

令和 3 年 5 月 17 日現在

機関番号：83903

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K17800

研究課題名（和文）運動パフォーマンスに関連する脳領域間ネットワークの解明

研究課題名（英文）Neural network in association with motor performance

研究代表者

水口 暢章（Mizuguchi, Nobuaki）

国立研究開発法人国立長寿医療研究センター・健康長寿支援ロボットセンター・流動研究員

研究者番号：80635425

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：運動課題のパフォーマンスレベルは運動関連領域間の機能的・解剖学的結合強度に依存するという仮説を検証する電気生理学および脳機能イメージングを用いた実験系を構築し、その妥当性を確認した。具体的には、運動計画と関連する運動イメージ中の皮質脊髄路の興奮性を運動誘発電位の振幅から評価し、運動実行および運動イメージ中の脳活動を機能的磁気共鳴画像法(fMRI)で計測・解析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動能力や学習速度には個人差があり、運動が得意な人と不得意な人が存在する。このような個人差は脳活動や脳構造と関連すると考えられることから、運動パフォーマンスと関連する特定脳領域間の機能的結合や脳構造を多角的に明らかにすることは、学習速度を予測する技術の確立や個人に最適な運動学習法の開発につながる。このような技術は身体教育、リハビリテーション、スポーツのトレーニングなど幅広い分野に応用可能である。

研究成果の概要（英文）：To test the hypothesis that the performance level of a motor task depends on the strength of functional and anatomical connections between motor-related domains, I constructed an experimental system using electrophysiology and functional brain imaging. Specifically, the excitability of the corticospinal tract during motor motor imagery was assessed from the amplitude of motor evoked potentials, and brain activity during motor execution and motor imagery was measured by functional magnetic resonance imaging.

研究分野：運動制御論

キーワード：脳機能 脳構造

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトが運動を行う際、脳は複数の感覚入力を処理・統合し、適切な運動指令を形成する。したがって、運動パフォーマンスを決める一因に感覚情報処理・統合に関連する脳領域間の機能的結合・脳構造が挙げられる。先行研究では、スポーツの競技成績と関連する要因として、特定の脳領域間の機能的結合や脳構造が報告されている(文献)。本研究では、運動パフォーマンスと関連する機能的結合・脳構造を詳細に明らかにすることで運動能力や学習速度の個人差や運動の得意不得意は特定脳領域間の機能的結合や脳構造から予測できるようになる考えた。

2. 研究の目的

本研究では、運動課題のパフォーマンスレベルは運動関連領域間の機能的・解剖学的結合強度に依存するという仮説を検証するために、運動課題中の脳活動と脳構造(灰白質の容量および領域間の白質線維束)を磁気共鳴画像法(Magnetic Resonance Imaging: MRI)で計測・評価し、運動課題のパフォーマンスと領域間機能的結合、脳構造の関係を明らかにすることを目的とした。また、運動計画と関連するとされている運動イメージ能力にも着目し、運動課題中の領域間機能的結合、脳構造と運動イメージ能力の関連性について検討することとした。

3. 研究の方法

運動課題は MR 装置内で実行可能な指タッピングとし、被検者は指タッピングの実行および運動イメージを行った。運動イメージ能力の評価には、先行研究でよく用いられる経頭蓋磁気刺激法(Transcranial Magnetic Stimulation: TMS)により誘発した運動誘発電位を用いる(文献)。さらに、機能的 MRI による運動関連領域の賦活量を用いる(文献)。TMS および機能的 MRI はそれぞれ確立された方法であり、各手法を用いた研究では再現性の高い結果が得られている(文献)。しかしながら、これまでの運動イメージ研究の運動イメージ能力評価は主に主観的な質問紙の結果と運動誘発電位もしくは脳機能イメージング結果と比較しており、定量的な神経科学的指標である運動誘発電位と脳機能イメージング結果を同一被験者で比較した論文は見当たらない。そこで本研究では、先行研究により運動イメージ能力と関連することが示唆されている運動誘発電位の振幅増大と脳機能イメージングで評価した脳活動の関連性について解析する。

(1)実験方法

実験は自然科学研究機構生理学研究所にて行った。被検者は右利き一般健常成人とし、TMS 実験と MRI 実験を別日に行った。利き手はエジンバラ利き手テストにて確認した。MRI 実験では 3T MR 装置(Magnetom Verio, Siemens, Germany)を用いた。

