

開閉動作を力覚提示する小児用筋電制御ハンドの開発

Development of A Myoelectric Controlled Hand
with A Continuous Kinesthetic Feedback Mechanism

○秋道奈々緒 (筑波大) 下柿元智也 (筑波大) 江口清 (筑波大学付属病院) 鈴木健嗣 (筑波大/JST)
Nanao AKIMICHI, University of Tsukuba, Tomoya SHIMOKAKIMOTO, University of Tsukuba
Kiyoshi EGUCHI, University of Tsukuba Hospital, Kenji SUZUKI, University of Tsukuba/JST

Abstract: It is quite difficult to learn how to operate a myoelectric prosthetic hand. For persons with congenital forearm defects, we have been developing a myoelectric hand with a continuous kinesthetic feedback function which allows users to perceive opening and closing movement of the gripper by the force stimulus. The developed hand uses a transfer mechanism, which creates a continuous force stimulus in real time. Throughout several experiments carried out on a healthy subjects and a child with a congenital forearm defect, we confirmed the ability to perceive the stimulus of pressing force applied at the end of the affected side forearm. These experiments suggest a potential benefit to support leaning of grasping behavior with a myoelectric hand through the use of force stimulus.

Key Words: Prosthesis, Motor Training, Sensory Feedback, Rehabilitation

1. はじめに

筋電義手は生体電位信号に基づき手先開閉動作が可能である義手である。先天性上肢欠損児はボディイメージを形成するため、装飾義手の着用と筋電義手訓練を段階的に行なっていくべきであると考えられている。例えば陳ら⁽¹⁾は先天性上肢欠損児の成長に伴う筋電義手訓練システムについて報告している。小児用筋電義手の手先を操作するためには、対になる前腕の2つの筋活動を随意的に制御する必要がある。そのため小児は主に義手手先の開閉という視覚情報のみを頼りに、今まで意識的に使用したことがない筋活動を学習する必要がある。

義手の利用時に適切な感覚フィードバックを付与するため、手先の力を体幹や上腕部にフィードバックする研究が多く行われている。加藤ら⁽²⁾は手先の力を電気刺激でフィードバックすることで、fMRIにより脳活動に優位な差があることを示している。そこで本研究では、義手操作の訓練のために手先の開閉動作に着目し、手先の開閉動作に伴う連続的なフィードバック機能を有する義手の開発を目指す。認知運動療法で重要性が述べられている体性感覚を刺激するために、フィードバックは力覚で提示する。提案する力覚提示法はコントローラを介さず機械的な伝達機構のみで構築し、空間的・時間的に整合性の高いフィードバックを実現し運動学習の促進を目指す。

2. 提案手法

提案する力覚提示による把持動作学習支援の概念図を図1に示す。義手装着者は随意的な筋活動により義手の手先を操作させる。ここでは手先の開閉動作に伴う力覚提示により体性感覚を刺激し、自身の意志により義手が動作することを知覚させ把持動作学習を支援することを目指す。なお一般に、動作中に生体電位信号の有無を確認することは困難である。そこで生理現象を知覚信号へ変換するバイオフィードバック療法を考慮し、筋電位信号をLEDを用いて可視化することで、筋活動を装着者やリハビリテーションの指導者に把握させることを支援する。

開発した筋電制御ハンドのハードウェア構成図を図2に示す。人が筋肉を動作させる際に発生する生体電位信号を乾式アクティブ電極 (Ottobock 社製 13E200) により皮膚

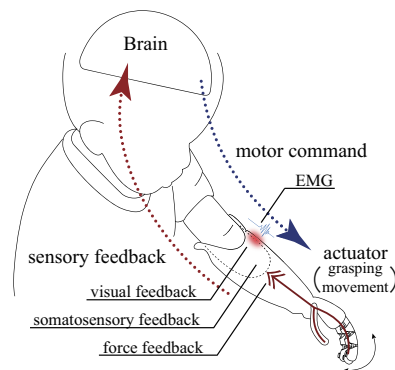


Fig. 1 A schematic diagram of the proposed grasping behavior learning system

表面において計測する。ここでは前腕の橈側手根屈筋と長橈側手根伸筋からの表面筋電位信号を使用する。増幅率は20k~100kの範囲で調整可能とする。アクティブ電極内で信号を増幅し90Hz~450Hzのバンドパスフィルタを通した後、積分筋電位を得る。積分筋電位信号はマイクロコントローラ (dsPIC30F4012) により10bit ADコンバータを通じてサンプリング周波数2kHzで取得する。伸筋・屈筋に対する信号が事前に定めた閾値を超えた時、それぞれモータを正回転・逆回転させる信号をマイクロコントローラから出力する。なお両側の信号が共に閾値より低い場合はブレーキ状態、共に閾値より高い場合は伸筋を優先させモータを正回転する。モータの回転運動は滑りネジにより直動運動へと変換する。滑りネジに取り付けたシャフトの一端はグリップに、他端は弾性体に接続する。グリップは玩具のマジックハンドの機構を利用し、シャフトがグリップが開く方向へ動作するとき弾性体を装着者の前腕から離れるように動作させ、グリップが閉じる方向へ動作するときには弾性体を装着者の前腕へと押し付けるよう動作させる。被験者の前腕長さの制限からグリップ開閉に伴うシャフトの直動距離を15mmとし、直動運動中弾性体は常に皮膚に接する状態で動作させる。以上より、グリップ開閉動作をコントローラを介すことなく機械的な伝達機構を利用して直接皮膚上に力覚提示を行うことで、時間的に整合性

