

令和 5 年 5 月 16 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11313

研究課題名（和文）身体図式のための頭頂葉 - 前頭葉の機能的連関の解明

研究課題名（英文）Functional linkage of the parietal-frontal lobes for body schema

研究代表者

村田 哲（Murata, Akira）

近畿大学・医学部・准教授

研究者番号：60246890

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、運動の意図の信号が脳領域間以下に流れていくかを調べる研究であるが、まず行動実験を行って、意識下のprospectiveな情報処理の意図に対する影響を調べた。高速液晶シャッターを導入して、把持運動の直前に、異なる形の物体をプライミング刺激として意識下あるいは意識に上る時間で提示し、サルの把持運動の運動時間を計測した。一頭のサルで、プライミングと把持物体が一致する条件では、プライミングが意識下であっても運動のプランニングがおこなわれてことが明らかになった。しかし、一致不一致を混ぜて提示すると片方の物体にバイアスを掛けてしまい、プライミングの効果が低下することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

把持運動は、運動の企図や運動指令、随伴発射/遠心性コピー、実際の感覚フィードバックなどの信号によって制御される。ヒトでの先行研究では、運動開始前の意識下のprospectiveな信号が、運動意図に影響を与え、スムーズな意思決定によって反応時間が短くなることがわかっている。また、それが運動主体間を強化することが明らかになっている。本研究の結果は、意識下のprospectiveな信号が、サル運動開始後の運動にも影響を与えることを示唆している。意図の信号がいかにして運動制御系に影響を与えるか記録実験において明らかにする端緒を得たこと、また運動主体感の脳内メカニズム解明にもつながると考えている。

研究成果の概要（英文）：To investigate how signals of motor intention flow between different brain regions, we first conducted a behavioral experiment to examine the effects of subconscious prospective information processing on intention. We introduced a high-speed LCD shutter and presented objects of different shapes as priming stimuli for conscious or subconscious time lengths prior to the grasping movement, and measured the movement time of the monkeys' grasping movements. The results showed that in one monkey, the task trial of grasping only the object that matched the priming stimulus resulted in proper motor planning even if the priming was unconscious. However, in task trials in which the monkeys were randomly grasped an object that matched or mismatched the priming stimulus, the priming effect was reduced because the monkeys were biased toward intentionally grasping one of the objects.

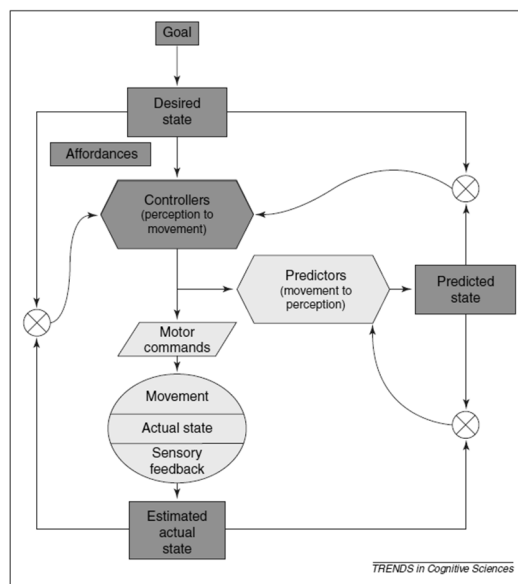
研究分野：神経生理学

キーワード：運動意図 運動主体感 把持運動 前頭前野 意識下 随伴発射 フィードバック制御 前頭-頭頂回路

1. 研究開始当初の背景

これまでに、サル・ヒトの視覚の背側経路に含まれる頭頂葉は、前頭葉にある運動領野との相互的な解剖学的結合が強いことが知られている。例えば、運動前野と頭頂連合野は、相互に強い結合があり、感覚運動制御において核心的な役割があることが明らかになっている。この、頭頂葉と前頭葉の運動領野からなるネットワークは、頭頂葉にある感覚情報表現から、運動の表象への変換に関わると考えられる。

Blackmore は(右図) 運動制御に関わるネットワークに複数の比較器があり、運動の企図や運動指令、予測される感覚フィードバック、実際の感覚フィードバックなどがそれぞれ比較器において比較されていると推測している。特に、遠心性コピーあるいは随伴発射と呼ばれる信号は、脳内にある内部モデルによって、運動の結果を予測すると考えられている。また、この予測された結果は、実際の結果と比較されて、誤差がある場合には、運動のプログラムや運動指令の修正、内部モデルの書き換えに使われる。



