

補助事業番号 2024M-504
補助事業名 2024年度 協調制御理論に基づいた協調性トレーニング支援システムの
開発 補助事業
補助事業者名 令和健康科学大学リハビリテーション学部理学療法学科 玉利 誠

1 研究の概要

上下肢の単関節筋と二関節筋の実効筋力を定量し、両筋群の出力値・出力比率・出力方向制御（出力分布）などの指標を抽出し、筋協調性として数値化するシステムを開発する。

2 研究の目的と背景

脳卒中患者の特徴的な後遺症に麻痺側上下肢の協調運動障害がある。脳卒中患者は運動麻痺によって精緻な運動制御が困難となるため、二関節筋を過剰に使用する傾向が強くなり、単関節筋と二関節筋の出力バランスが不均衡となって協調的な運動制御が阻害される。しかし、単関節筋と二関節筋の出力比率を定量的に評価し、協調運動を再組織化する治療法は確立されておらず、日常生活能力の改善に結びつかない患者が多数存在している。そこで本事業では、上下肢の単関節筋と二関節筋の出力を定量評価し得るシステムを開発する。麻痺肢の協調運動能力を改善させる新たな治療法を確立し、脳卒中患者の日常生活能力の向上や入院期間の短縮、医療費の削減を目指す。

3 研究内容

(1) 上下肢の実効筋力測定器の開発 <https://www.tamari.org/research-1>

IOT、AI、協調制御理論によるトレーニング支援システムの開発補助事業」において計算力学研究センター（RCCM）が開発した測定器を脳卒中者にも対応可能なように改良開発した。具体的には、力覚センサーの感度を最適化するとともに、軽量化して移動しやすくした。上肢用測定器は机の上に固定する仕様に変更し、下肢用測定器は起立・歩行が困難な脳卒中患者が使用しやすいよう背もたれ部分を広くし、座面の位置を高くした。さらに、ソフトウェアについても、センサー部に生じるノイズにより意図した計測ポイントを抽出できない現象を解決するために、計測時の恣意性を排除し、計測時間中の最大出力ポイントをコンピューターで自動検出するよう改良した。



上肢用測定器

下肢用測定器

(2) 健常人および脳卒中者の実効筋力の分析 <https://www.tamari.org/research-1>

- ① 健常人の筋協調性について、両側の群間比較、及び、片側内の群内比較を行った。
- ② 脳卒中者の筋協調性について、回復過程における縦断的調査を行った。



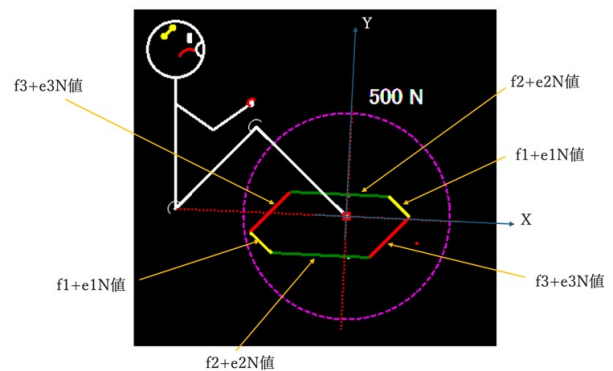
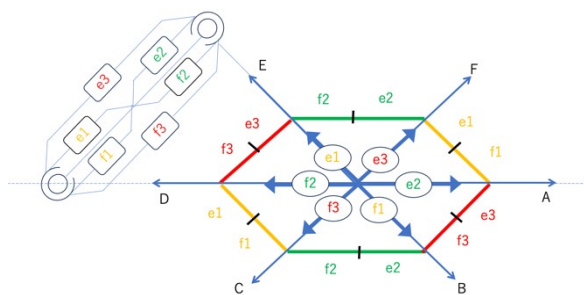
計測風景（下肢の例）



ソフトウェア画面

本事業の結果、開発した測定器とソフトウェアを用いることにより、上下肢の単関節筋と二関節筋の最大出力と協調能力を分離して定量することが可能となった。

本システムは、ヒト上下肢の拮抗二関節筋と両端の関節の拮抗単関節筋群の活動について筋電図動作学的解析とロボット工学的解析を並行して行った結果に基づき提唱された「(3対6筋)協調制御理論」をベースとしており、4方向（前後上下）への最大出力を計測することにより、矢状面に次元削減した実効筋力ベクトルの座標から出力（力）を担う2対2筋と方向制御を担う1対2筋を特定することが可能である。



3対6筋の組み合わせによる出力分布（下肢の例）

例えば下肢の場合、腸腰筋 (e1)・大殿筋 (f1)、広筋群 (e2)・膝窩筋群 (f2)、大腿直筋 (e3)・ハムストリングス (f3) の組み合わせにより、360° 全方位の出力と方向制御を定量評価することができる。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

臨床現場では、加齢や疾患に起因した単関節筋の萎縮や二関節筋の代償的な過常収縮といった問題に遭遇することが少なくないにもかかわらず、従来の筋力評価では単関節筋と二関節筋の出力を分離して評価することは不可能であった。また、360°空間全方位における筋出力特性を客観的に理解することも困難であった。

本事業で開発した実効筋力測定システムを用いることにより、上下肢の単関節筋と二関節筋の最大出力と協調能力を分離して定量することが可能となった。今後、性別及び各年代別の基準値を得ることにより、個人特性や疾患に起因した諸問題の客観的評価に活用できると思われる。特に、協調能力が低下している筋群を特定可能となったことは、本事業の着想であった脳卒中者の運動障害に対する新たな治療法を提供可能となるとと思われる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで、神経科学と生体力学の視点から、脳卒中者の運動障害の病態メカニズムの解明や予後予測に携わってきた。特に、脳卒中者の神経ネットワークの構造的接続性と機能的接続性の解析に注力してきたが、本事業で開発した計測器は、脳卒中者の運動障害を筋協調性という視点から解析しうるものであり、神経ネットワーク解析と統合することにより、新たなリハビリテーション法の開発に寄与するものとなる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

学術大会

- 「利き脚と非利き脚の筋協調性の定量的比較」第30回日本基礎理学療法学会学術大会
- 「筋協調性の方向別特性の定量～協調制御理論に基づく片脚内の群内比較」第14回日本支援理学療法学会学術大会
- 「下肢の拮抗筋対の合力と出力分布形状の特性分析」九州理学療法士学会
- 「協調制御理論に基づく筋協調性の可視化とトレーニング支援システムの開発～シングルケースによる有効性の検討～」第34回福岡県理学療法士学会

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

- 上下肢の実効筋力測定システム <https://www.tamari.org/research-1>

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 令和健康科学大学リハビリテーション学部理学療法学科
(レイワケンコウカガクダイガクリハビリテーションガクブリガクリョウホウガッカ)

住 所： 〒811-0213
福岡県福岡市東区和白丘2-1-12

担 当 者： 玉利 誠 (タマリ マコト)

E - m a i l : m.tamari@rhs-u.ac.jp

U R L : <https://www.rhs-u.ac.jp/>