

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 18 日現在

機関番号：34310

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630081

研究課題名(和文) 関節リウマチハンドセラピーの治療効果評価用シミュレーション機能モデルの開発

研究課題名(英文) Measurement of Rehabilitation and Modeling of MP Joint for Rheumatoid Arthritis

研究代表者

辻内 伸好 (Tsujiuchi, Nobutaka)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：60257798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：関節リウマチは免疫系の異常による関節炎から、手指変形などの機能障害を引き起こす疾患である。ハンドセラピーによるリハビリテーションは最も低リスクの治療法であるが、継続的な施術を必要とする。しかし、患者の通院困難(身体的、金銭的)やセラピストの人手不足といった問題があった。そのため、自宅でも可能な中手指節(MP)関節亜脱臼用リハビリテーション装置の開発が考案された。この開発に当たり、ハンドセラピーをバイオメカニクスの視点から、その力学を解析することが必要となった。本研究ではハンドセラピーをモーションキャプチャーと指先力センサで計測し、その計測値から関節のリハビリ効果を評価するモデルを考案した。

研究成果の概要(英文)：Rheumatoid arthritis (RA) patients in Japan are about eight hundred thousand. 80-90% of RA patients develop to the hands and wrist. When developing these, causing the dislocation and deformation of the finger. As treatment for subluxation due to RA, there is a rehabilitation by hand therapy, but therapist is not enough. Therefore a device for rehabilitation of thumb MP joint subluxation has been developed. To improve the device, it is necessary to clear the dynamics of hand therapy. Therefore, the authors tried to measurement two kind of rehabilitation by using motion capture and contact force sensor, and we will try develop the simulation function model for curative effect evaluations of hand therapy for RA. To develop simulation model, we think method of modeling of joint in rehabilitation and estimating the model parameters using measured data and inertia data from skeleton model scaling per subject in SIMM.

研究分野：機械工学

キーワード：運動制御 バイオメカニクス リハビリテーション 関節モデル

1. 研究開始当初の背景

関節リウマチの国内患者数は約 80-100 万人といわれ、全身の関節の変形と機能障害をきたす原因不明の疾患である。申請者らはハンドセラピストが徒手的に基節骨を背側に押し上げながら橈側に引っ張る動作を自動化する、動的リハビリテーションアシスト装具を開発した。その過程で、ハンドセラピーの手法は患者毎に異なり、セラピストは最適な作用力と作用方向を経験により習得していることが明らかとなった。そこで、リウマチハンドセラピーのシミュレーション機能モデルを開発することで、リウマチのハンドセラピーにバイオメカニクスの視点から治療法を体系化すれば、諸症状に最適なセラピーの手法をシミュレーションによって提案できると考えた。この点が従来には無い本提案の特徴で、開発すれば、関節リウマチ患者の手指変形の治療と発生予防に役立てることができる。

2. 研究の目的

整復の際患部に与えられる力の大きさと作用方向を解明し、バイオメカニクスの視点からリウマチ治療過程の力学モデルを構築し、セラピストが経験的に習得している技能と治療手法の定量化をはかる。そのためにセラピストの施術にバイオメカニクスの視点を導入し、リウマチのシミュレーション機能モデルを開発する。効果的な治療やアシスト装具の最適化を行うため、機能モデルを研究期間中に実用化し、関節リウマチ患者の手指変形の治療に役立てることを目的とする。

3. 研究の方法

関節リウマチに合併する尺側偏位患者の通院による作業療法の際に、例えばハンドセラピストが徒手的に基節骨を背側に押し上げながら橈側に引っ張る動作を、指先力センサを用いた計測により作用力の大きさを、運動計測によって作用力の方向を同時計測し、3次元ベクトル図を用いて拇指、示指、中指が発生する作用力を時刻歴でバイオメカニクスの視点から運動学的かつ定量的にモデル化する。

4. 研究成果

(1) リハビリ動作計測

Eagle Digital Real Time System (MotionAnalysis 製) を使用したモーションキャプチャーにより、リハビリ時の被験者の指動作やセラピストの作用力方向を計測した。カメラは 8 台、反射マーカは 4[mm] のものを 12 個使用した。また、セラピストが被験者に与える作用力の大きさを指先接触力センサ (テック技販製) を使用し、計測した。本計測では図 1 のようにリハビリ動作を停止動作 (a)、牽引動作 (b)、押し動作 (c)、戻し動作 (d) の 4 動作に分けた。計測は牽引あり、牽引なしのリハビリを 5 回 1 試行 (60[s]) として 2 試行行った。全計測ともに被験者の

