

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：33916

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06449・19K21520

研究課題名（和文）運動探索行動に関連する脳内神経機序の解明

研究課題名（英文）Toward the understanding of neurophysiological substrates associated with motor exploratory behavior

研究代表者

上原 信太郎（Uehara, Shintaro）

藤田医科大学・保健学研究科・講師

研究者番号：30725130

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：ヒトの運動探索行動の責任領域として外側前頭前野を仮定し、同領域の活動変化を捉える神経生理的指標と運動探索自体の基本的特性について調査した。着目した神経生理的指標は一定レベルの活動変化を捉える可能性がある一方で、感受性は不十分であることが示唆された。また、運動探索量は運動学習過程で増大し、その後も持続して増大傾向にあることが示された。本研究によって運動探索の神経機序を探るための基礎的知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

私たちは新しいスポーツに取り組む時など、最も良い結果に繋がる方法を見つけるべく様々な運動を試す。これは運動探索と呼ばれ、合目的運動の新規学習において重要な役割を担うことが示唆されている。しかしながら、運動探索行動の神経機序や基本的特性は明らかにされていなかった。本研究は、効率的な学習を促すための条件設定や定型的運動パターンにおちいった際に効果的に脱却できる介入手法など、身体教育やリハビリテーション領域での応用への足掛かりとなる基礎的知見を提供した。

研究成果の概要（英文）：Relying on the hypothesis that the lateral prefrontal cortex contributes to motor exploratory behavior in humans, we investigated fundamental properties of neurophysiological index possibly reflecting prefrontal activity and those of motor exploration. The study demonstrated that, while the neurophysiological proxy can reflect a certain level of prefrontal activity changes, it may not have enough level of sensitivity to capture marginal changes. Another behavioral experiment showed that the amount of motor exploration increased when participants were exposed to a learning situation and its increase sustained throughout learning processes. These findings provided fundamental knowledge to further understand human motor exploratory behavior.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：運動探索 運動学習 外側前頭前野 経頭蓋磁気刺激 経頭蓋直流電流刺激

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

私たちは新しいスポーツに取り組む時など、最も良い結果に繋がる方法を見つけるべく様々な運動を試す。これは運動探索と呼ばれ、合目的運動の新規学習において重要な役割を担うことが示唆されている。しかしながら、運動探索行動の神経基盤や基本的特性は明らかではない。

運動探索には外側前頭前野が担う運動選択という高次の意思決定プロセスが関与すると考えられる。これは、探索行動が、前に行った結果（特に負の結果）にしたがって次の運動を選択する過程で実行されるからである。そこで本研究は、外側運動前野の神経活動が運動探索の調整に関与するという仮説を基に以下の研究を行った。

2. 研究の目的

本研究は、外側前頭前野の神経活動が運動探索の調整に関与するという仮説を基に、それを検証する計測手法ならびに運動探索行動の基本特性を明らかにすることを目的とした。本研究を通じて、定型的な運動パターンにおちいった神経疾患患者の運動再学習を促す新しい介入手法を考案するなど、応用への足掛かりとなる知見が得られることが期待される。

3. 研究の方法

(1) 外側前頭前野神経活動を反映する間接的評価指標の検証

外側前頭前野の神経活動を定量化できる間接的評価指標として、外側前頭前野 (prefrontal cortex: PFC) から対側第一次運動野 (M1) への半球・皮質間抑制 (PFC-M1 抑制) に着目した。PFC-M1 抑制が PFC からの出力、すなわち神経活動の程度を表す間接的指標として利用できる可能性を検証するため、PFC を動員することが示されている認知運動課題実行中に PFC-M1 抑制を評価し、その変動の有無を調べた。また、対象領域の神経興奮度合いを修飾できるとされる非侵襲的脳刺激法を PFC 領域に適用した際の PFC-M1 抑制の変化の有無を検証した。

(2) 運動学習に伴う運動探索行動の時系列変化

運動探索行動の基本的特性を理解するため、運動学習過程での時系列変化の可能性について検証した。被験者には示指を使用した到達運動学習課題を実施してもらい、新たな運動を獲得する過程で運動探索行動がどのように変調していくのかを調べた。試行毎に到達運動の方向に応じて正か負のフィードバックが付与され、被験者にはなるべく多くの試行で正のフィードバックが得られるよう教示した。この時、負のフィードバックが付与された際の運動方向の絶対変化量を運動探索の間接的指標として、その変化を追跡した。

4. 研究成果

(1) 安静時に見られた PFC-M1 抑制は、意思決定が運動に反映されていることが想定される特異的タイミング (運動の直前) においてのみ脱抑制していた (図 1)。一方で、非侵襲的微弱電流によって安静時神経興奮性を変調させる介入を行った場合には、陽極 (興奮性増大) 陰極 (興奮性低下) 刺激に関わらず、PFC-M1 抑制の強さに変化は見られなかった (図 2)。したがって、PFC-M1 抑制は、特定の状況下においては外側前頭前野神経活動の変化を反映する可能性があるが、神経興奮性の程度を捉えるほどの精緻な感受性は有さないことが示唆された。

