

令和元年5月23日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K21414

研究課題名(和文) 反応準備期負荷の抑制・変更に関する脳活動への影響とパフォーマンスとの関係の解明

研究課題名(英文) Relationship between the cognitive load of response inhibition/change during the preparation period affected the cerebral activity and performance

研究代表者

高寄 正樹 (TAKAYOSE, Masaki)

日本大学・生産工学部・講師

研究者番号：40635520

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3種類の異なる反応抑制/変更課題を用いて、反応準備期における負荷量の違いが脳活動とパフォーマンスにどのような影響を与えるか検討した。その結果、反応抑制するよりも、反応変更時のほうが、準備期の脳活動は高くなり、反応準備期の負荷量が高いことが推察された。そして、反応抑制/変更の成否が直後の反応に与える影響については、反応抑制よりも変更のほうが小さかった。準備期の負荷量が多い場合は、パフォーマンス改善に向けた注意資源が乏しくなることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで反応抑制に関する研究については、行動指標および生理指標ともに多くの知見が得られていた。一方、反応変更は実社会生活においては、抑制と同等以上に重要な機能であるにもかかわらず、脳機能より検討した成果が乏しい状況であった。本研究において、反応変更機能における脳活動についての新たな基礎的データを蓄積することができた。これは現在開発が進んでいる脳活動を利用した機器などの応用研究を促進させるための新たな基礎的知見を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：We examined whether differences in the cognitive load during the response preparation period have an effect on cerebral activities and performance using three different response inhibition / change tasks. Results showed that the cognitive load during the response preparation phase was higher in the response change task than in the response inhibition task. The effect on performance immediately after the trial was smaller for the response change task than for the response inhibition task. Findings suggest that when the preparation cognitive load is large, resources allocated to performance improvement are scarce.

研究分野：神経科学

キーワード：反応抑制 反応変更 予測的注意 随伴陰性変動 認知的負荷

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々は日常生活を送る中で、変化する状況に応じて、最良な行動を選択している。さまざまなケースにおいて、予定していた行動(運動)を中止(抑制)、あるいは変更しながら、状況に適応している。反応の抑制と変更は、目的の行動を完遂するには不可欠な実行機能である。スポーツのように運動制御が重要になる特定条件下ではより顕著になるが、日常の行動レベルにおいても目的行動の達成のため、あるいは危険回避のためには、反応の抑制・変更が非常に重要である。これまで運動の抑制機能については、さまざまな視点や研究手法によって研究が行われている。

研究代表者もこれまで、Stop-signal 課題 (SST) 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について研究を行ってきた。そして、反応準備活動の指標となる随伴陰性変動 (CNV) の出現様式から、反応準備期の脳皮質前頭領域の活動性が高い場合に、速やかに反応実行が遂行され、抑制に失敗することを明らかにした (Takayose et al., 2014a)。また、これらの CNV と β 帯域 (13-30 Hz) の事象関連連同期/同期 (ERD/ERS) の出現様式の対応関係についても報告した (Takayose et al., 2014b)。

一方で、ヒトが危険を回避する、あるいはオープンスキル (対人) スポーツで目的のパフォーマンスを実行するためには、反応を抑制することで目的を達成できる場合と、反応を変更することで目的を達成できる場合がある。反応実行途中に別の反応への変更を指示する Change 課題 (CT) により、抑制機能とともに反応変更機能についても検討がなされている (Verbruggen and Logan, 2009)。しかし、反応変更機能については、反応時間などの行動結果から検討したものがみられるが、その際の脳活動様式について検討したものは、ほとんど見当たらない。

また、危険回避やスポーツでの反応変更では、変更後の反応の選択肢が少ない場合よりも多く用意しておいた方が、より適切な反応を選択でき、それを実行することで目的を達成する可能性が高くなることが推察される。しかしながら、あらかじめたくさんの選択肢を脳内で保持するという事は、ある種、脳活動 (特に作業記憶) に負荷がかかった状態で、反応実行処理を遅延させることになるかもしれない。実際、選択反応課題においては選択肢が多いほど反応時間が遅延することが知られている。

