

# タイピングスキルを支える上肢運動制御機構 に関する身体運動学的研究

埼玉県立大学大学院 保健医療福祉学研究科 博士論文

指導教員 国分貴徳 山崎弘嗣 延原弘章

2024年3月

2391002 伊藤貴紀

コンピュータは今や老若男女問わず、日常生活において用いられる必須のツールとなった。学習や仕事に限らず、趣味や余暇の一部として、日常生活において触れない日の方が少ないといっても過言ではあるまい。一方で、近年ではタイピング動作の繰り返しによる上肢の筋骨格障害の発生が公衆衛生上の問題となっている。タイピング動作は手関節と指の関節の運動による高度に組織化された複雑な課題である。しかし、タイピング動作の主たる運動を担う関節と筋負担を同時に評価し、障害発生に影響し得る運動学的要因を述べた報告は限定的であった。

博士研究では、この複雑で高度な手指運動タスクであるタイピングを実行するためにヒトが行っている運動制御様式をリハビリテーションの視点から解明することを目標とした。具体的には、従来の研究において解析されてきた収縮要素である筋の収縮作用に加え、ヒトの関節運動制御において筋活動以前に重要な働きを有する非収縮要素である靭帯や腱の構造-関節運動特性を包含した手指運動制御則を明らかにすることを最大の目的とし、以下の4つの研究を実施した。

研究Ⅰでは、高スキル者は、キー入力の際に手指の協調性を高め、手関節と指のMP関節の角速度を効率的に調整することが明らかとなった。対照的に、低スキル者は、手関節伸筋の活動が高く、指の動きに非効率的な影響を及ぼすことが示唆された。これまで、主に矢状面の運動に着目したが、矢状面と水平面の2つの運動面において、ヒトがどのような運動の拘束条件を設定し、制御しているかは明らかではなかった。

研究Ⅱでは、タイピングにおける矢状面と水平面での関節運動の優位性を検証した。結果として、矢状面の運動は筋活動だけでなく、関節の受動的な運動メカニズムにも影響を受けやすいことが示された。一方、水平面の運動は安定しており、筋の動的作用と構造的特性に影響を受ける可能性が高いことが示唆された。しかし、これらの運動の拘束条件を設定する上で、靭帯や腱といった非収縮性組織が如何にして貢献し得るかは未解明であった。

そこで、研究Ⅲでは、手部に特徴的な2つの構造特性に着目して、これらの構造特性と単純指運動（タッピング）における運動選択との関連性を評価した。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個人差が見られた。また、MP関節の運動自由度を拘束するために、これらの靭帯や腱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、課題遂行における時間的・空間的な安定性に寄与し、筋の制御コストを軽減する可能性が示唆された。

さらに研究Ⅳでは、靭帯や腱の構造特性を選択した制御則が複雑な指運動（タイピング）においても選択され得るか検証した。結果として、タイピング中においては、多くの対象者が構造特性を選択した制御であるMP関節屈曲位を選択した。複雑な指運動課題においては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。

以上より、ヒトの中枢神経系は、関節運動制御における時間的・空間的な制約を克服するため、非収縮要素である靭帯や腱の構造依存的な関節運動を利用した制御則を有している可能性が示唆された。本研究の結果は、上肢の筋骨格障害から回避するための身体的・環境的アプローチの提案や、筋の制御コストを減らした効率的な手指運動の学習を促進する知見になり得る。