

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：82404

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12896

研究課題名(和文) 上肢装具を計測デバイスとする運動機能計測システムの開発

研究課題名(英文) Development of a motor function measurement system using an upper limb orthosis as a measurement device

研究代表者

徳井 亜加根 (TOKUI, Akane)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・センター(研究所併任)・福祉用具専門官

研究者番号：30627683

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：関節リウマチ患者の手指伸筋腱再建術等の後療法にはダイナミックスプリントを用いた装具療法がおこなわれる。我々はダイナミックスプリントに登載する動的運動を計測するための無線システムを開発した。モバイルバッテリーで電源供給されたマイコンによりデータ取得・蓄積を行い、クラウドストレージサービスにデータ転送を行う。計測データは、医療従事者のみならず患者自身も手指の運動データをスマートフォンを使用し、取得できる。患者のリハビリテーションに対するモチベーション向上に資するほか、動的な客観データの取得が難しいとされてきた手指の運動計測を、装具を用いて簡便に行うことが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでは動的な客観データの取得がむずかしいとされてきた手指の運動計測を装具を用いて簡便に行うことが可能となった。つまり、セラピストが徒手的に手指を1本ずつ計測していたものが、示指から小指までの関節角度と伸展補助力の同時計測を実施することが可能となった。特に手指では、1本の指伸筋腱が示指から小指まで枝分かれしていることから、4指同時計測可能となった意義は大きいと考える。加えて、運動機能の可視化により、患者自身のリハビリテーションに対するモチベーション向上に資するとも考えられる。

研究成果の概要(英文)： Orthotic therapy using dynamic splints is performed for post-treatment such as finger extensor tendon reconstruction for rheumatoid arthritis patients. We have developed a wireless system for measuring dynamic motion, which is included in Dynamic Sprint. A microcomputer powered by a mobile battery acquires and stores data, and transfers the data to a cloud storage service. Measurement data can be acquired not only by medical staff but also by patients themselves using smartphones. In addition to helping to improve the patient's motivation for rehabilitation, it has become possible to easily measure the movement of the fingers, which has been considered difficult to obtain dynamic objective data, using the orthosis.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：運動計測システム 関節リウマチ 装具療法

1. 研究開始当初の背景

関節リウマチや変形性関節症による手指伸筋腱皮下断裂を主訴とする患者は増加していると言われている。伸筋腱皮下断裂では手術後の後療法の一つとしてスプリントを用いた装具療法が実施される。装具療法の最大の目的は癒着による関節拘縮の発生防止であるが、しばしば関節拘縮の発生が報告されている。その要因として、スプリントにより手指に印加される外力が大きすぎること、疼痛等の理由により手指の運動量が不十分であることが考えられる。Brand や Bell-Krotoski らによるスプリントに付加される外力の大きさについての先行研究は、外傷による腱断裂患者を含んでおり、握力が低下している関節炎症状の患者に特化したものではなく、計測方法についてもスプリントの力源であるゴムの張力をバネばかり等で静的に計測したものとどまる。臨床で行われている関節可動域測定や徒手筋力評価テストをはじめとする手指の運動評価は医師や療法士が徒手的に行うため、検査者による主観的な誤差が生じ、再現性が低いことが問題とされている。加えて、スプリントで印加する外力の大きさに基準が設けられていないことも装具療法による拘縮の発生要因と考えられる。

そこで、筆者らは拘縮の発生を予防するために必要な外力の大きさや手指運動量がどの程度か明らかにしたいと考えた。また、そのためには必要な運動評価を動的、客観的、定量的に実施することが必要と考え、科研費 基盤研究(C)(2016-2018 年度、研究代表者：徳井亜加根)「関節リウマチ患者の早期運動療法における伸展トルクの適正化と新スプリントの開発研究」において、PC と有線接続して用いる計測デバイスを考案し、机上での動的計測を可能としたほか、4 指同時に計測することで、それまでの先行研究において 1 指ごとに計測する方法とは計測結果が異なることを明らかにした。

