



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Unraveling motor area plasticity : investigating the effects of neurofeedback and tDCS on motor learning [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	楊, 宇翔
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(人間科学)
Dissertation Number	甲第15692号
Issue Date	2023-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91187
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuxiang_Yang_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称：博士（人間科学） 氏名： 楊 宇翔

主査 准教授 小川 健二
審査委員 副査 教授 安達 真由美
副査 教授 竹澤 正哲

学位論文題名

Unraveling motor area plasticity: investigating the effects of neurofeedback and tDCS on motor learning.

(運動野の可塑性を解明する：ニューロフィードバックと tDCS が運動学習に及ぼす影響)

・当該研究領域における本論文の研究成果

本研究は、ヒトの脳の可塑的变化について運動学習を対象に検討したものである。動物には脳が有るが植物には脳が無いという単純な事実からも分かるように、運動する能力は脳の持つ最も根本的かつ重要な機能の一つである。ヒトが多様な外部環境の中で適切に運動を行うには、自らの運動技能を環境に対して柔軟に適応させる必要がある。運動学習は、これまで実験心理学のみならず、スポーツ科学やリハビリテーション等の分野でも重要な研究対象である。運動学習を行うためには、実際に運動をともなう訓練を行うことが一般的であるが、運動を行わず頭の中で運動イメージを生成することや、脳活動に直接的に介入するニューロフィードバックや脳刺激法なども存在する。本論文の一連の実験では健常成人を対象とし、このような脳の可塑性を利用した運動学習に関わる神経基盤についての検討を行った。

本論文ではまず、運動イメージの神経基盤について検討した。運動を実際に行わず頭の中でイメージすることは、従来からイメージトレーニングとして学習に有効であることが知られている。従来の脳イメージング研究からは、運動イメージ時に前補足運動野という部位の活動が増加することが知られていたが、運動実行と運動イメージで同じ神経表象を共有するのかは明らかではなかった。そこで本論文では、非侵襲の脳機能イメージング法である機能的核磁気共鳴画像法 (fMRI) を用い、同じ運動の実行時とイメージ時の脳活動の空間的パターンを詳細に比較することによって、それらの相違を明らかにした。結果から、前補足運動野における脳活動パターンは、運動実行とイメージとは異なることが明らかとなった。よって、前補足運動野では運動イメージ時に実行時の活動を再活性化させている訳では無く、実行とイメージとを区別するような形で異なる神経表象が関与していることが明らかとなった（第2章）。

次に、ニューロフィードバックを用いて運動学習の脳活動を外的に操作することを試みた。ニューロフィードバックとは被験者に自分自身の脳活動をリアルタイムに提示し、望ましい状態へと脳活動パターンを変化させる方法である。本研究では、まず運動を行っている時の運動野の脳活動パターンを fMRI にて計測し、次に被験者が静止した状態でその脳活動に近いパターンを生成するようニューロフィードバックで訓練を行った。また実験では、運動実行と一致した正しい脳活動パターンをフィードバックする群と、反対の偽のパターンをフィードバックする群を設けた。その結果、正しいフィードバックを与えた群では、偽の群と比較して目標となる脳活動パターンを誘導することが可能であった。このことはニューロフィードバックによって運動実行時と同じ脳活動パターンを生み出すことが可能であることを示すものである（第3章）。

さらに本論文では、外的刺激によって運動学習後の脳活動パターンを変調させることを試みた。運動学習では実際の学習後の安静状態でも学習が促進されることが分かっており、オフライン学習と呼ばれている。本実験では、経頭蓋直流電気刺激法 (tDCS) という方法を用いて微弱な電気刺激で運動野を活性化させることにより、運動学習後の脳活動パターンを変調させることを試みた。その結果、tDCS を用いた群ではそうではない群（コントロール群）と比較し、運動学習後の脳活動パターンが実際の運動学習中のパターンにより類似することが示された。また tDCS 群では運動

パフォーマンスがコントロール群と比較して増加する傾向も見られた。このことは、非侵襲電気刺激によって運動学習後の脳活動パターンを変調させ、学習成績を向上できる可能性を示している。本研究は、脳活動計測に基づく運動学習の効果的な促進方法の基礎研究となるものであり、従来は行動のみが用いられてきたスポーツ分野におけるメンタルトレーニングや、リハビリテーションの訓練等にも応用可能性を有する点でも意義深いものと言える（第4章）。

審査の過程で、本論文に対していくつかの問題点も指摘された。特に本研究に含まれる実験はいずれも脳の可塑性を利用した運動学習を扱ったものではあるが、博士論文ではそれらの関係性についてより明確化するように指摘を受けた。申請者は指摘を踏まえて本論文に修正を加え、運動学習研究における本論文の意義をより明確化することができた。

本論文の成果の一部は、既に著名な認知神経科学分野の国際誌に筆頭原著論文として掲載されており、残りの成果についても現在、筆頭原著論文として投稿準備中である。また、国内外の複数の関連学会でも筆頭著者として発表を行っている。以上の点は、楊宇翔氏が研究者として求められるのに十分な水準の研究遂行能力を有することを示すものである。

・学位授与に関する委員会の所見

本審査委員会は、以上の審査結果に基づき、全員一致で、楊宇翔氏に博士（人間科学）の学位を授与することが妥当であるとの結論に達した。