

研究テーマ

ウェアラブル筋変位センサアレイを用いた理学療法技術の力加減に関する分析

1. はじめに

理学療法は、子どもから高齢者まで様々な疾患の機能や能力回復を担う医療の一つである。その領域は、予防、健康増進、医療、リハビリテーション、そして地域社会へ活動など様々な社会システムなど多岐にわたる。

理学療法は、施術を行う際の手の力加減や身体の動きを重要視することが多い。そのため、経験に基づいた指導が必要な上、習熟までに長い期間が必要である。一般的に、専門職として熟練者になるためには、知識および技能の習熟度について10年は必要とされている。これを受け、視線計測機器や加速度計などを使用し、理学療法時の視線と動作に関する分析が報告され、ウェアラブルの動作解析装置やアプリケーションの開発報告も増加している。また、近年は **Augmented Reality : AR** を使用した教育及び解析手法の提案も盛んであり、理学療法を学習する初学者において有用であると推察する。

理学療法では、対象者に触れ、特定の力加減で施術する。力加減を規定する要因には、筋力、表在感覚や深部感覚が挙げられる。筋力計を用いて筋力を測定する研究では、理学療法時に初学者は手の筋力が少ないとの報告がある。

しかし、対象者にどの力加減で触れ、動かすのかという感覚、つまり表在感覚や深部感覚については不明な点が多い。これまで表在感覚のうちの触覚の応力やひずみを検出し、ユーザに触覚をフィードバックする手法も提案されている。一方で、深部感覚の力加減はリアルタイムでとらえることができていない。そのため、理学療法の初学者と熟練者との差異がどの程度あるかは定かではない。

本研究では、筋変位センサアレイを用いて理学療法中の筋肉の状態を捉え、初学者と熟練者の深部感覚の力加減の違いを明らかにすることとした。

本研究から得られた知見により、理学療法分野の初学者が独学かつ短時間で、力加減を学習できるシステム構築の足がかりとする (図1)。

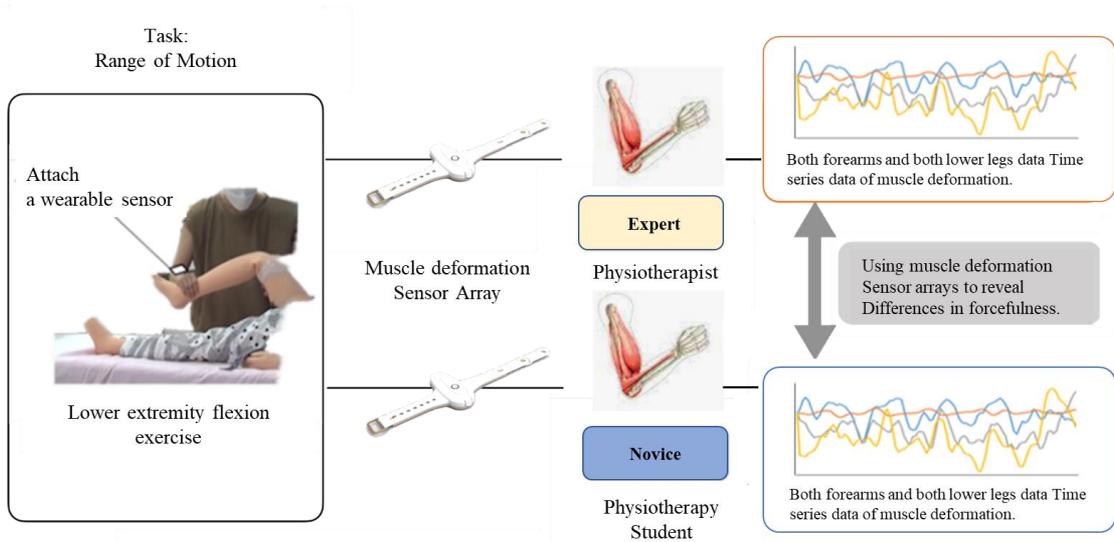


図 1 本研究の全体像

2. 方法

本研究では、初学者 10 名と熟練者 10 名を対象とした。

初学者の選定条件は、「理学療法の基礎知識および演習経験がなく、かつ医療介護現場での実務経験が 1 ヶ月以内のもの」と設定した。今回は初学者として、3 年生課程の理学療法士養成校に所属する昼間部 1 年生とした。

