

片麻痺患者のための上肢リハビリ支援システム Development of the Upper Limb Training Support Device for Rehabilitation

○学 安保 俊彦 (秋田大院) 正 木澤 悟 (秋田高専)
正 巖見 武裕 (秋田大) 水谷 嵩 (秋田大院医)

Toshihiko ANBO, Graduate School of Akita University, Tegatagakuencho1-1, Akita-city, Akita
Satoru KIZAWA, NIT Akita College
Takehiro IWAMI, Akita University
Takashi MIZUTANI, Graduate school of Akita University

Key Words : ARToolKit, Reaching-movements, Motion Capture System

1. 緒言

脳卒中の後遺症による運動機能障害はリハビリによって運動機能の改善が期待される。しかし、脳卒中の発症者は年々増加傾向にあるため、今後リハビリをアシストする療法士の負担も増加することが予想される。このことから、療法士の負担を減らすためにリハビリロボットの導入が期待される。

実際にリハビリロボットはアーム式や外骨格式など数多く存在するが、このほとんどは大掛かりで設置や持ち運びに不便である。そこで、本研究では持ち運びが可能でコンパクトな卓上型上肢リハビリロボットの開発を行った。また、使用者の上肢の動きを手軽に確認できるように web カメラと AR(拡張現実)技術を利用した計測装置も開発した。さらに、開発したリハビリロボットを利用して、上肢のリーチ動作における片麻痺者と健常者の巧緻性の違いを定量的に比較できることを確認した。

2. 卓上型上肢リハビリロボットの設計と概要

2.1. ロボットの設計

本研究で開発するリハビリロボットはコンパクトで持ち運びが可能であることをコンセプトとしている。そのため、特別な施設等が必要なく卓上でリハビリ運動が可能であるロボットの開発を目的とした。また、上肢の作用域は広く多様であるため、これに対応するには二次元平面上での全方位の移動が求められる。そこで、車輪にはオムニホイールを採用し、四輪駆動方式による全方向移動を実現した。さらに、AR(拡張現実)技術による自己位置認識を可能にするためにロボットの中心に AR マーカを設置した。Fig.1 は開発したリハビリロボットを示す。

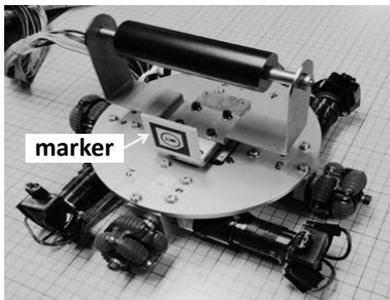


Fig.1 Rehabilitation Robot for Upper Limbs

2.2. リハビリロボットの制御システム

Fig.2 に制御システムの構成を示す。リハビリロボットの操作はノート PC 1 台で行っている。このロボットは前腕および上腕の筋力が衰えた患者を対象に水平面上での上肢運動のアシストを目的としている。そのため、保持部 (グリップ) の下に 6 軸力覚センサを埋め込むことで使用者がグリップを握って腕を動かしたときに発生した力の向きや大きさを認識し、力の情報を元に各車輪を駆動させることで仮想的なインピーダンス制御や外力を発生させて負荷を与えることも可能

である。また、web カメラと AR(拡張現実)技術を利用することでロボットの自己位置認識を可能としている。

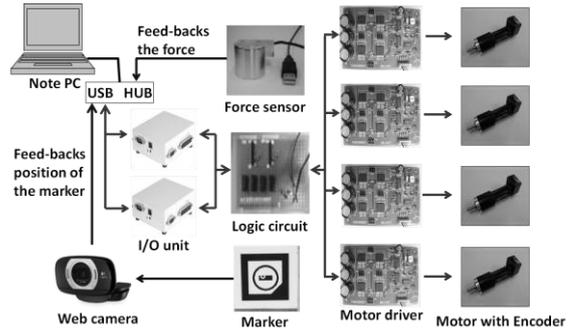


Fig.2 Rehabilitation Robot of control system

2.3. AR(拡張現実)技術の利用

AR(拡張現実)技術とは現実世界に、コンピュータによって作り出された情報(バーチャル世界)を重ね合わせることで周囲の情報に付加価値を加える技術である。AR マーカの位置を読み取りカメラの位置と方向をリアルタイムで計算することで対象物の現在位置を習得することができる。web カメラとマーカの位置関係を Fig.3 に示す。さらに、リハビリロボットを使ったリハビリ運動の軌道を視覚的に明示するために、モニタ上に目標軌跡と実際に動かした軌跡を描画させるシステムを構築した。これにより使用者のリハビリに対するモチベーションも高められると考えられる。モニタの表示画面を Fig.4 に示す。

