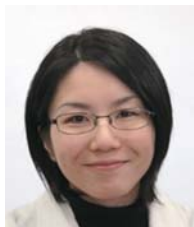


BMI 技術を用いた半側空間無視リハビリテーションの構築

BMI rehabilitation for stroke patients with Unilateral Spatial Neglect

2151006



研究代表者
(助成金受領者)

明治大学 理工学部

専任准教授

小 野 弓 絵

共同研究者

穂翔会村田病院

リハビリテーション室長

富 永 孝 紀

[研究の目的]

脳内の血管が詰まったり、血管が破れて出血する脳卒中（脳血管障害）は日本の総医療費の第4位、高齢者医療費の第1位を占める国民病であり、社会の高齢化に伴う患者数の増加が予測されている。なかでも脳卒中の後遺症で、空間の半側に注意が届かなくなる半側空間無視（USN）は、脳卒中などの右大脳半球の損傷で生じる高次脳機能障害の1つである。右大脳半球の損傷によるUSNでは左側空間に提示された刺激の発見や反応が障害され、車イスに左足を巻きこんだり、左側の障害物をよけられないなど生活に支障を生じる。このようにUSN患者は転倒などのリスクが大きいため、患者の注意を回復させる手法の確立が急務である。

本研究は患者の無視側への注意強度を視覚誘発脳波から指標化し、「注意の低下」を即時にフィードバックするブレイン・マシン・インターフェース（BMI：Brain Machine Interface）を開発することを目的とした。注意の強度を患者が理解できる手段で可視化することで、セラピストの指導なしでも、機械の助けを借りて患者が自律的・能動的にリハビリを行える、効率的なシステムを構築することが本研究の目指す最終的なゴールである。

[研究の内容、成果]

助成金を得て行われた2015年度の研究では以下の成果が得られた。

(1) USN患者に特異的な注意依存性視覚誘発反応の特徴の抽出

注意の強度を定量的に評価する手法として、視覚刺激を周期的に与えた時に視覚野に発生する定常状態視覚誘発電位（SSVEP：Steady State Visual Evoked Potential）に着目した。Morganらの先行研究（Proc Natl Acad Sci U S A. 93(10): 4770-4774, 1996）では、視覚刺激への注意により、SSVEPの強度が増強することが報告されている。本稿では、脳卒中患者と健常者において注意の有無条件におけるSSVEP強度を計測し、半側空間無視患者の空間注意の低下がSSVEP計測により検出可能かどうか検討した。

若年健常者10名、脳卒中患者22名の協力を得て実験を行った。脳卒中患者のうち半側空間無視のある患者が9名、半側空間無視がない患者が13名であった。また、すべての患者が右脳損傷による脳卒中患者であった。

計測では、被験者に脳波計（g. Tec, g. BCIsys32USB）を装着し、視野の中央に配置された固視点を注視させた。固視点の側方に6 Hzで点滅する白色LEDを設置して、視野に

入ってくる点滅光が視覚野に引き起こす SSVEP 反応を計測した。LED の位置は、健常者では視度 45 度、患者では視度 15 度の位置とした (図 1)。注意ありとなしの 2 条件を設け、注意あり条件では白色 LED の近傍に間欠的に光る赤色 LED を設置し、固視点の注視を行っている 30 秒間に、側方の赤色 LED が何回点滅したかを数えさせることで半側空間に注意が向くようにした。注意なし条件では赤色 LED は設置せず、被験者には固視点をただ眺めているように教示した。測定された脳波はウェーブレット変換を用いた時間周波数解析によって SSVEP に相当する 6 Hz 付近のパワースペクトル強度を抽出した。

赤色 LED の点滅回数を正しく回答できた正答率は、右視野注意の場合はどの群でも 98~100% であったのに対し、左視野注意の場合は健常者群が 100%、USN なし患者群が 96%、USN あり患者群が 46% と USN あり患者で有意に低下する結果となり、半側空間無視の病態が確認された。健常者、USN なし患者、USN あり患者の左視野注意依存性の SSVEP 強度の増加率を図 2 に示す。健常者は空間への注意により SSVEP 強度が増大したが、無視なし患者、無視あり患者の順に、注意による SSVEP 強度

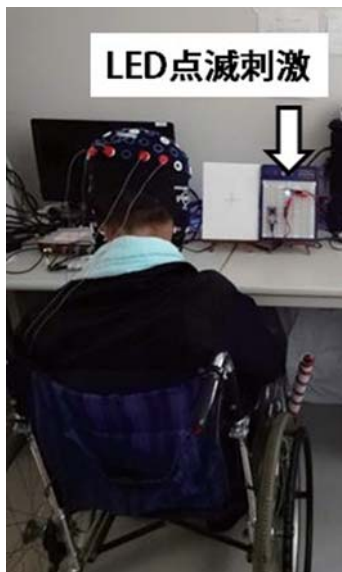


図 1 脳卒中患者の脳波計測風景

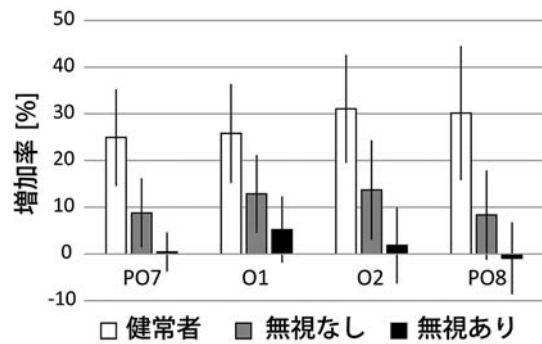


図 2 被験者群の違いによる平均 SSVEP 強度増加率の変化

の増加率が低くなっていることがわかる。脳卒中の障害により USN の有無に関わらず視覚刺激に対する注意の維持能が低下していること、さらに USN 患者ではその傾向が強いことが示された。