抑制機能については、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や活動様式についての検討など、比較的盛んに行われている。EEG は時間分解能が高く、ごく短時間の現象をとらえることができ、CNV は準備期の脳の賦活性について検討することができる。以上の理由により研究代表者らは、EEG 記録によって脳活動様式の検討を行ってきた。

2. 研究の目的

これまで、fMRI や TMS を用いた反応抑制機能の研究が盛んになされてきた。しかし、反応変更に関する脳活動について検討したものはほとんど見当たらない。そこで、本研究は EEG から求める CNV を指標にして、a) 抑制のみ (SST)、b) 変更のみ (CT)、c) 抑制と変更 (SCT) の難易度の異なる 3 種類の反応課題を用いて、反応準備期の負荷量の違いが、反応抑制もしくは変更の準備期の脳活動に及ぼす影響とパフォーマンスとの関係について明らかにするとともに、BMI へ応用する前段階の基礎的データとなる研究を行うことを目的とした。研究期間内には以下のことを明らかにした。

- (1) SST, CT, SCT 時における CNV を比較し、反応の抑制と変更では反応準備期の脳活動様式にどのような差があるか否か。
- (2) 反応準備期の負荷量の違いによる、反応抑制もしくは変更の脳活動様式とパフォーマンスとの関係。

3. 研究の方法

(1) 反応抑制と変更に関連する準備期の脳活動様式の相違の解明

実験参加者は、本研究の目的および方法について十分な説明のうえ、同意が得られた右利きの健康成人 13 名であった。抑制機能を検討する Stop-signal 課題 (SST) と反応変更機能を検討する Change 課題 (CT)、そして、反応抑制と変更の両方を検討する Stop-change 課題 (SCT) を実験課題とした (図 1)。椅子座位の実験参加者の前方の PC ディスプレイより、刺激画像を呈示した。SST, CT, SCT とともにまず固視点を呈示する。その 2 秒後に Go 刺激として左右いずれかの矢印を呈示する。実験参加者には左矢印の場合は示指で、右矢印の場合は小指でスイッチ

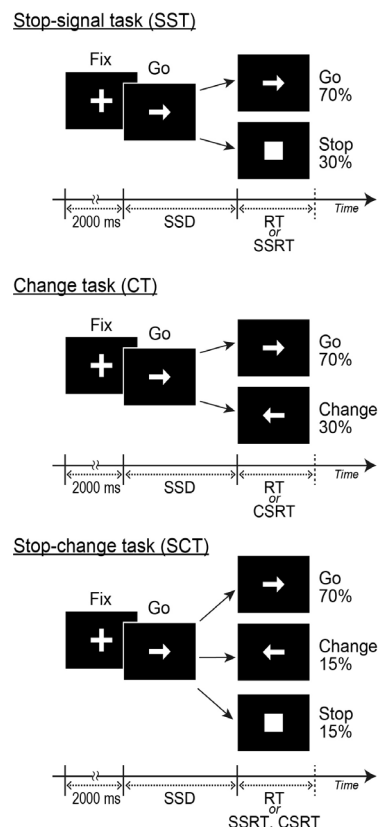


図 1. 反応抑制ならびに変更課

を押すように指示をした。しかし、試行数の 30% の割合で SST では四角形 (Stop 刺激) が、CT では逆方向の矢印 (Change 刺激) が Go 刺激後、呈示された。SCT では Stop 刺激と Change 刺激がそれぞれ 15% の割合で呈示された。Stop 刺激が呈示された場合は反応をキャンセルし、Change 刺激が呈示された場合は反応指を変更して反応するように指示をした。SST のパラダイムは CT および SCT にも適用できる (Verbruggen and Logan, 2009) ので、3 課題ともに Go 刺激から Stop 刺激 (Change 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、被験者が抑制 (変更) に成功するごとに 33 ミリ秒ずつ延長させ、反対に抑制 (変更) に失敗した (Go 刺激どおりに反応してしまった) 場合には 33 ミリ秒ずつ短縮させ、課題成功率が約 50% となるよう可変的な設定とした。各課題は、それぞれ 50 試行×5 セットとした。脳活動は非侵襲的に記録できる EEG を 16 チャンネル生体信号収録装置で記録した。EEG の記録条件は、サンプリング周波数 1kHz、低域遮断周波数 0.3 Hz、高域遮断周波数 100 Hz とした。準備期の脳活動の指標となる CNV より検討した。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、その振幅の比較より、反応の抑制と変更の相違について検討した。

