

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11400

研究課題名（和文）認知機能のリアルタイム個人差判別によるテ일러メイド脳卒中リハビリ環境の確立

研究課題名（英文）Development of tailor-made rehabilitation training system based on real-time classification of individual cognitive characteristics

研究代表者

櫻田 武（Sakurada, Takeshi）

立命館大学・理工学部・助教

研究者番号：40588802

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）：脳卒中患者の運動機能障害リハビリテーションや健常者における運動学習におけるパフォーマンス向上の促進には、運動中における注意の向け方とその適正が重要である。本研究では、運動中における個々の注意適正を見極める手法として、定常状態体性感覚誘発電位および定常状態視覚誘発電位と呼ばれる律動的脳波が有用であることを見出した。特に、機械振動刺激によって誘発される脳波は強く個人の認知機能特性を反映することを明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先行研究においては、運動中の注意の向け方の適正に関する個人差は十分考慮されてこなかった。本研究では、個々人の脳における認知機能個人差を改めて示したうえで、その個人の特性を脳波に基づく客観的指標により判別する手段を確立した。このような知見は、運動機能障害を伴う患者のリハビリテーションや、スポーツトレーニングにおける訓練効率の向上に寄与するものといえる。さらに、今回の手法は簡便であることから、現場応用しやすい利点も有している。

研究成果の概要（英文）：Individual suitable attentional strategy during rehabilitation training or motor learning is one of the important factors in promoting performance improvement. In this study, we demonstrated that rhythmic electroencephalograms called steady-state somatosensory evoked potentials and steady-state visual evoked potentials are useful as a technique for classifying individual optimal attentional strategy during motor tasks. In particular, we found that the steady-state somatosensory evoked potentials elicited by vibrotactile stimuli strongly reflect the individual cognitive characteristics.

研究分野：ニューロリハビリテーション

キーワード：注意 運動学習 個人差 脳波 低次感覚野

1. 研究開始当初の背景

運動機能障害に対するリハビリテーションやスポーツトレーニングにおいて、その訓練効果を促進するためには、運動中の注意の向け方が重要であり、身体動作ではなく、外部環境に注意を向けるべきであるとされてきた [Wulf, *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.*, 2013]。外部環境へ注意を向けることで、脳内で自動性の高い情報処理が成立し、高い運動パフォーマンスが得られると考えられている。この点について我々は、運動中に身体動作あるいは外部環境のどちらに注意を向けるべきかには個人差があり、健常者や急性期脳卒中患者において、必ずしも外部環境への注意が適切であるのではないことを行動解析により明らかとしてきた [Sakurada et al., *Exp Brain Res.*, 2016; Sakurada et al., *Sci Rep.*, 2017]。しかしながら、このような運動パフォーマンスに関わる認知機能個人差を客観的かつ簡便に判別する手法は提案されていない。したがって、将来的な医療やスポーツなどへの現場応用を見据える際には、信号雑音比が高い脳波などに着目し、短い計測時間でも個人差が判別可能な実用的手段の確立が不可欠となる。

2. 研究の目的

運動中における注意の向け方に関する先行研究では、多くの場合外部環境への注意が支持されており、その有効性は万人共通のものであると認識されてきた。これに対し本研究では、例外的に扱われてきた身体動作への注意が有効となる個人の存在も視野に入れ、その注意適正を判別することを前提とした。その際、認知機能個人差判別の実用化も見据え、対象者への負担軽減も可能なシステムを確立し、個々人の訓練効果を最大化するプロトコルの提案を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、定常状態体性感覚誘発電位 (Steady-state somatosensory evoked potentials: SSSEP) および定常状態視覚誘発電位 (Steady-state visual evoked potentials: SSVEP) と呼ばれる律動的脳波に着目し、身体動作への注意 (Internal focus: IF) が適した個人と外部環境への注意 (External focus: EF) が適した個人を比較することで、個々の注意適正を反映した脳活動の抽出を行った。予備検討の段階においては、SSSEP および SSVEP を誘発するための様々な周波数帯域における感覚刺激の呈示・SSSEP および SSVEP を計測するための脳波電極設置位置の最適化・複数の周波数解析による注意適正を反映する脳活動の抽出などを進めた。このような予備検討で得られた知見に基づき、本実験では SSSEP および SSVEP を検出しやすい設定下で注意適正の評価を行った。最終的には、注意適正を判別するための、最適な感覚刺激・最適な脳波計測位置・より有用な脳波成分・抽出に必要な解析手法の提案につながる知見を得た。より具体的な内容を以下に示す。

