

平成 29 年 4 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12040

研究課題名(和文)脳血流BFトレーニングシステムの開発と評価

研究課題名(英文)R&D for bio-feedback cognitive training system

研究代表者

川島 隆太(KAWASHIMA, RYUTA)

東北大学・加齢医学研究所・教授

研究者番号：90250828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：機能的MRIを用いた個人脳活動解析によって、食欲の制御に関わる脳領域を同定し、それらの領域内に超小型NIRS装置を用いたバイオフィードバック訓練のターゲット領域が含まれることを確認した。しかし、実生活環境でシステムを稼働させると、ベースラインシフトへの対応、脳活動をフィードバック信号に変換する係数の設定が非常に困難であることが判明し、プログラムの修正を行ったが、目的とする実証実験を行うことができなかった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to develop bio-feedback system for controlling one's appetite using ultra-small near infrared spectroscopy (NIRS) system. Individual analysis of functional MRI data during appetite control task showed activation of cortical network including the bilateral prefrontal cortex, where our target of the NIRS measurements. We, then, applied our bio-feedback system during appetite control tasks, however, we faced a few significant problems for the measured NIRS data. Therefore, extra-development for the system was needed, and, unfortunately, there was no remaining time left to study beneficial effects by our bio-feedback system.

研究分野：認知科学

キーワード：バイオフィードバック

1. 研究開始当初の背景

近年、脳内信号をコンピュータとの双方向接続によって侵襲的あるいは非侵襲的に収集し、収集した脳内信号を用いて義手・義足等の外部デバイスを実時間でコントロールする技術、すなわち BMI (Brain Machine Interface) や BCI (Brain Computer Interface) の研究開発が急速に発展している。応募者も基盤研究 (B) (H23-H25) 「感性情報デコーディングシステム開発」において、機能的 MRI (fMRI) を用いた脳活動情報の解読の研究を進めてきた (例えば Hadi et al. 2011)。こうした BMI/BCI 技術を応用し、脳活動情報の伝達によるロボットなどの外部機器操作を行うことは、障害を抱える人達の脳からの運動出力や意思の伝達等を代替する手段として医療分野への適用が特に期待されている。

BMI/BCI による意思伝達が機能するには、使用者が思考により制御する脳活動と、機器に行わせたい動作とのマッピングを確立する必要がある。この際、BMI/BCI 機器は、受け取る脳情報から各使用者の意図を推察するためのより顕著な特徴を機械学習の手法で適応的に抽出するが、同時に使用者の側も機器が返す結果を参照しながら自らの意図が正確に判別されやすくなるよう思考を制御することを学ぶトレーニングを行う必要がある。脳活動のように通常は知覚できない生理活動に伴う生体情報を、工学的手段を用いて計測、その情報を知覚できるようにフィードバックし、生理活動の随意制御を可能とする方法をバイオフィードバック (BF) と呼ぶ。

脳情報を介した BF トレーニングでは、思考に伴う自らの脳活動に作用する新たなチャンネルを獲得することになるため、これまでの臨床知見を鑑みても、精神的・身体的に使用者に影響することが考えられる。しかし、このような BF トレーニングを、継続的に行うことが使用者の心身機能に及ぼす影響について、体系的に評価した研究はこれまで行われていない。

2. 研究の目的

言語による思考を直接反映する背外側前頭前野の活動を信号源とし、より直観的に脳活動を随意的に制御可能な BF トレーニングシステムを開発し、それを使用した時に、心身機能にどのような影響を与えるのかを明らかにすることが本研究の目的であった。

そのため、応募者が JST 先端計測分析技術・機器開発事業 (H21-H23) において開発した超小型 NIRs 装置を使った BF トレーニングシステムを開発し、それを健常被験者が使用し BF トレーニングを行った時の、被験者の心身機能の変化を定量的に評価することとした。

今回の研究では、BF トレーニングによって、食欲の制御を行うこととした。過去の研

究からも、摂食行動の異常を改善する方法として BF トレーニングの可能性が提案されている (Bartholdy, 2013 他)。しかし、食欲制御への BF トレーニングの有効性は、未だ実証されていない。

