に失敗行動時の機能連携に関する検討は、障害や疾病の理解という面だけでなく、危険回避・安全へ繋げるという観点からも重要であるといえる。

この予測 - 遂行 - 評価の各処理過程について機能連携という観点から定義すると、予測過程はこれまでの学習内容を行動選択に繋げる段階であり、遂行過程は短期的な行動修正の学習、そして評価過程は中長期的な行動修正の学習を予測過程に反映する段階と定義できる。各過程に対応して出現する事象関連脳電位成分は、予測過程で SPN (Brunia 1988)、遂行過程で ERN (Gehring 1990)、評価過程では P3a (Halgren 1998, 入野 2001) や、feedback-ERN (fERN) などが同定されている。これら電位はいずれも、情動 - 動機的予測、遂行の修正、学習記憶の更新といった各過程における特徴的な処理を反映すると考えられている。また、パフォーマンスの変化では、誤った行動に伴う特徴的な現象として、反応時間の促進と次の遂行における反応時間の遅延 (Rabbitt 1966)、短期 - 長期的な行動選択 (Milner 1963) の変化が挙げられる。

この各過程の機能連携について、検討可能とするのが経頭蓋磁気刺激 (TMS) である。TMS は磁気刺激によって脳内の標的部位に電位を発生させ、関係する神経ネットワークを阻害・促進することが可能なツールであり、運動に関連した脳機能評価のみならず、認知機能の解明にも利用されている (Pashler 1998)。この TMS の特徴と利点は、非侵襲的かつ一時的な仮想障害状況を磁気刺激によって惹起できることである。TMS 標的部位の同定と効果指標には、事象関連電位や機能的磁気共鳴画像が用いられており (Rollnick 2004, Sack 2002 ほか)、本研究においては、事象関連電位の潜時や振幅の変化、ならびにパフォーマンスの変化から各機能連携が検討できると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では脳波測定状況下で、失敗に伴う予測 - 遂行 - 評価の処理過程と機能連携を TMS による阻害検討をすることとした。なお、生理指標にはエラー関連電位 (ERN, Pe)、パフォーマンス指標は反応時間とエラー率とした。両指標について正解試行・エラー試行・エラー次試行間で比較検討し、予測 - 遂行 - 評価に伴う生理・行動の変化を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### 【事前検討】

本研究では、反応競合を検討する ERN 課題のうち、エラー率の出現が高い Arrow-orientation 課題 (Masaki et al. 2005) を用い (図 1)、脳波同時計測での TMS (TMS-EEG) 実験における試行数・TMS 頻度を決定する予備検討として、学生 25 名を対象としたパフォーマンス実験を実施した。その結果、エラー率は  $16.67(\pm 7.23)\%$ 、正解時に比べ、エラー試行で反応時間は尚早化した ( $p < .001$ )。加えて、エラー・正解次試行の反応時間では有意傾向が認められた。この事前検討の結果を受け、TMS-EEG 実験での試行回数ならびに TMS 頻度を決定し、以下の 2 実験を実施した。

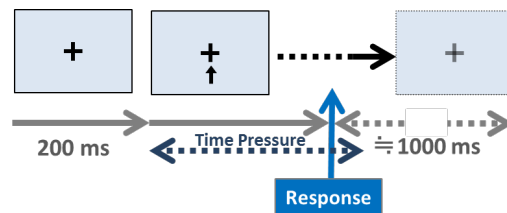


図 1. Arrow-orientation 課題

#### 【TMS-EEG 検討 1: ACC】

**【被験者】** 右手を常用手とする健常成人男性 8 名 ( $21.1 \pm 0.6$  歳) とした。

**【課題】** Arrow-orientation 課題とした。試行回数は 144 試行  $\times$  8 ブロック = 1152 試行とし、TMS は 578 試行の pseudo random とした。

**【TMS】** 右手第一背側骨間筋 (FDI) を被検筋として、安静時運動閾値 (resting Motor Threshold; rMT) を定め、課題遂行時の TMS 強度は  $120\%$  rMT とした。先行研究ならびにこれまでの検討結果から ERN の中心電位であり、ERN 発信源とされる帯状回の直上部位である頭皮上電極部位 FCz とした。また、Pe の中心電位である CPz の直上部位の 2 条件とした。

