

タイピングスキルを支える手指運動制御則の解明

代表研究者 埼玉県立大学大学院保健医療福祉学研究科 准教授 国分 貴徳
 共同研究者 埼玉県立大学大学院保健医療福祉学研究科 博士後期課程 伊藤 貴紀

【研究の概要】

手部に特徴的な 2 つの構造特性の選択性がタッピングやタイピングの筋活動制御に及ぼす影響を分析した。結果として、MP 関節の側副靭帯の制動作用には共通性が示された。一方、指屈筋腱の作用には多様性が見られた。タッピング中、MP 関節の運動自由度を拘束するために、これらの構造特性を利用した運動選択を行う対象者が確認された。この運動選択は、筋の制御コストを軽減する可能性が示唆された。また、タイピング中では、多くの対象者が MP 関節屈曲位となり、構造特性を選択した制御を選択した。複雑な指運動課題において、MP 関節の自由度拘束による制御の簡略化は、より顕著に行われることが明らかとなった。

【研究経過および成果】

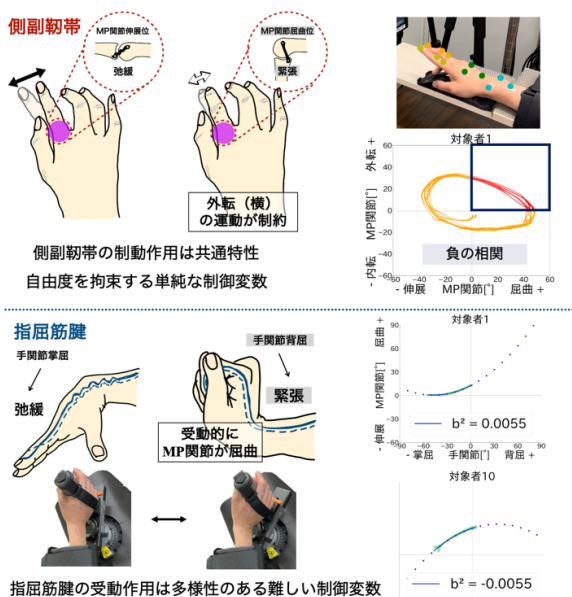
従来の研究では、収縮要素である筋の協調機能からヒトの運動制御則が語られてきた。しかし、非収縮要素である靭帯や腱といった構造体も関節運動の安定化や力伝達に寄与する。これら非収縮要素による作用は筋の制御コストを変化させ得るにも関わらず、制御変数として含まれないまま制御則が述べられてきた。この課題解決を目的に、実験 1-3 を実施した。

実験 1: 側副靭帯による MP 関節の制動作用

健康成人 10 名を対象とし、示指をできるだけ大きく動かす課題を実施した。課題中の中手指節(MP; Metacarpo Phalangeal)関節屈曲角度と外転角度の相関性を評価したところ、全ての対象者で、負の相関を認め、側副靭帯による制動作用は共通特性であることが示された(右図)。運動に貢献する筋の選択や個々の筋線維における筋張力の調整、複数筋の協調作用などといった筋に関する制御変数に対し、側副靭帯による制動作用は関節自由度を拘束する単純な制御変数であると考える。

実験 2: 指屈筋腱による手関節と MP 関節の拘束性

健康成人 10 名を対象とし、手関節の受動背屈課題を実施した。課題中の手関節と MP 関節の関節角度の回帰式における二次の項の係数はばらつく結果となった。腱は筋と骨を接続するため、骨同士的位置変化だけでなく、接続する筋の物理的特性の変化にも影響を受け、長さや張力が変化する。指屈筋腱の受動特性は側副靭帯の制動作用よりも難しい制御変数であることが示唆された。



