

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01552

研究課題名(和文) スポーツトレーニングのための腕部装着型訓練装置の開発

研究課題名(英文) Development of a Wearable Arm Training Device for Sports Training

研究代表者

横田 和隆 (Yokota, Kazutaka)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80241842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：パラレルリンク構造を採用した装着型の腕部運動訓練装置を開発した。本装置は、熟練者の動作を計測してマスターデータ(目標動作)を作成するための計測装置と、訓練者に対して直接的な訓練を実施する訓練装置の二つから構成される。訓練装置は計測データに基づいてシャフトモータを駆動することで、計測時と同様の動作を再現する。パラレルリンク構造により関節運動のほぼすべてを計測・訓練することが可能である。

手関節の訓練を想定して、訓練装置の動作に反映すべきマスターデータを作成した。マスターデータに基づき、訓練装置による訓練を行って、マスターデータに沿った受動訓練が行われていることを確認した。

研究成果の概要(英文)：A wearable training system was developed. The system consists of two devices: a device to measure the movement of arm joint motion of the skilled subject, and another device to train unskilled subject using the measured motion data. Both devices are designed around the parallel link mechanism, so that complex human joint motion is captured. Wrist joint motion was measured, and master training data was generated. Unskilled subjects were successfully trained based on this data.

研究分野：ロボット工学

キーワード：身体運動計測 教示訓練 手関節運動 パラレル・リンク機構

1. 研究開始当初の背景

人間の腕や脚は、少しずつであったとしても不適切な動作を繰り返せば、関節や筋肉に負担が蓄積され、重大な障害を引き起こす可能性がある。その為、スポーツのような複雑で大きな力が伴う運動や、医療におけるリハビリテーションなどにおいては、適切な関節運動の訓練を行うことが肝要である。近年、人体に装着し、装着者の動作の補助や増幅を行う装置の開発が広く進められており、スポーツ訓練への応用も検討されている。国内では山海らの HAL [1]などの介護用の装着型ロボットが開発され、国外では Raytheon 社の XOS2 [2]などの軍事用の装着型ロボットの開発が進められている。しかし、これらの装置は人体の大きな運動にのみ注目し、運動を単純化している為、上記のような問題が起こる可能性がある。本研究ではこの様な問題に対応可能な高自由度な装着型訓練装置の開発が必要であると考えた。

スポーツのように全身の筋肉や骨格が協調して動く運動の訓練においては、各部の動きをすべて理論的に説明することが難しいため、熟練者の動作と同様の動作を訓練者に直接教示するマスタースレイブ方式の訓練法が一般的である。マスタースレイブ方式を用いて複雑な運動・動作を適切に訓練するためには、人体の自由度と同等の計測システムと動作教示システムが必要である。工学分野においては、人体の腕部は肩、肘、手関節の自由度を合計して7自由度であると考えることが一般的であるが、X線撮影画像撮影などの医学的な解析から、各関節の並進移動の自由度や肩甲骨関節の自由度が確認されており、最大で24自由度を持つと考えられている。本研究では、スポーツのように複雑な動きに対応した高自由度な教示訓練装置への応用を目指す。

2. 研究の目的

本研究では、野球やテニスのように複雑な動作を要求されるスポーツにおいて、トレーナー(教示訓練指導者)の代わりに教示訓練を行う、装着型腕部教示訓練装置の開発を目的とする。人間の腕は工作機械やロボットと比べ、関節の自由度が高く、この自由度は人間の生活に深く関わり、人の生活の豊かさに繋がっている。近年、このような腕部の動きの訓練や補助を目的とした装着型ロボットの

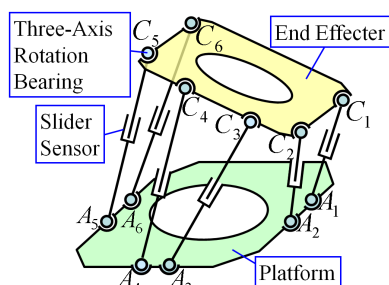


Fig.1 Parallel Link Mechanism

開発が行われている。既存の装着型ロボットは関節の自由度が人体に比べて低く、人体の運動を詳細に再現することができない。これは、既存のロボットが自由度の増加に適した構造でないことが原因である。本研究ではパラレルリンク機構(Fig.1)を装着型ロボットに応用し、スポーツなどの複雑な運動の教示訓練を可能とする高自由度な訓練装置の開発を目指す。

3. 研究の方法

本研究では下記の3点の基礎課題に取り組んだ。

- 1) 腕部動作の計測
- 2) 装着型手関節訓練装置の開発
- 3) 開発した装置を用いた動作訓練の実現

本研究の最終的な目標は、人体腕部全体の教示訓練装置の開発であり、手関節訓練装置の開発の後には順次、肘関節、肩関節、肩甲骨関節の順に研究を進展させる。

4. 研究成果

4.1 パラレルリンク式手関節訓練装置の開発

本研究で開発した訓練装置は装着者の掌の動きを計測する計測装置部(Fig.2)と装着者の掌に並進と回転の運動を与える訓練装置部(Fig.3)からなる。装着者の前腕に対する掌の動作を計測装置により計測し、計測したデータに準じて装着者に対して訓練を実施する(Fig.4)。リハビリ訓練では、療法士が補助をしながら訓練者に必要な動作を反復して行わせるが、本研究の想定する訓練では、最初に療法士の指示と補助のもとに訓練者が動作を行い、動作を計測装置によって計測し、計測結果に基づいて訓練者が訓練装置を用いて、療法士の介在無しに反復訓練を行う。本装置は人間の手関節の約6割程度の可動幅を持ち、浅い角度の分回し動作であれば回転と並進を同時に訓練することが可能である。

