力場環境での到達運動の適応過程における脳活動

1230377　宮崎　龍哉　【 身体情報サイエンス研究室 】

1　はじめに

ヒトはモノを掴む, 運ぶ, 投げるなどの目的とされる動きに対して, それらを達成するために必要な運動指令を出すことで運動を実行している. また, 同じ目的の運動を繰り返し行うことで, その動きを学習し上達する. その中で外乱などの影響により想定された運動と異なる運動結果が得られたとき, 次の行動では外乱を予測して修正するような運動指令を出すことで, 運動を改善し, 対応する. このように運動を修正し学習することで, 目的の達成に必要な運動を新たな技能として獲得する. 視覚運動変換を用いた運動学習と脳活動の関連は先行研究 [1] において検討されている. 本研究では力場環境に適応する過程での脳活動を明らかにするとともに, 視覚運動変換と力場環境でどのような違いが生じるのかを検討する.

2　実験方法

2.1　実験装置及び参加者

健康な大学生 11 名（平均年齢 21.3 歳 ± 0.67 女性 4 名）に対して行った. 参加者はいずれも右利きであった.

2.2　実験手続き

ロボットマニピュランダムを使用して到達運動課題を実施し, その際の脳活動を fMRI 装置で測定した. 計測前に 30 回の Null 条件での練習を行った. 到達運動課題は 1set を 60 試行とし, Null ブロック (1set), Force Field ブロック (3set), Wash Out ブロック (2set), Null ブロック (1set), Recall ブロック (3set) の 5 ブロックからなる 600 試行を行った. Force Field と Recall では到達運動方向に対して右向き力場を発生させた. 右向き力場が発生することは参加者に事前に伝えていない.

3　解析手続き

課題実行時の脳活動の解析と, 到達運動の成績を用いた評価指標との相関解析を SPM12 を用いて実施した.

3.1　到達運動課題の学習度合いの評価

各参加者の ForceField ブロックでの 180 試行を 20 試行ごとの 9 ブロックに分割し, 各試行の最大速度時の横方向の誤差をブロックごとに平均した値を y, ブロックを x として指数関数 y = a*exp(b*x) でフィッティングした. このときの b の値を評価指標 R とする. これは, 力場環境に対しての学習進度の早さを示した値である.

3.2　学習時の脳活動

到達誤差の減少が緩やかになると活動がピークとなる部位を同定するため [1], ForceField ブロックにおいて学習初期から中期にかけて活動が増加し, 中期から後期にかけて活動が低下するような部位を推定した.

3.3　学習時と再学習時の脳活動の比較

3.2 で得られた結果と, 学習時の解析手続きと同様に評価した再学習時の脳活動を比較した.

3.4　脳活動と学習率の相関

Force Field ブロックの脳活動に対して評価指標 R との相関解析を実施した.

4　実験結果

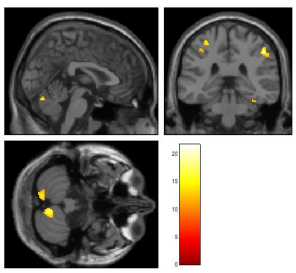

図 1　学習時の脳活動

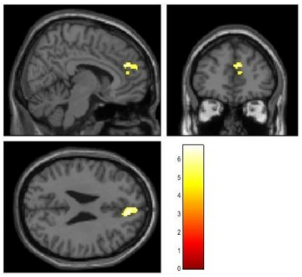

図 2　相関を持つ脳活動

学習時の脳活動では, 小脳, 縁上回, 中心後回が有意な活動を示した (p<0.05, FWE-corrected)(図 1).

学習時と再学習時の脳活動の比較において, 学習時では右小脳と左中心後回が有意な活動を示し (p<0.05 FWE-corrected), 再学習時には左被殻が有意な活動を示した (p<0.001, uncorrected).

相関解析の結果, 評価指標 R と前帯状皮質との間に負の相関が認められた (p<0.001, uncorrected)(図 2).

5　考察

学習時の脳活動の解析結果より, 力場に対する適応には小脳と中心後回が深く関わることが示唆された. 縁上回については時間に関連した脳活動を示す結果が報告されていることから, 到達課題の実行速度に制限を設けていたことが関係していると考えられる.

再学習の過程で活動が見られた被殻は, 先行研究 [1] と同様であり記憶の想起に関連していることが考えられる.

相関解析の結果より, 学習進度の早い参加者は到達課題の誤差に対して強く反応していると考えられ, その反応が前帯状皮質の活動を高めていると推測される.

参考文献

[1] Patrick Bédard, Jerome N. Sanes, “Brain representations for acquiring and recalling visual-motor adaptations”, NeuroImage 101, p.225-p.235, 2014.