

異なるタイピングスキルにおけるタイピング中の 効率的な手指運動に関わる前腕筋活動の検証

埼玉県立大学大学院博士後期課程大学院生、伊藤貴紀さん（第一著者）と、同研究科の金村尚彦教授、国分貴徳准教授（責任著者）のグループは、タイピング動作におけるスキルレベルと力制御特性の関係について分析を行い、タイピングスキルの高い者はキーボードの物理的特性と筋や腱のバネ特性を利用することで、前腕の筋活動を調整している可能性を明らかにしました。研究グループは、異なるタイピングスキルの健常若年者を対象とし、三次元動作解析システムと表面筋電図を用いて、タイピングタスク全体と特定のキー入力中の手指の動きと前腕の筋活動を分析しました。結果として、手関節と指の屈伸角速度と手関節屈筋の筋活動量は、低スキル群（Unskilled Typists；UTs）と比較して、高スキル群（Skilled Typists；STs）の方が高く、手関節の伸筋の筋活動量は高スキル群の方が低い傾向が見られました。この研究結果から、スキルの高い者は手指の協調作用を用いて、筋活動負担を調節し効率的な手指運動を行うことができるため、キーを押したり離したりする時の指の筋や腱にかかる機械的ストレスが少なくしていることが示唆されました。この研究成果は、近年増加するタイピング動作による筋の負担や上肢筋骨格系障害のリスクを検討する際に、筋活動に加えて手と指の相乗的な動きを同時に評価することの重要性を強調するもので、障害予防を目指した作業環境や身体運動の学習に寄与することが期待されます。

研究成果は、2023年6月28日に *International Journal of Industrial Ergonomics* 誌に掲載されました。

1. ポイント

- ▶ 三次元動作解析システムと表面筋電図を用いてタイピングスキルの異なる 12 名の健常若年者におけるタイピング動作の分析を行い、手関節と指の関節の動きと、前腕筋の筋活動変化の関係に着目して分析を実施しました。
- ▶ タイピングスキルの高い者では、手関節と指の屈伸角速度・手関節の屈筋の筋活動量が大きく、手関節の伸筋の筋活動量は低い結果が見られました。
- ▶ タイピングスキルの高い者はキーボードの物理的特性と筋や腱のバネ特性を利用して、前腕の筋を使う可能性が示され、キーを押したり離したりする時の指の筋や腱にかかる機械的ストレスが少なくなるような制御をしていることが明らかになりました。

2. 研究背景

DX化が進む現代社会においてコンピュータは欠かせないツールであり、仕事や学習で誰もがキーボードを頻繁に使うようになってきています。キーボードのタイピング動作では、キーを入力する時には手首や指の関節や筋を複雑に作用させ、指の運動を素早く反復させます。このタイピング作業を繰り返行くと、手指の筋や腱に機械的なストレスが生じ、上肢の筋骨格系障害の発生リスクが高くなることが知られています。そのため、これまでの研究では関節運動の特徴や筋の活動負担を分析し、障害発生リスクを回避する方策を明らかにすることに焦点が置かれてきました。しかし、テノデーシスアクション※1に代表されるような、ヒトの手指が進化の過程で獲得した構造特性による関節制御作用は、静的な支持

機構により姿勢の保持や運動を可能にすることで筋の活動負担を減らす可能性を有しています。しかしながら従来のタイピング研究では、この協調作用に着目した分析は行われてきませんでした。加えて、研究グループが行ってきたこれまでの予備的研究から、タイピングスキルの高い者は、この手首と指の協調運動を行うことで効率的な手指運動を行っている可能性があることが仮説として挙げられていました。そこで今回研究グループは、異なるタイピングスキル者において、タイピング動作を詳細に分析することで、手首と指の関節運動と筋活動が如何にして制御されているか明らかにすることを目的に研究を行いました。

