


感覚シナジーと筋シナジーの連関による霊長類の巧緻運動制御メカニズムの解明

	研究代表者	国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター・神経研究所 モデル動物開発研究部・部長 関 和彦 (せき かずひこ)	研究者番号:00226630
	研究課題情報	課題番号: 23H05488 キーワード: 感覚運動制御, 感覚シナジー, 筋シナジー, 手指運動, 皮質下表現	研究期間: 2023年度~2027年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

手指の巧緻運動は進化の過程で獲得した、ヒトを含めた霊長類のみが有する能力であり、その神経基盤の理解はヒトそのものの理解にも繋がる。しかしながら、巧緻運動の神経メカニズムについては未だ不明な点が多い。その理由は、これまで運動制御に関わる信号伝達の観点から研究が進められてきたが、一方、運動の必然として起こる手指からの感覚フィードバックが神経系によってどのように処理されるのか、についての研究が手薄であったためである。私たちはこれまで、手指の巧緻運動が「筋シナジー」、すなわち筋活動調節の機能単位によって制御される神経メカニズムを明らかにしてきた。本研究では、この筋シナジーによって生じる、手指からの感覚フィードバック信号を新たに「感覚シナジー」として捉え、サルを対象にして「感覚シナジー」の神経実体、回路構築、形成様式を解明するとともに、ヒトの巧緻運動における機能的役割を検証する。また、本実験結果を用いて「感覚シナジー」と「筋シナジー」の連関メカニズムをモデル化することにより、新たな生体の運動制御原理を提案する。

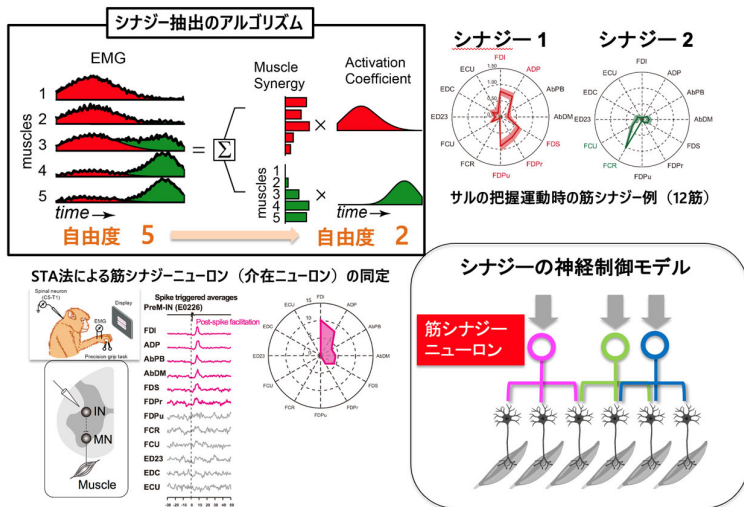


図1 シナジーの神経表現（筋シナジーの例）のイメージ図

●手指運動における筋シナジーの神経機構 「筋シナジー」は「脳には個々の筋肉を個別に制御するのではない。複数の筋の制御を担当する機能単位が中枢神経系内に複数存在し、脳はその基本単位の組み合わせによって運動を制御する」という考え方である。我々が研究を開始した当初は、この筋シナジー仮説は筋制御の組合せ爆発を回避するための概念の域を出なかった。しかし我々は手指運動に関わる筋シナジーが脊髄に表現されていること、その異常が通常運動を不可能にすることを証明してきた。

●筋シナジーと感覚シナジー

手指には主として皮膚受容器と深部受容器という異なったモダリティの感覚器が存在する。皮膚受容器は皮膚表面の触覚など、固有受容器は手指の姿勢や位置などをそれぞれ受容し、中枢神経系に伝達される。しかし、中枢神経系において、この伝達された感覚情報がどのように処理されて、手指の巧緻運動時の機能的な体性感覚（例えば、どの指が、どの程度の強さで、どのような物体に触れているか、など）を抽出しているのか、その神経機構は現在まで明確でない。

