

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560295

研究課題名(和文) 空気式多自由度ロボットを用いた筋電位信号に基づく統合型手首リハビリ支援装置の開発

研究課題名(英文) Wrist rehabilitation device using pneumatic parallel manipulator based on EMG signal

研究代表者

高岩 昌弘 (Takaiwa, Masahiro)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：60243490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多自由度特性を有する空気式マニピュレータを用いた手首リハビリ支援システムに関する研究を遂行した。従来からの手首リハビリ訓練では手首に作用するトルクに基づいた訓練法が多く提案されてきたが、手首トルクは前腕部の筋肉の収縮力により生じるため、本研究では前腕部の筋肉に直接負荷をかける訓練手法を提案した。

一方、最終年度においては、本マニピュレータで患者を訓練するのではなく、本マニピュレータを患者のモデルとして振舞わせることで、理学療法士の訓練装置として機能させる手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In this study we developed wrist rehabilitation system using pneumatic parallel manipulator. Up to now, many types of the mechanical system to perform wrist rehabilitation are proposed, but most of them were done based on a torque that is yielded at a wrist. Then we proposed a method to train muscle located in a forearm directly since the torque is generated from a contraction force of the muscles. We also proposed a training system of not a patient but a P.T. by making the manipulator to behave as a patient wrist model.

研究分野：ロボット工学

キーワード：手首リハビリテーション 筋電位信号 多自由度マニピュレータ 空気圧駆動系 フィードバック制御

1. 研究開始当初の背景

理学療法白書(2008)によると,我が国の理学療法士(以後 P.T.)数は,約 3.5 万人であり,全国の理学療法承認施設は約 12,000 箇所ある.このうちの約 4,000 箇所の施設には理学療法士(以下 P.T.)が一人しか在籍しておらず P.T.の絶対数不足は否めない.また,平成 18 年の診療報酬制度の改定によりリハビリ訓練の受診期間が最大 180 日に限定された.このような状況の中,リハビリ訓練へのロボット技術導入への期待は大きい.

そこで本課題では,食事や着替えなどの日常動作に不可欠な手首の動作に着目し,これのリハビリ動作を支援するロボットシステムの開発を考えた.具体的には手首の多自由度な動作に対応でき,かつ,空気の圧縮性に起因する柔軟性が本質的な安全性として機能する,空気式パラレルマニピュレータを手首リハビリ支援装置として導入する.

また,本課題ではマニピュレータを患者に対するリハビリ訓練装置としてだけでなく,患者手首の物理モデルを実装することで,P.T.の技能向上を目的とした患者シミュレータとしての応用も目指している.

1. 研究の目的

(1) 訓練したい筋肉の選択・集中的訓練とその評価手法の確立

まず,従来から提案されている基本的なりハビリ動作(等速動作(遠心性収縮,求心性収縮),等張動作,等尺動作)を,本研究課題で提案する制御系において統一的に実施できることを示し,その効果を実験により検証する.次に,訓練したい筋肉を集中的に訓練し,訓練効果を評価するための手法を提案する.具体的にはロボットへの筋電位信号のフィードバックの仕方として,訓練したい筋肉の筋電位信号のみをフィードバックする手法や,前腕部の複数の筋肉の筋電位信号それぞれに係数(その運動方向への貢献度)を掛けて加えたものをフィードバックし,ある筋肉の係数を変化させることで特定の筋肉に負担をかけるような訓練手法を提案する.

(2) 患者の疲労度の評価と疲労に基づくリハビリ動作調整機能の実現

一般にリハビリ訓練は長時間に渡って行われるため,訓練時間の経過に伴い筋疲労が生じる.筋疲労が進むと,それ以上リハビリ訓練を行っても効果が上がらないため,訓練動作時に患者の疲労状態を把握することは重要である.一般に,筋疲労に伴い筋電位信号の周波数特性が低周波数域に移行することが広く知られて

いる.研究代表者はこれまで,筋電位信号をFFT解析し,その平均周波数をリアルタイムに算出するプログラムを構築し,筋疲労が生じた状況下で平均周波数が時間的に低下していくことを既の実験により確認している.本研究では,現在,単体として動作している筋電位信号の周波数解析プログラムを本支援装置の運動制御プログラムに組み込み,訓練動作を実施しながらリアルタイムに患者の疲労度を定量的に推定するとともに,疲労度に基づいて訓練動作を修正する機能を支援装置に付与することを提案する.

(3) P.T.の技能向上を目的とする患者の物理モデルの実現

本装置を他動的に動作させることで,患者の手首特性(機械インピーダンス特性)を取得し,それを本装置に実装することで,本装置を患者の物理モデルとして機能させることが可能である.このようにして実現した患者手首の物理モデルは,P.T.を目指す学生の教育訓練シミュレータとして,また,P.T.間での技能伝承システムとして応用する.この時,重要なのは,患者の手首特性を模擬するのに最適なモデルの選定と,そのパラメータ同定である.前者については,機械インピーダンスモデルのような線形モデルの他に剛性が角度に依存して変化するような非線形モデルについて考察する.また,ロボットへの実装後のパラメータ調整においては,P.T.が本装置を動作させながら,その特性を患者の特性に近づけていけるようなパラメータ調整のためのインターフェースを提供する.

