

# 技能獲得前の脳画像を用いた運動学習能力の予測に関する検討

1245137 横田 文 【身体情報サイエンス研究室】

## Study on Prediction of Motor Learning Ability Using Brain Images Before Skill Acquisition

1245137 YOKOTA, Aya 【Brain Muscle Coordination Lab.】

### 1 はじめに

ヒトは運動学習によって様々な運動技能を獲得することができるが、その学習能力には個人差がある。早さや精度の高い技能を獲得するためには個人差をもとに運動学習の計画を立てることが有用であるが、通常、個人の運動学習能力は実際の運動を通さないと把握できない。もし事前に個人の能力が予測できれば、効率的な運動学習の計画を立てられる。脳波計で測定した課題前の脳表面部の脳活動からその後の運動学習の習得度を判断できると報告されたが、脳の深部は調査されていない[1]。そこで、Magnetic Resonance Imaging (MRI) で全脳を対象に、脳活動や脳構造の観点から調査することによって、精度の高い予測に繋がると考えられる。

本研究では安静時脳活動や機能的結合、脳構造の視点から、運動学習課題の成績に関連する技能獲得前の脳の情報を探査した。その上で、技能獲得前に撮像した脳画像からその後の課題の成績を予測できるのか検討した。

### 2 実験概要

本実験では、技能獲得前の脳の状態を計測するために脳画像の撮像、練習による技能獲得の過程を計測するために運動学習課題を行った。

脳画像はMRI装置を用いて機能画像と構造(3次元T1強調)画像を撮像した。機能画像は目を開けてリラックスした状態の安静時脳活動を10分間撮像した。

運動学習課題は脳画像の撮影後、実験1で到達運動課題、実験2でジャグリング課題を行った。

### 3 実験1

本実験には本学学生24名が参加し、脳画像の撮像と到達運動課題を行った。

#### 3.1 実験手続き

到達運動課題はロボットマニピュラタムを使用し、被験者はハンドル部分を手で操作し、開始地点から10cm前方にある目的地点までの腕到達運動を行った。

最初の50試行と最後の100試行を力場なしのブロック、中間の250試行を力場ありのブロックとした。力場はハンドルの動きに対して速度依存性時計回りであり、被験者は到達運動を繰り返すことで力場を学習した。

各ブロックに一定数、被験者の腕の軌道を直線上に制御した試行(エラーランプ)を用意した。エラーランプは軌道の制御面に対して被験者が横方向に加えた力(Lateral Force: LF)を計測することで学習状態を把握できる。

#### 3.2 成績評価

この課題の成績として、エラーランプの各試行中の最大速度でのLFから評価指標で学習度を求めた。主な評価指標は力場ありブロックの最初から最後(それぞれ3試行平均)へのLFの変化率を算出したrateVである。

#### 3.3 解析: 脳構造画像

技能獲得前の脳構造画像を使用したVoxel-based Morphometry (VBM)解析を実施し、技能獲得前の脳構造と到達運動課題の成績の関連性について調査した( $p < 0.001$  uncorrected at voxel level)。

撮像した脳構造画像を構造ごとに分割した画像を作成し、それぞれに解剖学的標準化、平滑化を施した。前処理後の灰白質画像をVBM解析で使用し、技能獲得前の灰白質容積とその後の運動課題の成績との関連がある脳領域を探査した。

#### 3.4 結果および考察

VBM解析の結果、rateVと左楔前部との間に特に有意な正の相関が認められた。よって、目標地点の空間座標表現に関与するとされる左楔前部[2]の灰白質容積が大きい人ほど到達運動課題における力場をより多く学習できることが示唆された。

### 4 実験2

本実験には、事前に「運動歴に関するアンケート」の回答で右利きかつジャグリング未経験である本学学生53名が参加した。ただし、実験後に被験者条件に合わなかった2名を除く51名のデータを解析に使用した。

#### 4.1 実験手続き

脳画像撮像後の運動学習課題は、右手で2つのボールを交互に投げ上げる2ボールジャグリングを行った。課題はボールが落ちるか、動作が止まるまでを1試行とし、計250試行を実施した。課題説明の際に見本動画を計3回提示してから課題に移り、課題実施時間が10

分経過する毎に3分間の休憩を挟んだ。

## 4.2 成績評価

ジャグリング課題の成績は、各試行のキャッチ成功数をもとに、全試行での総キャッチ数を算出した指標SUMで学習度を求めた。ただし、被験者1名の実施した試行回数が248試行であったため、被験者間で全試行数を248試行に統一して処理した。

