

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82404

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11176

研究課題名（和文）ニューロフィードバックによる事象関連電位調節手法の開発

研究課題名（英文）Development of neurofeedback method for event-related potential modulation

研究代表者

高野 弘二（Takano, Kouji）

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所 脳機能系障害研究部・主任研究員

研究者番号：00510588

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではfMRIによるニューロフィードバックによるEEGへの影響について調査を行った。注視点を注視した状態で右視野のみ左視野のみに刺激を提示し、rare刺激の回数をカウントするというシンプルな視覚刺激によるOddball課題を用いて、その際のERP（事象関連電位）を視覚刺激に関わるO1およびO2について計測、左右のうち片方の一次視覚野のみを対象としてfMRIニューロフィードバックを実施した。その後、同じ課題を左右の視野について実施、加えて同じ部位についてERPを計測、ニューロフィードバックを行なった側のERPでより大きな変化があったことを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

fMRIニューロフィードバックによるERPへの影響の知見が得られた。結果からニューロフィードバックの効果の限界が可能な点、困難な点があることが推測される。同様の研究を続けることで、特定の認知機能の強化・減弱などが行えるようになることで今後の高齢化社会における認知機能関連の障害などにおいて効果的な治療手法の創出に繋がる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated the effects of fMRI neurofeedback on EEG. We used an Oddball task with simple visual stimuli, in which stimuli were presented only in the right/left visual field while the subject was gazing at the fixation point, and the number of rare stimuli was counted. The fMRI neurofeedback was performed on the V1 of only one of the left and right visual fields. The same task was performed in the left and right visual fields, and modulated ERPs were measured in the same areas.

研究分野：認知神経科学

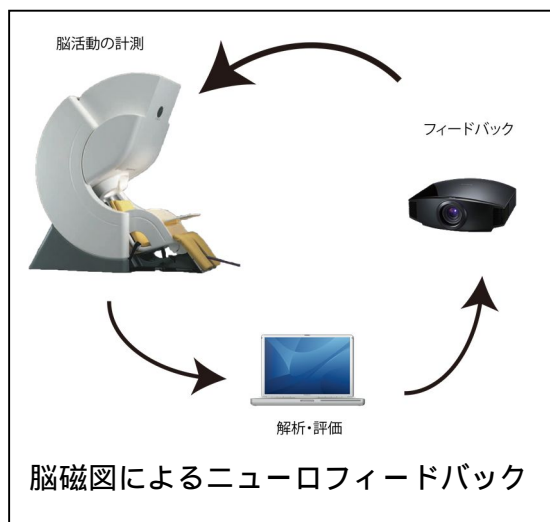
キーワード：ニューロフィードバック fMRI MEG

1. 研究開始当初の背景

ニューロフィードバックは対象者に自身の脳活動を何らかの形でフィードバックすることで、脳活動を自発的に制御することや、目的に合わせた脳内ネットワークの構造に誘導する技術である。技術としては脳波を用いたものが1970年代には既に研究が行われており (Sternman et al., 1974) 目新しいものではない。また注意欠陥・多動性障害(ADHD) (Lubar et al., 1995) や自閉症スペクトラム障害(ASD) (Coben and Padolsky, 2007)、てんかん (Sternman and Egner, 2006) などの当事者に向けた臨床応用も行われている。

近年、デコーディッドニューロフィードバック (DecNef) などの手法の開発により、特定の脳活動に対して報酬となる刺激を提示することで、対象となる視機能のみの向上、特定の顔に対する好悪の判断の誘導などが可能となり応用の幅が広がっている。この手法は機能的磁気共鳴画像 (fMRI) を用いることが多く、空間的な脳活動部位の関係により計算される結果を対象者へフィードバックする。また脳波 (EEG) や脳磁図 (MEG) を用いる場合においては特定の周波数での脳活動から、その変化や特定の脳部位の関係などをフィードバックすることで、それらの脳の周期的活動を強化ないし抑制することが可能である。

一方でニューロフィードバックを行うことで、ERP が変化することも知られている。ADHD 患者において、脳波を特定の周波数に合わせるようニューロフィードバックによるトレーニングを行ったところ、結果的にオッドボール課題に対する ERP の波形に変化が生じており、特定の脳部位・周波数でのニューロフィードバックトレーニングが ERP に影響を与えることが示されている (Arns et al. 2012)。しかしながら、特定条件下での事象関連電位 (ERP) を直接の対象としてニューロフィードバックにより強化ないし抑制する手法は確立されていない。