注意適正判別の精度や実用性向上のためのアプローチの一つとして、対象とする脳波をできる限り高い信号雑音比で検出することが必要となる。このため、予備実験の段階において、まず SSSEP および SSVEP が誘発されやすい感覚刺激周波数および計測部位の最適化を行った。SSSEP は一定周波数で提示される振動刺激によって誘発され、一方 SSVEP は一定周波数で提示される視覚点滅刺激によって誘発される。そこで、10 ~ 40Hz の様々な振動刺激・視覚点滅刺激を準備し、各刺激周波数における SSSEP および SSVEP の応答強度を比較した。その結果、SSSEP は 20Hz 台、SSVEP は 10Hz 台において最も強い応答が確認された。これらの結果は、先行研究の知見に一致するものとなった [Tobimatsu et al., 1999; Ahn et al., 2016; Pastor et al., 2003]。次に、計測部位に関しては、左右一次体性感覚野およびその周辺と左右一次視覚野およびその周辺を対象として、計測部位間の SSSEP および SSVEP の応答強度を比較した。その結果、一次体性感覚野・一次視覚野近傍における SSSEP および SSVEP が最も強い応答を示すことが確認された。

本実験においては、2つの課題から構成される実験を実施した。一つ目は個々人の注意適正を評価するための運動学習課題である (Visuomotor rotation task)。モニターに呈示されるカーソルを正確に操作することが求められる運動課題において、自身の手先に注意を向ける IF 条件と画面上のカーソルに注意を向ける EF 条件を設定し、両条件間における運動学習効果量の比較を行った (図1)。その上で、IF 条件下でより高い運動学習効果を示した個人を IF 優位群、逆に EF 条件下で高い運動学習効果を示した個人を EF 優位群にそれぞれ振り分けた。次に二つ目の課題として、機械振動刺激および視覚点滅刺激を呈示した際の SSSEP および SSVEP 応

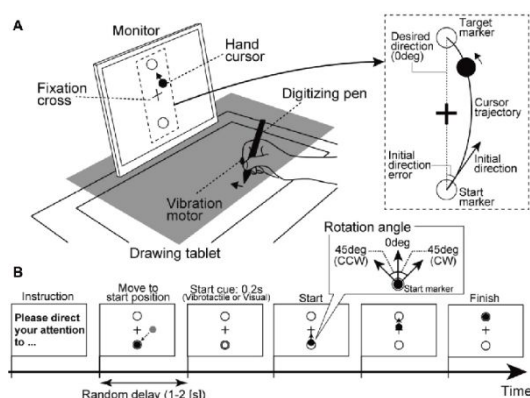


図1 運動学習課題環境。A: 参加者はタブレットペンを持ちながら画面上のカーソルを操作することが指示された。B: 1試行の流れ。

答を評価する脳波計測課題を実施した。本脳波計測課題では、予備実験における知見を踏まえ、機械振動刺激として 22Hz (左手への刺激) および 25Hz (右手への刺激) を採用し、一方視覚点滅刺激として 12Hz (左視野への刺激) および 15Hz (右視野への刺激) を採用した。SSSEP 計測セッションにおいては、参加者は左手または右手に呈示される振動刺激に注意を向けることが指示され、一方 SSVEP 計測セッションにおいては、左視野または右視野に呈示される点滅刺激に注意を向けることが指示された (図 2)。

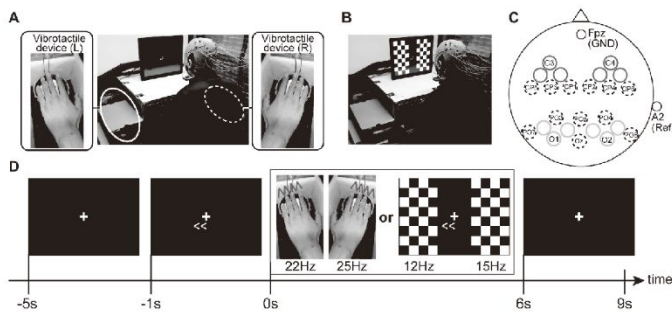


図 2 脳波計測課題概要。A: SSSEP 計測セットアップ。B: SSVEP 計測セットアップ。C: 脳波電極配置。D: 脳波計測試行の流れ

4. 研究成果

計測された脳波に対してフーリエ変換を適用したスペクトラムパワーを図 3 に示す。実線と点線はそれぞれ左方向および右方向への注意時における脳波応答である。IF 優位群は左右の手に呈示される機械振動刺激のどちらか一方に注意を向けた際の SSSEP 応答変化が顕著であり (図 3A) 一方 EF 優位群は左右の視野に呈示される点滅刺激のどちらか一方に注意を向けた際の SSVEP 応答変化が顕著である結果を得た (図 3B)。以上より、個人の注意適正を判別するために SSSEP および SSVEP が有効な脳波であることが明らかとなった。

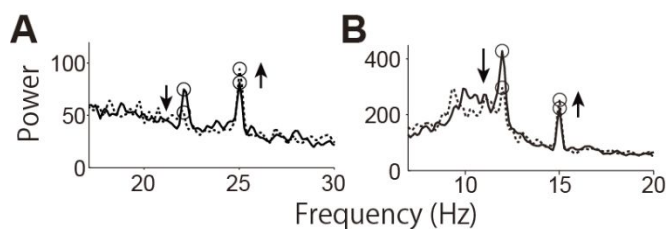


図 3 IF 優位群 (A) と EF 優位群 (B) における脳波応答

さらに、事前に評価した個々の運動学習効果量と脳波応答の変調量の関係性を追加解析した結果、学習効果量と SSSEP の応答に有意な相関が確認された (図 4)。具体的には、IF 条件において運動学習効果が高い個人ほど、SSSEP の応答変化が大きい傾向が示された。つまり、個々の注意適正を判別するためには、SSVEP よりも SSSEP の方がより有用性が高いことを示唆している。さらに、このような傾向は左半球でのみ確認されたことから、注意適正個人差の判別の際には左半球のみ着目して評価することも可能であることを意味する。