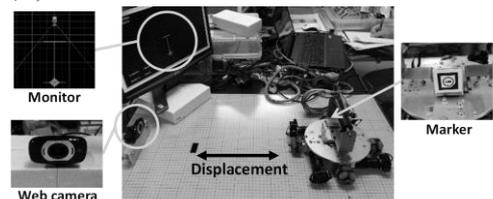


Fig.3 Position of web camera and the marker

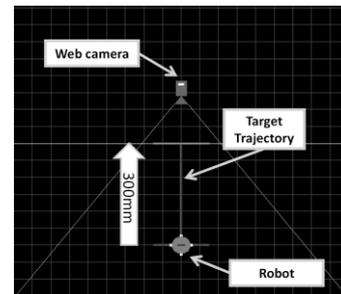


Fig.4 Screen of the monitor

2.4. リーチ動作の検討

本研究では開発したリハビリロボットを使用して片麻痺者と健常者におけるリーチ動作の運動特性の違いについて検討を行った。リーチ動作とは目標とする地点に腕を折曲させる

動作である。今回を行う実験では上肢の可動範囲を想定して、目標軌道に沿って直線に 300[mm]先へ腕を伸ばすリーチ動作を行った。リーチ動作の様子を Fig.6 に示す。また、突発的な外力への適応能力を健常者と比較するために、Fig.7 に示すように、リーチ動作中に外力を印加した。外乱は開始地点から 100~150[mm]の区間で加えられ、100~125[mm]の区間で移動距離に比例して増加、125~150[mm]の区間で移動距離に比例して減少する。中央部の最大となる外乱の値は 5[N] に設定した。

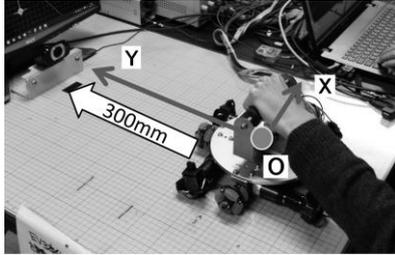


Fig.5 Reaching-movements

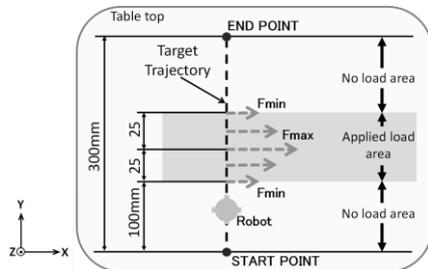


Fig.6 Reaching-movements applied load

3. リーチ動作に対する評価項目

web カメラからロボットの正面に設置しているマーカーを計測することで使用者の手先の運動軌道を取得した。この手先の運動軌道の座標位置を利用して、上肢の巧緻性の解析を行う。

リーチ動作の巧緻性を比較するために、運動能力の比較評価として手先の運動軌跡から平均振れ幅と Jerk cost を算出した。平均振れ幅とはリーチ動作の正確さを示す指標であり、目標軌道と実際の運動軌道の全体の誤差を平均することで求まる。平均振れ幅が小さいほど目標軌跡に沿った正確なリーチ動作が行われていると判断できる。また、Jerk cost とは動作の円滑さを示す指標であり、加速度を微分した躍度[\dot{A}]の二乗値を積分することで求まる。

$$Jerk\ cost = \int J^2 dt$$

Jerk cost が低いほど円滑な動作であることが示される。

4. リーチ動作の評価実験

開発したリハビリロボットを使用して健常者と片麻痺者によるリーチ動作の巧緻性について比較検討した。被験者は健常者 4 名と片麻痺者 18 名とした。実験では外乱が加わらない通常のリーチ動作と外乱が右側と左側に加わる 3 パターンのリーチ動作をランダムに各 3 回ずつ行った。Fig.8 に実験の様子を示す。

