

2016年度 博士研究員研究成果報告書

氏名 (所属研究室) : 田中靖人 (理工学研究科 嵯峨研究室)

研究課題:

ヒト歩行動作の特徴抽出と脳計測・刺激と筋刺激によるリハビリテーション技術開発

研究期間: 2016年4月1日～2017年3月31日

研究成果概要

脳梗塞リハビリ支援機器開発の一環として、自発的に下肢を制御するため、肢くるぶしを回転させたときの脳波と筋電を同時解析し、その関連についての研究を行っている。その中で、運動野付近電極において、運動指令に相関する事象関連電位の位相の同期と非同期成分の時間的推移が、筋電のパワーのパターンに相関する場合、逆相関する場合を見つけた。これは、筋電と脳波の周波数に依存する。この新しい現象について報告する。

2.1 実験環境

実験環境を図1に示す。実験参加者は20代の健常男性とした。実験参加者はリラックスさせた状態で椅子に座り、右脚は足関節リハビリテーション装置の足置きに置き、膝関節を軽くまげた。指定した関節以外はできるだけ動かさないようにした。つま先付近に試行の開始タイミング指示 LED を配置した。

2.2 計測条件

脳波計測には多チャンネルデジタル脳波計測システム(Active Two System, Biosemi 社)を用いた。電極は拡張 10-20 法における Fp1, Fp2, F4, Fz, F3, T7, C3, Cz, C4, T8, P4, Pz, P3, O1, Oz, O2 計 16 個配置した (図 1b)。また頭頂部付近に基準電極において単極誘電法で測定し、サンプリング周波数は 2048Hz とした。電極は直径 5mm の銀塩化銀アクティブ電極を使用、接触面に導電性ペーストを塗布した。筋電位計測は、電極の配置部位はアルコールで皮膚を清拭後、アース電極を右脚の外側くるぶしに、計測電極を右足関節の背屈を行う前脛骨筋の表面に SENIAM project[3]に則り、ディスプレイ電極 (LecTrode NP;アドバンス社)を貼付した。その電極にアクティブ電極を接続し、送信機(MARQ, キッセイコムテック社)でパソコンにデータを送り記録した。記録には Vital Recorder(キッセイコムテック社)を用い、サンプリング周波数は脳波計測と同じ 2048Hz とした。

2.3 タスク

タスクは右足踝の自発的回転タスクである。5秒周期でつま先の近くに置いた LED を 0.1 秒間発光させた。タスク動作として角度 α 度底屈させた状態から、 α 度の背屈動作をしてもらった。 α は、15, 30, 45 度の 3 つのうちの一つを選択し、合計 3 セッションを行った。被験者はつま先を見ることで運動に対する視覚フィードバックを実現した。記録には Vital Recorder(キッセイコムテック社)を用い、サンプリング周波数は脳波計測と同じ 2048Hz とした。

3.2 脳波

各々の周波数帯域に対する脳波を、低周波から高周波まで 6 段階で解析した (Fig.2 (a)~(f))。その結果、2 つの点が見出された。(1) Cue-Lead time が $0 = 200\text{ms}$ のとき、位相同期脳波の著しい落ち込み (同期の減少、ERD) がみられる。これは、低周波では 7Hz 以上 (α 波帯域)、20Hz 付近 (β 波帯域)、そして高周波では 62Hz まで (γ 波帯域) にて大きい。(2) この位相同期の減少は、100~300ms で、反転し、同期度が増加に転じる (ERS)。この反転時刻は、 θ 波帯域に先行しているが、 α 波帯

域（7～13 Hz）では、CLT=300msと筋電に遅れる。これが同期するのは、β波帯域（20 Hz 付近）とγ波帯域（60 Hz 付近）である。図3に、試行（30回）ごとの個別の脳波と筋電を重ねてプロットしたグラフを示す。ERD, ERSとも55～60%の確率で、上の（1）（2）の傾向が見られることがわかる。その傾向が見られない場合を検討すると、筋電のパワーの絶対レベルが低い場合と、筋電の立ち上がり、700msまでゆっくりした場合であることがわかる。