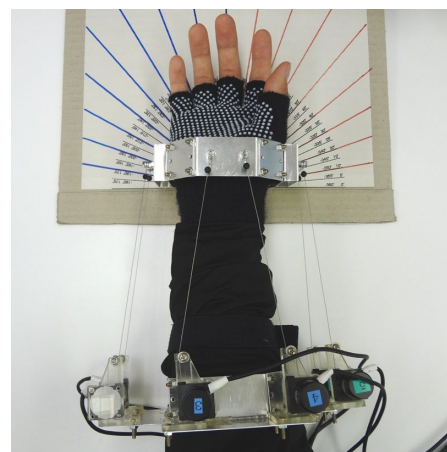


Fig.2 Measuring Device

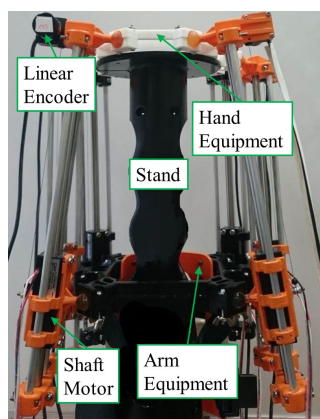


Fig.3 Training Device

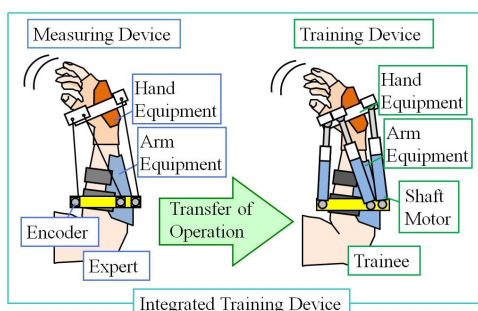


Fig.4 Master-Slave Training

4.2 手関節の分回し動作の訓練

開発した装置を用いた訓練の一例として、手関節の分回し動作のリハビリ訓練を想定した実験結果について述べる。

分回し動作は手関節の掌・背屈動作と橈・尺屈動作を複合した動作である (Fig.5)。本動作は手関節のすべての動作を同時に行う複合的な動作であり、リハビリ訓練実施時の機能評価運動として採用されている。手関節に分回し動作を訓練するためには、手関節のすべての運動自由度を満足する必要があるが、本研究で開発した訓練装置はこの要件を満たしている。

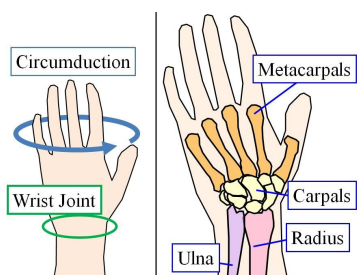


Fig.5 Circumduction Motion of the Wrist Joint

分回し動作の開始位置は掌と橈骨、尺骨を平行に並べ、掌を体に対して垂直にした姿勢とする。実験の際は初めに、被験者は訓練装置を装着し、手関節の姿勢を開始位置に合わ

せる。次に同姿勢から親指方向に橈屈し、その後、被験者から見て時計回りに手関節の分回し動作を自力で行うよう指示する。その際、計測部を用いて動作時のリニアエンコーダの長さ変化を計測する。分回し動作は3周分を連続して行い、計測する。得られた長さ変化から動作パターンを作成し、訓練部に与え、装着者に対してリハビリ訓練を実施する。訓練と同時に計測部で掌の動きを計測して動作解析を行った。

Fig.6 に各被験者の掌の動きを示す。それぞれのグラフは被験者6名の訓練時の並進動作と回転動作の変化を示している。回転動作は縦軸が姿勢を表し、並進動作は縦軸が座標を表す。両動作とも横軸は時間を表している。各被験者の左のグラフが動作計測時の掌の動き (計測動作) を表し、右のグラフが訓練時の動き (訓練結果) を表している。

実験結果より計測動作と訓練結果がほぼ一致していることが確認できる。このことから本装置を用いて分回し動作のように橈・尺屈と掌・背屈動作の複合動作を装着者に訓練することが可能であると確認できた。