熟練者の選定条件は、「理学療法士の資格を取得して 10 年以上経過したもの、理学療法士の養成校等での講師歴を有し、学位修得もしくは認定及び専門理学療法士取得」を満たすこととした。熟練者の選定条件を定義する際には、理学療法の中核要素である臨床、教育および研究の 3 つを軸とした。

2.1. 研究で使用した機器及び概要

本研究では、筋変位センサアレイの FirstVR (H2L 社製) [1]を使用した (図 2)。

筋変位センサアレイは、14 チャンネルの光学筋変位センサを搭載している。光学的に筋肉の膨らみ(筋変位)を測定し、固有感覚を推定することが可能である。また、本機器は、ジャイロセンサおよび 3 軸加速度センサを搭載しているため、クォータニオンデータ(本機器を装着している部位の姿勢データ)を取得することができる。機器の装着は、腕時計のように前腕に巻き付けるだけで前腕および手指に関する筋肉の筋変位を計測することが可能である。また、下腿にも装着して筋変位を計測可能[2]である (図 3)。

2.2. 実験方法

理学療法の関節可動域練習を、実験時の被験者の課題とした。「上肢挙上運動」と「下肢屈曲運動」の二種類の課題を設置した。実験時に被験者は、看護実習用の人体モデルを用いて実施した（図4）。

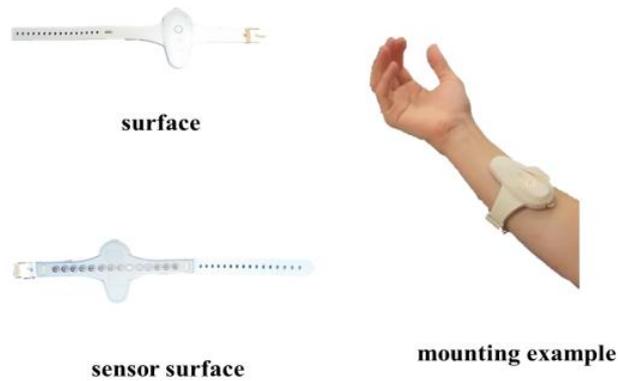


図2 測定に使用した機器

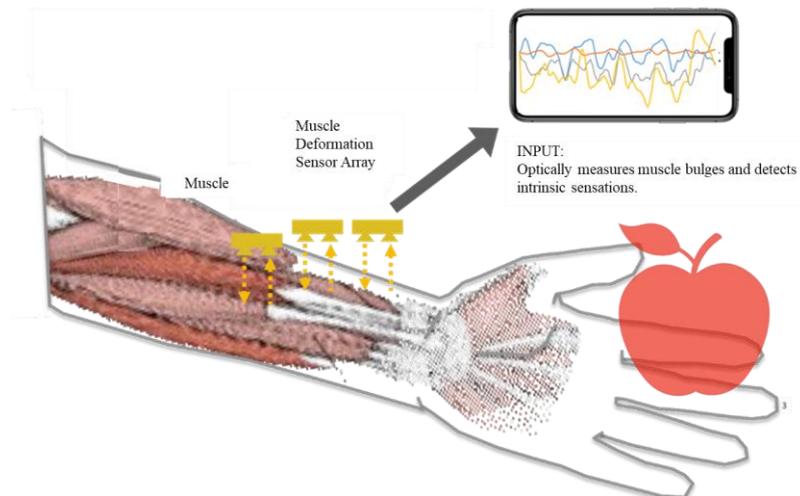


図3 筋変位センサアレイの概要

2.3. 実験課題

実験課題は、開始位置及び終了位置と到達位置を設定した。

1) 上肢挙上運動

実験の開始位置は、人体モデルの肘関節部を伸展した状態でベッド上に接触した状態とした。到達位置は、開始位置から人体モデルの上肢を動かし肩関節部 90°に到達した位置とした。終了位置については、開始位置と同様の設定とした。