3. 研究概要

12名の健常若年者を対象として実験を行いました。事前課題として、タイピングスキルの測定のために一般的な QWERTY 式のキーボードを使って、電子タイピングプログラムのテストを実施しました。全ての対象者の1分間あたりのキー入力数を表す WPM^{*2} の平均値を基準に、平均値よりも高い対象者を高スキル群=STs (Skilled Typists) 群、平均値よりも低い対象者を低スキル群=UTs (Unskilled Typists) 群に分類しました。計測には三次元動作解析システム、無線表面筋電計を用いました。初めに、赤外線反射マーカを右手に貼付し、表面筋電計を前腕の4つの筋に固定しました(図1)。本実験として、5,000字程度の日本語の同一文章課題の入力を3回行い、課題実施中のマーカの位置情報と前腕の筋活動を計測しました。なお、課題の実施にあたって、対象者にはタイピング速度、リズム、制限時間については指示をせず、普段通りのタイピングスタイルで行うよう指示しました。

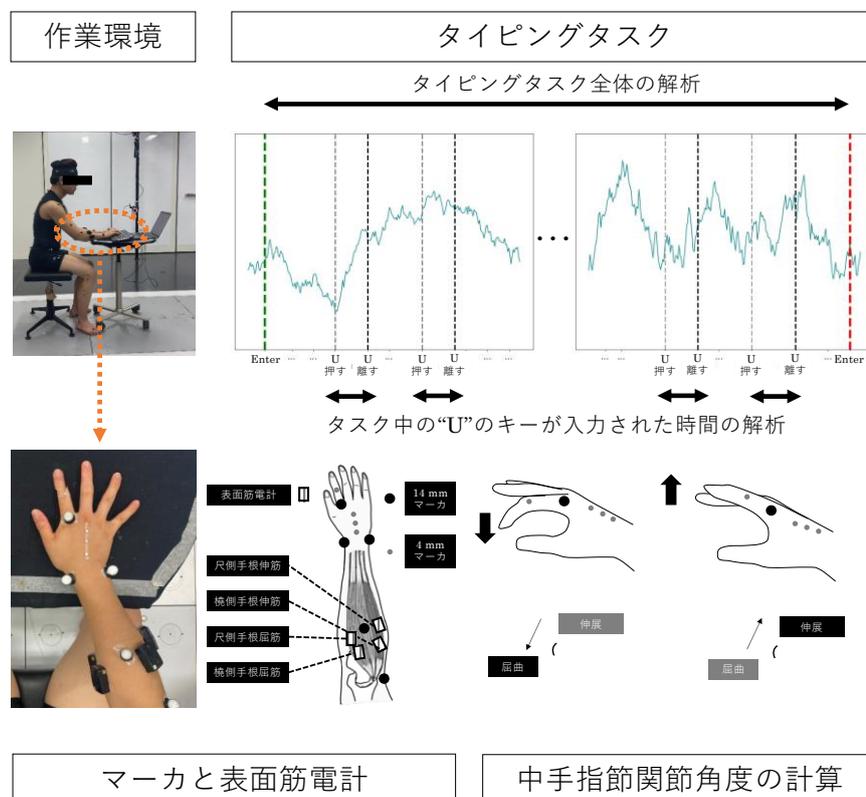


図1 実験環境

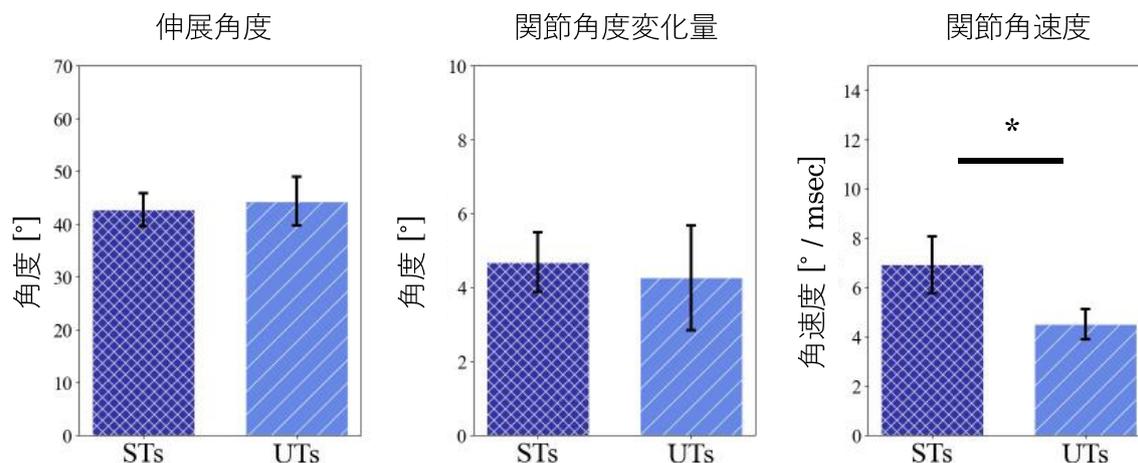
左上：本実験の様子を示しています。対象者は背もたれのない椅子に座り、70cmの高さのテーブルでタイピングを行いました。椅子の高さと画面の角度は対象者の好みで設定され、作業環境に慣れるために練習を行ってから課題を実施しました。