2. 研究の目的

本研究では事象関連電位 (ERP) を対象としたデコーディッドニューロフィードバックによるトレーニング手法の基礎的な知見を得ることを目的とする。

従来のニューロフィードバックの手法は目標とする脳の「状態」を誘導するものであり、特定の「応答」を直接誘導するものではない。例として自閉症などのトレーニングとして使われるニューロフィードバックでは、電極を設置した部位での EEG の周波数が特定の関係となるようにフィードバックをかけてトレーニングを行うことで、自身の脳を制御する手法を習得するものである。また近年開発されたニューロフィードバックの手法である DecNef の手法では、自主的な脳活動の制御により、目標とする脳活動が生じた場合に高い評価をフィードバックすることで、特定の課題における脳活動を誘導する (Shibata et al., 2011) が、脳波のような短時間での脳の応答を直接制御するものではない。MRI を用いる場合では特定の脳活動の空間構造、MEG ではそれに加えて特定周波数での脳活動を利用する。DecNef では自主的な脳活動の制御によりトレーニングを行うために目標とする脳の状態と対応した認知負荷や課題を実施することは必要とされない。これは強化ないし抑制する対象となる活動が心的外傷などである場合、それを刺激せずにトレーニングを行うことが可能となるなどの利点があるが、特定の ERP を対象とするような脳活動の制御には適さない。

そこで本研究では ERP を対象としたニューロフィードバック手法を開発し、外部からの刺激に対する脳の「応答」を制御することを目指す。これによって認知機能を選択的に強化ないし抑制が可能となる。

3. 研究の方法

実験は 1) 事前の認知課題+脳波計測、2) fMRI によるニューロフィードバック、3) 事後の認知課題+脳波計測の順で実施した。

認知課題にはオッドボール課題を改変して使用した。被験者は固視点を注視している状態で、平均して 1 秒に一回の頻度で固視点の左もしくは右に視覚刺激を提示し、その際全体の 20% 含まれるレア刺激の提示回数を数える課題を被験者に与え、その際の脳波を計測した。計測には brainamp MR plus を使用し、O1, O2, Cz, Pz, POz に電極を設置した。

NF 課題については、30 秒の休憩と 30 秒のトレーニングで構成し、左一次視覚野 (左 V1) の活動について、休憩の最後 10 秒分の BOLD の平均を脳活動の基準とし、その後のトレーニングにおいて、基準からの左 V1 での BOLD 増加率を円の大きさとしてフィードバックした。

一連のトレーニング 15 回を 1 セッションとし、2 セッション、計 30 分のニューロフィードバックを実施した。被験者には実験中にはどの部位へのニューロフィードバックを行うかは通知せず、実験終了後に通知を行った。被験者は健康成人男性 1 名であった。

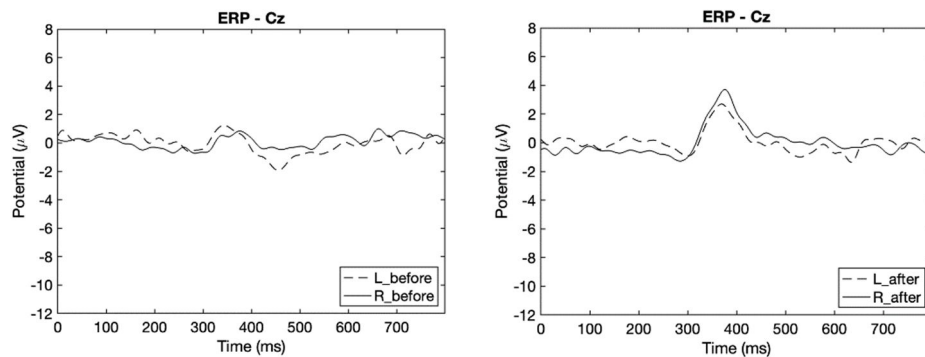
4. 研究成果

被験者は事前、事後ともにリア刺激の回数を正確に回答することができた。認知課題としては課題の容易さによりニューロフィードバックの影響の観察ができなかったといえる。ニューロフィードバック自体においては、休憩時とトレーニング時で平均してトレーニング時の脳活動が向上していることが確認された。これにより被験者はニューロフィードバックにより対象とした部位において脳活動が増加したことが示唆される。

