

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成26年4月21日現在

機関番号：34310 研究種目：挑戦的萌芽研究 研究期間：2012～2013 課題番号：24656159 研究課題名（和文）関節リウマチ手指変形に対する動的リハビリテーションアシスト装具の提案 研究課題名（英文）Development of the active rehabilitation assist orthosis for hand deformities in 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）3,200,000円、（間接経費）960,000円

研究成果の概要（和文）：空気圧駆動システムであるメンブレン型空気圧アクチュエータを用いた動的関節リウマチ治療用装具を提案し試作した。ここで提案したメンブレン型空気圧アクチュエータとは、従来の低圧駆動空気圧アクチュエータより大きい発生力が得られ、且つ設置スペースが小さい空気圧アクチュエータである。関節リウマチ治療用装具の試作機を用いて、5人中4人関節リウマチによる母指MP関節亜脱臼の整復に成功し、直径19.7[mm]のメンブレン型空気圧アクチュエータによって、母指MP関節掌側亜脱臼を整復するための力が十分得られることを実証した。

研究成果の概要（英文）：We developed an active therapeutic use equipment with a membrane pneumatic actuator. A membrane pneumatic actuator produces more power and requires less installation space than a conventional low pressure pneumatic actuator. The therapeutic use equipment was made by referring to rehab by hand therapy. 4 out of 5 patients succeeded in reducing MP joint subluxation thumbs by using a prototype of a therapeutic use equipment.

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械力学・制御

キーワード：運動制御，リハビリテーションアシスト装具

1. 研究開始当初の背景

尺側偏位は、手のMP関節(手指の基部の関節)の腱が拘縮し、関節が亜脱臼して発生する。この治療は、既成の装具および通院によるハンドセラピーが一般的である。しかし、通院によるリハビリテーションはすべての患者に可能でなく、また、施行する時間もきわめて限られているのが現状である。このため、Royce Medical社などが販売を行っている、局所を固定し、関節の固定と安静を目的とする静的装具が用いられるが、その効果は限定的で、動的に関節に変形矯正を加える装具は存在しない。そこで、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、空気圧アクチュエータを適用することによって自動化する、動的リハビリテーションアシスト装具を開発する。これは、関節の固定と安静を目的とする静的装

具とは概念が全く異なるもので、この点が本提案の特徴で、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

関節リウマチの患者数は100万人ともいわれ、その90%以上に手指の変形が生じる。手指の変形に対しては継続的なリハビリテーション(ハンドセラピー)が必要であるが、外来通院レベルで十分なリハビリテーションを行うことは困難である。そこで、従来の空気圧アクチュエータに対し、小型で大きな力を発生できるメンブレン型空気圧アクチュエータを新たに提案し、パワーアシスト機能を具備することで、ハンドセラピーに近い効果が得られる動的リハビリテーションアシスト装具を開発する。尺側偏位リハビリに能動的な駆動系を採用するのは世界で最初であ

る。新型空気圧アクチュエータの開発・制御、実用性視点での改善を行い、本装具を研究期間中に試作・実用化し、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を目的とする。

3. 研究の方法

(1) メンブレン型空気アクチュエータの制御アルゴリズムの開発

メンブレン型空気圧アクチュエータは、内膜部材が伸縮性を有するとともに、外膜部材に被覆されていない単体の状態では伸長可能にしてあり、外膜部材が内膜部材の膨らむ範囲を被覆する被覆範囲面積は、前記内膜部材が単体で最大に伸張して膨らむことが可能な範囲の面積以下となるように設計されているため、それ以上膨らむことはできない。従って、構造的に柔軟で装着者に過大な負荷がかからない。また、流体（空気）の供給量（供給圧における体積の量）に対する内膜部材の容積（膨らみ具合）の関係が、線形的な作動特性を得ることができ制御しやすい特性を持つ。尺側偏位患者の患部を持ち上げるようにアクチュエータを配置することを想定し、半球体状に膨張し、変位拘束を受けた後は、上方向の発生力と供給圧は非線形となるため、空気圧と軸力の実験によって明らかにし、適切な制御モデルを構築する。

(2) 脱臼した関節の整復に必要な力の検証

患者の脱臼した関節の整復に必要な空気圧を定量化し、関節に過剰な負荷がかからないように最大空気圧の設定を行う。アクチュエータに加える最大内圧は、空気供給源が小型かつ 100V の家庭用電源で作動し在宅リハビリを可能とするため、最大約 2 気圧までを想定しており、この範囲内の低圧で脱臼の整復が可能であれば、安全性は確保できると考えられる。関節亜脱臼の整復操作に必要なパワーの検討として、単一の指の MP 関節が整復された状態までに必要な空気圧を、レギュレータを内蔵した空気圧発生装置を用いて制御し、その時の内圧と発生力を計測する。