左下：右手に赤外線反射マーカと表面筋電計を貼付した様子を示しています。合計14個の赤外線反射マーカを前腕、手根部、手背、示指のランドマークに貼付し、4つの表面筋電計を橈側手根屈筋、尺側手根屈筋、橈側手根伸筋、尺側手根伸筋に貼付しました。

右上：タイピングタスク全体の時系列データの一例（水色）を示しています。タイピングタスクは最初に入力されたEnterのタイピング（緑色）から、最後に入力されたEnterのタイピング（赤色）までの時間を解析しています。タスク中のキーボードに入力された信号を元に、キーを押したタイピング（灰色）とキーを離れたタイピング（黒色）を取得し、“U”のキーが入力された時間を解析しました。

右下：手部を横から見た時（矢状面）における、手背のマーカで作られたセグメントと示指のマーカで作られたセグメントがなす角度を示指の中手指節関節角度として算出しました。手背のセグメントに対して示指のセグメントが反時計回りに回転した時は屈曲、時計回りに回転した時は伸展を指します。手関節の角度は、広く用いられている信頼性の高い関節運動学のモデルを元に算出しています。

(A) 手関節



(B) 中手指節関節

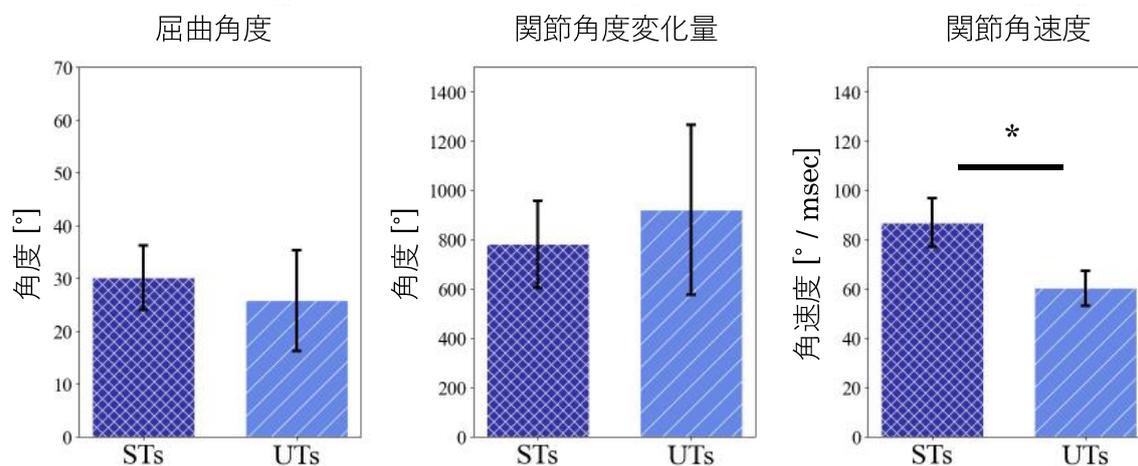


図2 手関節と中手指節関節の運動

計測されたマーカの位置情報から、手関節と示指の中手指節関節の関節角度 (Flexion Angle)、関節角度変化量、関節角速度を計算し、タスク中の平均値と標準偏差を算出しました。タイピングタスク全体の平均では、手関節と中手指節関節の関節角度や関節角度変化量には有意差は見られませんでした。関節角速度においては高スキル群でより速く動かしていることがわかりました。