3. 研究の方法

(1) 機能的 MRI を用いた BF トレーニング時の関心領域の確認

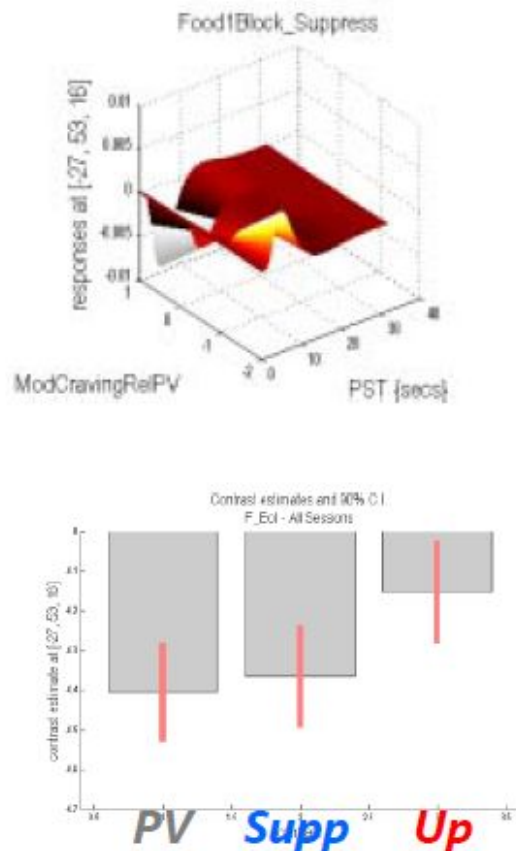
予備実験として、機能的 MRI を用いて、食欲の制御に関わる脳領域を同定し、超小型 NIRs 装置を用いた BF トレーニングで計測対象となる、背外側前頭前野が、その領域に含まれるか否かを検討した。

以下の、食欲制御課題を作成し、機能的 MRI 計測を行った。

食欲制御課題では、課題の指示 (食欲を抑制、食欲を増す、受動的に見るのみの3条件をランダムに提示) を 4 秒間視覚的に提示した後、日常的な食べ物 (例えばピザ) の写真を 10 秒間提示、被験者には指示に従って食欲を制御するよう努力させた。その後、写真提示時の自身の食欲に関し、4 段階で回答をさせた。

構造 MRI も同時に撮像し、撮像時に超小型 NIRs のセンサー位置にマーカーを設置した。

データ解析では、食欲抑制に特異的に活動する脳領域を同定した。

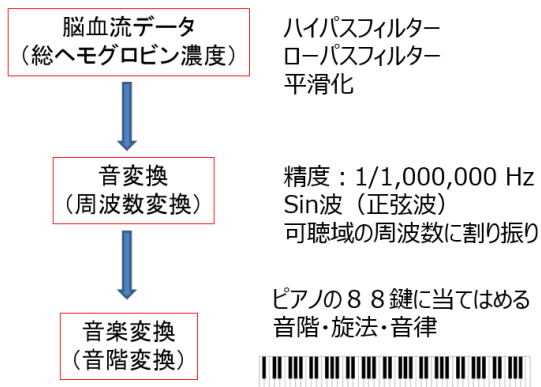


(2) 脳活動リアルタイム・フィードバックシステムの開発

超小型 NIRs を用いた BF トレーニングを、

実際の食事に行うため、脳活動をリアルタイムに音に変換して、被験者に提示するシステムの開発を行った。

超小型 NIRS (HOT1000, (株)日立ハイテクノロジーズ) で計測した背外側前頭前野の脳血流情報を、フィルタリングおよび平滑化した後、精度 1/1,000,000Hz にて可聴域の周波数に正弦波変換した。さらに、ヒトの聴覚弁別能力に合わせて、正弦波変換したデータを、ピアノの 88 鍵に当てはめ音楽変換をした。音楽変換を行ったデータは、生活環境でより聞きやすくなるよう、音階、音律、楽器音を電子的に割り振り可能とした。