注意適正個人差の評価や判別にはこれまでアンケート調査 [Sakurada et al., 2016] や近赤外分光法による脳活動計測 [Sakurada et al., 2019] が用いられてきた。しかしながらこれら先行研究の手法は主観性が強いことや、脳活動計測の時間が長いなどの欠点を有していた。これに対し、本研究で利用した SSSEP や SSVEP は数秒の計測によって観察できる強い信号であることから、対象者の負担を軽減しつつ、精度よく個々の脳機能特性を定量化できる利点を持つ。さらに、計測に必要な電極数も数チャンネルで済むことから、計測の準備に関するコストも低い。これらの特徴は、これまで提案されてきた注意適正個人差の判別手法では実現されてこなかった、実際の現場にも応用しやすい独自のメリットといえる。

本研究では、注意適正個人差定量化のための最適な刺激周波数・最適な電極位置・着目すべき脳波 (SSSEP) の提案に成功した。これらの知見は、従来よりも対象者に負担のない形式での、精度の良い客観的脳機能特性評価手法の確立に寄与するものである。今後はより多くのデータを収集することにより、より確度の高い個人差判別手法確立を目指す。

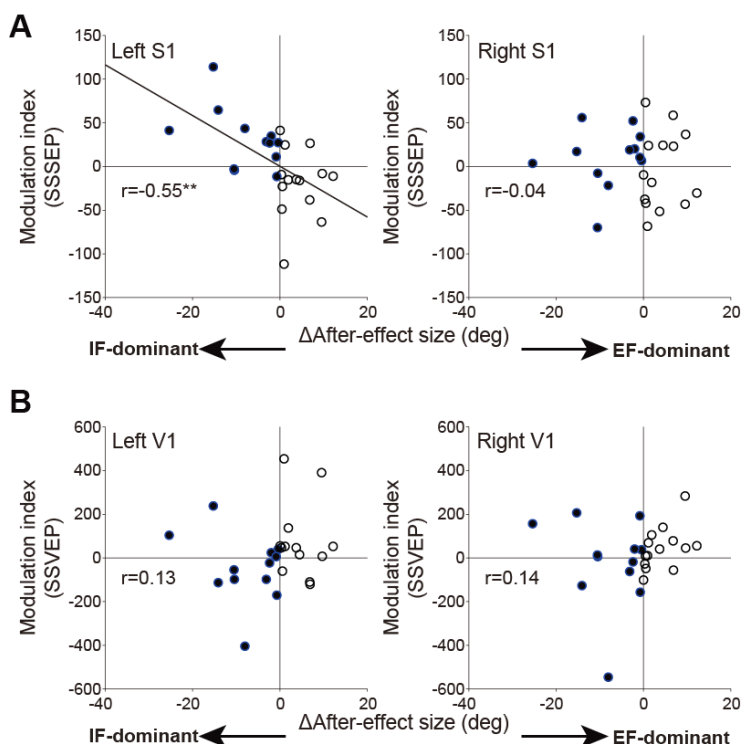


図 4 個々の注意適正と脳波応答強度の相関関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sakurada Takeshi, Yoshida Masataka, Nagai Kiyoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Individual Optimal Attentional Strategy in Motor Learning Tasks Characterized by Steady-State Somatosensory and Visual Evoked Potentials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 784292
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2021.784292	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 櫻田武, 吉田将貴, 永井清
2. 発表標題 運動学習における注意適正個人差を反映する体性感覚・視覚野の応答特性
3. 学会等名 第41回 バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石崎里紗, 山本紳一郎, 櫻田武
2. 発表標題 学童期・青年期のスポーツ経験に基づく個々の注意機能形成の可能性
3. 学会等名 ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi SAKURADA and Kiyoshi NAGAI
2. 発表標題 Top-down attentional modulation of steady-state somatosensory evoked potentials characterizing individual optimal attentional strategy for motor learning.
3. 学会等名 Neuroscience 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻田武
2. 発表標題 運動中における個人の最適適正を反映した体性感覚野および視覚野の応答特性
3. 学会等名 第13回 Motor Control研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻田武, 吉田将貴, 永井清
2. 発表標題 運動中における個人の最適注意戦略を決定付ける低次感覚野応答特性
3. 学会等名 第42回 日本神経科学大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ニューロフィードバック型注意機能訓練システム	発明者 櫻田武	権利者 学校法人立命館
産業財産権の種類、番号 特許、2019-214091	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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