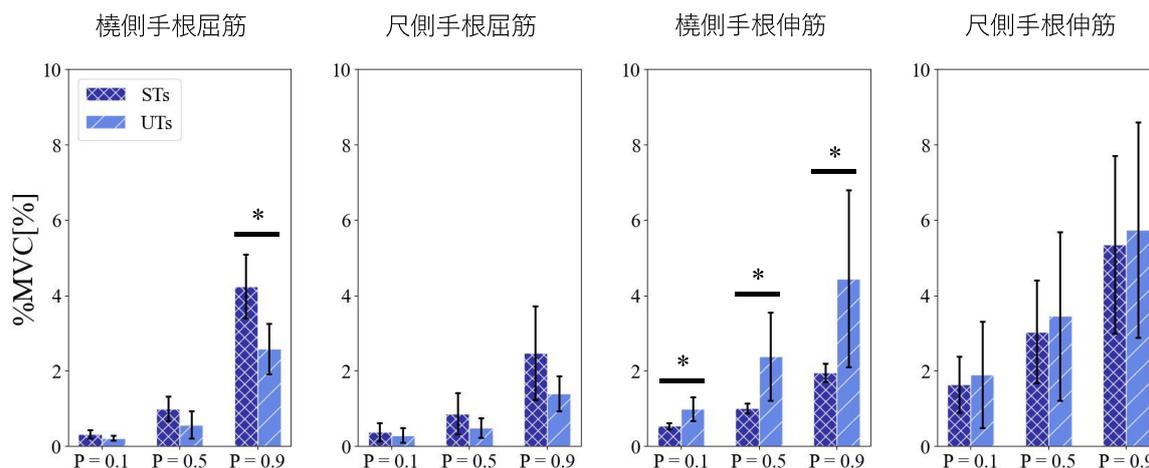


図3 タイピングタスク全体の筋活動レベル

計測された橈側手根屈筋、尺側手根屈筋、橈側手根伸筋、尺側手根伸筋の筋活動のデータを振幅確率密度関数 (APDF; amplitude probability distribution function) ^{※3}を用いて、静的活動レベル (P; Probability = 0.1)、平均活動レベル (P = 0.5)、最大活動レベル (P = 0.9) における筋活動の値 (%MVC; maximum voluntary isometric contraction) を算出しました。タイピングタスク全体の平均では、高スキル群では橈側手根屈筋の最大活動レベルにおける筋活動がより高く、橈側手根伸筋の全ての活動レベルにおける筋活動がより低いことがわかりました。

“U”を押した時

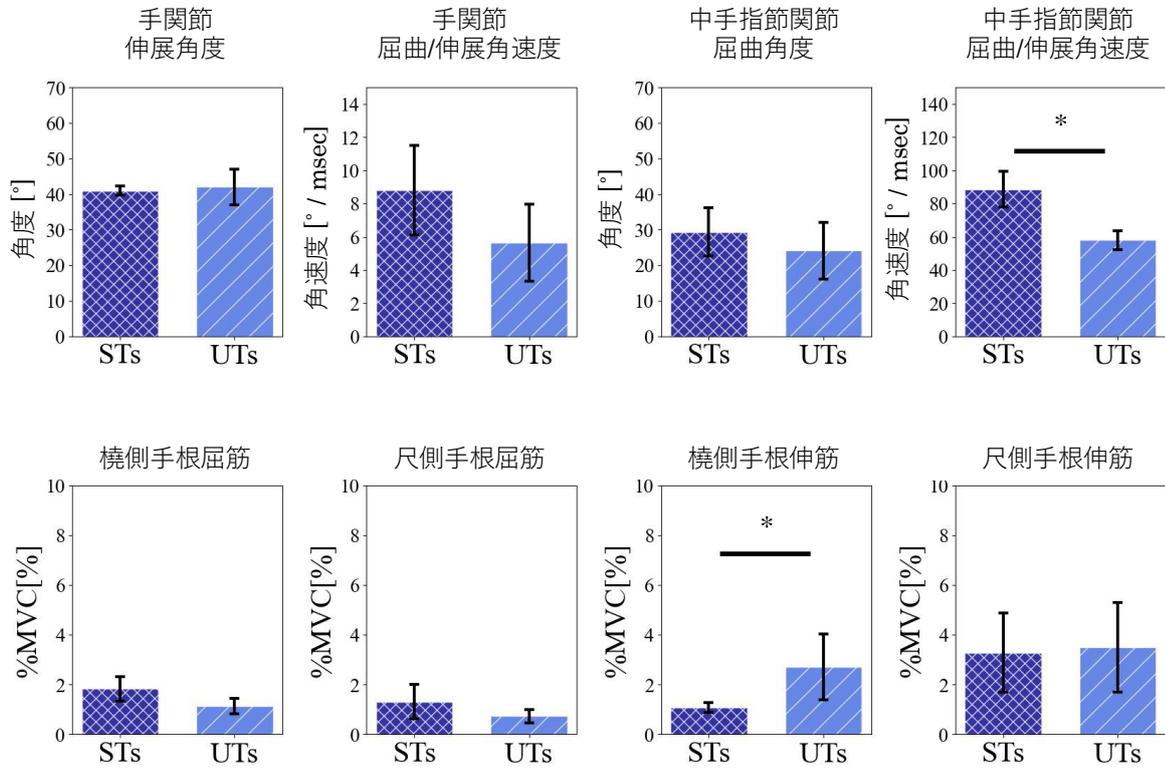
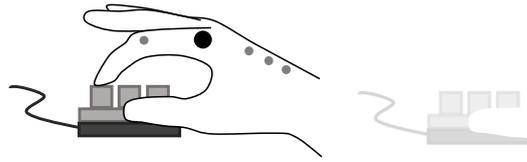