そこで、我々は「感覚シナジー」という新たな概念を提唱してこの問題の解明を試みる。すなわち本概念では、脳は個々の受容器からの感覚信号を個別に受容しているのではなく、手指運動の際に同時に刺激される、複数の受容器、複数のモダリティ、複数の受容野を持つ多感覚情報を表現する複数の機能単位（感覚シナジー）が中枢神経系内に存在し、脳はそれぞれの感覚シナジーで表現されている多感覚情報を組み合わせることによって手指の感覚を受容すると考えるこの「感覚シナジー」の概念は、申請者がこれまでその神経機構を解明してきた「筋シナジー」の概念を感覚系に置き換えた概念である。

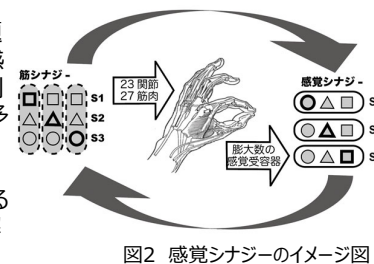


図2 感覚シナジーのイメージ図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●感覚シナジーの神経機構の解明

まず、マカサル一次感覚神経核（延髄と脊髄）におけるニューロン活動の網羅的記録技術を開発する。手指運動は筋紡錘・腱紡錘・皮膚受容器を刺激し、それらは求心神経（主としてI群）を經由し、中枢神経系内では後策-内側毛帯路を經由して上位中枢に伝達される。この後策-内側毛帯路の一次中継核が脊髄（後角）と延髄（楔状束核と副楔状束核）である。ここでは覚醒行動下のサルにおいて、これらの核に存在する体性感覚信号を中継するニューロンの活動を多極電極によって網羅的に記録する方法を開発する次に一次中継核のニューロン活動記録と感覚シナジー構造の抽出を行う。サルに把握運動を行わせ、一次中継核からの神経細胞活動を多数同時に記録し、非負値行列分解分析、主成分分析などによって感覚シナジー構造を抽出する。そして、個々のニューロンの生理学的な特徴も考慮して、感覚シナジーの神経表現を解明する。その後、同定された感覚シナジーの中枢制御機構、形成機構、感覚運動異常との関連性などに光遺伝学やモデル動物なども用い明らかにすると同時に、筋シナジーと感覚シナジー連関のモデル化を行う。

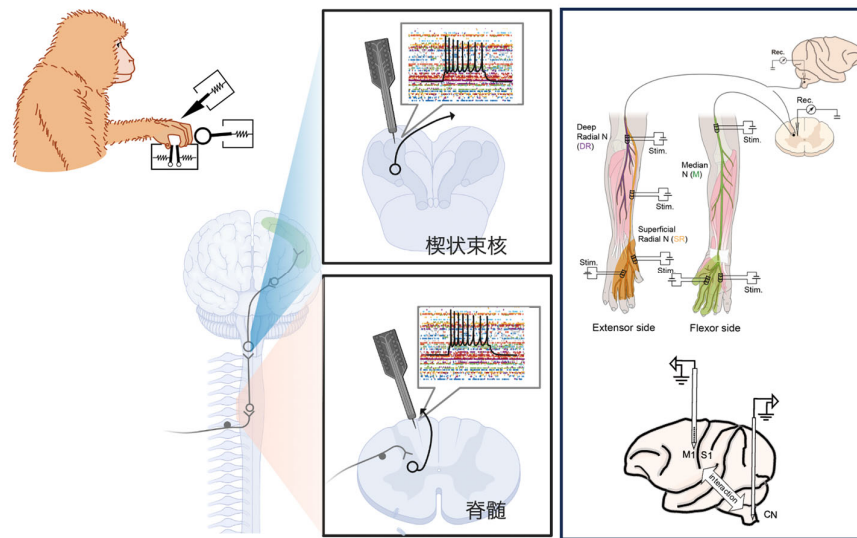


図3 研究計画のイメージ図