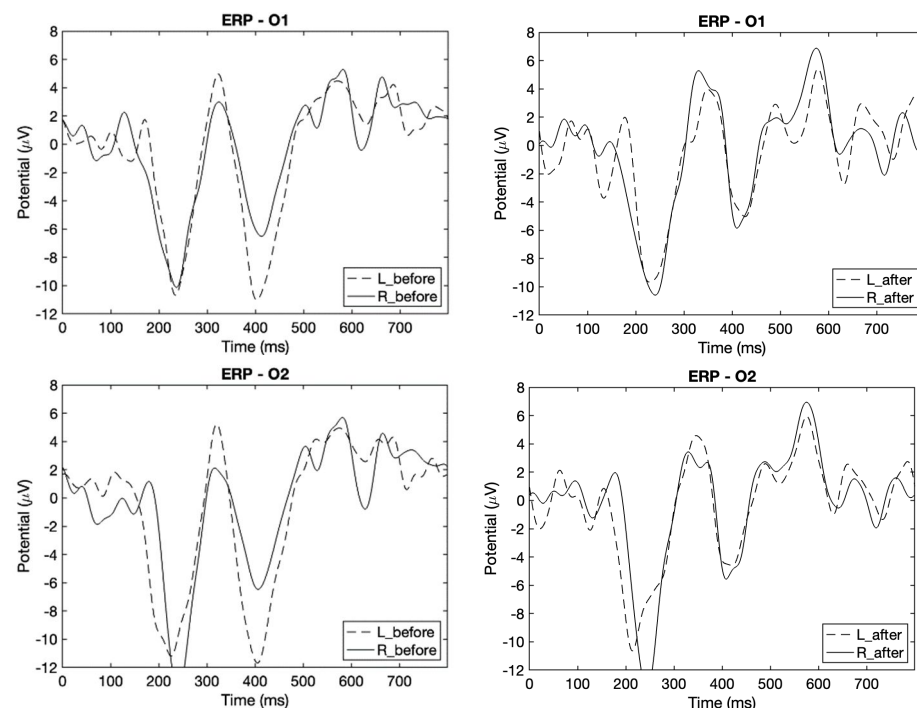
脳波について、代表的な点として ERP に関連する Cz およびニューロフィードバックの対象となった左 V1 に関連する O2 の脳波の変化について以下に記す。解析には MATLAB 上で動作する EEGLAB を用い ERP は全て刺激提示前 100ms から刺激提示時刻までの平均を使ってベースラインを調整し、30Hz でのローパスフィルタを掛けている。

下図は Cz での ERP について示したグラフである。左はニューロフィードバック前、右はニューロフィードバック後で、実線が右視野、破線が左視野に刺激が提示された場合の ERP を示す。どちらにおいても事前はそれほど大きくなく、また特に右視野に刺激提示した際には明確な P300 (刺激後 300ms 周辺での正のピーク) は観察されなかった。

ニューロフィードバック後においてはどちらの刺激においても明確な P300 のピークが観察された。



次に O1 および O2 での ERP を下に示す。上図と同様に左がニューロフィードバック前、右がニューロフィードバック後、右視野への刺激提示時が実線で左視野への提示が破線となっている。O1 では事前での ERP は P3a (P300 の成分のうち刺激定時後 300ms 前後のもの)、P3b (P300 の成分のうち刺激定時後 600-800ms 前後のもの) とともに左視野への刺激において振幅が大きいものに対し、事後の ERP では P3a, P3b のいずれにおいても右視野への刺激の振幅が大きくなっていることが観察された。しかし、この傾向は O2 では観察されなかった。



これらの結果から fMRI によるニューロフィードバックが ERP に影響を与えることが確認された。今回ニューロフィードバックの対象としたのは左の V1 であり、01,02 の比較からも効果が限局できていたことが示唆される。それに従う場合、右視野への刺激時のみで P300 が増強されるはずだったが Cz の結果からは P300 が両視野の刺激において増強されていたことが確認できており、その理由についての検証が求められる。

より詳細なプロセスを確認するためにはニューロフィードバック中の脳活動について、ターゲットにした左 V1 とその他の領域の機能的結合の変化などを確認する必要があるが、現状では被験者数が少ないため、今後のデータ収集と合わせて研究を進めていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Kouji, Takano, . Tomoaki Komatsu, . Kimihiro, Nakamura,
2. 発表標題 velopment of an fMRI neurofeedback System for Cognitive Functions Using Machine Learning.
3. 学会等名 The 100th Anniversary Annual Meeting of The Physiological Society of Japan,
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------