

■受領No.1354

ニューロフィードバックによる神経刺激型運動学習パラダイムの開発

代表研究者

林部 充宏 東北大学 工学研究科 教授



1. 研究目的

脳血管障害の増加は全世界で社会的に深刻な問題を起こしうる要因のひとつとなっており社会に大きな経済的負担を課している。脳卒中後の生存者は、ある程度の運動障害が残ってしまうことが多く、慢性期に入っても機能回復が得られる新しいニューロリハビリテーションの革新的な方法論の開発が期待されている。本研究は脳の可塑性と脳の持つ運動学習の原則を考慮してリハビリテーションを行えるブレイン・マシン・インタフェース型 (BMI) 機能的電気刺激システム (FES) の開発を目指す。ニューロリハビリテーションのための双方向アプローチによるBMI-FESシステムの開発を目標とする。脳側から見た脳の可塑性と適応脳波信号処理に関しPersonalized Modelingによる解析とその理解を行う。その一方、運動器側から見た運動学習の原理を活用したFESのコントローラを開発する。感覚系に脳の信号同定処理に基づくフィードバックをFESを用いて達成することで、運動感覚ネットワークのループを外側から閉じることにより効果的な運動学習を促すシステムの研究開発、評価を行う。感覚神経へのニューロフィードバックにより脳がどのように反応するかを調べ、学習効果を生み出していく際の脳波の変化についてもモデリングを行うことで、運動効果のみならず脳内反応の評価も行えるシステムを目指す。

2. 研究内容

脳波により計測することが可能であると知られているモーターイメージは、個人が所定の行動をリハーサルまたはシミュレートする脳内の動的状態として定義することができる。運動の精神的実践、神経学的リハビリテーションとしてスポーツトレーニングに広く使用されており、運動の実行に先立つプロセスの内容と構造を調査するための認知神経科学と認知心理学の研究パラダイムとしても採用されている。物理的な運動のリハーサルと組み合わせると、精神的なリハーサルは、アクションの純粋な物理的なリハーサル (練習) と同じくらい有効であることが知られている。モーターイメージ(MI)の生成は個人により得意不得意があるとされており、運動のイメージを正しく生成することをトレーニングすることができるかどうかはまだ検証が十分に行われてこなかった。

そこで本研究ではこの問題を解決するため電気刺激による感覚フィードバックを補助的なリハーサル促進ツールとして用いた脳波計測と統合したBCI(Brain Computer Interface)環境を構築し、低周波刺激による感覚フィードバックがモーターイメージ生成トレーニングに有効であるか検証する。MI生成時には事象関連脱同期 (ERD) の発生を特徴とし、ミュー帯域 (8~12 Hz) において顕著に感覚運動リズムの減少をもたらす、その後事象関連同期 (ERS) によりベータ帯域 (13~35 Hz) のパワーが増加することが知られてい

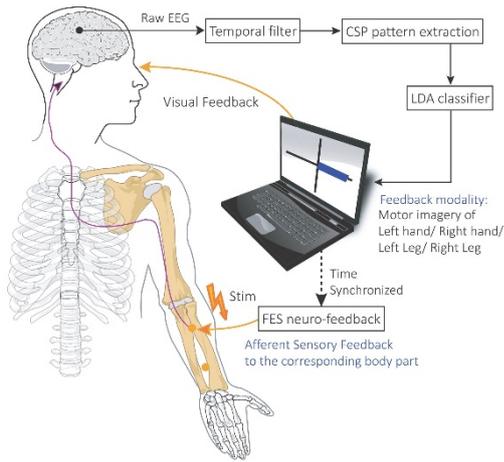


図1 ニューロフィードバック BCI 実験の模式図

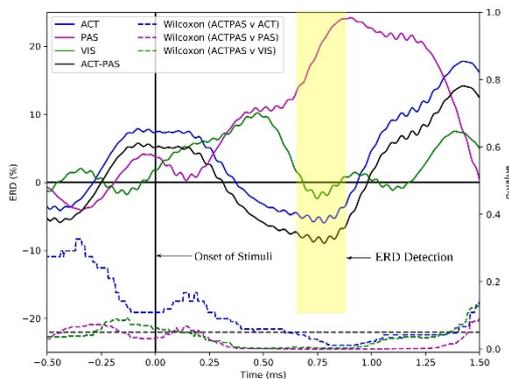


図2 運動イメージングによる ERD の様子

る。図1のように脳の対象領域の空間的パターンを抽出し、Linear Discriminant Analysis (LDA) 判別器により上記の運動イメージが脳内で起きていることを定量化する。その強度に応じた感覚フィードバックにより、脳はそれを知覚できる環境を作りその中で運動リハーサルの訓練をすることで運動イメージが増強するかどうかを検証した。図2は実際に行った実験データから脳波を解析しERDが起きていることを示している。