図4 “U”のキーを押した時間の分析

低スキル群と比較して、高スキル群では中手指節関節の関節角速度がより高く、橈側手根伸筋の平均値がより低い傾向が見られました。

“U”を離した時

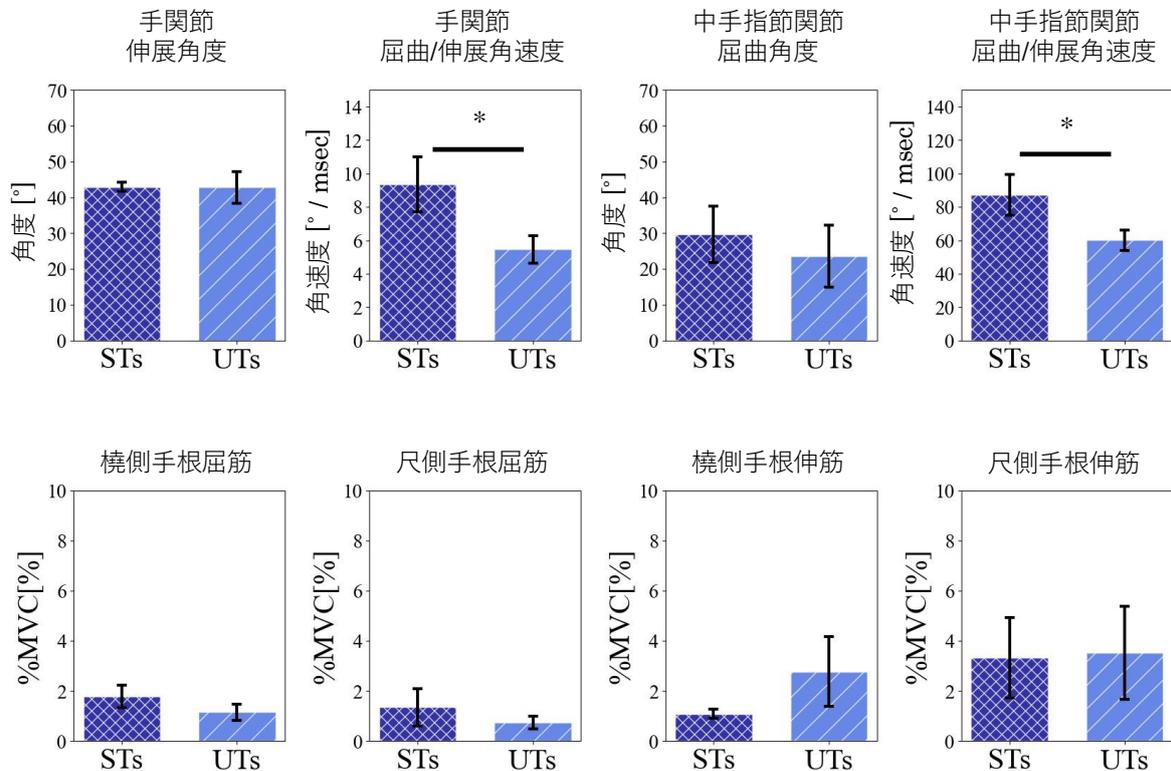
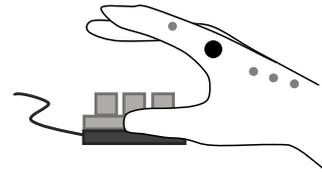