**【行動指標】** TMS の有無による当該試行の反応時間・エラー率 (誤答率)、次試行の反応時間・エラー率とした。

**【生理指標】** 脳波は Nz を基準電極とし、国際 10% 法 (拡張 10-20 法) に準拠した 16 部位を導出した (記録特性: Sampling Fq. 2,000Hz Band pass filter: DC-667Hz)。分析では TMS アーチファクトを除外するため、ERN、Pe とともにボタン反応を起点とした誤答 - 正答の差分波形を導出し、 $\Delta$ ERN、 $\Delta$ Pe の頂点潜時ならびに振幅値とした。

#### 【TMS-EEG 検討 2: DLPFC】

**【被験者】** 右手を常用手とする健常成人男女 14 名 ( $20.3 \pm 0.7$  歳) とした。

**【課題】** Arrow-orientation 課題とし、試行回数、TMS 頻度は検討 1 と同様とした。

**【TMS】** 刺激強度は検討 1 と同様とした。TMS 部位は ACC と同様にエラー処理との関与が指摘されている DLPFC とした。刺激位置は

左右 FDI 当該部位から側矢状平面 5cm 前方 (see Sokhadze 2012), 両側の 2 条件とした。  
 [行動指標] 検討 1 と同様の指標に加え, TMS 有無の次試行について検討を行った。  
 [生理指標] 脳波記録の特性, 検討対象の ERP は検討 1 と同様とした。また, 行動指標と同様に TMS 有無の次試行について検討を行った。

#### 4. 研究成果

##### 【TMS-EEG 検討 1: ACC】

[行動指標] 当該試行のエラー率に TMS 刺激部位による差異は認められず, 両 TMS 条件の平均エラー率は  $19.60(\pm 7.64)\%$  であった。次試行でのエラー率は TMS 部位・刺激の有無による変化は認められず, エラー次試行でエラー率の低下が認められた。

当該試行の反応時間は誤答時に尚早化が認められ, TMS の有無による変化も認められた(図 2)。次試行の検討では, 正答・誤答には関係なく, TMS 無しに比べて TMS 後に反応時間が遅延傾向を示した。

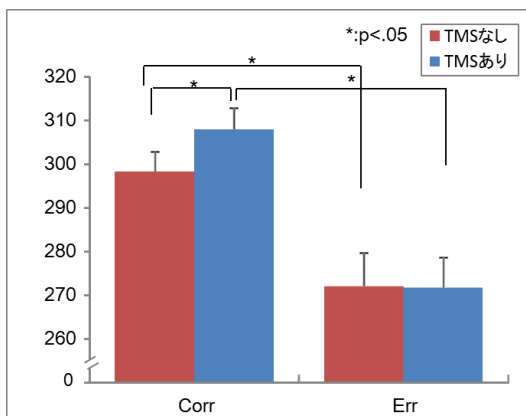


図 2. 当該試行における反応時間

[生理指標] Fz における ERN (正答-誤答の差波形  $dERN$ ) の頂点振幅を検討した結果, FCz-TMS は ERN を減衰, CPz-TMS は ERN を増大させた。また, FCz-TMS は ERN の頂点潜時を遅延させた。

Cz における Pe (正答-誤答の差波形  $dPe$ ) の頂点振幅に差異は認められなかった。しかし, 区間平均電位(200-400ms)では TMS 部位には関係なく, TMS によって電位の減衰が認められた(図 3)。

