

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500348

研究課題名（和文） 前頭眼野における視覚空間情報のリマップによる到達運動制御

研究課題名（英文） Control of Reaching by Remapping Visual Space Maps in the Frontal Eye Field

研究代表者

蔵田 潔 (KURATA KIYOSHI)

弘前大学・医学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：30170070

研究成果の概要（和文）：

例えばテニスにおいて、テニスプレーヤーがボールを打とうとするとき、ボールを正確に打つためには手と眼の協調運動が必要であり、打った後にはそのボールが自分の意図したところに到達するかを確かめようとする。このような手と眼の協調到達運動における弓状溝周辺皮質の役割を明らかにするため、ディスプレイ上の視覚目標へ、眼と手のいずれか、またはその両方による到達運動課題を行うようサルを訓練した。前頭眼野を含む弓状溝周辺皮質の特に深部領域には、到達運動の開始直から終了までに眼あるいは手の運動にかかわらず同様の活動の変化を示すニューロン活動が存在し、到達運動の開始から終了までの一連の行動を管理しているものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：

When a player reaches for and hits a tennis ball, the player makes coordinated eye and hand movements to hit the ball accurately and subsequently visualize the outcome of the reaching action. We examined the neuronal activity in the periarculate cortex of monkeys while using their eyes only, one hand only, or eyes and one hand together to reach for a target. Divisions of the periarculate cortex play differential roles in the initiation and execution of reaching by the different effectors. In particular, the deep cortical region contained neurons that were invariantly active before and during reaching execution or during self-monitoring of the reaching movements regardless of whether the eyes, a hand, or both were used for reaching. The properties of the neuronal activities suggest that the periarculate cortex orchestrates reaching movements from start to finish, thus serving as mission control for reaching behavior using any effector.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学 神経・筋肉生理学

キーワード：到達運動 運動制御 フィードフォワード制御 フィードバック制御
大脳皮質 ニューロン活動

1. 研究開始当初の背景

ヒトやサルは視覚目標への到達運動を行うとき、手と眼の協調運動を遂行している。到達運動の正確で速い遂行をするためには、第一に、視覚目標が呈示されたとき、運動開始前に到達すべき目標の視覚空間座標情報が眼と手の空間的かつ時系列的に最適な運動指令に変換されることが必要である。第二に、到達運動は眼球運動の開始および終了が、手の運動の開始および終了のそれぞれに先行することが、知られており、手による目標の正確な補足を行うのに、手運動の終了時に視覚フィードバックによる運動の補正が行われるものと考えられる。さらに視覚フィードバックは到達運動の目的が正確に達成されたかの判定に重要な役割を果たしていると思われる。

これまで、大脳皮質には少なくとも主要なふたつの眼球運動制御領域があることが知られている。それらは前頭眼野と補足眼野であるが、特に前頭眼野のニューロンには受容野応答を示すもの、急速眼球運動（サッカード）の開始あるいは遂行中に活動するもの（運動関連活動）、さらにサッカードの目標に対応し、運動開始前の準備期間中に活動するもの（準備関連活動）の存在することが知られている。前頭眼野におけるこれらの活動は、到達目標へのサッカードの準備と遂行に重要な役割を果たしているものと考えられてきている。また前頭眼野後方に弓状溝を挟んで存在する運動前野は手の遂行に重要な役割を果たしていることが知られている。

2. 研究の目的

弓状溝の前方に存在する前頭眼野は急速眼球運動に、また後方に存在する手の到達運動に重要な役割を果たしていることが知ら明らかではない。そこで、手と眼の個別の到達運動と両者による協調到達運動をサルに訓練し、弓状溝周辺皮質でのニューロン活動を、特に弓状溝深部を中心に記録し比較解析することにより、弓状溝周辺皮質の協調到達運動における機能的役割を明らかにしている。しかし、これらの領域を含む弓状

溝周辺皮質が全体として眼と手の協調到達運動にどのような役割を果たしているかはとを本研究の目的とする。この点を明らかにすることは、脳の運動制御機構解明に関し、重要な学術的意義があるものと考えられる。

3. 研究の方法

これら領域の機能特異性を明らかにするため、ディスプレイ上に呈示した中心固視点に対し上下左右等距離にある4つの視覚目標へ、眼と手のいずれか、あるいはその両方による以下のような到達運動課題を行うようサルを訓練した。その際、眼球運動を赤外線眼球運動計測装置で、またマウスを用いたタブレットで手運動をモニターした。運動に先行する準備期間中に、次に行うべき運動が手・眼のいずれか、または両方を動かすかを示す指示信号、および4つの目標点のうちどの目標に到達すべきかを示す指示信号をランダムな順で与えた。この課題遂行中に弓状溝周辺皮質からニューロン活動を記録し、解析した。

4. 研究成果

前頭眼野と運動前野を含む弓状溝周辺皮質の特に深部領域から興味深い単一ニューロン活動を記録した。その代表的な活動として、到達運動の開始直前から、一試行の終了までの期間に眼あるいは手の運動にかかわらず同様の活動の変化を示すニューロン活動が観察された。さらに、この中には、運動に先行して活動を開始し、運動開始後にはすぐに活動の変化がなくなるものと、運動開始後から到達運動完遂までの間に持続的な発火を示すものが存在した（図1）。前者の活動は到達運動のプロトタイプとして運動指令が生成されていることを示唆し、後者の活動は到達運動の完遂までの自己行動の推移を注視する脳活動と考えられる。これらの活動は弓状溝の底部から運動前野腹側部と背側部の深部に多く存在していた（図2）。

