

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870790

研究課題名（和文）反応抑制機能に関する大脳皮質活動と運動単位動員様式との関係性の解明

研究課題名（英文）Relationship between cerebral activity and motor unit recruitment pattern in response inhibition

研究代表者

高寄 正樹（TAKAYOSE, Masaki）

日本大学・生産工学部・助教

研究者番号：40635520

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は、ストップシグナル課題時の脳波ならびに筋電図記録により、抑制機能に関連した大脳皮質活動様式および筋活動との関係について検討した。その結果、反応準備期後期の前頭前野の活動性（後期CNV）が高いほど実行処理が早期に完了し、抑制に失敗することが考えられた。さらに、抑制成功時において僅かに筋活動をともなう試行とそうでない試行があり、反応準備期前期の右下前頭回の活動性（前期CNV）が高い場合には、筋活動が認められなかった。これらの結果より、前頭前野における反応準備期の前期と後期の活動は、それぞれ異なった機序により抑制の情報処理に影響を与えることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：The present study investigated the relationship between cerebral and muscle activities during the stop-signal task using electroencephalogram (EEG) and electromyogram (EMG) recordings, respectively. In the results, higher prefrontal activity was observed during failed response inhibition. This result was related to a late contingent negative variation (CNV), which facilitates the execution process during the late preparatory period. Furthermore, some EMG activity was observed during successful inhibition trials. However, when the early CNV was enhanced during the early preparatory period, which reflects activity in the right inferior frontal gyrus, EMG activity was not observed. These findings suggest that the contribution of prefrontal cortex activity to response inhibition differs according to the CNV components. A late CNV likely facilitates the inhibition process after the presented go signal, whereas an early CNV facilitates the execution process.

研究分野：運動生理学

キーワード：反応抑制 随伴陰性変動 事象関連脱同期/同期 運動準備 大脳皮質 前頭前野

1. 研究開始当初の背景

変化する環境への適応において、不適切な反応を抑制することは、目的とする行動を遂行するには不可欠な実行機能である。ヒトの運動は、中枢神経系における運動出力の大小(増減)の調節によってのみ制御されるのではなく、運動出力を抑制するという実行的な神経システムにおいてもコントロールされている。スポーツ活動時のような顕著に運動制御が重要になる特定の条件下のみならず、日常生活における行動レベルにおいても運動の抑制機能は非常に重要である。運動の抑制機能については、さまざまな視点や研究方法によって研究が行われている。

我々はこれまで、Go/No-Go課題やオドボール課題を用い、その際の脳波(EEG)記録によって、反応運動の抑制機能ではなく運動実行機能に着目して研究を行ってきた。しかしながら、抑制機能について検討を行う際にはストップシグナル課題(SST)がよく用いられる。ストップシグナル課題は予告刺激後にGo刺激が呈示され反応の運動実行に移行している最中にそれを抑制する(反応をキャンセルする)Stop刺激が一定の割合で呈示される。この課題による実行と抑制の脳内情報処理モデルとして、レースモデルがある(Logan and Cowan, 1984)。これは反応の実行機能と抑制機能が並列的に情報処理され、その処理過程が早期に終了した側の機能がパフォーマンスとして現れるというものである。この課題を用いた研究は、主にfMRI(機能的磁気共鳴画像)やTMS(経頭蓋磁気刺激)によって、抑制機能に関与する脳領域を特定するものが多い。

他方、EEGや脳磁図からは、事象関連脱同期/同期(ERD/ERS)が求められる。このERD/ERSは脳ブレインマシンインターフェイス(BMI)の信号源として利用される。脳活動により機械を操作するBMIは、ハンディキャップを持った人の手助けとなる装置であり、近年、注目を集めている。そこで、本研究においては、SST時のEEG計測によりERD/ERSを求める方法を用いる。抑制機能の検討でよく用いられるfMRIは、空間分解能が高い反面、時間分解能においては低い。EEGは、空間分解能は高くない反面、時間分解能が高いという特長がある。したがって、EEGを用いて抑制機能を検討することで、脳活動様式をより詳細な時系列的な変化でとらえることができ、新たな知見を得る可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、抑制機能の検討によく用いられるSSTを採用し、反応運動の抑制に関連するEEGと表面筋電図(EMG)を記録することにより、抑制機能に関連した大脳皮質活動様式および運動単位動員様式との対応関係について検討する。テーマは、(1)準備期の大脳皮質活動が反応抑制の成否に与える影響(2)