この研究では16人の参加者(男性13人、女性3人)平均年齢28歳、標準偏差9歳でBCIタスクを行っていただき、実験データの解析を行った。参加者は、BCIの経験がまったくないか、またはほとんど経験がなかった。感覚フィードバックグループに提供された電気刺激は最大25mAに保たれ、刺激の強度を快適なレベルに下げたようにした。参加者は左手、右手、両足に関して運動イメージタスクを実行し、無作為に2つのグループに分けた。

1つのグループには視覚的フィードバック (VIS) のみを与え、もう1つのグループには電気刺激による感覚フィードバックのみを与えた。このようにして、各グループは1種類のフィードバックで訓練された。図3に各運動イメージタスクにおける脳波の変化を示す。運動リハーサルにより脳波の運動関連の信号強度が学習により増している様子がわかる。また運動リハーサルと感覚フィードバックを組み合わせた場合に、より効率的にその強度が増していることがわかる。本結果はすべての被検者のトライアルを平均化したものである。神経フィードバックとして機能的電気刺激 (FES) を適用することによってBCIタスクにおいて運動イメージが増強することを確認した。本結果を基に今後はVR技術を用いた運動のオーナーシップ感覚の促進によるさらなる学習効果の検証を行っていきたいと考えている。将来的には本手法による効果的な運動-感覚ループの再建を介したリハビリテーションとその評価システムの開発につなげていきたいと考えている。

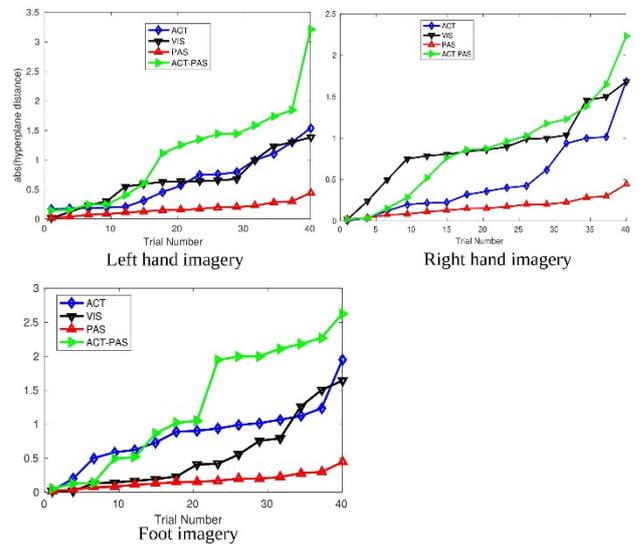


図3 各運動イメージタスクにおける脳波の変化。運動リハーサルにより脳波の運動関連の信号強度が学習により増している様子がわかる。また運動リハーサルと感覚フィードバックを組み合わせた場合に、より効率的にその強度が増していることがわかる。

3. 発表 (研究成果の発表)

D. Achancaray, J.M. Chau, J. Pirca, F. Sepulveda, M. Hayashibe, “Assistive Robot Arm Controlled by a P300-based Brain Machine Interface for Daily Activities”, 9th International IEEE EMBS Neural Engineering Conference, USA, 2019

D. Achancaray, K. Pacheco, E. Carranza, M. Hayashibe, “Immersive Virtual Reality Feedback in a Brain Computer Interface for Upper Limb Rehabilitation”, The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Miyazaki, Japan, Oct 2018

S. Bhattacharyya, M. Clerc, M. Hayashibe, “Augmenting Motor Imagery Learning for Brain-Computer Interfacing using Electrical Stimulation as Feedback”, IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics, (under review).