(3) 動的リハビリテーションアシスト装具の設計

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、メンブレン型空気圧アクチュエータを適用することによって自動化する、動的リハビリテーションアシスト装具を開発するため、空気圧アクチュエータの配置の最適化を図る。例えば、アクチュエータを示指の腹面と側面に 2 個配置し、セラピストが力を作用させる方向に押し圧を発生させることによって、「基節骨を背側に押し上げながら橈側に引っ張る動作」が実現可能と考えられる。患者

の関節亜脱臼の方向に適合したアクチュエータの軸力発生方向を設定する必要があるため、動的リハビリテーションアシスト装具には、アクチュエータの方向を自在に移動可能な機能を付加する必要がある。従って患者に適合したアクチュエータの配置位置を最適化する手法を開発する。

(4) メンブレン型空気アクチュエータの動作機構とアシスト装具の実装

実用化をめざすため、効果的にリハビリテーションを施行できる最小のサイズで機構の単純なものを試作する。具体的には、手動による加圧、各手指への加圧が 2 個のアクチュエータで可能となる機構の開発を目標とする。100V で動作可能な小型圧縮機を用いて空気圧を発生させ、電空レギュレータを使用して応答性の早い圧力制御機構を導入し、アシスト装具の動作機構とのマッチングを図る。以上の検討の後、レディメイドの機器で個々の患者に応用できるように、異なる手指のサイズに対応できるものを試作する。

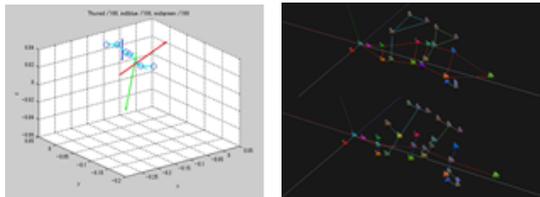
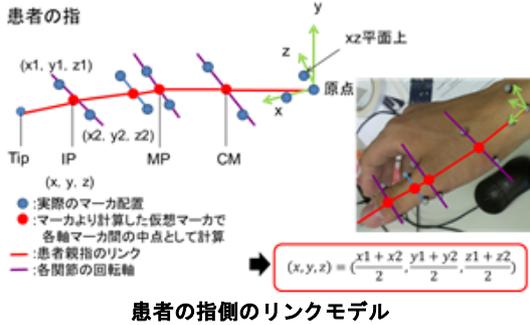
4. 研究成果

(1) 尺側偏位は、手の MP 関節（手指の基部の関節）の腱が拘縮し、関節が亜脱臼して発生する。この治療は、既成の装具および通院によるハンドセラピーが一般的である。そこで、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。



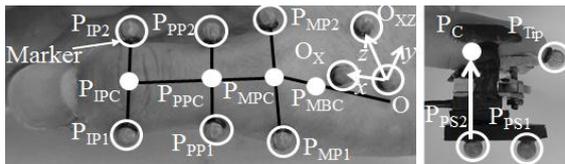
試作したアクチュエータとリハビリテーション装置

(2) 共同研究によって開発した歪みゲージによる指先力の計測装置をよりコンパクト化してセラピストの指先に装着することによって直接計測が可能なること示した。指先力の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ハンドセラピー時に同時計測し、3次元ベクトル図で拇指、示指、中指が発生する作用力を時刻歴で表示する手法を開発した。



(3) 実験装置および方法

リハビリ時の指の動作を計測するために、モーションキャプチャーシステムを用いた。このシステムは反射マーカを用いたもので、7台のカメラを200[Hz]で用いた。また、力の大きさを計測するために、接触力センサを用いた。このセンサは指先に力を加えると水平方向に指先が変形することを利用し、ひずみゲージから力を推定するものである。本実験ではリハビリ動作を停止動作、牽引動作、押し動作、戻し動作の4動作に分け、1回15秒のサイクルを5回行った。このリハビリを牽引有りとし、牽引動作、戻し動作を停止動作に置き換えたリハビリを牽引無しとする。この動作を健常者14人に対して行い、前述の装置にて計測を実施した。

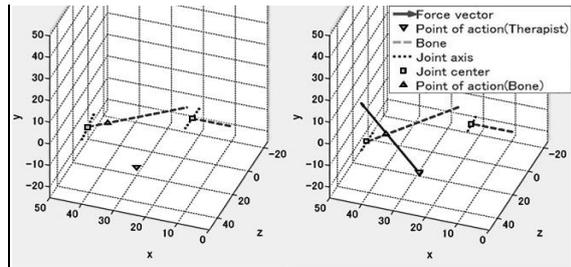


被験者(左図)とセラピスト(右図)のマーカ配置

被験者に上図(左図)のように9個のマーカを配置し、基節骨軸、中手骨を算出するために、白点の4点をマーカから求めた。また、右図のようにセラピスト側には3個のマーカを配置し、セラピスト側の作用点と力の方向を算出した。