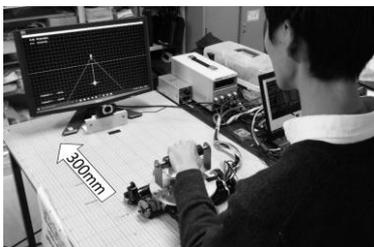


Fig.7 experiment

5. 実験結果

実験結果は Fig.8 と Fig.9 に示す。外乱が印加しないリーチ動作 (外乱無し) と外乱が印加するリーチ動作 (外乱有り) の二郡に分け、健常者と片麻痺者の平均振れ幅と Jerk cost の平均値を算出し、比較した。

Fig.8 は健常者と片麻痺者の平均振れ幅を比較したグラフである。図より外乱無しの場合、健常者は平均振れ幅が小さいことから正確なリーチ動作であることが確認できる。対して、片麻痺者は平均振れ幅が大きかったことからリーチ動作の正確性に欠けていることが確認できる。また、外乱有りの場合、健常者は平均振れ幅が小さいことから外乱印加後の軌道修正が容易であったことが確認できる。対して、片麻痺者は平均振れ幅が大きいため外乱印加後の軌道修正が困難であったことが確認できる。

Fig.9 は健常者と片麻痺者の Jerk cost を比較したグラフである。図より外乱無しの場合、健常者のリーチ動作は Jerk cost が小さいため円滑であったことが確認できる。対して麻痺患者は Jerk cost が大きいことよりリーチ動作の円滑性に欠けていることが確認できる。また、外乱有りの場合、健常者は Jerk cost が小さいことより外乱の影響が少なかったことが確認できる。しかし、麻痺患者は Jerk cost は大きくなったことから外乱への適応ができず、円滑なリーチ動作が困難であったことが確認できる。以上より健常者と麻痺患者の間に巧緻性の違いを確認することができた。

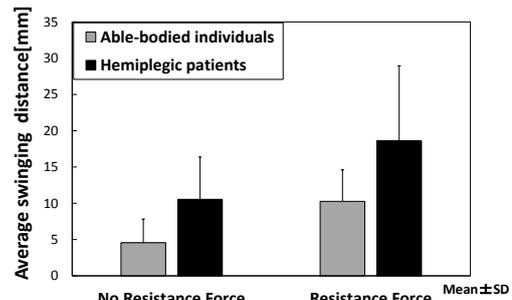


Fig.8 Average swinging distance

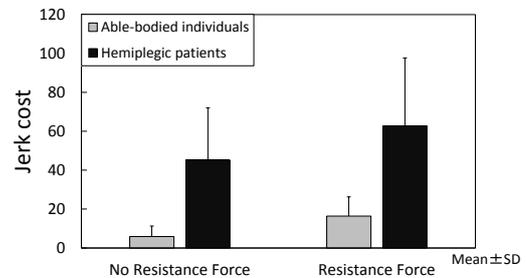


Fig.9 Jerk cost

6. 結言

本研究では、卓上でリハビリ動作が可能なロボットを開発した。また、開発したリハビリロボットを使用してリーチ動作における健常者と片麻痺者の巧緻性の違いについて定量的に比較検討を行った。検討の結果、片麻痺者のリーチ動作の巧緻性は健常者に比べて定量的に劣ることが確認できた。

今後は、開発したリハビリロボットを使用して片麻痺者に対してリハビリを行い、回復の進捗状況を定量的に評価することを検討する予定である。

文 献

- 1). Chida,S., Matsunaga,T., Sato,M., Hatakeyama,K., Iwami,T., Kosaka,T. and Shimada,Y. (2010) Analysis of reaching movements with the addition of resistance forces in the horizontal and vertical planes using a robot arm in non-disabled individuals. Akita J Med 37: 143-152