この結果から、能動的注意による SSVEP の増加量を脳活動の指標として用いることで、半側空間無視患者の空間注意の低下を検出できる可能性が示されたといえる。

(2) USN リハビリテーションを目的とした SSVEP 強度のオンラインフィードバックシステムの開発と検証

前項の研究結果より空間への注意を SSVEP 強度変化によって定量化できる可能性が示された。よって次の研究ステップとして、SSVEP 強度を被験者へフィードバックし、意識的に SSVEP 強度を増大させるニューロフィードバックトレーニングの可能性について検討した。トレーニングシステムのプロトタイプを図 3 に示す。被験者が点滅光を注視している際の SSVEP 強度を随時システムが評価し、一定の強度を超えたときに聴覚のフィードバック (音刺激) を与えた。聴覚フィードバックによって、被験者が自らの SSVEP 強度の状態を知ることができるため、SSVEP を増加させるための方策を練習することができる。このフィードバックシステムを健常若年成人 10 名に適用し、20 秒間の空間注意のトレーニングを 1 日 10 回、4 日間連続で施行することによって、SSVEP 強



図3 開発した SSVEP フィードバックシステムのプロトタイプ

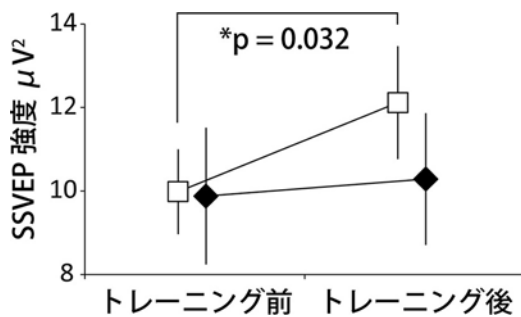


図4 SSVEP 強度のトレーニング結果

度を増大させることが可能かどうかについての検討を行った。また、被験者を2群に分け、自らの脳活動が反映された正しいフィードバックを与える群と、反映されない偽のフィードバック（あらかじめ測定された他者の脳活動に基づいたフィードバック）を与える群に分けて比較を行った。

トレーニングの前後における SSVEP 強度の変化を図4に示す。正しいフィードバックを得た群は4日間のトレーニングにより平均 SSVEP 強度が統計的に有意な増大を示したのに対し、偽のフィードバックを与えられた群では増大がみられなかった。このことは自らの脳活動の増減を本人が確認・意識しながら行うトレーニングが、SSVEP 強度の増大に有効であることを示しており、本開発システムの妥当性が示されたといえる。

(3) システムのポータブル化に向けた取り組み

医用福祉機器としての応用を目指す BMI 技術の研究においては、上記の (1, 2) の研究も含めて、病院などでの臨床検査に用いられる医用脳波計が用いられることが多かった。

しかし医用脳波計は1台あたりの価格が数百万円するものがほとんどであり、こうした装置でリハビリ用の BMI を構築しても多くの患者が利用することは難しい。そこで研究期間の後半では、近年ゲーム用途などを目的に市販されている簡易脳波計 (Emotiv EPOC, 約 10 万円) を利用し、SSVEP を検出する BMI システムの構築を行った。本研究結果については論文投稿準備中であるため詳細は別の機会に譲るが、簡易脳波計に混入するノイズを制御することにより、SSVEP を利用した安価な BMI システム構築の可能性は十分にあると考えている。

[今後の研究の方向, 課題]

超高齢化社会に突入した我が国では今後脳血管障害患者の増加が推測される一方で、医療費の削減、在院日数の短縮、在宅復帰率の向上、在宅医療の充実などが求められている。本研究は USN における注意の欠損を BMI 技術によって可視化することで、これまで確認するすべのなかった患者自身の注意強度を本人が確認しながら、無視側への注意を引き戻す訓練を自主的に行えるシステムを構築することで、こうした医療の肥大化にまつわる諸問題の解決に貢献することを目的とした。開発した SSVEP のトレーニングシステムの妥当性を健常者で確認することができたので、今後は USN 患者へ適用し、机上検査との比較などを行っていく予定である。また研究期間の後半で検討した BMI 機器のポータブル化によって、在宅でも自律的に継続可能なセルフ・リハビリテーションの構築も十分可能であることが示された。これによって、従来セラピストの指導や視点追跡装置など数百万円規模の計測機器を必要としていた

高次脳機能障害患者に、安全・安価に自分のペースでリハビリに取り組めるシステムを提供できる可能性がある。患者の元の生活を取り戻したいという願いを、身近な機械を通じて実現できるシステムの開発に今後も取り組んでいく予定である。

[成果の発表, 論文等]

Shimura M, Ono Y, Omatsu S and Tominaga T:
Suppressed SSVEP strength in stroke patients with
unilateral spatial neglect, *Front. Hum. Neurosci.*

Conference Abstract : 2015 International Workshop
on Clinical Brain-Machine Interfaces (CBMI2015),
2015. doi : 10.3389/conf.fnhum.2015.218.00027

志村真郷, 小野弓絵, 大松聡子, 富永孝紀: 左半側空間無視を伴う脳卒中患者の注意による SSVEP 強度の抑制. 第 32 回日本脳電磁図トポグラフィ研究会・第 3 回宮古島神経科学カンファレンス 合同学術集会 要旨集, pp.55, 2015.

Morota S, Ono Y : Effect of neurofeedback training of steady-state visual evoked potentials on Canonical Correlation Analysis parameter. *The 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, submitted.