筆者らが先行研究にて考案した計測デバイスは有線システムであったため、計測可能な範囲は PC と接続できる机上のみであったが、装具を装着している日中にどのように手指を動かしているかを定量的に明らかにすることは、拘縮の発生要因等を明らかにするためには必要であると考えた。

2. 研究の目的

上肢装具(スプリント)に治療用装具としての機能に加え、手指の運動に伴う関節可動域や外力の変化をウェアラブルに無線計測するデバイスとしての機能を付加することを目的とする。加えて、計測したデータをリアルタイムに可視化するとともに、クラウド上にデータを保存・蓄積する計測システムを構築する。本計測システムにより、医療チームの各専門職が計測データを即時治療に役立てることができ、結果として関節拘縮の発生防止が可能となるほか、検査者を介することなく運動評価が実施できることから客観的なデータを取得することが可能になる。患者が実際に使用している装具を使用するため、患者の身体的負担を小さくすることが可能であり、診察室やリハビリ室以外の場所での患者の運動実態を把握し、治療結果との因果関係を明らかにすることが可能となる。

具体的には、筆者らが先行研究で考案した有線システムを基に、ウェアラブル無線計測システムの構築・実装、伸展補助機構の小型化を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) ウェアラブル無線計測システムの構築・実装

ウェアラブル無線計測システムは、医師やセラピストによる診察・訓練時だけでなく、日常生活における患者の手指運動を計測し、リアルタイムに医師らが確認できるようにデータを転送・蓄積することが目的であることから、以下のようなシステム要件を設定し、システム要件を満たすシステム構成とした(図 1)。

【システム要件】

1. ウェアラブルに計測できる
2. 伸展補助力の変化について、リアルタイム表示とデータ蓄積機能を持つ
3. 患者自身が計測の ON/OFF を行うことができ、リアルタイム表示も行える(患者自身で操作確認ができる)
4. 蓄積された時系列データを医師やセラピストがリモートで取得できる(患者の運動実態をリモートで把握できる)

【システム構成】

計測デバイスには、伸展補助の力源として引張りバネを使用することとし、引張りバネの一方に指カフを取り付け、もう一方に伸展補助力を計測するロードセルを取り付けた。すな

わち、計測デバイスはセンサとして 4 個のロードセルを有し、センサで検出したデータをブリッジセンサ・インターフェース (Phidget 社製 1046) で AD 変換等の処理を行った。処理されたデータはモバイルバッテリーで電源供給された Wi-Fi 機能付マイコン (Raspberry Pi Zero WH) に送信され、マイコンには、データ取得・蓄積を行い、クラウドストレージサービス (DropBox) にデータ転送する機能が実装されている。マイコンでは Web サーバ (Python の Web フレームワークである Flask で構築) も稼働しており、このサーバにスマートフォンや PC のブラウザでアクセスすることにより、リアルタイムに計測データを見ることが可能となった。

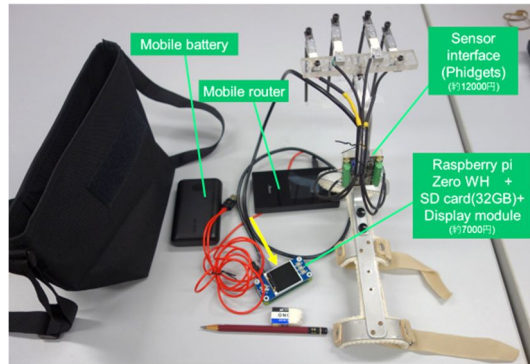


図1 ウェアラブル無線計測装置のシステム構成

(2) 伸展補助機構の小型化

ダイナミックプリントは、手指の伸展補助の動力としてバネやゴムを使用するため、大型になりやすい。バネやゴムを吊るすためのアウトリガーを低く設定すると、自然長に対するバネの伸びが大きくなり、過大な伸展補助力が伸展拘縮を引き起こしかねない。また、アウトリガーを高く設定すると、大型になってしまうほか、手指の屈曲に伴い、基節骨に垂直に伸展補助力を印加することが困難となる。そこで、小型化実現のための要求仕様を次のとおりとした。

