

2015年度 博士研究員研究成果報告書

氏名 (所属研究室) 伊東 嗣功 (理工学研究科工藤研究室)

研究課題 脳活動と筋電の相関的解析/制御と生物学的モデルの開発

研究期間 2015年4月1日~2016年3月31日

研究成果概要 (日本文(全角)の場合は2,500字程度、英文(半角)の場合は90字×65行程度)

本プロジェクトは脳活動と筋電位のモニタリングを併用することで、既存のリハビリテーションシステムにバイオフィードバック手法を加えた新たなシステムを開発することを目的としている。その目的達成のために、本年度は TMS 刺激による不随意運動時の脳機能信号の動態と随意運動時の脳機能信号の動態を筋肉電位と共に解析した。

(1)研究分野の背景

近年、脳と機械を接続する侵襲型、非侵襲型のインターフェイス技術の開発が盛んに行われている。これらの技術は既に Brain Machine interface と脳刺激装置を組み合わせたニューロリハビリテーション手法に応用されている。ニューロリハビリテーションに使用される脳活動計測方法は、脳波 (ElectroEncephaloGram, EEG), 機能的近赤外分光法 (functional Near-InfraRed Spectroscopy, fNIRS) が知られている。ニューロリハビリテーションを行う際には、直接的・間接的に脳を刺激する必要がある。報告の多い脳刺激手法は、反復経頭蓋磁気刺激 (repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS), 経頭蓋直流電気刺激 (transcranial direct stimulation, tDCS) が知られている。

本研究では運動時の特徴的脳活動の検出を目的としている。EEG と fNIRS の性質を比較すると、計測されるデータの時間分解能においては EEG が優れ、空間分解能においては fNIRS が優れている。また、TMS と DCS による刺激の空間分解能を比較すると、DCS は電極から電流を通電しつづける必要があるため TMS に比べて刺激範囲の空間分解能が低い傾向にある。そのため本研究の脳活動の計測手法及び刺激手法は空間分解能に優れた fNIRS, TMS を使用した。

(2)実験装置

fNIRS による計測, TMS による磁気刺激, 筋肉電位計測を ms 単位で同期させるため, USBDAQ 6009 を用いて TTL パルスを生成し各機器の制御を行った。また各機器を同期させるためのソフトウェア(TMS-fNIRS Controller)を開発した。また、fNIRS 装置から出力されるバイナリ形式の計測データを解析する際に、パッケージ化された解析専用ソフトウェアではなく、Labview ベースの解析ソフトウェアで代替可能にした。一般的な fNIRS 信号計測は計測直前のデータを参考にして、その後の脳活動の値を相対的に算出している。そのため、計測直前のデータがその後に計測される fNIRS 信号に大きな影響を与えていると言える。Binary reader for fNIRS はその計測直前のデータの再確認、再解析が可能である。

(3)実験タスク

本研究では随意運動時, 不随意運動時の特徴的脳活動の検出を目的として以下 1~4 の実験を行った。1.不随意運動タスク: 左半球上肢運動野直上 (C3) に磁気刺激用コイルを固定し, TMS を 2 分間隔で 4 回行った。2.随意運動タスク: TMS によって誘発された動作を 2 分間隔で 4 回再現した。3.運動イメージタスク: 2 分間隔でタイミングを指示して 4 回同じ動作をイメージしてもらった。4.安静状態タスク: 動作をしない安静状態で 10 分間脳血流計測を行った。各実験タスク中の 10 分間は常に脳血流計測を行い, 各実験タスクの間は少なくとも 1 分以上の時間を空

けている。また、実験タスク中は視覚情報が血流量に与える影響を少なくするため、提示した十字の印を見ながら椅子に腰掛けた状態で実験を行った。本研究の実験参加者は健康な 21 才-22 才の男性 2 名、女性 1 名の計 3 名である。