運動課題である指タッピングの実行および運動イメージは視覚および聴覚キューによって開始・終了した。視覚および聴覚キューは刺激呈示ソフト presentation によって制御した。TMS 実験では被験者は座位で、機能的 MRI 実験では仰臥位で課題を行った。TMS 実験と機能的 MRI 実験では課題中の筋活動を第一背側骨間筋および小指外転筋から記録した。皮膚上に電極を貼る際に、アルコール脱脂綿および紙やすりで前処理をした。

TMS 実験では、筋電図は 4 チャンネル生体アンプ(ミユキ技研社製 BA1104-M)および A/D コンバータ(Cambridge Electronic Design Limited 社製 Micro1401)を使用し、サンプリングレート 3000Hz で記録した。TMS は磁気刺激装置(Magstim 社製マグスティム 200 スクエア)と 8 の字コイルを使用し、第一背側骨間筋の運動誘発電位を最も大きく誘発できる場所(ホットスポット)を刺激した。刺激強度は安静時閾値の 120%とした。安静時閾値は 50 μ V 以上の振幅が 10 回中 5 回以上観察される最小の強度とした。運動実行および運動イメージの各条件で 20 試行を行った。

機能的 MRI 実験では、筋電図は MRI 対応筋電計(BrainProducts 社製 BrainAmp ExG MR)を使用した。撮像は TR は 1 秒とした。運動実行および運動イメージは 1 条件 5 秒、条件間間隔は 3 秒から 10 秒とした。約 7 分間の撮像を 8 回行った。さらに、脳構造解析のため、T1 強調画像、T2 強調画像、拡散強調画像を取得した。安全性に配慮し、事前に MRI 禁忌の有無を書面で確認し、MR 室へ入る際には磁性体を所持していないことを入念に確認した。撮像の際には、被験者に耳栓/ヘッドホンを装着していただき聴力低下を防いだ。

実験終了後に、主観的な運動イメージの鮮明さを評価するために、先行研究で用いられている質問紙(Vividness of Motor Imagery Questionnaire-2: VMIQ-2)(文献)と visual analog scale を用いた。visual analog scale では、課題で行った運動イメージがどれだけ鮮明であったかを答えた。

(2)解析方法

TMS によって誘発された運動誘発電位の振幅(peak-to-peak)を計測した。刺激直前 50ms に筋放電が記録された試行は解析から除外した。

機能的 MRI のデータは Statistical Parametric Mapping12(SPM12, <https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12/>)を用いて、運動実行と運動イメージ中の脳活動を解析した。前処理では体動アーチファクトの補正をする realignment 後に標準脳(Montreal Neurological Institute space)へ標準化を行った。その後、スムージング処理を行った。個人解析は

一般線形モデルを用いた。

4. 研究成果

一年目である2018年度は11月までは海外で研究を行っていたため、その間は解析手法の習得に時間を費やした。具体的には、Statistical Parametric Mappingのtoolboxであるfunctional connectivity toolbox(conn, <https://web.conn-toolbox.org/>)を用いて脳領域間の機能的結合強度を評価するために、過去の機能的MRI実験データに対して同ソフトウェアを用いた機能的結合強度解析を行った。そして前処理や統計検定、mapping等の方法、留意点を確認した。また、灰白質の容量を検討するために、Computational Anatomy Toolbox(CAT, <http://www.neuro.uni-jena.de/cat/>)を用いてVoxel Based Morphometry解析を行った。白質微細構造を検討するために解析toolboxであるMRtrix3(<https://www.mrtrix.org/>)を用いてfixel-based analysis(FBA)、およびFMRIB Software Libraryを用いてtract-based spatial statistics(TBSS)を行った。これらも同様に過去の実験データに対して解析を行い、方法や細かい留意点を確認した。FBAはTBSSよりも新しく開発された手法でTBSSの問題点を解消するために作られたものであるが、同じデータに対して両解析を行った結果FBAの有利な点を確認できた(文献)。