図5 “U”のキーを離した時間の分析

低スキル群と比較して、高スキル群では手関節と中手指節関節の関節角速度がより高い傾向でした。また、筋活動は著明な違いではありませんが、高スキル群では手の屈筋の筋活動が高く、手の伸筋の筋活動が低い傾向が見られました。

4. 本研究による新たな知見

キーを押す時には下向きの力が、指先を離す時には上向きの力が必要になります。キーを入力する前において、慣性力や重力の影響を受けて、僅かながら自然に指には下向きの力が生じます。この自然に生じる力に、筋活動を如何にして調整することでタイピング動作を制御しているのかに本研究は焦点を当てました。今回の結果では、低スキル群と比較して、高スキル群では手と指のどちらの関節角速度も高く、タイプするまでの相において橈側手根屈筋の最大活動レベルの筋活動が高い傾向でした。これは、高スキル群では自然な力に筋活動を加えることで、タイピング速度を加速させていることを意味しています。一方、低スキル群においては同相において、橈側手根伸筋の高い活動を認めました。これはタイピングにおける指の屈曲運動と拮抗するためブレーキ作用を有していることを意味し、キーを押す時に指の屈筋腱への機械的ストレスを増加させる可能性が示唆されます。今回の研究結果から、高スキル群では

慣性力や重力による指先の下向きの力を効率的に利用するために筋活動を制御しているのに対し、低スキル群では、非効率的ではありながらも指運動の可逆性を維持するための筋活動発揮を行っていることが明らかになりました。これらの知見は、タイピング動作における手指の障害発生メカニズムの理解とその治療を考えていく上での基盤データになると考えています。一方、タイピング後の指のポジションの回復においては、高スキル群で伸筋群の活動が低いままであることから、キーの反力や指の屈筋のバネ特性等を使うことで指のポジションを回復させている可能性が示唆されましたが、この点については今後さらなる解析が必要であると結論づけています。

5. 用語説明

※1 テノデーシスアクション

手関節が背屈（伸展）すると、指を曲げる作用を持つ指屈筋腱が伸ばされるため、受動的に指が屈曲する作用を示す。

※2 WPM

Words per minute 1分間あたりのキー入力数を示す。

※3 振幅確率密度関数

筋活動を計測したタスクの全時間中に、ある出力（振幅）以下であった時間の総和の割合を、その出力における出現確率として表す指標。生体への作業負担の評価として用いられることが多い。

6. 発表雑誌

掲載誌名：International Journal of Industrial Ergonomics

論文タイトル：Skill-level based examination of forearm muscle activation associated with efficient wrist and finger movements during typing

著者・所属：Takanori Ito^{a,b}, Yuka Matsumoto^{a,c}, Hayase Funakoshi^a, Mio Ito^a, Naohiko Kanemura^{a,d}, Takanori Kokubun^{a,d}

^a Graduate School of Health, Medicine, and Welfare, Saitama Prefectural University, Saitama, Japan

^b Department of Rehabilitation, Kawagoe Rehabilitation Hospital, Saitama, Japan

^c Department of Biological Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

^d Department of Physical Therapy, School of Health and Social Services, Saitama Prefectural University, Saitama, Japan

DOI：10.1016/j.ergon.2023.103471

7. 本発表に関する連絡先

埼玉県立大学大学院 保健医療福祉学研究科/保健医療福祉学部 理学療法学科
准教授 国分 貴徳

E-mail：kokubun-takanori@spu.ac.jp