## 4.3 解析：安静時脳機能画像

技能獲得前の安静時脳機能画像（resting-state functional MRI: rs-fMRI）を使用して、脳活動及び機能的結合とジャグリング課題の成績の関連を調査した（ $p < 0.001$  uncorrected at voxel level）。

### 4.3.1 脳活動

定常時の脳賦活を調査するために、低周波振動振幅（Amplitude of Low-Frequency Fluctuation: ALFF）法で解析した。ALFFを実施するために、Data Processing Assistant for rsfMRI（DPARSF）で、rs-fMRIをもとにmean ALFF（mALFF）画像を作成した。SPM12でmALFF画像とジャグリング課題の成績を使用し、技能獲得前の安静時脳活動とその後の運動課題の成績との関連性がある脳領域を探索した。

### 4.3.2 機能的結合

rs-fMRIから機能的結合を調査するために、CONNでROI-to-ROI/Seed-to-Voxel解析を実施した。前処理で灰白質の神経活動由来の信号を取り出したrs-fMRIをもとに、ジャグリング課題の成績を被験者間因子としたROI-to-ROI/Seed-to-Voxel解析を実施した。その際、解析対象とする関心領域（Region of interest: ROI）を大脳皮質及び皮質下、小脳全体を対象としたAtlasとし、運動課題の成績に関連する機能的結合をもつ脳領域を探索した。

## 4.4 解析：脳構造画像

3.3節と同様にVBM解析を実施し、技能獲得前の灰白質容積とジャグリング課題の成績の関連を調査した。

## 4.5 結果および考察：安静時脳機能画像

### 4.5.1 脳活動

SUMと左運動野/腹側運動前野との間に有意な正の相関が認められた。よって、視覚情報をもとにした運動に関連する左腹側運動前野や運動野の安静時脳活動が大きい人ほど、ジャグリング課題の学習度が高いと示唆された。

### 4.5.2 機能的結合

Seed-to-Voxel解析の結果、SeedをV5/MTの領域に設定した際に左上頭頂小葉との結合はSUMと有意な正の相関が認められた。また、Seedを小脳に設定した際の左視覚連合野との結合はSUMと有意な正の相関が認められた。これらのことから、技能獲得前にV5/MT-

左上頭頂小葉や小脳-左視覚連合野の機能的結合を調べることでその後のジャグリング課題の成績を予測できると示唆された。また、視覚情報処理に関する脳領域との機能的結合がジャグリング課題の学習度に関係していると考えられる。

## 4.6 結果および考察：脳構造画像

VBM解析の結果、灰白質容積に関して、SUMとの間に有意な相関が認められる脳領域はなかった。よって、技能獲得前の脳構造画像からジャグリング課題の成績は予測できないことが示唆された。

## 5 総合考察

過去の研究で安静時脳機能画像と到達運動課題の関連について、注意の維持に関わるネットワークを構成する下前頭回弁蓋部及び帯状回の活動、運動の遂行や学習に関与する大脳基底核や視床、角回といった領域の結合が学習量に影響することを示唆した[3]。ジャグリング課題との比較から、視覚処理に関わる領域の活動や結合が学習量に影響することがジャグリング課題の特徴であることが示唆された。

脳構造について、到達運動課題とジャグリング課題の比較から、運動前の灰白質容積からその後の運動学習課題の成績を予測可能であるかどうかは、課題内容で差が出ると考えられる。

到達運動課題は固定範囲の視野での上肢の運動に伴う学習であったのに対し、ジャグリング課題は対象物の移動が大きく、全身の動きの協調が必要であった。こうした課題の特性が、課題成績と脳の関係の違いに影響していると考えられ、球技ではジャグリング課題と同様に視覚処理を中心とした脳の処理が運動学習の個人差につながる可能性がある。

## 6 まとめ

本研究では、技能獲得前に撮像した脳画像からその後の運動学習課題の成績を予測できるか検討した。技能獲得前の安静時脳活動及び機能的結合から到達運動課題とジャグリング課題の成績を、脳構造からは到達運動課題の成績のみを予測できることが示唆された。

## 参考文献

- [1] Wu et al., “Resting-state cortical connectivity predicts motor skill acquisition”, *Neuroimage*, 91: 84-90, 2014.
- [2] Uchimura et al., “Automatic representation of a visual stimulus relative to a background in the right precuneus”, *Eur J Neurosci*, 42: 1651-1659, 2015.
- [3] 横田, “運動課題の成績に関連する安静時脳活動の検討”, 高知工科大学, 修士学位論文, 2020.