また Fig.6 を見ると、yaw の時間的な変化が各被験者間で異なっていることが確認できる。分回し動作は掌を回転させる動きであり、前腕にある長掌筋等の前腕筋群の動きを組み合わせることで実現される。両筋肉は回内・回外動作の実現にも寄与する為、無意識に両動作も同時に行うのが自然な動きである。本実験の計測結果からも yaw がすべての被験者で変化していることが確認できる。一般的な運動自由度の低い訓練装置ではこの運動の支援を行わないため、装着者への負担となる可能性が高い。このような理由から分回し動作のように高い運動自由度を要求する運動では本手法が有効であるといえる。実験から各被験者間で roll と pitch の間にはピーク位置等、ある程度の相関が見られるが yaw と roll, pitch の間にはほぼ相関が見られないことが確認できた。これは各被験者間で分回し動作の実現方法の際に各筋肉の使い方が異なる為である。その為、あらかじめ roll と pitch の値から yaw を予想し、動作パターンを作成することも難しい。以上のことから、手関節に対して運動自由度の高い訓練を行うためには本手法のように yaw (回内・回外動作) を含めた計測を行い、訓練を行う手法が有効であると考えられる。

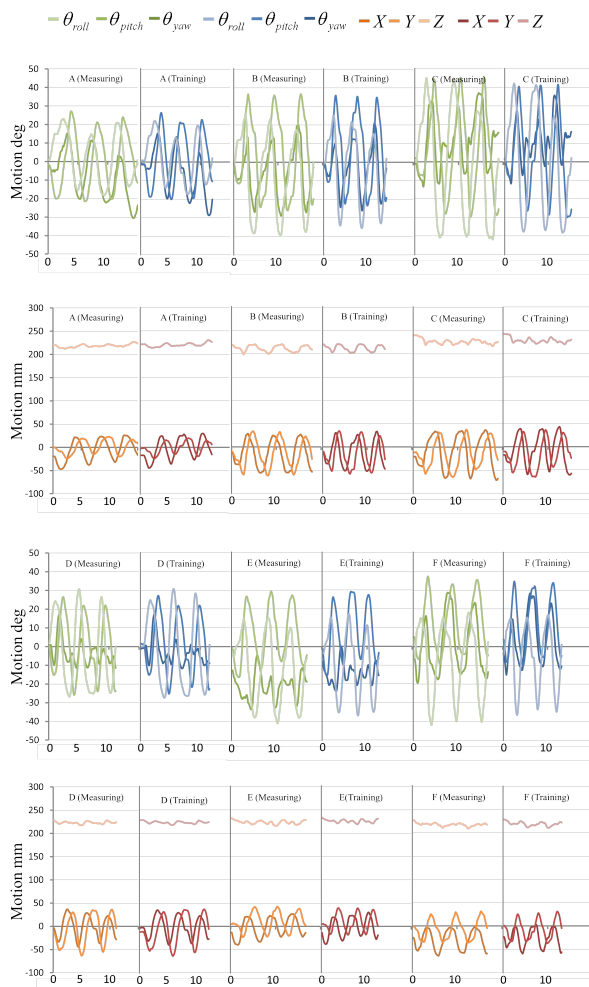


Fig.6 Position and Posture in Circumduction Motion Training

< 引用文献 >

[1] 新宮, 山海他, バイオフィードバックを用いたポリオ経験者の筋神経系制御能力の改善とロボットスーツ HAL による麻痺肢動作支援, 日本機械学会論文集, Vol.76, No.772, pp.3630-3639, 2010.

[2] Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit, United States of America, <http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us/>, (2014/9/19)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

北野雄大, 寺島心輝, 横田和隆: シャフトモータを利用した装着型パラレルリンク式リハビリ訓練装置の開発, 福祉工学会誌, 査読有, 19巻, 1号, pp.21-28, 2017.

Kitano, Y., Yokota, K.: Development of Wearable Training Device with High Degrees of Freedom -Wearable Parallel-Link Measuring Device-, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (SICE JCMSI), 査読有, Vol.8, No.4, pp.250-255, 2015.

[学会発表](計4件)

北野雄大, 丹沢勉, 横田和隆: 手関節リハビリテーションを目的とした装着型パラレルリンク式訓練装置の開発 - 屈曲・伸展動作と撓屈・尺屈動作を組み合わせた複合動作のリハビリテーション -, 第23回ロボティクスシンポジウム講演論文集(CD-ROM), 査読有, 3B2, 2018.

北野雄大, 寺島心輝, 横田和隆: 手関節リハビリテーションを目的とした装着型パラレルリンク式訓練装置の開発 - 相関係数を利用した訓練動作評価法 -, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 (ROBOMECS2017) 論文集(CD-ROM), 1P1-K09, 2017.

北野雄大, 寺島心輝, 横田和隆: 関節リハビリテーションを目的とした装着型パラレルリンク式訓練装置の開発 - 相関係数を用いた定量的評価 -, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 (ROBOMECS2016) 論文集(CD-ROM), 2P1-02b1, 2016.

北野雄大, 横田和隆: シャフトモータを利用した装着型パラレルリンク式訓練機構の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 (ROBOMECS2015) 論文集(CD-ROM), 1A1-008, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横田 和隆 (YOKOTA Kazutaka)
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 80241842

(2) 研究分担者

北野 雄大 (KITANO Yudai)
山梨大学・大学院総合研究部・助教
研究者番号: 30754600