中手骨を固定し、実験者の右手母指、示指で被験者の IP 関節を固定し、基節骨下部に実験者の左手示指を添えた状態から計測開始した。これら 2 種の動作を健常者 10 名 (男性 9 名、女性 1 名、21-24 歳) に対してサンプリングレート 200[Hz] で計測した。ただし、本研究のリハビリはセラピスト (資格者) の代わりに、医師の指導を受けた学生 (資格なし、実験者) が模擬したものである。また、本実験内容は同志社大学の「人を対象とする研究」の倫理審査通過後、各被験者から同意を受けた上実施している。

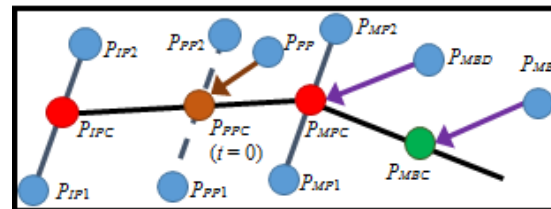


(a) Stop (b) Traction (c) Push (d) Return

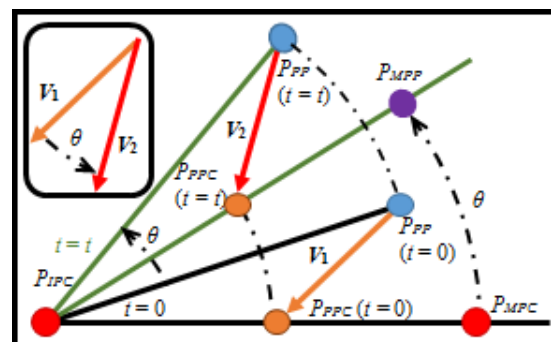
Fig. 1 Rehabilitation.

(2) 被験者の指モデルの構築

計測したマーカ位置より、指モデルを作成する。基節骨軸を算出するために、各マーカから 4 点算出する。まず、図 2(a) のように 2 点 (PIPC, PMPC) は IP, MP 関節の両側のマーカ (PIP1, PIP2, PMP1, PMP2) の中点として算出した。このとき、 $t = 0$  での 2 点間長さを基節骨長  $L1$  とした。次に、基節骨軸のずれを検出する PPPC を算出する。この点は初期位置のみ PPP1, PPP2 の中点として算出し、動作中の位置は図 2(b) のように  $t = 0$  での PPP からのベクトル  $V1$  をリハビリ動作時の基節骨の押し上げ角度  $\theta$  分回転させたベクトル  $V2$  を用いて算出した。



(a) PIPC, PMPC, PMBC



(b) PFFC

Fig. 2 Calculate link model.

(3) リハビリ動作時の MP 関節のモデル化

本研究では、被験者の関節状態を表す指標として関節のモデル化を考えた。リハビリ動作

では、基節骨に力を加え押し上げた後、元の位置に戻ろうとする作用があるため、関節には復元力が存在する。そこで、本研究ではバネ要素により復元力を再現するリハビリ関節モデルを構築した。モデルは図3のように、一端をMP関節中心(PIPC)、もう一端を基節骨端(PMPF)に接続した自然長0のバネで構成されている。このバネのバネ定数を関節の状態を表すパラメータとして考え、計測値を用いて、運動方程式を基に算出した。この時の慣性パラメータは筋骨格モデリング・解析システム「SIMM」を用いて、各被験者でスケールリングした骨格モデルより算出した。

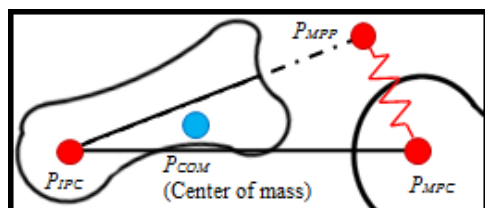


Fig. 3 One spring model in rehabilitation.