実行期における大脳皮質活動様式の反応抑制の成否による違い(3)筋活動様式と大脳皮質活動様式の関係、の3つである。

3. 研究の方法

被験者は神経疾患および視覚異常のない健康成人とした。抑制機能の検討に用いられるSST(図1)を実験課題とした。椅子座位の被験者の前方にPCディスプレイを設置し、刺激画像を呈示した。被験者には予告刺激(S1)後のGo刺激(S2)画像呈示とともに右手母指で反応ボタンを押すように指示した。また、Go刺激後、Stop刺激が呈示された場合は反応運動をキャンセルし、ボタン押しをせずに保持したままにするように指示した。Go刺激からStop刺激までの間隔(SSD)はTracking Procedure(Band et al., 2003)をもとに200ミリ秒から開始し、被験者が反応抑制に成功するごとに33ミリ秒ずつ延長させ、反対に反応抑制に失敗した(反応してしまった)場合には33ミリ秒ずつ短縮させ、反応抑制の成功率が約50%となるよう可変的な設定とした。SSTは、50試行×10セットとし、適宜休憩を入れながら行った。目的(1)および(3)では準備期の活動に着目し解析を行うため、S1とS2のインターバルは2000ミリ秒とし、目的(2)では1000ミリ秒とした。SST時の大脳皮質活動評価のため128チャンネルデジタル脳波計によりEEGを記録した。先行研究において、前頭前野が抑制機能に関与することが多く報告されていることから、国際10-20法のFz、F3、F4、Cz、C3、C4の6チャンネルをROI(region of interest)として、解析対象とした。目的(1)および(3)では随伴陰性変動(CNV)を求めた。CNVは、予告刺激前500ミリ秒をベースラインとし、加算平均処理により求め、そのピーク振幅を反応抑制の成否で比較検討した。目的(2)ではERD/ERSを求めた。ERD/ERSは、EEG記録時のS/N比の特性により、記録されたEEGはデータの信頼性がもてる7-40Hzのバンドパスフィルタにかけ、ウェーブレット変換による時間-周波数解析(Time-Frequency Analysis)を施し、課題時のスペクトル分布を検出した。そして、顕著な変化を示したEEG周波数帯域に着目し、記録されたEEGデータからバンドパスフィルタによって解析のターゲットとする特定のEEG周波数帯域の成分を抽出した。抽出した成分は整流したのち、トリガーポイントを基準にして加算平均処理し(temporal spectral evolution)、ERD/ERS活動を求めた(Salmelin & Hari, 1994)。また、目的(3)においては、反応時の筋活動を記録するため、運動肢側の短母指外転筋(APB)よりEMGを記録した。EMGの記録条件はサンプリング周波数1000Hzとし、オフライン処理で5-1000Hzのバンドパスフィルタを施した。刺激画像呈示ならびにボタン反応のインパルスともに、EMGを同時にオンライン入力した。



図1. ストップシグナル課題

4. 研究成果

(1) 準備期の大脳皮質活動が反応抑制の成否に与える影響

予告刺激 (S1) と標的刺激 (S2) で構成される S1-S2 の反応課題時において、反応準備期の脳活動の指標として CNV が利用される。SST の反応抑制に成功した試行と反応抑制に失敗した試行の CNV を比較することで、準備期の大脳皮質活動がそのごのパフォーマンスに与える影響について検討した。その結果、抑制失敗時の後期 CNV の振幅が左右前頭前野 (Fz、F3、F4) および正中中心領域 (Cz) において抑制成功時よりも有意に高かった (図2)。SST 時に抑制が成功するか否かは、先行して情報処理が始まる実行処理と、遅れて始まる抑制処理のいずれが先に情報処理が完了するかに依存する。反応抑制失敗時には前頭前野ならびに正中中心部における脳の活動性が高いことで、先に情報処理が開始される実行処理を促進させ早期に完了させるため反応が実行され、抑制に失敗することが考えられた。そして、この考察を検証するため、ストップシグナルが呈示されない Go 反応時の CNV を反応時間の遅速で比較した。その結