2) 下肢屈曲運動

実験の開始位置は、人体モデルの下肢が伸展した状態でベッド上に接触した状態とした。到達位置は、人体モデルの股関節部を 90°屈曲する位置までとした。終了位置については、開始位置と同様の設定とした。



1) 上肢挙上運動



2) 下肢屈曲運動

図4 実験課題のための関節可動域訓

2.3. 分析方法

取得した筋変位データは前腕部および下腿部において次のように分類した。前腕部は、(A) 屈筋、(B) 伸筋、(C) 母指側筋、(D) 小指側筋の4つとした(図5)。下腿部は、(a) 屈筋、(b) 伸筋、(c) 外側筋の3つとした(図6)。

初学者と熟練者は、筋変位データの最大値と最小値の合計値を比較した。統計手法は、フリーソフトの R version 4.2.2 を使用した。検定力(power) = 0.6、効果量(delta) = 0.8、有意水準(level) = 0.05 と設定した。このときのサンプル数(n)は 9.6 となるため、初学者 10 人、熟練者 10 人とした。

統計解析は、まず Shapiro-wilk 検定を行い、比較データの正規性を確認した。その後、対応のない t 検定及びマンホイットニー U 検定を実施した。有意水準は 5% 未満とした。

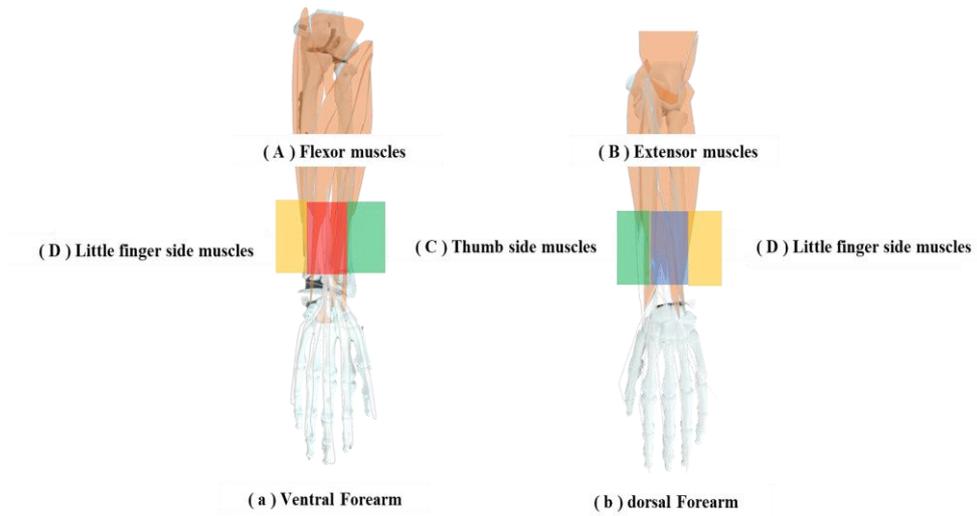


図5 前腕の筋

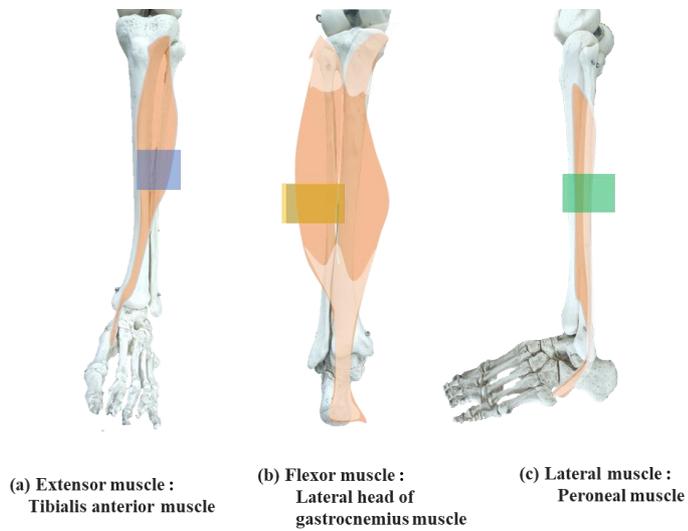


図6 下腿部の筋

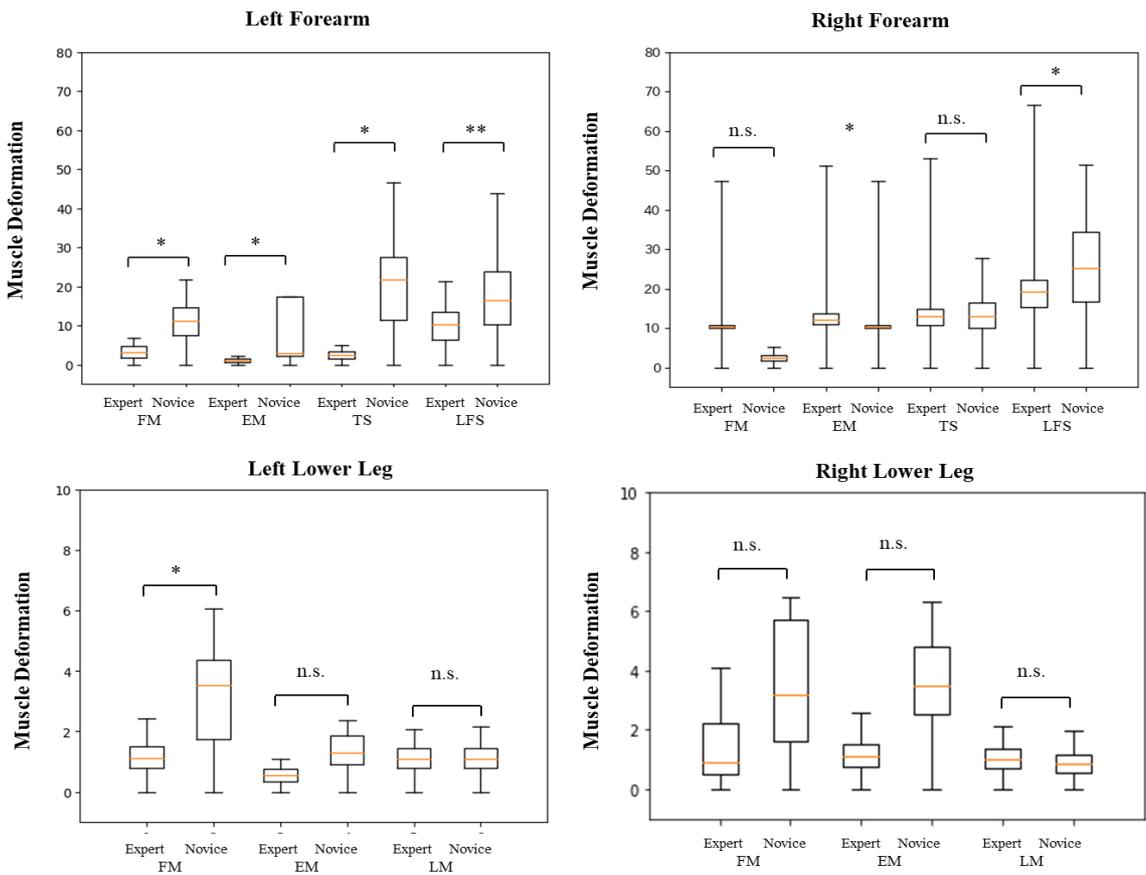
3. 結果と考察

筋変位の合計値は、上肢挙上運動と下肢屈曲運動の課題全てにおいて初学者と比較して熟練者が少ない値を示す結果となった。

上肢挙上運動は、初学者と熟練者の左前腕の屈筋 ($p<.05$)、伸筋 ($p<.05$)、母指側 ($p<.05$)、小指側 ($p<.01$) において差を認めた。また、右前腕の小指側 ($p<.05$)、左下腿部の屈筋で差を認めた ($p<.05$)。

