

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K11385

研究課題名（和文）Prospectiveな情報による把持運動制御のメカニズム

研究課題名（英文）Intention generation by the prospective predictive process during hand manipulation in the macaque monkey

研究代表者

村田 哲（Murata, Akira）

近畿大学・医学部・教授

研究者番号：60246890

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）：運動意図の随伴発射とフィードバックの情報の比較に関する神経機構を明らかにしようとした。把持物体は異なる把持運動を必要とするものを2つ用意して、把持物体をプライミング刺激として非常に短い時間（0ms、5ms、7ms、20ms、50ms）で提示した。把持する物体は、プライミングと必ず一致するセッションと、不一致が混ざるセッションで行われた。一致条件でも不一致条件も、subliminal刺激は意識される刺激と同様の運動時間を示した。不一致条件では、戦略を変えて、片方の物体にバイアスをかけることがあった。本研究では、サル 훈련に時間を要し、またサルの突然死に見舞われたため、行動実験のみ行われた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動の企図などのprospectiveな情報は、前頭前野で符号化されていると考えられるが、運動の意図と実際の運動の結果の比較の具体的な神経機構が明らかではない。ヒトでは、prospectiveな情報の処理が運動主体感を促進することが明らかになっており、頭頂葉と前頭前野がそれに関わることを示されている。今回の結果は、サルでもprospectiveな情報によって意識下でも運動の計画ができることを示した。今後は神経活動の記録を目指す。身体意識、あるいは脳内での自他区別の神経機構の解明にも糸口となる。また、リハビリテーションやスポーツ、芸術のための新たなトレーニング法の開発に応用されることが考えられる。

研究成果の概要（英文）：In the present study, we attempted to elucidate the neural mechanisms associated with the comparison of information from sensory feedback with future motor intentions. Objects requiring different grasping actions were prepared and presented as priming stimuli for very short periods of time (0 ms, 5 ms, 7 ms, 20 ms, 50 ms). The object to be grasped was set up in sessions that always matched the priming stimulus and in sessions with mixed mismatch. In both the match and mismatch conditions, the subliminal priming stimuli produced similar movement durations to the conscious stimuli. In the mismatch condition, some monkeys changed their strategy, biasing one object against the other. In the present study, only behavioural experiments measuring movement time were conducted because of the time required to train the monkeys and the sudden death of the monkeys.

研究分野：神経生理

キーワード：運動意図 把持運動 予測的制御 頭頂連合野 前頭前野 感覚フィードバック 運動主体感

2. 研究の目的

以上のことから、**把持運動に関わる随伴発射や prospective な情報が、腹外側前頭前野 (VLPLF)、F5、IPL 間で、どのようにやり取りされているのか、それがどのように神経活動に反映されているのか**疑問として浮かび上がる。申請者は、前頭前野の運動開始前の情報処理がいかに運動に対して影響を与え、またその背後にある SFL-III ネットワークの神経活動の実態を解明しようと考えた。これは、運動主体感に対する前頭前野の関与の解明にもつながる。運動遂行中の前頭前野と IPL-F5 ネットワークとのコヒーレンスを明らかにすることによって、**神経活動のダイナミクスを観察する事ができると考えられる**。Vorberg らの研究によれば (Vorberg et al. 2003)、**予め提示するプライミング刺激がたとえ意識下であっても実際の運動の時の視覚刺激と一致している条件では、不一致と比べ反応時間が短くなる**ことが明らかにされている。本計画では、その条件と同様に意識下のプライミング刺激 (把持物体) を提示する。これが**運動開始前の prospective な処理に相当すると考えられる**。また、これまでの申請者による研究の結果から、**F 5 を起源とする随伴発射と IPL での感覚フィードバックの比較が行われているとの仮説を立てている** (参照 Murata et al 2016)。本研究では、随伴発射の起源とその情報がどこへ流れて使われるかを明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法

(1) 実験セットアップ:

レバーと板状の 2 種類の物体を載せて回転するターンテーブルによって、必要ときに物体を交換できる実験装置を用いる。サルは液晶シャッターを通して、把持物体や自らの手の動きが見えるようになっている。把持運動はレバーがパワーグリップ、板は親指と人差指の側面で握るサイドグリップを必要とした。

(2) サルに行わせる把持運動課題:

- ・液晶シャッターにつけられた LED が点灯すると、サルはそれを注視し手元のスタートスイッチを押す。これによってタスクが開始され、ターンテーブルが回転する。
- ・ターンテーブルが回転を止めると、液晶シャッターが開く。液晶シャッターは、0ms 5ms 7ms 20ms 50ms のいずれかの期間で開き、プライミング刺激として物提示する。
- ・プライミング刺激の後、300ms 以下の時間の間にターンテーブルが再び回転し停止する。
- ・LED が dim すると Go signal となり、把持物体が見えない状態で到達把持運動を開始させる。
- ・到達運動の途中に、赤外線センサーを設置し、サルの手が横切るとシャッターが開き、手と物体が、物体も手の動きも見えるようになる。センサーは、手が物体に到達する直前に設置した。