二年目である2019年4月に所属機関を異動した。新しい研究環境を得るために、自然科学研究機構生理学研究所の生体機能イメージング共同利用実験へ申請し、採択された。年度中盤までに実験系をセットアップ完了した。その後、予備実験によって実験プロトコルを決定した。これまでに被験者25名からデータを取得した。現時点までの解析の結果、運動イメージによって運動誘発電位の振幅が増大することを確認しており、これは先行研究の結果と一致している。また、運動実行中には対側一次運動野を含む運動関連領域が賦活していた。運動イメージ中には運動関連領域の賦活が観られたが対側一次運動野の賦活は運動実行より小さかった。また、視覚・聴覚キューによる課題開始・終了に関連する視覚野、聴覚野の賦活も確認された。運動これらのことから、計測・解析妥当であることを確認している。

本研究課題は研究計画最終年度前年度の応募をし、新規課題が採択されたため、新規採択された研究課題を研究資金源として2020年度も引き続きデータを集積する予定であったが新型コロナウイルス感染症の影響で実験は未だ完了していない。引き続きデータ集積を行い、集積完了後には一年目に習得した解析を行う予定である。

<引用文献>

- Huang et al., Long-term intensive training induced brain structural changes in world class gymnasts. *Brain Struct. Funct.*, 2015, 220(2): 625-644.
- Huang et al., Long-term intensive gymnastic training induced changes in intra- and inter-network functional connectivity: an independent component analysis. *Brain Struct. Funct.*, 2018, 223(1): 131-144.
- Grosprêtre et al., Motor imagery and cortico-spinal excitability: A review. *Eur. J. Sport Sci.*, 2016, 16(3): 317-324.
- Lorey et al., Activation of the parieto-premotor networks is associated with vivid motor imagery – a parametric fMRI study. *PLoS ONE*, 2011, 6: e20368.
- Héту et al., The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2013, 37(5): 930-949.
- Williams et al., The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behav. Brain Res.*, 2012, 226: 369-375.
- Roberts et al., Movement imageryability: development and assessment of a revised version of the

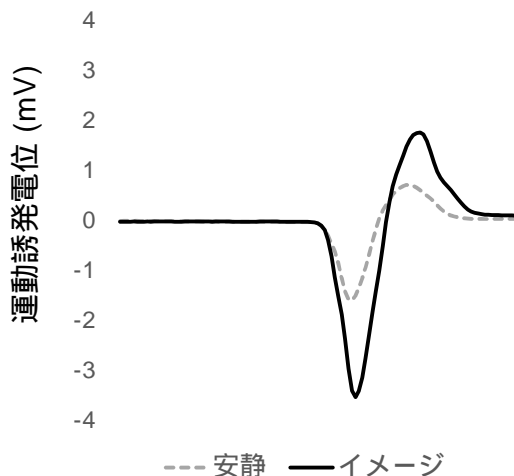


図1 課題中の運動誘発電位

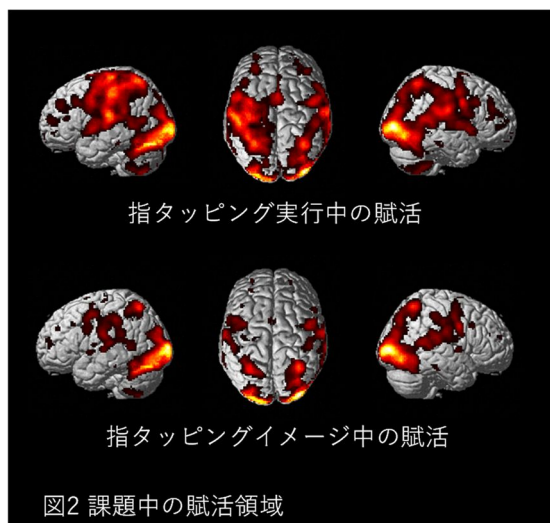


図2 課題中の賦活領域

vividness of movement imagery questionnaire. *J. Sport Exerc. Psychol.*, 2008, 30, 200-221.

Mizuguchi et al., Structural connectivity prior to whole-body sensorimotor skill learning associates with changes in resting state functional connectivity. *Neuroimage*, 2019, 197: 191-199.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 水口暢章
2. 発表標題 運動イメージを用いた運動技能向上
3. 学会等名 第27回日本運動生理学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------