

上肢動作支援ロボットによる物体との接触を考慮した伸展力支援制御

Assistance Control of Extension Force Considering Contact with Object Using Motion Assist Robot for Upper Limb

○米沢圭史 (三重大工) 水谷直人 (三重大工) 坂本良太 (三重大医附属病院) 矢野賢一 (三重大工)
青木隆明 (岐阜大医附属病院) 西本裕 (岐阜大医) 小林安之 ((株) ルミナスジャパン)

Keishi YONEZAWA, Naoto MIZUTANI, Ken'ichi YANO, Faculty of Engineering, Mie University

Ryota SAKAMOTO, Mie University Hospital

Takaaki AOKI, Gifu University Hospital

Yutaka NISHIMOTO, Gifu University School of Medicine

Yasuyuki KOBAYASHI, Luminous Japan Co.,Ltd.

Abstract: Cervical Cord Injury is representative example of disability of upper limb function. Specifically, there are a lot of people which suffered from C5 level cervical cord injury. They can't exert extension force in elbow joint in daily living. In this study, we develop extension force support system which bases on operator's volition under the effect of external force by using motion assist robot for upper limb.

Key Words: Cervical Cord Injury, Extension Force, Daily Living Support, Motion Assist Robot

1. 緒言

主に交通事故が受傷原因とされる肢体不自由者の代表的なものとして頸髄損傷がある。その中でも C5, C6 レベルの頸髄損傷者が多く、その主な症状として、体幹筋、下肢、手先に麻痺が生じ、特に肘関節において伸展力を発揮することができない。このために、自立した日常生活を送る際に必要な動作である物体(ドア)を押す動作、プッシュアップ動作、車椅子操作などを行うことができない。したがって、伸展力を支援することが必要となる。

最近では、障害者自身の身体機能を回復させるためのリハビリテーションや低下した身体機能を拡張する可能性があるものとしてウェアラブルロボットの研究・開発が盛んであり、様々なものが提案され注目されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

これまで著者らも、上肢に機能障害をもつ人を支援するために装着型で1軸タイプのロボット(以下、アクティブギプス)を開発してきた⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本ロボットは、長時間の使用や操作性を考慮し、軽量化することを実現した。アクチュエータにはブラシレス DC モータを用い、高トルク性を得るためにギアボックスにはウォームギアを用いている。また、人体とロボットの装着のずれを防止し、支援力の伝達特性を向上させるために、Fig. 1 に示すような柔らかい素材と強固な素材を複合的に使用した新しい装具を開発した。

本研究では、C6 レベル以上の頸髄損傷者において、本研究で開発されたアクティブギプスを用いて肘関節における伸展力を支援することのできるシステムを構築する。伸展力を支援する際の対象として、日常生活において困難な動作であると考えられる物体(ドアなど)を押す場合について検討する。

2. 伸展力支援制御

まず始めに、C5 レベルの頸髄損傷者に物体を押す動作を行なってもらい動作検証を行った。荷重計測器を台車に取り付け、センサ部に手を当て台車を押してもらい、このときの水平方向発揮力を計測した。

結果として、5.27[N] 程度の伸展力が残存していることがわかった。しかし、この程度の伸展力では一般的なドア

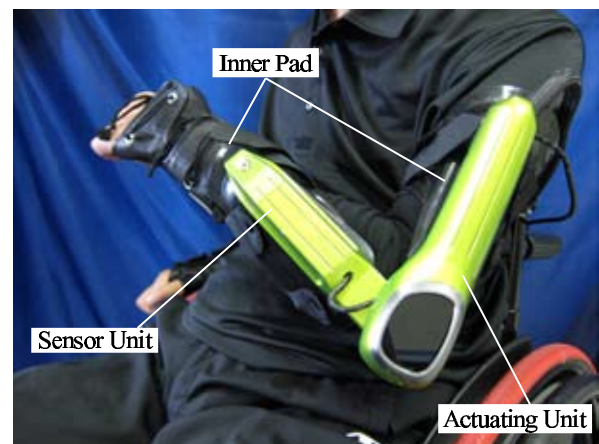


Fig. 1 Motion Assist Robot for Upper Limb

を開ける際の最大開扉力 22[N] と比較すると、日常生活で必要とされている伸展力を満足できていない。一方で、わずかな伸展力を発揮することができるため、この残存している伸展力を用いることで、接触状態での動作意志取得が可能になると考え、物体を押す時の接触面である手のひらに、圧力センサを装着した。このセンサを用いることで、接触力に応じた伸展力 f_e を決定する。伸展力 f_e は、圧力センサにおける力と電圧の特性を考慮して導出した $f_e = 0.0578V^3 - 0.0313V^2 + 0.4857V$ を利用する。

支援中においても、装着者の意思通りに屈曲力を発揮できるようにするため、モータの電流値に着目し、設計パラメータ α を超える電流値の変化があった場合には、装着者が屈曲動作を行ないたいという動作意志として扱う。このパラメータは、あらかじめ装着者の方に対象物を押しってもらうことで設定した。実際に、対象物を押ししている際、本人の意志でロボットを用い屈曲力を発揮してもらった時の電流値の変化は予測通りのものとなった。

$$f_a = \begin{cases} \text{ExtensionForce} & (\text{Current} \leq \alpha) \quad (1a) \\ \text{ExtensionForce} + \text{FlexionForce} & (\text{Current} > \alpha) \quad (1b) \end{cases}$$