実験 3: タッピングやタイピングにおける靭帯や腱の構造特性の選択性が筋活動制御に及ぼす影響

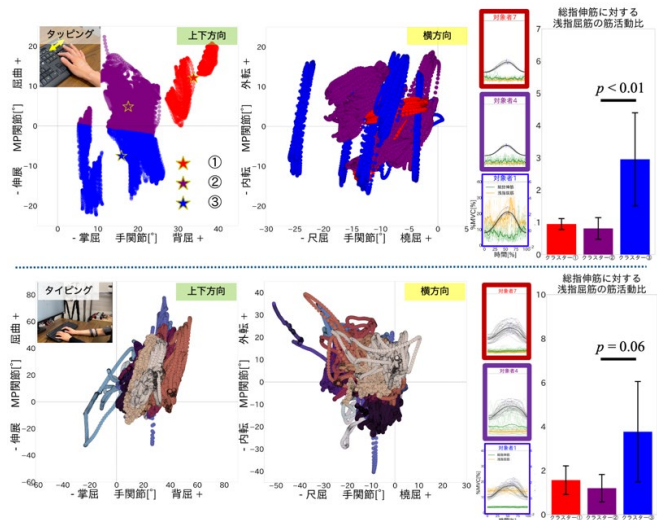
(A) タッピング課題

健康成人 18 名を対象とし、右示指を使ってテンキーの7と9の反復入力課題を実施した。課題中のMP関節屈曲・伸展角度データに対して、k-means法を用いたところ、3つのクラスターに分類された(右図)。クラスター①②では、MP関節の内転・外転角度を大きく変化させず、手関節とMP関節の角度変化によって指先を横方向に動かしていた。従って、側副靭帯の制動作用によってMP関節の外転方向の自由度を拘束した運動を選択していることが示された。また、クラスター③に対して、MP関節の屈曲を伴うクラスター①②では、総指伸筋に対する深指屈筋の筋活動比は低値であった。従来研究では、腱の伸張作用に伴って指先剛性が増加することや、キーを速く正確に入力するための指先剛性の調整の重要性が示されている。これらのクラスターでは腱の受動特性を用いて手関節を背屈し、MP関節を受動的に屈曲させた姿勢を選択することで、筋の収縮作用による制御を減少させていたと考えられる。

(B) タイピング課題

(A)と同一の対象者とし、ミスがないようにできるだけ速く入力を行うよう指示し、文章入力課題を実施した。課題中、右示指による入力区間を抽出し、マーカ位置と筋活動を分析した。タッピングと異なり、タイピングでは全対象者のMP関節角度は屈曲位に収束し、指先の横方向の動きに貢献する手関節とMP関節の内転・外転方向の動きは連動していた。複雑な指運動課題にはコンテキストの影響や指先の到達位置の変更といった制御の難しさがある。運動選択特性の変化は課題の複雑さを解消するため

に生じた適応であると考えられる。また、タッピングでMP関節を伸展させていたクラスター③に対して、両課題でMP関節を屈曲させていたクラスター①②では、総指伸筋に対する浅指屈筋の筋活動比は、有意差は認めなかったが低値であった。運動指令が生じて筋収縮が生じるまでの短い時間に、タイピング中の連続的な指先の力調節を筋の収縮作用に依存すると、時間的限界が生じる。そのため、指屈筋腱の受動的な張力変化を効率的に利用して手部の関節運動を制御することで、制御を簡易化していると考えられる。



【学会発表】

1. 伊藤貴紀, **国分貴徳**. 指屈筋腱の受動特性は手指運動を簡易化させ筋活動制御コストを軽減する. 第17回 Motor Control 研究会 2023.8
2. Takanori Ito, **Takanori Kokubun**. Non-contractile tissue is an important component in regulating the degree of freedom of fingers during the tapping task. Neuroscience 2023 2023.11
3. 伊藤貴紀, **国分貴徳**. 靭帯・腱の構造特性は手指運動制御を簡易化させ筋活動負担を軽減する. 第28回日本基礎理学療法学会学術大会 2023.12