(4) 実験結果

計測したリハビリ動作を下図に示す。(a)が停止動作、(b)が押し動作時の様子である。また、被験者骨軸上の作用点を算出し、基節骨長さを基準とし、IP関節からの長さの比をとると平均で0.34となった。また、計測力を平均作用点位置でのリハビリ力に換算す



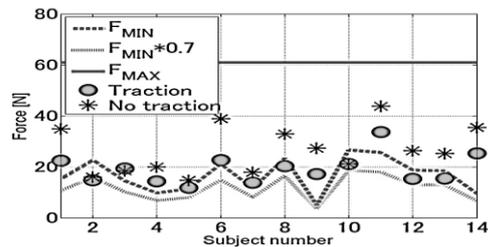
(a) 停止動作

(b) 押し動作

計測結果

ると、牽引有りの力は無しの力の約7割となり、リハビリに要する力が小さくなるのが解る。さらに、リハビリ時の基節骨の押し上げ量を算出すると、牽引無しの場合と比較し、有りの方が大きく、リハビリ効率が向上することが明らかとなった。

最後に、リハビリ可能な力の範囲について考察した。先行研究において50[kPa]以上で亜脱臼治療が成功し、その場合のアクチュエータの最大供給圧力は200[kPa]であった。この時の力をリハビリ可能範囲とし、その範囲とリハビリ力を下図に示す。図より牽引無しの力は一部範囲外もあるが12/14人が範囲内であり、牽引有りの方は、7割の下限を考えると全て範囲内である。よって、算出したリハビリ力はリハビリ可能な力であり、アクチュエータによって再現可能な力であると考えられる。



リハビリ力とリハビリ可能範囲

(5) 結論

以下に本研究で得られた結論を示す。

1. ハンドセラピーのリハビリ動作の計測法を提案した。
2. 提案した方法により、力の大きさや作用点を計測した。
3. 牽引ありの方が牽引なしに比べリハビリ効率が良い。
4. 算出したリハビリ力は実際にリハビリ可能な力である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① Y. Nojiri, N. Tsujiuchi, T. Koizumi, T. Mizuno, Y. Ichikawa and M. Shimizu, Modeling and Force Control of Membrane Pneumatic Actuators, Proceedings of

the 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (2595-mf-018546.pdf), pp. 2595-2600 (2012)

- ② S. Maeda, N. Tsujiuchi, T. Koizumi, I. Nakai and M. Sugiura, Gripping Strategy of Pneumatic Robot Arm for Industrial Fields -Wrist Control in Consideration of Compensation of Gravity-, Proceedings of the 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (2701-mf-017965.pdf), pp. 2701-2706 (2012)

〔学会発表〕(計4件)

- ① 野尻豊, 辻内伸好, 小泉孝之, 水野智之, 市川裕則, メンブレン型空気圧アクチュエータを用いた5指ロボットハンド, Proceedings 2012 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, No. 12-3 (2A1-D05.pdf), pp. 2A1-D05(1)-2A1-D05(4) (2012)
- ② 辻内伸好, 小泉孝之, 野尻豊, 徳永大作, 久保俊一, 中村悟, 関節リウマチ手指変形に対する動的リハビリテーションアシスト装具の開発, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2012 講演論文集 (GS3-4-9.pdf) (2012)
- ③ 辻内伸好, 小泉孝之, 野尻豊, 南沙樹, 徳永大作, 久保俊一, 中村悟, メンブレン型空気圧アクチュエータを用いた関節リウマチ手指変形に対するリハビリテーションアシスト装具の開発, 日本機械学会第13回「運動と振動の制御」シンポジウム講演論文集, No. 13-18(C22.pdf) (2013)
- ④ 辻内伸好, 小泉孝之, 北野敬祐, 野尻豊, 関節リウマチ母指 MP 関節亜脱臼のリハビリ動作計測, 日本機械学会関西支部第89期定時総会講演論文集 (2014)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: アクチュエータおよびリハビリ機器
発明者: 辻内伸好他6名
権利者: 学校法人同志社, スキューズ(株)
種類: 特許公開
番号: 2012-072796
出願年月日: 2010年9月28日
国内外の別: 国内

○取得状況(計0件)

なし

〔その他〕
ホームページ等

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

なし

(3) 連携研究者

なし