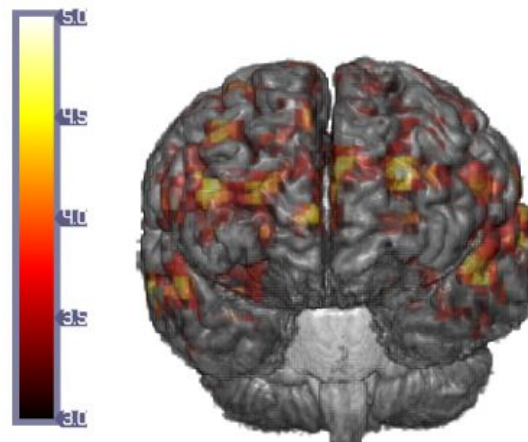
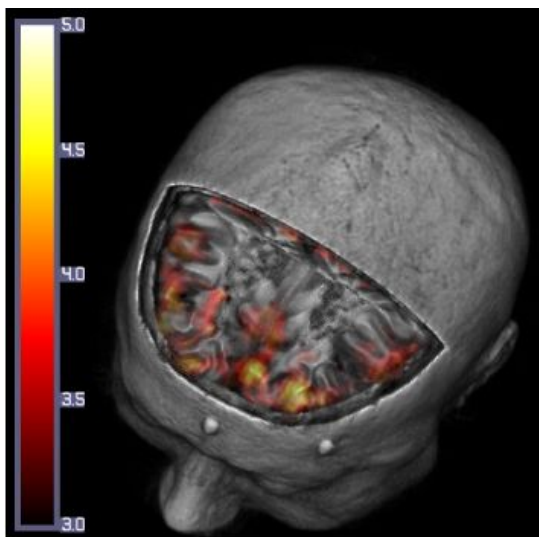
(3) 超小型 NIRS を用いた食欲制御 BF トレーニングシステム開発と予備実験

脳活動のリアルタイム可聴化システムを用いて、機能的 MRI 実験と同様に、日常的な食べ物を PC 画面に提示し、背外側前頭前野の脳活動を、食欲を抑制するために制御する (実験 (1) の結果より、両側背前頭前野の活動を抑制する) 予備実験を行った。

4. 研究成果

(1) 機能的 MRI を用いた BF トレーニング時の関心領域の確認

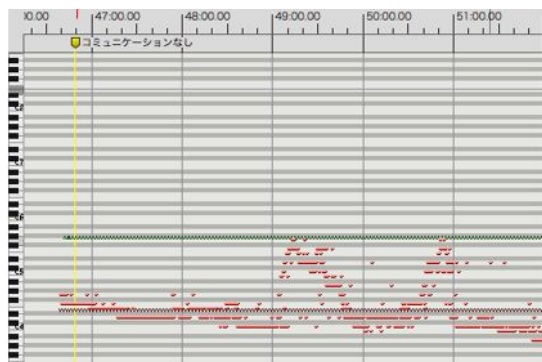
個人脳活動解析により、超小型 NIRS センサー位置 (図では大脳左半球背外側前頭前野) に、食欲抑制に係るネットワークの一部が存在することが明らかになった。



これらの結果は、過去のイメージング研究の結果 (Siep et al. 2012; Giuliani et al. 2014; Murdaugh et al. 2012) と、大きく矛盾はない。

(2) 脳活動リアルタイム・フィードバックシステムの開発

HOT1000 にて計測した、総ヘモグロビン濃度を、音変換 (周波数変換) した後、音楽変換 (音階変換) を行うことにより、パーソナルコンピュータを介して、ほぼリアルタイムに、聴覚フィードバックを可能となるシステムの開発に成功した。