4. 考察

当研究では、筋電活動を刺激する運動指令に対応する脳波を検出する目的で、脳波と筋電の同時計測を行い、自発的な踝運動課題を行った。そしてその結果を、脳波波形と筋電波形を時間的に対応する形で分析した。その結果、特定の脳波チャンネル（右足の運動野に相当する）チャンネル付近において、筋電に対応した時間帯に先行する形で、ERDが検出された。そして、筋電のパワーの時間推移に対応する形で、ERSが検出された。そのパワー（縦軸）と時間推移（横軸）は、脳波の周波数帯域に特異的で、β波帯域と、γ波帯域で、ほぼ正確に対応した。その一方で、それより低周波のα波帯域や、θ波帯域では、ERDは、より曖昧で、ERSのタイミングが正や負にずれた。それより外の帯域では、対応が見られなかった。こうした、周波数帯域別のERD/ERSと筋電パワーとの直接対応は、この波が当該の第一次運動野付近にて観察されたことを鑑みると、皮質運動野からの運動指令であることを強く示唆する[5]。現在、対応する反対側の皮質の波や、他の前頭葉運動関連領域における対応を検討中であるが、一時運動野からの対応ほど直接の対応は見られないことを考えると、この作業仮説の蓋然性が増してくる。今後より詳細な解析が望まれる。

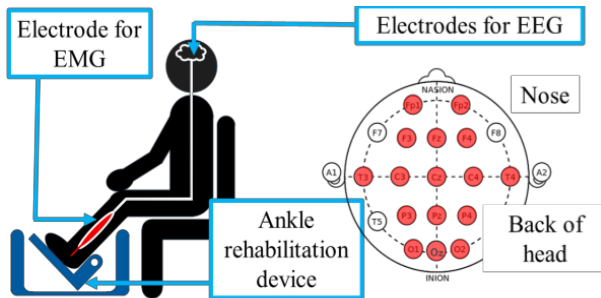


図1：実験状況と脳波電極配置。

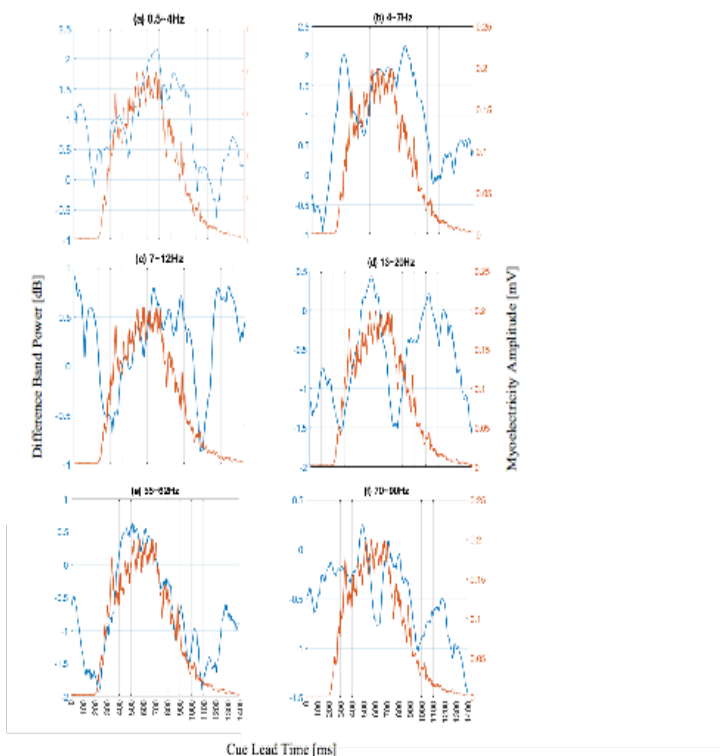


図2：脳波（青）と筋電（赤）の時間推移。ベータ帯域（13～20 Hz）と高ガンマ帯域（55～62 Hz）でオンセット、オフセットのよい対応が見られる。

国内会議発表

＜脳活動と筋活動の新しい相関抽出とこれを利用したりハビリ機器の開発／脳波と筋活動の相関に関連＞

1. 橋本侑亮, 嵯峨宣彦, 田中靖人, 藤江博幸, 空気圧シリンダを用いた足関節リハビリシステムの反復動作時の脳内神経活動, LIFE2016, 3A2-E04, 2016
2. 橋本侑亮, 嵯峨宣彦, 田中靖人, 藤江博幸, 足関節リハビリシステムによる他動反復動作時の筋・神経活動, 第 17 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(SI2016), 3J4-4, 2016.
3. 田中靖人, 脳の視覚運動制御とプレーン・マシン・インターフェース: 運動イメージを利用した EEG リハビリテーションの構築 第 17 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(SI2016), 3J4-4, 2016.

受賞

＜脳活動と筋活動の新しい相関抽出とこれを利用したりハビリ機器の開発／脳波と筋活動の相関に関連＞

1. 第 17 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 SI2016 優秀講演賞, 橋本侑亮, 嵯峨宣彦, 田中靖人, 藤江博幸, 足関節リハビリシステムによる他動反復動作時の筋・神経活動