(2) 準備期の負荷量が脳活動様式とパフォーマンスへ与える影響の解明

(1) の結果を受けて、反応抑制もしくは変更が指示された試行が直後の反応試行に影響を及ぼす心的現象 (after-effects) に着目して、予測的注意機能と反応準備期の負荷量の関係について明らかにすることを目的とした。実験に用いた課題ならびに CNV の記録解析方法は (1) と同様であった。解析対象としては、(1) での反応抑制/変更の成否のほか、それぞれの直後の試行を抽出して検討した。

4. 研究成果

(1) 反応抑制と変更に関連する準備期の脳活動様式の相違の解明

反応抑制ならびに変更の指示がない Go 条件時における反応時間 (Go RT) は、SST, CT, SCT の順で、SST 時が最も早かった。つまり、課題難易度としては、SCT が最も容易であり、反応準備期における認知的負荷についても反応抑制のみである SST 時が最も小さかったことが推察された。しかしながら、準備期の脳活動の指標である CNV のうち後期成分においては、CT 時の振幅が SST, SCT 時よりも高かった (図 2)。CNV の後期成分は、S1-S2 課題における予測的注意機能を反映している (Brunia and van Boxtel, 2001)。したがって、CT 時の反応準備期が最も予測的注意機能が高まっていたと考えられた。Go RT と後期 CNV の振幅において、一致した結果が得られなかった。これは SCT のように反応の選択肢が増えると、準備期に向けるべき認知的処理が多くなり、注意資源が分散してしまうのかもしれないが、本研究においては、確認することができなかった。

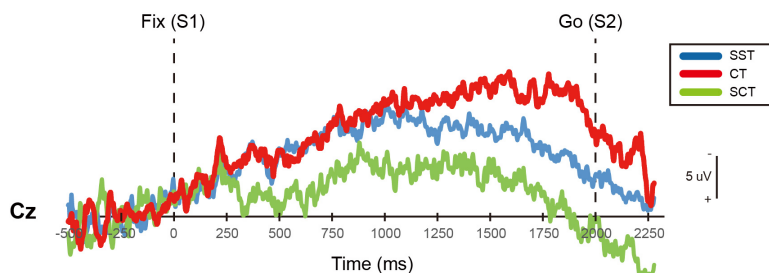


図 2. 各課題における Go RT 時の CNV

(2) 準備期の負荷量が脳活動様式とパフォーマンスへ与える影響の解明

(1) の結果、反応抑制と反応変更では、反応運引きにおける情報処理に対する認知的負荷量が違うことが示唆されたため、(2) においては、Stop 条件ならびに Change 条件において、反応抑制/変更に成功した場合と失敗した場合に分け、各条件直後の Go 条件時の Go RT について、比較した。

反応抑制/変更に成功した直後の Go RT は失敗直後の Go RT よりも有意に延長しており、先行研究同様に直前のパフォーマンス結果が、そのあとのパフォーマンスに対して影響を及ぼすことが確認された。なお、その際の CNV においても、SST ならびに CT 時では、反応抑制成功直後の試行時のほうが、失敗直後の試行時よりも振幅が小さかった (図 3)。