【要求仕様】

1. 基節骨に垂直に伸展補助力を印加可能
2. 伸展補助力の関節角度に伴う変化を 10% 以内にとどめる

要求仕様を満たす機構の考案

本邦の関節リウマチ患者の男女比は 1 : 3.21 と女性に多く、40 - 60 歳台での発症が多いことを考慮し、日本人の成人女性における手の寸法データ (“AIST 日本人の手の寸法データ-寸法項目一覧”. 国立研究開発法人産業技術総合研究所人工知能研究センターホームページ) を基に各指に対する 4 節回転リンク機構を用いた伸展補助装置の設計・製作を行った (図 2)。

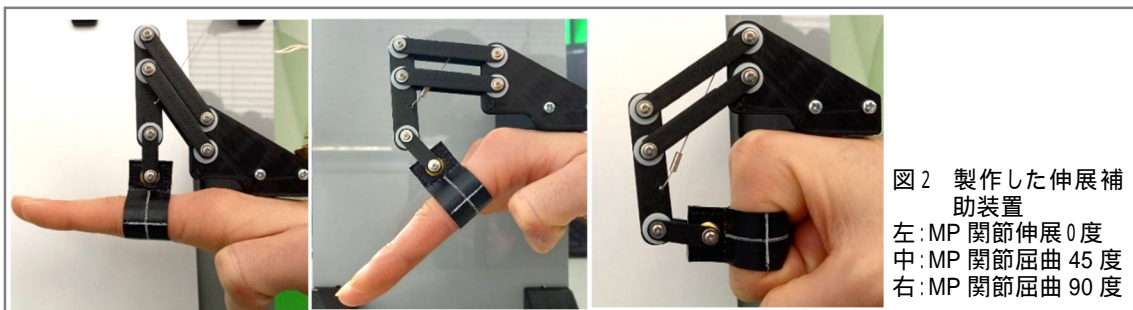


図2 製作した伸展補助装置
左: MP 関節伸展 0 度
中: MP 関節屈曲 45 度
右: MP 関節屈曲 90 度

製作した機構を評価するための評価機器の製作

製作した機構について、要求仕様を満たしているかを確認するため、評価機器を自作した。基節骨に対し、伸展補助力がどのような角度で印加されているか、関節角度の変化により伸展補助力がどのように変化しているかが評価できるものである (図 3、図 4)。

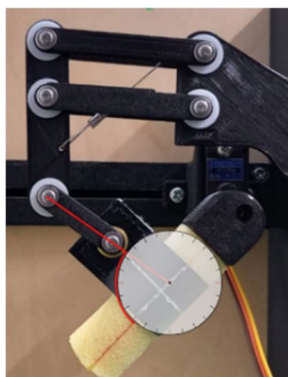


図3 牽引方向の評価

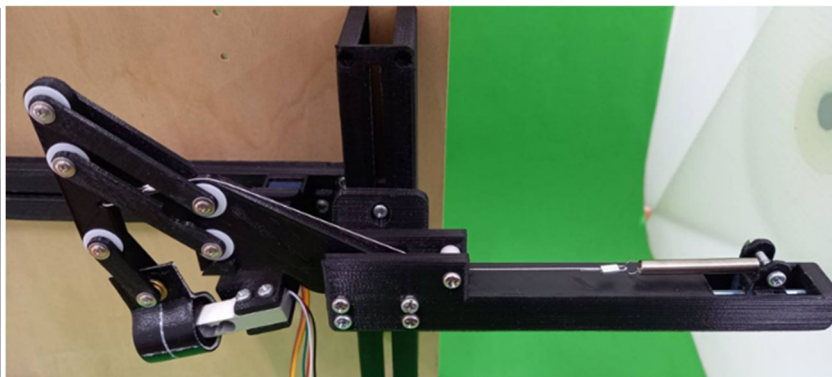


図4 関節角度の変化に伴う伸展補助力の変化量の評価

4. 研究成果

(1) ウェアラブル無線計測システムの構築・実装

連続稼働時間について、バッテリー容量 10000mAh では 19H, 30000mAh では 24H 稼働できることを確認した。また、キャリブレーション後、10 - 200g の錘を使い、計測データを評価したところ、計測精度はほぼ 1 g 未満の誤差となった。データ容量は、24 時間稼働で 30MB のデータとなった。8GB の空き容量を前提とすると、250 日以上以上のデータが自動的にクラウドのストレージサービスにアップロードされることを確認した。