右前腕の屈筋、伸筋、母指側、左下腿部の伸筋、外側筋、右下腿部の屈筋、伸筋、外側筋では差を認めなかった (図 7)。

下肢屈曲運動では、初学者と熟練者の左右前腕の屈筋、伸筋、母指側、小指側で差を認めた ($p<.01$)。下腿部では、左右ともに屈筋、伸筋、外側筋では差を認めなかった。しかし、左下腿部では、伸筋 ($p=0.07$) と外側筋 ($p=0.05$) で差を認める傾向を示した (図 8)。



* : $p<.05$, ** : $p<.01$, n.s. : not significant

FM : Flexor muscle ,EM : Extensor muscle ,TS : Thum side muscle ,LFS : Little finger side muscle ,LM : Lateral muscle

図 7 上肢挙上運動における各部位の筋変位

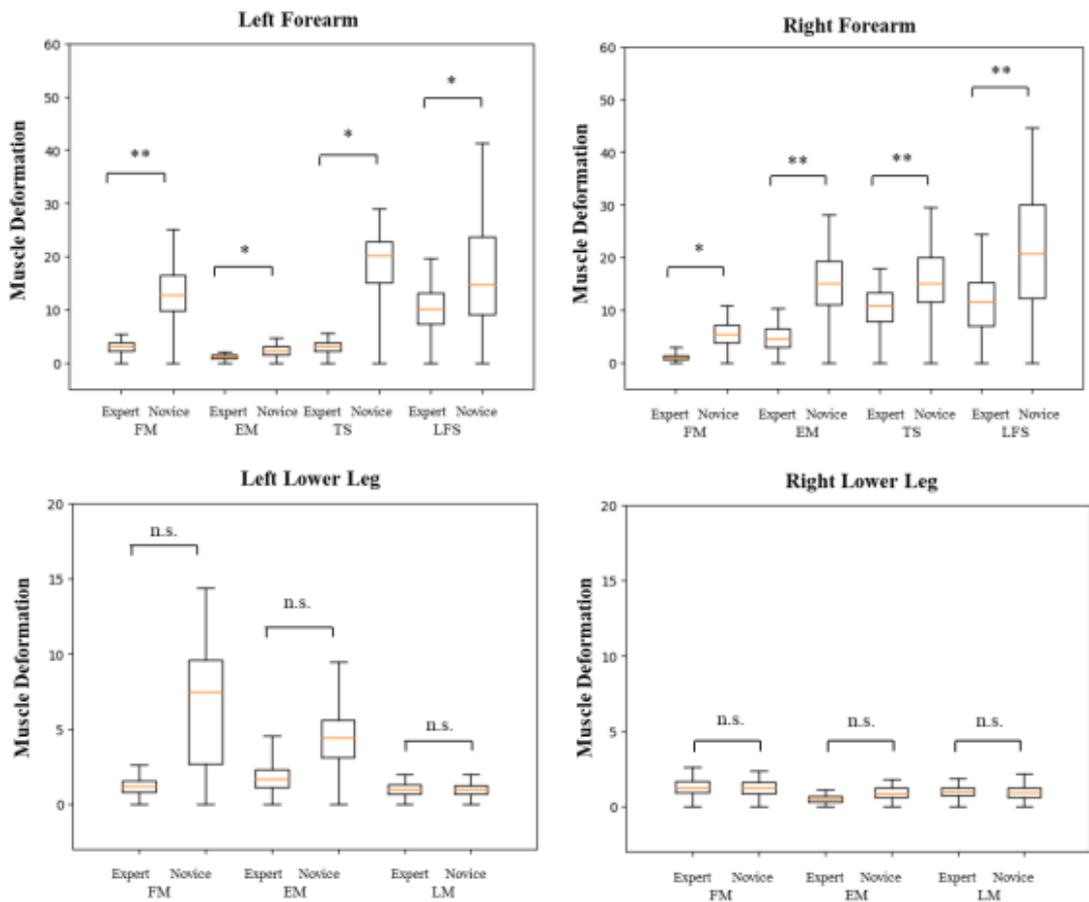
結果は、初学者と熟練者の筋変位合計値において差を認め、熟練者の筋変位が少なく、熟練者は母指側や小指側といった小さな筋も活用していた。