Blackmore は(右図) 運動制御に関わるネットワークに複数の比較器があり、運動の企図や運動指令、予測される感覚フィードバック、実際の感覚フィードバックなどがそれぞれ比較器において比較されていると推測している。特に、遠心性コピーあるいは随伴発射と呼ばれる信号は、脳内にある内部モデルによって、運動の結果を予測すると考えられている。また、この予測された結果は、実際の結果と比較されて、誤差がある場合には、運動のプログラムや運動指令の修正、内部モデルの書き換えに使われる。

申請者の研究 (Murata et. al, 2000) では、サルの下頭頂葉にある AIP では単一ニューロンにおいて、操作する物体の 3 次元の特徴が視覚的に表現され (Affordances に相当) またそれを把持したり、操作したりする運動も符号化されていることを明らかにした。

一方、AIP と解剖学的結合の強い腹側運動前野にある F5 も、把持運動に関わるニューロン活動が知られている。この領域も把持運動を符号化しており、申請者はこの領域の把持運動ニューロンも、把持の対象となる物体を見ただけでも活動することを明らかにした (Murata et al 1997)。つまり頭頂葉では、把持運動に必要な 3 次元的な物体の情報処理が行われており、その情報が運動前野へ送られ、運動に変換されていると考えている。一方、運動前野との結合は相互方向であり、結果を予測するための随伴発射 / 遠心性コピーが頭頂葉にかえってきていると推測される。

こうした随伴発射 / 遠心性コピーは、感覚野において感覚抑制のメカニズムとしても考えられている。これまでに、申請者らは、体性感覚野のニューロンの活動が運動中には抑制がかかっているものと促通が起こるものがあることを明らかにしている。このような感覚野の反応の変化は、随伴発射 / 遠心性コピーの影響が考えられる。

さらに、近年になって、腹外側前頭前野には、把持運動に関して活動するニューロン活動が見つかっており、運動開始前の文脈に依存する活動が報告されている。これらも、頭頂葉の手操作運動ニューロンの活動に運動の意図の信号が影響を与えていると考えられる。更に近年、上肢運動に関して、意識下の予期的な情報によって意思決定され、スムーズに運動が行われることが明らかになっている。この過程によって、運動主体感が増強されることもわかっている (Chanbon et al 2014)。

実際の運動遂行にあたって、意図や随伴発射 / 遠心性コピーの信号は、脳内でどこから発し、どこへ送られるのか。先の Blackmore のモデルに当てはめると、頭頂葉は、運動の前頭前野から

の意図の信号や運動前野からの随伴発射 / 遠心性コピーを受け取って実際の感覚フィードバックや実際の運動の結果と比較する比較器となっていることが予測される（上図参照）。

2．研究の目的

本研究は前頭前野、運動前野、頭頂連合野などの領域から、把持運動の遂行中の ECoG や単一ニューロン活動を記録し、領域間の神経活動の相互作用、特に運動指令や運動企図を符号化している領域から信号の流れを明らかにすることが目的である。この中で前頭前野では、運動の意図の処理が行われていると考えられるが、運動遂行中に前頭前野が頭頂葉・運動領野ネットワークに対してどのような影響を与えているのか。とくに、運動の意図の形成にあたって、意識下のプロセスが運動の意図を形成する過程や、意図された運動と実際の運動の結果の比較に関わる脳内メカニズムを明らかにすることを目的とした。また、これらのことは運動主体感の形成過程の解明にもつながると思われる。