また、健康者に対し、実際に計測デバイスを装着し、計測データが収集できているかどうかの検証を行った。実計測時間は、10 時間 44 分でバッテリー残量 (満充電容量 10050mAh) も半分程度残っていた。計測データの容量は 15MB となった。また、データの可視化についても Web 上でデータを取り出すことが可能だった。計測データから、1 日の手指の運動量を積算値で求めたところ、先行研究と同じ傾向を示した。手指の運動量を明らかにすることで、術後拘縮の発生を予測できると考えられる。

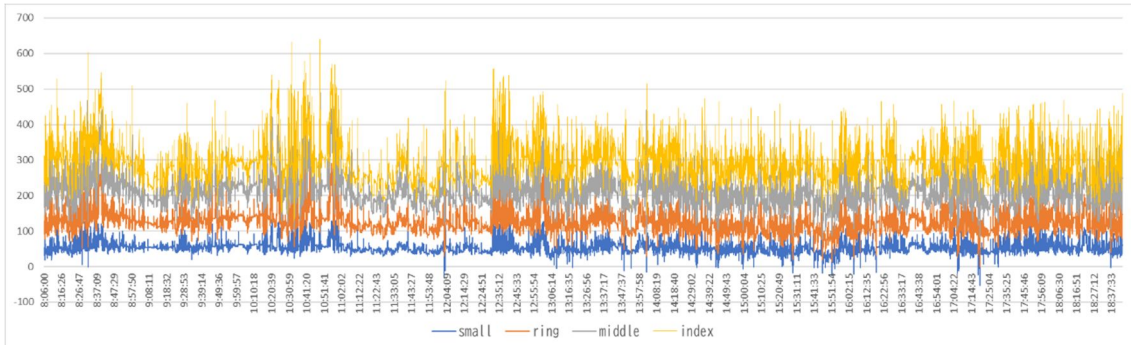


図5 健康者によるデバイス装着中の取得データ(単位はg)

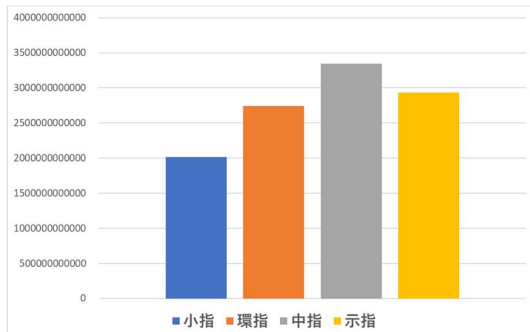


図6 各指の運動量の積算値



図7 デバイス装着中の様子

アウトリガーも含めた装具部分の重量は 252g、バッテリー、ルーター、コードを収納したポーチの重量は 576g、全体で 828g だった。

(2) 伸展補助機構の小型化

示指と小指を模擬した、自作の評価計測機器を用いて評価を実施した結果、伸展補助力の変化は屈曲 60° の際に最も大きくなり、屈曲角度 30° から 90° の範囲内で伸展補助力の変化は模擬示指で 17%、模擬小指で 29% となった (表 1)。また、模擬示指を用いた牽引角度の測定により牽引角度の変動は 15° 以内に抑えられ (表 2)、近位方向へのカフのずれは見られないことが確認できた。

表1 関節角度の変化に伴う伸展補助力の変化

MP関節角度[°]	30	45	60	75	90
示指[N]	1.01	1.15	1.13	1.03	0.88
小指[N]	0.37	0.57	0.61	0.63	0.56