ここで、電流値が α 以下の場合、支援力 f_a は手のひらの圧力センサから得られる接触力に応じた伸展力となり、電流値が α を超える場合、支援力 f_a は屈曲力を発揮する。

3. 検証実験

C5 レベルの頸髄損傷者の方に対してロボットを用いた場合の伸展力を計測した。また、日常生活を送るために 22[N] 以上の伸展力が必要とされるため、実験で用いた台車は水平方向に 30[N] 以上の力で動き始める設定とした。ロボットによる支援がない場合は伸展力の最大値が 5.27[N] であり、台車自体も動かなかった。これに対して、Fig. 2 のように、ロボットを用いて支援を行った場合の最大伸展力は 33.75[N] であった。これは支援がない場合の約 6 倍の伸展力であり、台車もスムーズに押せていることが確認できた。

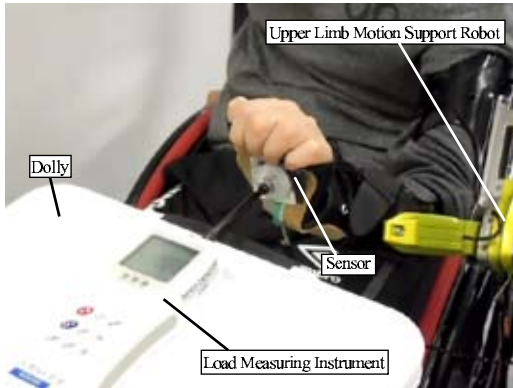


Fig. 2 Experiment environment

さらに、伸展力支援時においても意志通りの動作を行うことができるかどうかを検証するための実験を行った。被験者の方にパソコンのディスプレイ上に肘関節の角度を表示し、ロボットの支援力を用いて伸展力を発揮してもらった。このときの肘関節の角度が $-30[\text{deg}]$ と $-60[\text{deg}]$ を目標にし、この角度になったときに、被験者の動作意志によりロボットを屈曲させるように動作を行なってもらった。ここの角度は、Fig. 3 に示すように設定した。



Fig. 3 Experiment environment

屈曲動作を行なう際、動作意志の取得方法として、屈曲力を発揮してもらうが、屈曲力が動作意志の基準となっているのかを確認するために、筋電位センサを用いた。Fig. 4 より、こちらが提示した $-30[\text{deg}]$ と $-60[\text{deg}]$ 付近において、屈曲動作を行なっている。このとき、上腕二頭筋の筋電位信号が検出されており、電流値が設定パラメータ α を超えて、支援力 f_a が屈曲力を発揮しており、本人の意志通りに屈曲動作を行なえることが確認できた。

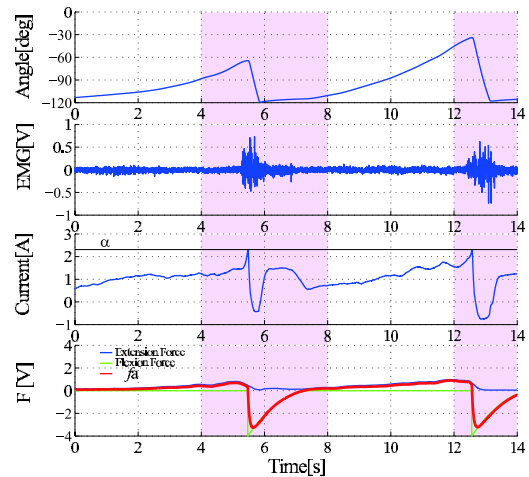


Fig. 4 Experiment result

4. 結言

頸髄損傷者にとって困難である物体（ドアなど）を押す動作に必要な伸展力について検討し、物体との接触状態においても、伸展力を支援することを可能なシステムを構築した。また、支援中におけるアクチュエータの電流値の変化を考慮することで、伸展力支援時においても装着者の意志で装置を屈曲させることを可能にした。このため、伸展力支援時においても外力の影響に対して対応可能なシステムであると考えられる。

参考文献

- (1) 山海嘉之, 佐藤帆純, 川畑共良, 田中文映, “ロボットスーツ HAL による移乗介助動作の支援”, 日本機械学会論文集, C 編巻: 76 号, pp.227 - 235, 2010.
- (2) 山本圭治朗, 石井峰雄, 兵頭和人, 高橋勝美, 松尾崇, 若井由友, “介護者用パワーアシストスーツの開発”, 福祉工学シンポジウム講演論文集, pp.158-161, 2008.
- (3) “アクティブリンク株式会社”
<http://psuf.panasonic.co.jp/alrc/>
- (4) E.Ohara, T.Watanabe, K.Yano, T.Oishi, T.Aoki and Y. Nishimoto, “Assistance Control of Wheelchair Operation Using Active Cast for the Upper Limb”, Proc. of IEEE ICRA, pp. 2223-2228, 2011
- (5) T.Enya, M.Yamane, H.Nakamura, T.Aoki, Y.Nishimoto, K.Yano, “Upper Limb Flexion Assistance Based on Minimum-Jerk Trajectory Using Wearable Motion-Assist Robot”, Proc. of IFAC World Congress, pp. 5962-5967, 2011
- (6) T.Watanabe, K.Yano, T.Aoki and Y.Nishimoto, “Extension Motion Assistance for Upper Limb Using Proxy-Based Sliding Mode Control”, Proc. of IEEE SMC, pp. 2885-2890, 2011