(4)実験結果と考察

1.不随意運動タスクにおいては、TMS を加える直前、直後と比較すると、各刺激直後から Oxy ヘモグロビン信号の増加が確認された。与えられた 4 回の刺激 (120 秒, 240 秒, 360 秒, 480 秒) 後全てにおいて TMS 由来と考えられる Oxy ヘモグロビン信号が増加した。Deoxy ヘモグロビン信号は TMS 後の Oxy ヘモグロビン信号のピークが表れるタイミングでわずかに減少している傾向が確認された。また、TMS による筋肉電位の潜時は 20ms 程度であり従来の報告と一致していた。

2.随意運動タスクにおいては、動作の発現の指示後 5 秒程度で Oxy ヘモグロビン信号の増加が確認された。このタスクにおいては動作に依存した Deoxy ヘモグロビン信号の影響を確認することは出来なかった。

3.運動イメージタスクにおいては、タイミングの指示から 10 秒後に Oxy ヘモグロビン信号の増加が確認された。このタスクにおいても動作に依存した Deoxy ヘモグロビン信号の影響を確認することは出来なかった。

4.安静状態タスクにおいては、Oxy ヘモグロビン信号、Deoxy ヘモグロビン信号の値が 10 分に渡って安定していた。さらに、他 3 つの動作タスクでは Oxy ヘモグロビン信号の値が Deoxy ヘモグロビン信号の値よりも高い傾向にあるのに比べて、安静状態では Deoxy ヘモグロビン信号が Oxy ヘモグロビン信号よりも高い値を示している。これはタスクを実行していない脳血流量は Deoxy ヘモグロビン信号が高い値を示し、逆にタスク依存的に Oxy ヘモグロビン信号が増加することを示している。これらタスク 1~3 における刺激提示後に信号の増加傾向が異なる理由としては、1.不随意運動タスクの場合は直接脳を磁気刺激しているため、刺激提示直後から Oxy ヘモグロビン信号が増加したと考えられる。2.随意運動タスクの場合は刺激提示タイミング後に手を動かす動作をするため、タスク 1 と比べて数秒遅く Oxy ヘモグロビン信号の増加がみられたと考えられる。3.運動イメージタスクの場合は刺激提示タイミング後に、手を握るイメージをして貰っている。随意運動タスクに比べてさらに数秒遅く Oxy ヘモグロビン信号の増加が確認されることから、随意運動とは異なる経路の脳神経回路が活動し Oxy ヘモグロビン信号が増加したと考えられる。

(5)今後

これまで運動タスクに依存して Oxy ヘモグロビン信号が増加することは知られていたが、TMS が引き起こす Oxy ヘモグロビン信号はそれ以上に大きい傾向が確認された。さらに、従来の TMS 手法に比べて 120 秒に 1 回 TMS を加える低頻度刺激であるにも関わらず、刺激後 10 秒程度の間、脳活動を賦活できる事が明らかになった。この結果は従来の 1~20Hz の rTMS を用いずに、一過性の脳活動賦活が誘導可能であることを示す。低頻度刺激による脳活動の賦活時間を見積もることで、リハビリテーションタスクと TMS タイミングを考慮した、効率良い機能再建タスクを提案できる。

博士研究員在職期間中に行った研究に関する発表論文、学会発表等

1. 日本知能情報ファジィ学会「知能と情報」

表題：ウェアラブル脳波遠隔計測システム Air Brain の記号識別機能の検証

Title: Verification of symbol identification in wearable EEG telemetry system (Air Brain)

※投稿論文採録決定

2. 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会

表題：TMS 刺激・随意運動に対する脳機能信号の動態

※優秀講演賞

3. 37TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015)

表題：Relationship between Inter-Stimulus-Intervals and Intervals of Autonomous Activities in a Neuronal Network

※口頭講演，IEEE Explore にインデックス

4. 計測自動制御学会 ライフエンジニアリング部門 (LE 2015)

表題：培養神経ネットワークが保持する時間情報について