(2) 運動探索の程度は運動学習環境下に置かれた場合に増大し、その後、学習過程が継続しても、探索行動の程度は高いレベルで維持されることを示した (図 3)。これは、運動課題自体の成功率が基準レベルとなる 8 割程度まで向上した時点でも確認されており、成功率の低さが要因である可能性を排除しきれていなかった先行研究 (Uehara et al. J Neurophys, 2019) の結果を補う新たな成果が得られた。

以上の成果から、当初想定していた神経生理学的指標は外側前頭前野の神経活動変化を検証できるほどの感受性を有さないことに加え、運動探索の特性が明らかとなり、運動探索の神経機序を探るための第一歩となる基礎的知見を得ることができた。

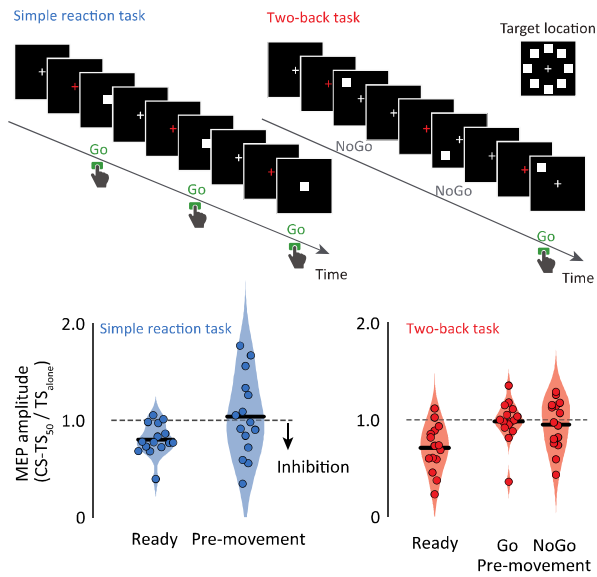


図 1. 反応時間課題中の PFC-M1 抑制の変化

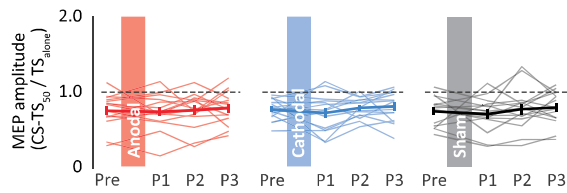


図 2. 非侵襲的刺激介入前後の PFC-M1 抑制の変化

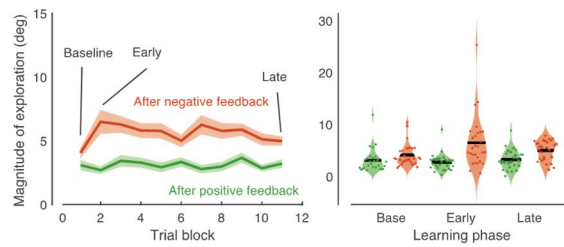


図 3. 運動学習過程における運動探索量の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Gomez-Tames Jose, Asai Akihiro, Mikkonen Marko, Laakso Ilkka, Tanaka Satoshi, Uehara Shintaro, Otaka Yohei, Hirata Akimasa	4. 巻 16
2. 論文標題 Group-level and functional-region analysis of electric-field shape during cerebellar transcranial direct current stimulation with different electrode montages	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Neural Engineering	6. 最初と最後の頁 036001 ~ 036001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1741-2552/ab0ac5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uehara Shintaro, Mizuguchi Nobuaki, Hirose Satoshi, Yamamoto Shinji, Naito Eiichi	4. 巻 1722
2. 論文標題 Involvement of human left frontoparietal cortices in neural processes associated with task-switching between two sequences of skilled finger movements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Brain Research	6. 最初と最後の頁 146365 ~ 146365
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.brainres.2019.146365	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uehara Shintaro, Mawase Firas, Therrien Amanda S., Cherry-Allen Kendra M., Celnik Pablo	4. 巻 122
2. 論文標題 Interactions between motor exploration and reinforcement learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Neurophysiology	6. 最初と最後の頁 797 ~ 808
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1152/jn.00390.2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Shintaro Uehara, Firas Mawase, Kendra M. Cherry-Allen, Keith Runnalls, Maheen Khan, and Pablo Celnik
2. 発表標題 tDCS over dorsolateral prefrontal cortex does not affect prefrontal-to-M1 interhemispheric inhibition
3. 学会等名 Society for Neuroscience 48th Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shintaro Uehara, Firas Mawase, Amanda S. Therrien, Kendra M. Cherry-Allen, Pablo Celnik
2. 発表標題 Changes in motor exploration via success-based motor learning
3. 学会等名 第12回Motor control研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上原信太郎
2. 発表標題 脳刺激法を利用して運動学習に関連する神経可塑性の機序を推定する
3. 学会等名 第12回Motor control研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上原信太郎
2. 発表標題 運動探索と強化学習の相互作用
3. 学会等名 基礎理学療法 第3回夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上原信太郎
2. 発表標題 筋電情報を用いた運動学習機序の推定
3. 学会等名 スポーツ心理学会第45回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shintaro Uehara, Firas Mawase, Kendra M. Cherry-Allen, Keith Runnalls, Maheen Khan, and Pablo Celnik
2. 発表標題 領域間の半球間抑制から見た外側前頭前野に対する経頭蓋直流電流刺激効果の検証
3. 学会等名 第24回日本基礎理学療法学会学術大会
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