反応抑制できずに反応してしまった反応時間は、SCT 時において SST 時よりも有意に延長していた。これは脳内における変更のための情報処理が必要となること、要因となっている可能性がある。反応実行とは別の実行処理 (Go-2 処理) が開始されるのではなく、Change 刺激呈示後にいったん抑制のための情報処理がなされ、先行していた実行処理がキャンセルされたのちに Go-2 処理が開始されると考えられている (Verbruggen and Logan, 2009)。また、特定の空間に注意を向けた場合とそうでない場合では反応時間に差が生じることや (Posner, 1980)、注意を向けた位置空間とそれとは異なる位置空間に視覚情報が呈示された場合の神経応答が異なることが明らかにされている (Maunsell and Cook, 2002) など、反応行動に対して、注意機能は大きな影響を与えることがわかっている。SST 時においては、反応抑制の情報処理に注意資源のバイアスをかけることにより、スムーズに反応抑制・実行が遂行されているのに対し、

SCT 時において変更処理を行なうためには抑制処理よりも多くの情報処理過程を要することとなり、認知的負荷が増大する。限られた注意資源を抑制処理よりも多くの認知処理に対して配分するため、各認知処理に向けられた注意機能は、SST 時における抑制処理時のそれと比較して少ないことが考えられる。これらの理由により、抑制に失敗した場合においても SST と SCT 時に差が生じたことが推察される。

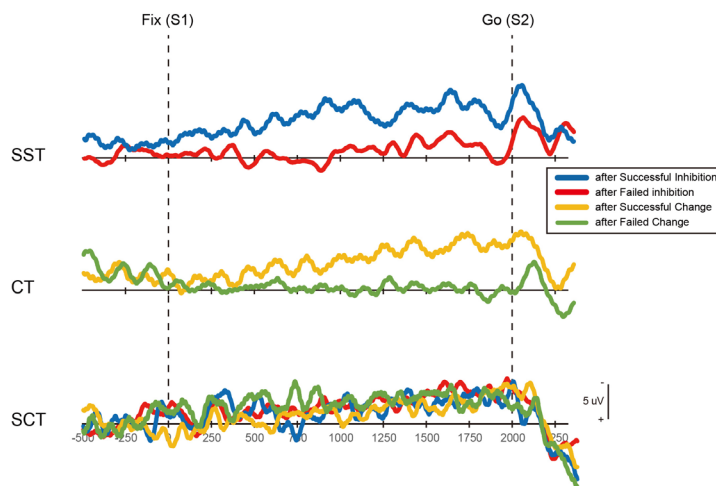


図 3. 各課題における反応成否別に示した CNV

Stop 条件直後の Go 条件結果の比較において主効果がみられ、交互作用については

有意な差ではないものの傾向がみられた。つまり直前の試行時における Stop 刺激の有無について考慮されていない Go RT において、SST よりも SCT 時に有意に延長していたのと同様の結果が得られた。さらに有意な差はみられなかったものの、SST と SCT いずれにおいても、反応抑制に成功後の Go RT よりも反応抑制失敗後の Go RT のほうが延長する傾向がみられた。したがって、反応抑制に対するパフォーマンス結果が次の試行に対して影響を与えることが認められた。一方で、Change 条件直後の Go 条件結果の比較においては、主効果は認められず、交互作用についても有意な差はなかった。これは Change 条件時の情報処理過程（変更処理）が抑制処理過程と異なることが関係しているかもしれない。以上の本研究の結果より、先に行なわれたパフォーマンスの結果が、その後のパフォーマンスに与える影響については、注意資源の配分が大きく関与することが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

①高壽正樹, 越澤亮, 沖和磨, 難波皓平, 反応の抑制と変更の成否が直後のパフォーマンスに及ぼす影響の違い, 桜門体育学研究, 査読有, 印刷中

〔学会発表〕 (計 3 件)

①Takayose M, Koshizawa R, Oki K, Influence of after-effects on preparatory attention depending on difficulty of tasks. Society for Neuroscience 47th Annual Meeting, 2017 年, Washington DC (USA)

②Takayose M, Koshizawa R, Oki K, The difficulty of response pattern-dependent tasks to affect preparatory attention. Society for Neuroscience 46th Annual Meeting, 2016 年, San Diego (USA)

③Takayose M, Koshizawa R, Oki K, The relationship between prefrontal cortex activity during preparatory period and inhibition task performance. Society for Neuroscience 45th Annual Meeting, 2015 年, Chicago (USA)

〔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) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。