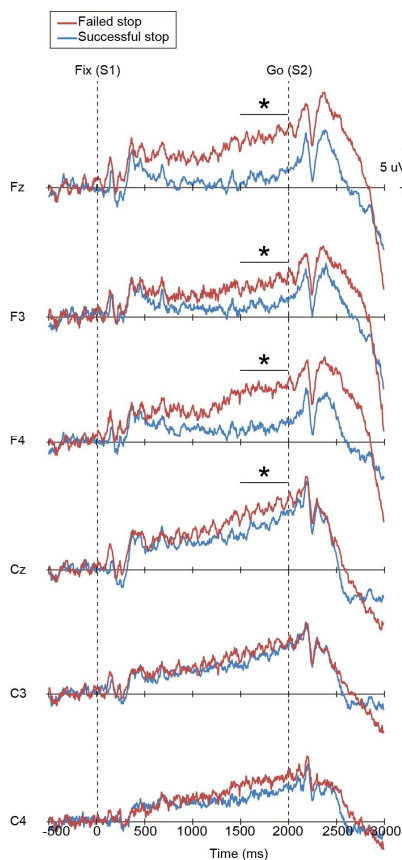


図2 CNV のグランドアベレージ波形

果、反応時間が早い試行時の方が遅い試行時よりも有意に後期 CNV 振幅が右前頭前野 (F4) ならびに正中中心領域 (Cz) で高かった。これらの結果から、反応準備期の前頭前野ならびに正中中心領域の活動性が高いほど、実行処理が早期に完了し、反応抑制に失敗することが推察された。

(2) 実行期における大脳皮質活動様式の反応抑制の成否による違い

EEG から求める ERD/ERS により、大脳皮質活動の活動性を検討することができる。ERD でパワーが減少することはその領域における脳の活動性が高まっていることを示す。この ERD/ERS は BMI の信号源に使われるなど、ERD/ERS の出現様式を明らかにすることは、有意義である。まず、Time-Frequency Analysis により特徴的な変化を示す周波数帯域を検出したところ、帯域の 13-20 Hz 付近で顕著であった (図3)。

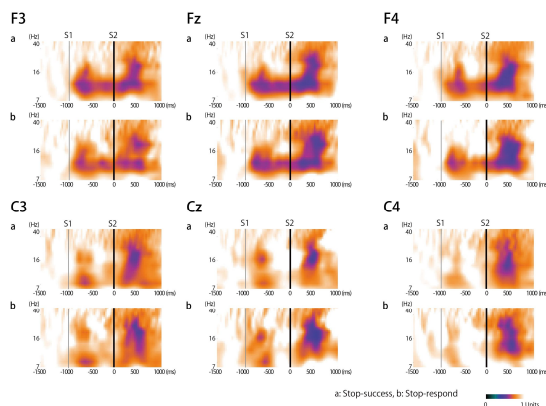


図3 SST 時の Time-Frequency Analysis

そこで、帯域に含まれる 13-20 Hz の ERD/ERS を求めたところ、反応実行期に Fz、Cz、C3 において、反応抑制失敗試行で成功試行よりも有意に ERD が亢進していた (図4)。反応抑制失敗は実際に反応運動を実行するので、運動に関連する運動連合野ならびに左運動野領域において、ERD が亢進したものと推察される。このことから 13-20 Hz の帯域の ERD/ERS を観察することによって、反応実行処理に関する脳活動をとらえられることが明らかになった。