(3) 超小型 NIRS を用いた食欲制御 BF トレーニングシステム開発と予備実験

研究開始当初想定していなかった、以下の問題が予備実験中に発生し、それらへの個別の対処法の開発を行うこととなった。

長時間の fNIRS 計測で、装置・オプトード接触状態・被験者姿勢などの要因により、信号のドリフトがしばしば見られた。このドリフトは脳活動変動の振幅と比較してはるかに大きかった。これを適切に除去したベースライン補正をしないと、フィードバック信号に脳活動とは無関係なこのドリフト成分が乗り、バイオフィードバックの枠組みが成り立たないことが判明した。

今回研究に用いた超小型 NIRS の特徴として、ノイズとなる表面血流を除去するためのセンサーとアルゴリズムが入っているが、表面血流信号を除いたとされる脳血流信号を用いた場合でも、脈波成分に対応する約 1Hz オーダの振動成分がしばしば残存してい

た。これをそのまま用いると、フィードバック信号が振動し、使用者の気を逸らせるなどの外乱になった。

同じ食べ物刺激に対する脳活動応答をバイオフィードバックする枠組みでも、個人差やヘッドセット装着状態などによって、fNIRS で計測される脳活動応答にはスケールのばらつきが見られた。脳活動応答の大きさをフィードバック信号に変換する段階でこのような個人差およびセッションごとのばらつきに適切に対応しないと、脳活動が変動しているにも関わらずフィードバック信号に反映されなかったり（感度の不足）、逆にフィードバック信号の可能な値域を越えて飽和してしまったりする（脳活動変動のオーバーフロー）ケースが生じた。

これらの問題に対処するため、新たに以下の2つのプログラム開発を行った。

異なる時間スケールでのローパスフィルタとベースライン補正

ドリフト成分を除去したベースライン抽出のために長い時間スケールでのローパスフィルタを、脈波振動成分や急激なスパイクノイズ除去のためにより短い時間スケールでのローパスフィルタを、それぞれパラレルに適用した各チャンネル2つの時系列を生成した。現時点は、オンラインフィルタリングに実装が単純な exponential smoothing (= 1 次の IIR フィルタ)を使用している。

$$s_t^{\text{slow}} = \alpha^{\text{slow}} x_t + (1 - \alpha^{\text{slow}}) x_{t-1}$$

$$s_t^{\text{fast}} = \alpha^{\text{fast}} x_t + (1 - \alpha^{\text{fast}}) x_{t-1}$$

ここで x_t はバイオフィードバックに使用チャンネルの生の脳活動信号、slow および fast は長い/短い時間スケールでのローパスフィルタ後の信号である。Smoothing factor は、経験的に仮に slow=0.1、fast=0.5 と設定しているが、今後さらに検討の余地がある。

各試行のベースラインとして各食べ物刺激提示の提示直前の slow を用いる。時々刻々変動する脳活動変動の情報は fast に含まれる。

キャリブレーション試行の導入による脳活動応答の変動幅ばらつき対応

個人/セッション毎の信号スケールのばらつきを考慮に入れて、脳活動信号からフィードバック信号への変換のスケールリングを定めるために、BF 課題の最初の n 試行はキャリブレーション試行とし、これらの間は、フィードバック (=刺激枠の色変化)は与えず、刺激への脳活動応答を収集した。前述の各試行ベースラインからの差分絶対値の n 試行にわたっての最大値を range とし、n+1 以降の本番 NF 試行では規格化・ベースライン補正の信号 $Y_t = (S_t^{\text{fast}} - S_t^{\text{slow}}) / \text{range}$ を BF フィードバックに用いる。刺激枠の色をフィードバックに用いる現在の設定

では、 y_t を値域 [-1,1] 内に限定した

$$\tilde{y}_t = \begin{cases} +1 & \text{if } y_t > +1 \\ y_t & \text{if } y_t \in [-1, +1] \\ -1 & \text{if } y_t < -1 \end{cases}$$

を用いて、ターゲット脳領域の活動を高められた時ほどフィードバック信号が高くなるようにした。

改定後のシステムを用いた予備実験を行い、食事中に BF トレーニングが可能なことを示せたが、多数の被験者を使つての効果検証をするに至らなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川島 隆太 (KAWASHIMA, RYUTA)

東北大学・加齢医学研究所・教授

研究者番号：90250828