#### (4) 筋骨格モデルへの導入

「SIMM」の筋骨格モデルに関節のリハビリモデルを導入することで、MP関節の自由度を6自由度に拡張した。また、被験者ごとに異なるバネ定数を入力することにより、被験者の関節状態にあったシミュレーションが可能になる。図4はSIMMに関節モデルおよびモーションデータを入力した様子であり、図5は逆動力学計算により算出したMP関節の関節モーメントである。

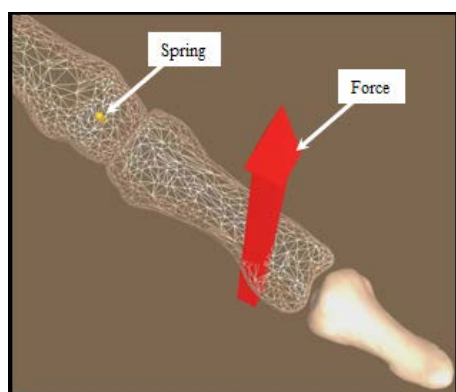


Fig. 4 Rehabilitation in SIMM (Subject A,  $t = 20[s]$ ).

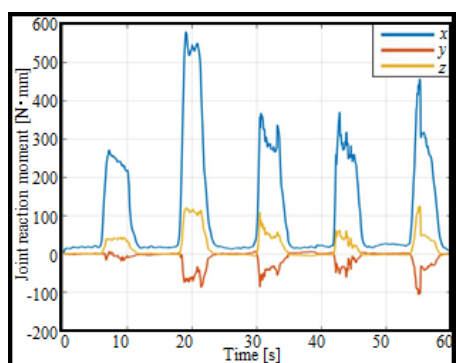


Fig. 5 Joint reaction moment in MP joint.

#### (5) 結言

本研究では以下の結論が得られた。

- ①ハンドセラピーを計測し、指モデルおよび作用ベクトルを算出し、3次元空間上での再構築を行った。
- ②リハビリ動作中における関節の動きをバネ要素でモデル化し、そのバネ定数は被験者ごとに異なる値を示し、関節の硬さの指標として用いることができる。

以上のように、健常者ではあるが、指先力センサを用いた計測により作用力の大きさを、運動計測によって作用力の方向を同時計測し、3次元ベクトル図を用いて拇指、示指、中指が発生する作用力を時刻歴でバイオメカニクスの視点から運動学的かつ定量的にモデル化できた。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計6件)

- ① A. Ito, N. Tsujiuchi, Y. Okada, Multipurpose Optimization of Camera Placement and Application to Random Bin-Picking, Proceedings IECON 2015 -41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, No. CFP15IEC-USB, pp. 528-533 (2015) Paciico Yokohama(神奈川県横浜市), 査読有
- ② 北野敬祐・辻内伸好・伊藤彰人, 関節リウマチのリハビリ動作計測と慣性を考慮したMP関節のバネ要素によるモデル化, LIFE2015 講演予稿集 (2e1-05.pdf) (2015), 九州産業大学(福岡県福岡市)
- ③ 辻内伸好・伊藤彰人・北野敬祐, 関節リウマチのリハビリ動作の計測とMP関節のバネ要素によるモデル化, 第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB 論文集, No. 15-11 (B301.pdf), pp. 465-469 (2015), 栃木県総合文化センター(栃木県宇都宮市)
- ④ 辻内伸好・伊藤彰人・岡田悠佑, ロボット視用カメラ配置の多目的最適化とばら積みピッキングへの適用, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 講演論文集, No. 15-2 (2A1-T01.pdf), pp. 2A1-T01(1)-2A1-T01(4) (2015), みやこめっせ(京都府京都市)
- ⑤ K. Kitano, N. Tsujiuchi, A. Ito, D. Tokunaga, T. Kubo, S. Nakamura, Measurement of Rehabilitation in Thumb MP Joint Subluxation due to Rheumatoid Arthritis, 36th Annual International Conference on the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (16740170.pdf), pp. 5308-5311 (2014),

- Sheraton Chicago Hotel and Towers(Chicago, Illinois, USA), 査読有
- ⑥ 北野敬祐・辻内伸好・伊藤彰人・徳永大作・久保俊一・中村悟, 関節リウマチ母指 MP 関節亜脱臼のリハビリ動作計測, 日本機械学会 2014 度年次大会講演論文集, No. 14-1(J2410202.PDF) (2014), 東京電機大学東京先住キャンパス(東京都足立区)

⑦  
〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://se.doshisha.ac.jp/doc/labo/kikairikigaku/kikairikigaku.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

辻内 伸好 (TSUJIUCHI, Nobutaka)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号: 60257798

### (2) 研究分担者

伊藤 彰人 (ITO, Akihito)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号: 60516946