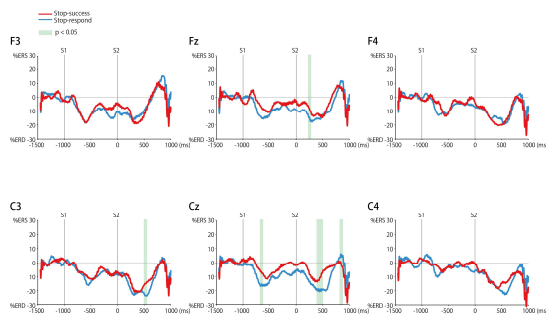


図4 SST 時の ERD/ERS

(3) 筋活動様式と大脳皮質活動様式の関係

本研究において、反応抑制成否のパフォーマンス評価は右手拇指によるボタン押しで行った。ボタン押しの際の主動筋となる APB より筋電図を導出すると反応抑制成功時においても僅かに筋活動がみられる試行があった。ボタンが機械的に反応に至る前の運動単位の動員が少ない段階で抑制処理が完了し、結果、パフォーマンスとしては抑制に成功した試行と考えられる。したがって、僅かな筋活動を伴う抑制成功試行と筋活動が認められない抑制成功試行とでは、大脳皮質活動様式が異なっていると考えられる。そこで、(1)において、パフォーマンスに影響を与えることが推察された反応準備期の大脳皮質の活動様式について検討した。抑制成功(筋活動なし)、抑制成功(筋活動あり)、抑制失敗の3条件間で CNV 振幅を比較した結果、右前頭前野(F4)において抑制成功(筋活動あり)よりも抑制成功(筋活動なし)時に前期 CNV の振幅が有意に高かった(図5)。先行研究においても、右下前頭回が抑制機能に関与することが報告されている。この領域における準備期前半の活動が抑制情報処理機構へ影響を与えている可能性が考えられた。

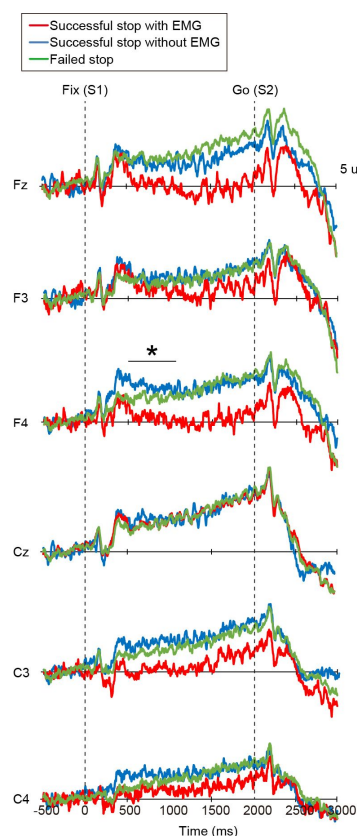


図5 3条件の CNV グランドアベレージ波形

<引用文献>

Band GP, van der Molen MW, Logan GD, Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta Psychol (Amst)*, 112, 2003, 105-142

Logan GD, Cowan WB, On the ability to inhibit thought and action: a theory of an act of control. *Psychol Rev*, 91, 1984, 295-327

Salmelin R, Hari R, Spatiotemporal characteristics of sensorimotor neuromagnetic rhythms related to thumb movement. *Neuroscience*, 60, 2014, 537-550

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0件)

〔学会発表〕(計3件)

Takayose M, Mori A, Koshizawa R, Oki K, Effect of cerebral activity on the success or failure of response inhibition during a stop-signal task: an ERD/ERS and ERP study. 9th Federation of European Neurosciences Societies (FENS) Forum of Neuroscience, 2014年7月9日, Milano (Italy)

Takayose M, Mori A, Koshizawa R, Oki K, Effect of prefrontal cortical activity in preparatory period on success or failure of response inhibition in stop-signal task. 30th International Congress of Clinical Neurophysiology, 2014年3月22日, Berlin (Germany)

高寄正樹、森昭雄、越澤亮、沖和磨、見越し反応課題に関与する大脳皮質の活動様式。日本健康行動科学会第12回学術大会、2013年9月29日、札幌国際大学(北海道・札幌市)

〔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 なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

高寄 正樹 (TAKAYOSE, Masaki)

日本大学・生産工学部・助教

研究者番号: 40635520

(2)研究分担者

該当者なし

(3)連携研究者

該当者なし