熟練者である理学療法士は、日頃から力加減を意識し技術研鑽を行っていることが、今回の筋変位値が少ない結果に影響したと考えた。

部位別にみていくと前腕部の力加減は、全ての筋変位に差を認めた。熟練者は、前腕部の屈筋と伸筋のみではなく、母指および小指側の力加減も巧みに調整が可能であるということがわかった。

下腿部では、上肢挙上運動にて左下腿部の屈筋に差を認め、下肢屈曲運動で左下腿部の伸筋 ($p=.07$) と外側筋 ($p=.05$) で熟練者と初学者の違いが示唆された。

下腿屈筋は、身体における上方への体重移動を制御し、下腿伸筋及び外側筋は、側方への体重移動を制御する。初学者は、課題中の体重移動の制御に不慣れで力加減が難しく、筋変位の値が大きくなったことが理由だと推測した。それに対して熟練者は、体重移動側への筋変位量を少なく調整し、体重移動を可能としていると考えた。



* : $p < .05$, ** : $p < .01$, n.s. : not significant

FM : Flexor muscle ,EM : Extensor muscle ,TS : Thum side muscle, LFS : Little finger side muscle, LM : Lateral muscle

図 8 下肢屈曲運動における各部位の筋変位

4. 将来の展望

本研究から、初学者と熟練者では力加減の違いがあることがわかった。

初学者は、新しい課題に対して試行錯誤を繰り返し学習する。また、初学者が学習を進めるには、教師あり学習や視覚的な教示が有効とされているため、熟練者のデータを分析し可視化する教示方法の確立が求められる。

本研究結果は、理学療法教育のみならず幅広い分野への応用も期待できると考えている。医学分野では、ロボット操作による手術も導入されており、力加減を可視化できることによりさらなる技術向上に繋がると考える。また、医療及び介護分野では、技術指導の向上や身体負担軽減への効果が期待できる。また、スポーツ分野では、アスリートから趣味活動レベルの対象でも評価及びトレーニングへ活用できる。そのほか接客業では、接客時の立ち居振る舞いや業務効率化を図るための動作練習に応用が可能と考える。

特に伝統芸能及び工芸職人や一定期間の修業が必要な技術職、料理職人、楽器演奏者は、これまで徒弟制度の中で、暗黙知として技術継承がなされている背景がある。これらに応用することで専門技術職の繊細な力加減や技術技能の保存にも役立つことも期待できる。

5. 結論

今回は、筋変位センサアレイを用いて理学療法中の筋肉の状態を捉え、初学者と熟練者の力加減の違いを明らかにした。

力加減の違いを明らかにするために、筋肉のふくらみ（筋変位）を捉え、力加減を可視化することのできる筋変位センサアレイを用いた。

実験は、筋変位センサアレイを装着して二種類の理学療法技術を実施した。その際に得られた時系列の筋変位データの筋変位を比較した(n=10)。

二種類の理学療法技術において、左右の前腕部は筋変位(p<.05)が初学者と熟練者の差が認められた。また、上肢挙上運動の理学療法技術では、左下腿の屈筋でも初学者と熟練者の差を認めた(p<.05)。

今回、初学者と熟練者では、理学療法技術において深部感覚の力加減に差があることがわかった。特に運動方向側となる手指及び脚の力加減が両者の違いであることが明らかになった。

今回の研究結果は、理学療法技術のみならずスポーツや趣味活動、伝統技術の継承に応用の可能性を見出した。

6. 参考文献

[1] Emi Tamaki, Satoshi Hosono, Ken Iwasaki. FirstVR: A Muscle Deformation Sensors Array Device to Detect Finger Gestures and Noise Reduction Case. ICECC 2019: Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Electronics, Communications and Control Engineering April 2019 Pages 21–24

[2] Tamon Miyake, Shintaro Yamamoto, Satoshi Hosono, Satoshi Funabashi, Zhengxue Cheng, Cheng Zhang, Emi Tamaki, and Shigeki Sugano. Gait Phase Detection Based on Muscle Deformation with Static Standing-Based Calibration. Sensors, 21, 1081 (2021)

6. 謝辞

トランスコスモス財団の継続的な支援に心から感謝します。