表2 関節角度の変化に伴う牽引角度の変化

MP関節角度[°]	0	15	30	45	60	75	90
牽引角度[°]	90	92.5	87	84	88.5	94	103.5

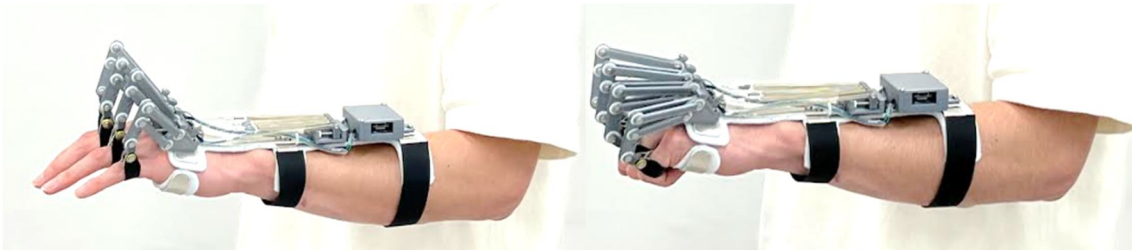


図8 小型化したデバイス
アウトリガーも含めた全体(バッテリー内蔵)の重量は 235gであり、70%以上の軽量化を図ることができた。

(3) 本研究の限界点

本研究では、ウェアラブル無線計測システムを構築し、実際の関節リウマチ患者による試用評価までを実施する予定であった。しかし、本研究期間は新型コロナウイルス感染症拡大と時期を同じくしたのに加え、本計測システムの対象者が術後の装具療法を行う関節リウマチ患者としていたところ、特に術前術後には感染症対策が求められることから、関節リウマチ患者での試用評価を行うことはできなかった。

(4) 本研究の意義

本研究では、実際の関節リウマチ患者での検証は実施できなかったものの、健常者による検証を行い、連続 10 時間以上のリアルタイム計測が可能であることを明らかにした。また、これまではセラピストが徒手的に手指を 1 本ずつ計測していたものが、示指から小指までの関節角度と印加されている伸展補助力の同時計測を実施することが可能となった。特に手指では、1 本の指伸筋腱が示指から小指まで枝分かれしていることから、隣接指の影響を多大に受ける。そのため、4 本の手指を同時に計測し、隣接指の運動との関連を定量化できることは今後のリハビリテーション評価に有意義なものと考えられる。また、ウェアラブル無線計測システムにより、日中の計測が可能になったことは、普段の生活における手指の運動量等が拘縮の発生にどのように影響をもたらすのかを明らかにするための有用な手段であると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 糸野文洋、徳井亜加根
2. 発表標題 ダイナミックスプリントによるウェアラブル手指運動計測システムの考案
3. 学会等名 第38回日本義肢装具学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋千紘、徳井亜加根、櫛橋康博
2. 発表標題 関節リウマチ術後手指リハビリテーションのための屈曲角度計測可能なダイナミックスプリントの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会SI部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳井亜加根, 岡田充弘, 新谷康介, 酒田圭二
2. 発表標題 ダイナミックスプリントの課題 伸展補助力に着目して
3. 学会等名 第4回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳井亜加根
2. 発表標題 ダイナミックスプリント用手指運動評価デバイス開発の試み
3. 学会等名 第3回日本リハビリテーション医学会 秋季学術集会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	榑橋 康博 (KUSHIHASHI Yasuhiro) (40247218)	日本工業大学・先進工学部・准教授 (32407)	
研究分担者	岡田 充弘 (OKADA Mitsuhiro) (40309571)	大阪公立大学・大学院医学研究科・准教授 (24405)	
研究分担者	高嶋 孝倫 (TAKASHIMA Takamichi) (00425654)	長野保健医療大学・地域保健医療研究センター・教授 (33607)	
研究分担者	塩田 琴美 (SHIOTA Kotomi) (50453486)	慶應義塾大学・総合政策学部(藤沢)・准教授 (32612)	
研究分担者	桑野 文洋 (KUMENO Fumihiko) (50442512)	日本工業大学・先進工学部・教授 (32407)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	倉科 俊介 (KURASHINA Syunsuke)	日本工業大学 (32407)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------