3．研究の方法

サルに手操作運動課題を訓練し、まず行動実験を行った。実験装置の回転台に2種類の板とレバーの2つの物体が載せられており、サルはそれぞれを異なる手の形でそれぞれの物体を掴むことが要求される。サルは、液晶シャッター越しに物体や物体を掴むときの自らの手が見えるようになっている。課題では、小さなLEDスポットが点灯すると、サルは手元のスイッチを押して、それを注視する。把持運動の直前に、液晶シャッターが短期間開閉することにより、物体がブライミング刺激として提示される。その後数百ミリ秒の遅延期間ののち、LEDが暗くなるとサルは運動を開始し、物体に手を伸ばして把持を行う。遅延期間の間に回転台が回転することにより、ブライミングと一致、不一致の把持物体がランダムに提示されることになる。サルの手が物体に近づくタイミングで液晶シャッターが再び開き、物体と到達把持運動中のサルの手が見えることになる。ブライミングの後、このタイミングまでサルは把持物体がなにか見えない。記録実験に先立ち、まずは行動実験を行いブライミング時間及び運動開始後のシャッターが開く時間を決定することにした。このため、サルは運動時間を計測した。ブライミング時間は20ms以上であれば100msの場合と比較しても運動時間に変化はない。そこで、ブライミングの時間は、5ms、7ms、20ms、50msとした。また、運動開始後のシャッターを開けるタイミングが早すぎると、運動開始後でも物体に合わせて修正することなく把持運動ができてしまう。タイミングを色々変えて、把持する物体に到達する少し手前でシャッターが開くようにした。このようにして予め予期した物体と実際の把持物体が異なる場合には運動の修正が必要となり、運動時間が伸びることになる。以上の設定で、ブライミングが把持物体と常に一致するコンディションと一致不一致が混ざり合うコンディションで、行動実験を行い運動時間の計測を行った。当初の本研究計画では、サルは脳の神経活動の記録実験を行う予定をしていたが、感染症蔓延のための研究遅延により、研究期間内では行動実験が主に行われた。

4．研究成果

サルは右手で訓練し、実験を行った結果である。

- (1) すべて一致条件のセッションでは、ブライミングを0ms 5ms 7ms 20ms 50msに設定した。この場合、7ms以下が意識下ブライミングとなる。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、ブライミングの時間が長くなるに連れて、運動時間は次第に短くなった。5msや7msの意識下のブ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。物体の形が意

識に上るほうが運動時間は短い傾向にあった。

- (2) 一致条件と不一致条件がランダムに現れる混合のセッションでは、サルがプライミングの刺激に関心を持たなくなる可能性がある。そのため、一致条件と不一致条件を7:3の割合にして実験を行った。この条件では、不一致条件の場合で把持物体がレバーの場合に板よりも常に運動時間が長くなり、プライミングの提示時間の影響も見られなかった。さらに一致条件の場合には、板を把持する場合にプライミングが20ms以上で運動時間に2つのピークが認められた。遅い方のピークは、板を不一致条件で掴む場合と同じ時間で、運動に修正をかけていたと考えられる。一方、短い方のピークはプライミングに従って板を掴んでいるトライアルであった。以上のことは、一致不一致混合セッションにおいては、サルが戦略を変え、レバーに強くバイアスをおいて予めその物体を掴む計画をしていたと思われる。つまり混合セッションでは、たとえプライミングによって何らかの予期的なプロセスがあったとしても、片方の物体に掴む意図を強く持っている場合には、そのプロセスが抑制されることが考えられる。
- (3) 以上、意識下のプライミング刺激により予期的に運動の意思決定をするプロセスがサルでも認められ、それがフィードバック制御にも影響を与えることが明らかになったが、その影響は条件によっては効果が弱くなる。今回のこの結果は、サルがオーバートレーニングされていたことが影響したと考えられる。今後もこの研究を継続し、対側の手を訓練して行動実験、記録実験に進む予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 40
2. 論文標題 視覚・触覚に基づく手操作運動の制御に関連する皮質領域	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 31-36
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 -

1. 著者名 村田 哲	4. 巻 28(3)
2. 論文標題 ミラーニューロンによる自己と他者の表現	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本病態生理学会雑誌	6. 最初と最後の頁 21-29
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 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村田 哲, 小高 泰, 望月 圭, 稲瀬正彦
2. 発表標題 意識下の予期的プロセスが手操作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回神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村田 哲
2. 発表標題 ミラーニューロンによる脳内の自己と他者
3. 学会等名 第29回日本病態生理学会大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Researchgate https://www.researchgate.net/profile/Akira-Murata-2 researchmap https://researchmap.jp/viola_body researchmap https://researchmap.jp/viola_body

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
研究協力者	望月 圭 (Mochizuki Kei)		
研究協力者	小高 泰 (Kodaka Yasushi)		

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
---------	---------