3. 研究の方法

訓練したい筋肉の選択・集中的訓練とその評価手法の確立(平成 24 年度実施)

従来より提案している筋電位信号に基づくリハビリ訓練動作を発展させ,訓練したい筋肉に負荷をかけた訓練手法の提案と,訓練効果の評価手法を提案した.図 1 に示すように,筋電位センサーにより取得した筋力をフィードバックしてマニピュレータを動作させる手法を構築し,訓練したい筋肉に直接任意の負荷をかけ

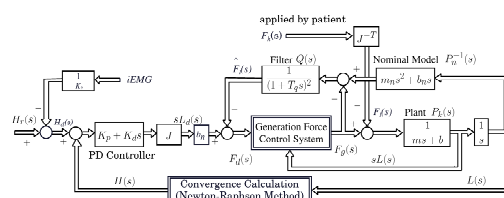


図 1 提案手法

る仕組みを実装した。

患者の疲労度の評価と疲労に基づくリハビリ動作調整機能の実現(平成 25 年度実施)

筋電位信号の周波数解析に基づく患者の疲労度のリアルタイム評価と、疲労度に基づくリハビリ訓練動作の生成機能を支援装置に付与した。図 2 に示すように筋肉が疲労すると筋電位信号の平均周波数が低周波数域に移行することが広く知られている。そこで筋電位信号をリアルタイムに FFT 解析することで、筋肉の疲労度をリアルタイムに検出する手法を提案した。

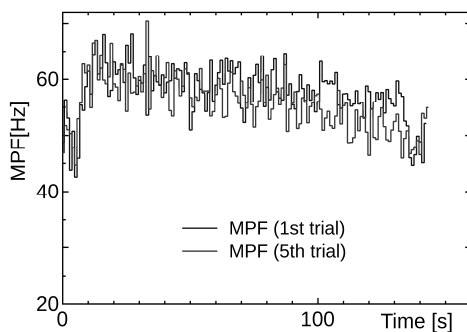


図 2 平均周波数の時間的变化

P.T. の教育効果向上を目的とする患者の物理モデルの実現(平成 26 年度実施)

図 3 に示すように、マネキンの手首部を取り付けたマニピュレータに、機械インピーダンス制御を実装し、患者の手首特性を目標インピーダンスとして与えることで、本マニピュレータを患者の物理モデルとして動作させ、P.T. の訓練装置として振舞わせる手法を提案した。

熟練 P.T. や新人 P.T. の徒手動作を定量的に比較することなどが可能となり、技能伝承や教育訓練の場を提供できることを示した。

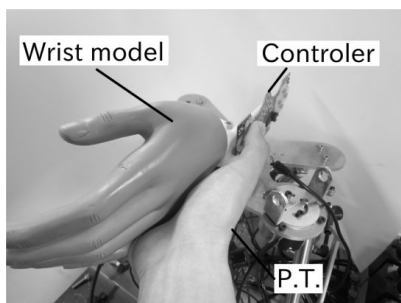


図 3 手首リハビリ訓練シミュレータ

4. 研究成果

まず、訓練したい前腕部筋肉の筋力を筋電位センサーで取得し、信号処理を施した後、計算機にフィードバックし、筋力の大きさに応じてマニピュレータの変位や速度を調節することで、前腕部の筋肉に直接負荷をかける訓練手法を提案した。これより筋肉に任意の負荷をかけることが可能であることを実験により確認した。また、このような筋力に基づく訓練法を用いることで、疲労のため無意識に手首以外の部位で手首回転動作を代行してしまうトリックモーションを防止することや、筋電位信号の周波数解析により求められる疲労度に応じた訓練メニューの調整という、より知的な要素を機械システムに付与することが可能であることを示した。

一方、最終年度においては、本マニピュレータで患者を訓練するのではなく、本マニピュレータを患者のモデルとして振舞わせることを試みた。ここでは患者の手首特性を如何に忠実に再現するかということが重要となるが、本研究では、長年の経験や患者の手首疾患を熟知した理学療法士自身がマニピュレータの機械特性を調節することを提案し、そのために必要なインターフェースの開発を行った。提案手法によれば多自由度方向の手首特性を調節可能であり、拘縮のような手首特性を再現できることを実験により確認した。また、このような患者モデルにより、熟練者と新人による徒手動作を定量的に比較することで、技能訓練に向けた教育の場を提供できることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 3 件)

高岩昌弘, 則次俊郎, 佐々木大輔, 空気式パラレルマニピュレータを用いた手首リハビリテーション -筋電位信号に基づく訓練動作の提案-, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 43, No. 3, pp. 39-45, 2012.5

Masahiro Takaiwa, Toshiro Noritsugu and Daisuke Sasaki, Training simulator for P.T. in Wrist Rehabilitation Using Pneumatic Parallel Manipulator, Proc. of The 12th International Symposium on Fluid Control Measurement and Visualization, FLUCOME, Paper No. OS4-01-1, 2013.11

Masahiro Takaiwa, Toshiro Noritsugu and Daisuke Sasaki, Development of Training Simulator for P.T. Using Pneumatic Parallel Manipulator, Proc. of The 3rd China Japan Joint Workshop on Fluid

〔学会発表〕(計4件)

高岩昌弘, 空気式パラレルマニピュレータを用いた手首リハビリ支援システムの開発, 電気学会研究会 人と機械をつなぐ情報・制御技術, および制御一般, 2014年3月

高岩昌弘, 則次俊郎, 佐々木大輔, 空気式パラレルマニピュレータを用いた手首リハビリ訓練シミュレータ, 平成25年秋季フルードパワーシステム講演会, 2013年11月

高岩昌弘, 則次俊郎, 佐々木大輔, 空気式パラレルマニピュレータを用いたEMG信号に基づく手首リハビリテーション, 平成25年春季フルードパワーシステム講演会, 2013年5月

高岩昌弘, 則次俊郎, 佐々木大輔, 空気式パラレルマニピュレータを用いた筋電位信号に基づく手首リハビリテーション, 第17回知能メカトロニクスワークショップ, 2012年8月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

該当なし

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高岩昌弘 (TAKAIWA, Masahiro)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授(平成27年4月以降)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授(平成27年3月まで)

研究者番号: 60243490