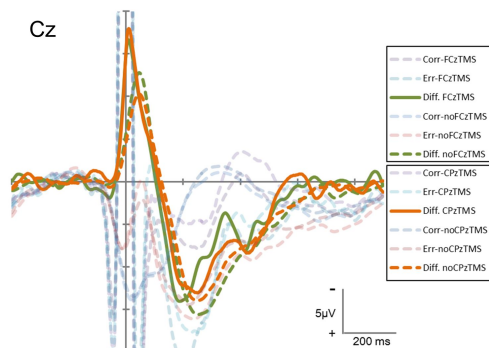


図 3. Cz における各条件の総加算波形

##### 【TMS-EEG 検討 2: DLPFC】

[行動指標] エラー率は TMS 直後の試行でエラー率の低下が左右 TMS に共通して認められた(図 4)。

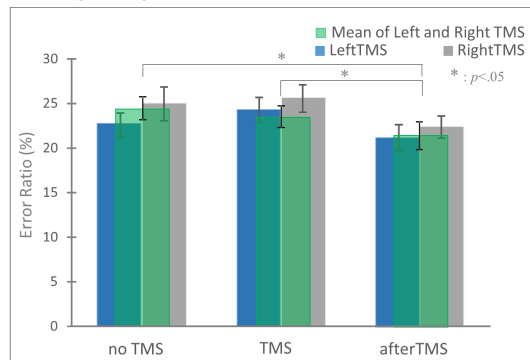


図 4. 各条件によるエラー率

反応時間は, TMS 無し・TMS・TMS 直後試行のいずれにおいても誤答時に尚早化が認められた(図 5)。また, 左右 TMS による反応時間の差異は認められなかった。

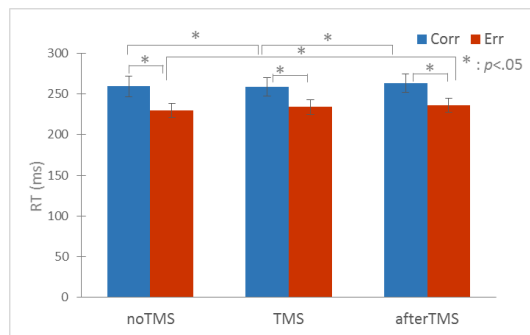


図 5. 各条件による反応時間

[生理指標] ERN (正答-誤答の差波形  $dERN$ ) の頂点振幅を検討した結果, 中心電位を示す Fz には TMS の効果は認められなかった。しかし, Pz において TMS 直後試行で ERN 振幅の増大が認められた(図 6)。

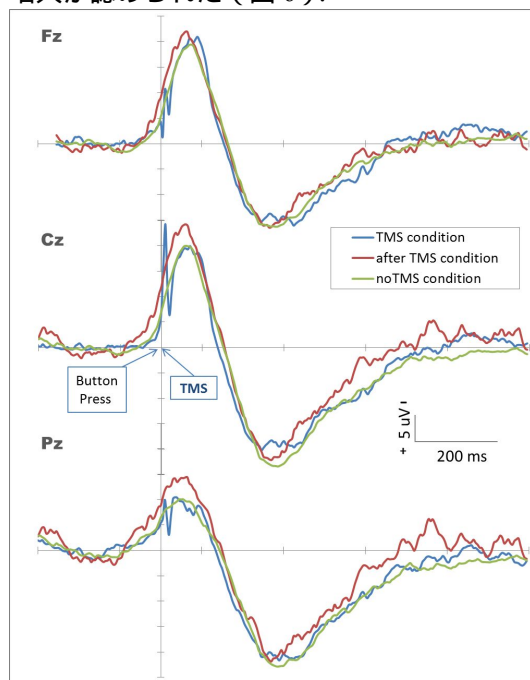


図 6. 各条件による総加算波形

Pe (正答-誤答の差波形  $dPe$ ) では Pz において, TMS 直後試行で頂点潜時の早期化が認められた。

以上の結果は前頭部位 (ACC 直上部, 両側 DLPFC) への TMS が, その後のパフォーマンスに影響を与えることを示している。特に検討 2 で用いた DLPFC への TMS は, 他の条件と反応時間が等しいままであるにもかかわらず, エラー率の減少という改善効果を示した。