(3) 実験の条件:

- ・プライミングと実際に把持する物体が必ず一致するセッション プライミング刺激は、0ms 5ms 7ms 20ms 50ms に設定した。
- ・プライミングと実際に把持する物体が一致する場合と不一致の場合がランダムに現れるセッション サルが、プライミング刺激を無視して運動しないように、プライミング刺激は、5ms 7ms 20ms 50ms とし、さらに不一致刺激が 30% の割合で提示されるようにした。

サルの訓練ののち、go signal に対する反応時間、**運動時間** (運動開始から物体把持までの時間) を計測した。本研究ではその後、前頭前野、運動前野、頭頂連合野からの神経活動を単一ニューロンあるいは ECoG を記録する予定であった。特に、前頭前野と IPL-F5 ネットワーク間のコヒーレンスは、前頭前野の運動開始前の prospective な処理が、IPL-F5 ネットワークへ与える影響や F5 起源と推測される随伴発射/遠心性コピーの情報の流れを明らかにすると予測していた。度重なるサルの突然死により記録実験まで至らなかった。

4. 研究成果

- (1) すべて一致条件のセッションでは、プライミングを 0ms 5ms 7ms 20ms 50ms に設定した。5ms 7ms では実験者が、物体の形状が意識に上らないことを確認し、この 2 つの条件

が意識下プライミングとなる。いずれのサルにおいても 0ms の場合、つまりサルが事前に物体を予期する手がかりのない場合では、他の条件と比べて運動時間は長く、プライミングが提示されていると、意識下あるいは意識上であっても運動時間に変化が見られなかった。ただ、サルによっては、運動の手がかりのない 0ms の条件では、運動時間のばらつきに2つのピークが認められた。これは、サルがどちらかの物体にバイアスをおいて課題を遂行していると思われた。いずれにしても 5ms や 7ms の意識下のプライミング刺激であっても運動のプランニングが行われていることを示している。シャッターが開くタイミングはいずれのプライミング時間でも変化なく、到達運動には変化が見られなかった。

(2) 一致条件と不一致条件が、混ざった条件（混合セッション）では、プライミングを 5ms 7ms 20ms 50msに設定した。また、サルがプライミングを無視しないように、不一致条件の提示を1頭では30%に設定した。この不一致条件では、運動の修正が起こるため、運動時間が、一致条件よりも長くなるはずである。実際、あるサルではいずれのプライミング刺激時間でも同様に運動時間の延長がみられた。つまり、意識下のプライミング刺激においてもそれに従った運動を行っていた。このとき、到達運動の時間には延長が見られず、把持運動の修正に時間がかかったと考えられる。しかし、1頭のサルでは、異なった行動が見られた。レバー把持に関して、不一致条件でも運動時間の延長が見られず、板の把持に関しては延長が見られた。また、板の把持に関する一致条件では、運動時間の分布に2つのピークが見られた。早い方のピークは、一致条件でのカーブに一致した（一致条件だけのセッションでは、レバーと板がほぼ同じかやや板のほうが運動時間が早かった）。ここに見られる試行は、プライミング刺激に従って運動を行っているものである。一方で、遅い方のピークはレバーのプライミングで板を掴むときの不一致条件のカーブに一致した。つまり、レバーを掴む運動意図が強く、フィードバックによって運動を修正していると思われる。これらのことから不一致条件が混じっていると、サルが運動の選択においてレバーに対して強いバイアスを持っていて、プライミングを無視し、いわばレバーにやまを張って運動の選択をする場合があることを示唆する。さらに、この2つのピークは、5msや7msの短い意識下のプライミングでは見られなかった。混合セッションでは、レバーに対する強いバイアスを持っているため、板に対する意識下のプライミングは抑制されていると考えられる。このような行動が見られないようにするには、不一致の試行割合を1割程度までさげる必要があることもわかった。

(3) 以上の結果から、非常に短いプライミングで意識下であっても運動の意図形成に関わることが明らかになった。現在は、新しいサルで訓練を行っており、行動実験にて上記の結果を再確認中である。同様の結果が得られたら、記録実験に向けて準備を行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 村田 哲	4. 巻 101(3)
2. 論文標題 特集 神経心理における驚くべき仮説 身体性から考える神経心理学—予測のメカニズムとその破綻—	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 脳神経内科	6. 最初と最後の頁 274-284
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 2. 村田 哲、小高 泰、望月 圭、稲瀬 正彦
2. 発表標題 サル手操作運動における予期的プロセスによる意図生成
3. 学会等名 第46回日本神経科学大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村田哲、小高泰、望月圭、稲瀬正彦
2. 発表標題 サルにおける意識下の予期的プロセスが把持運動のフィードバック制御に与える影響
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 村田 哲（項目分担）	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 -
3. 書名 霊長類学の百科事典（項目 ミラーニューロン）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Research gate
<https://www.researchgate.net/profile/Akira-Murata-2>

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
研究分担者	小高 泰 (Kodaka Yasuhi) (10205411)	近畿大学・医学部・助教 (34419)	

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		
ギリシャ	School of Medicine University of Crete		