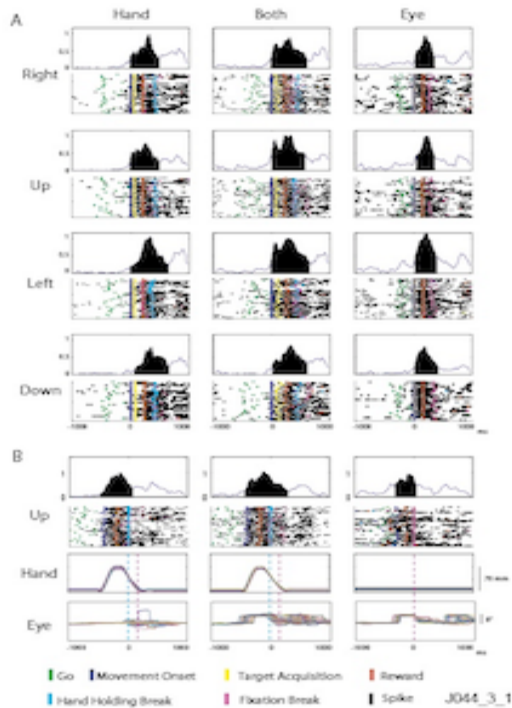


図1 A) 手のみ (左カラム)、眼のみ (右カラム)、両方 (中央カラム) の運動開始で単一ニューロン活動を揃えて表示した。B) 試行の終了に揃えて A) と同一のニューロン活動を表示した。完遂まで効果器を問わず持続的な活動を示している。

一方弓状溝前方の前頭前野では眼球運動に、また運動前野には手の運動に関連を示すものが大半であり、これらの領域ではプロトタイプとなる信号から効果器への運動の最終司令が生成されていると考えられる。さらに弓状溝周辺皮質には、手あるいは眼のみ、あるいは手と眼両方の運動モードのどれかに特異的に活動を示すニューロンが存在していた。これらの活動のうち、手と眼両方の運動にのみ活動するニューロンは、行うべき運動のレパトリーのどれかを符号化している活動と考えられ、最終運動司令を形成する前のプログラム機構であると思われる。すなわち弓状溝周辺皮質では、到達運動の開始から終了までの一連の行動を管理しているものと考えられる。

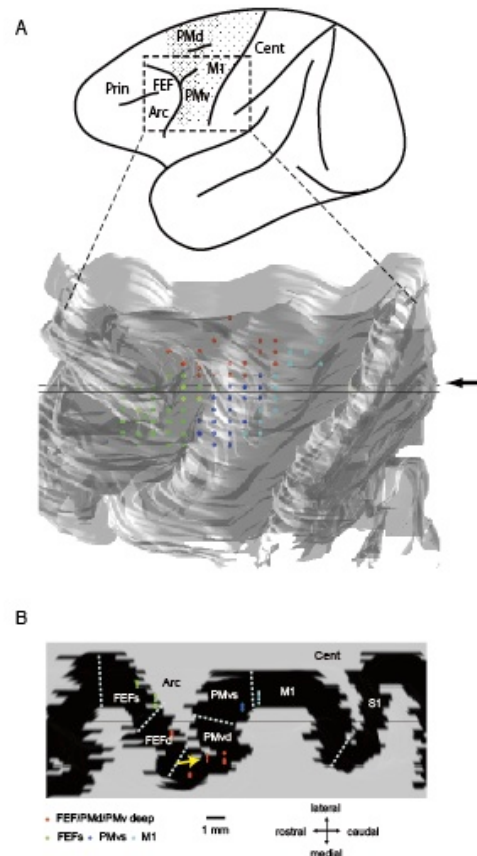


図2 A) 弓状溝周辺皮質のニューロン活動記録部位の再構築像。略号: Arc 弓状溝, Cent 中心溝, FEF 前頭眼野, PMv および PMd 運動前野腹側部と背側部, Prin 主溝 B) 皮質断面像。図1のニューロン活動が記録された部位を黄色の矢印で示す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件) 現在投稿中

[学会発表] (計8件)

1. Kurata, K.: Selective involvements of the cortical areas around the arcuate sulcus in reaching by eyes and/or hand. The 36th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Sep 19, 2012. Nagoya.

2. Kurata, K.: Neuronal activity in the frontal eye field and adjacent cortical areas of monkeys during reaching by eyes and/or hand. The 8th IBRO World Congress

of Neuroscience. Jul 2011, Firenze, Italy.

3. Kurata, K.: Three dimensional distribution of distinct neuronal activity in the periarculate cortex for reaching by eyes and/or hand. The 34th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Sep 17, 2011, Yokohama.

4. Kurata, K.: Movement-related neuronal activity in the periarculate cortex of monkeys during reaching by eyes and/or hand. Tohoku International Symposium on Multidisciplinary Neuroscience, Jan 24 2011, Sendai.

5. Kurata, K.: Neuronal Activity in the periarculate cortex during reaching by eyes and/or hand. Society for Neuroscience 40th Annual Meeting, Nov 15, 2010, San Diego, USA.

6. Kurata, K.: Neuronal activity in the frontal eye field and the ventral premotor cortex around reaching by eyes and/or hand. The 33rd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society Sep 2, 2010, Kobe.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蔵田 潔 (KURATA KIYOSHI)

弘前大学・医学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30170070

(2) 研究分担者 なし