本研究では, ERN がエラーを検出, Pe がその後の行動に関与するという知見について, TMS を用いた仮想障害実験から明確化したものであり, その意義は大きいものと考えられる。

#### 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 2 件)

- (1) 宮崎真, 竹内成生, 松崎(坂本)梢, 関口浩文. 身体知覚の時空間的適応性. 信学技報 NC2013-71(2014-01): 25-30, 2014. (招待論文)  
<http://www.ieice.org/ken/paper/201401201B9C/>
- (2) Takeuchi, S., Sekiguchi, H., Matsuzaki, S.K., Miyazaki, M., Probabilistic optimization in the human perceptuo-motor system. 2013, The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 2(3): 287-294. (招待論文)  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpfsm/2/3/2\\_287/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpfsm/2/3/2_287/_pdf)

〔学会発表〕(計 8 件)

- (1) Miyazaki, M., Takeuchi, S., Sekiguchi, H. Transcranial magnetic stimulation over the right dorsal premotor cortex increases dependence on prior information during tactile temporal order judgment. The 44th annual meeting of the Society for Neuroscience, Washington DC, USA, November 15-19, 2014.
- (2) Takeuchi, S., Sekiguchi, H., Miyazaki, M. Effect of transcranial magnetic stimulation applied over the premotor cortices on Bayesian estimation in tactile temporal-order judgment. 17th World Congress of Psychophysiology (IOP2014), Hiroshima, Japan, September 23-27, 2014 (査読有:採択済).
- (3) Matsuzaki, S. K., Kadota, H., Aoyama, T., Takeuchi, S., Sekiguchi, H., Kochiyama, T., Miyazaki, M. Distinction between neural correlates of audiovisual temporal order and simultaneity judgments. 17th World Congress of Psychophysiology, (IOP2014), Hiroshima, Japan, September 23-27, 2014

(査読有:採択済).

- (4) 関口浩文, 竹内成生, 山中健太郎. 経頭蓋磁気刺激による誘発脳波の運動学習に伴う変化. 第 69 回日本体力医学会大会, 長崎, 2014 年 9 月 19-21 日.
- (5) 竹内成生, 関口浩文, 宮崎真. 触覚刺激の時間順序判断のベイズ推定における運動前野の役割:経頭蓋磁気刺激による研究. 第 37 回 日本神経科学学会大会, 横浜, 2014 年 9 月 11-13 日.
- (6) 竹内成生, 関口浩文, 河野豊, 宮崎真. 認知課題時の経頭蓋磁気刺激が脳波とパフォーマンスに与える影響. 第 43 回日本臨床神経生理学会学術大会, 高知, 2013 年 11 月 7-9 日.
- (7) Miyazaki, M., Kadota, H., Matsuzaki, S. K., Takeuchi, S., Sekiguchi, H., Kochiyama, T. Distinction between neural correlates for temporal order and simultaneity judgments. The 42th annual meeting of the Society for Neuroscience, New Orleans, USA, October 14-17, 2012.
- (8) 宮崎真, 門田宏, 松崎梢, 竹内成生, 関口浩文, 河内山隆紀. 同時性判断と時間順序判断の神経相関の分離. 第 35 回 日本神経科学学会大会, 名古屋, 2012 年 9 月 18-21 日.

〔図書〕(計 1 件)

- (1) 山崎勝男 (監訳), 竹内成生 (第 13, 22 章 訳) 他, 西村書店, スポーツ心理学大事典. 2013 年 11 月.

#### 6. 研究組織

- (1)研究代表者  
竹内 成生 (TAKEUCHI, Shigeki)  
上武大学・ビジネス情報学部・スポーツマネジメント学科・准教授  
研究者番号: 10329162
- (3)連携研究者  
宮崎 真 (MIYAZAKI, Makoto)  
山口大学・時間額研究所・教授  
研究者番号: 30392202

研究協力者: 関口 浩文・上武大学  
河野 豊・茨城県立医療大学