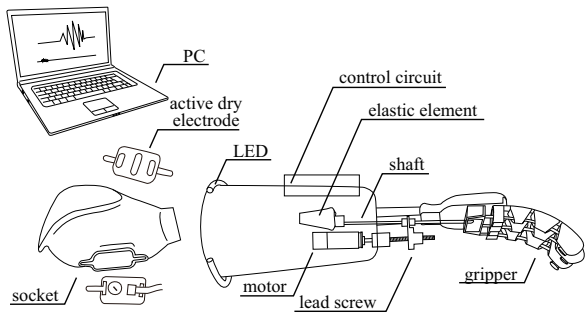


Fig. 2 A schematic diagram of the developed hand system

の高いフィードバックを与えることが可能となる。なお筋電制御ハンドはソケットを介して装着し、筋電制御ハンドを使用する際の積分筋電位を有線接続を通じてコンピュータに記録する。

3. 健常者フィードバック評価実験

装着者への力覚提示が有効であるかを検証するために、力覚提示のみにより筋電制御ハンドを使用し開閉・把持感覚を知覚可能かを評価する。被験者は筋電義手の操作を行ったことのない健常者5名(男性5名、20代)とする。被験者の左手前腕に電極を貼り付け、左前腕の内側に力覚提示部の弾性体を接触させた状態で左腕と筋電制御ハンドを机に固定する。実験中、被験者には閉眼し耳栓とヘッドホンを着用させるとともにランダムノイズを聴取させることで視覚と聴覚から得る情報を制限し、筋電制御ハンドからの感覚フィードバックを力覚提示のみとする。筋電制御ハンドは重さ150gの対象物を把持するように設置する。被験者は左前腕からの筋電位によりハンドを操作する。グリップを閉じる動作中、左前腕への力覚提示から対象物を把持したと感じた瞬間に右手でスイッチを押し、その後グリップを開く動作を一連の動作とし、これを5回繰り返すよう指示する。課題終了後、グリップが閉じていく感覚・グリップが開いていく感覚・対象物を把持した感覚について、それぞれ「よく分かる」から「全くわからない」までの5段階の主観評価を得る。なお被験者は、予め視覚と聴覚を遮らない状態で2回物体を把持して力覚提示の感覚を体験した後に実験を開始する。

得られた5段階評価の結果を図3に示す。筋電義手ハンドの力覚提示により、多くの被験者がグリップの開閉動作が「よくわかる」、「少しわかる」と回答しており、力覚により開閉感覚を知覚させることが可能だと示された。一方把持感覚については個人差が見られるが、把持感覚を得られなかった被験者からは、把持したという感覚は得られないがグリップがこれ以上動かないことは理解できるという意見があった。これより力覚に視覚を重畳することで、把持動作の知覚支援も行えることが示唆される。

4. 実証実験

筑波大学附属病院リハビリテーション部の協力のもと、先天性左前腕欠損の4歳の男児を対象とし、開発した筋電制御ハンドの装着試験及び欠損側前腕先端部に対する力覚提示の知覚実験を行う。対象被験者は月に1~2度筋電義手装着に向けてリハビリテーション訓練を行なっている。これまで左前腕に電極をつけて筋電義手(Ottobock社製)を動かす訓練を7ヶ月計14回行なっている。対象児の欠損側の前腕に対しソケットおよび筋電制御ハンドを装着し

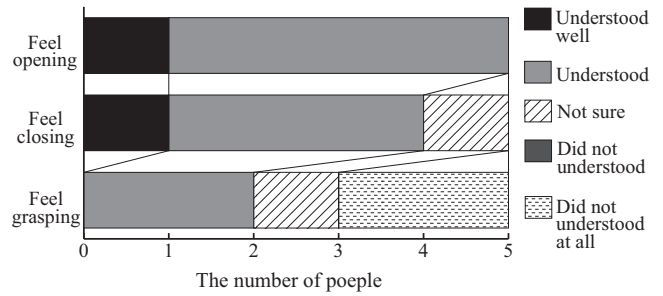


Fig. 3 Qualitative evaluation of gripper movement

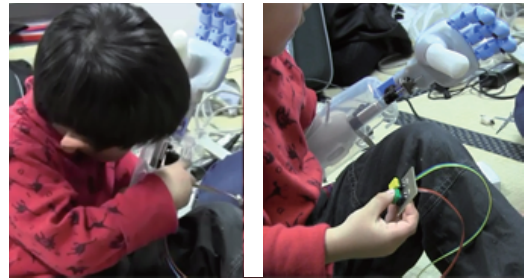


Fig. 4 Evaluating the developed myoelectric prosthetic hand on a child with a congenital forearm defect

外部からのスイッチにより実験者がハンドを操作させ、手先の開閉時にそれぞれ力覚提示部が離れていく、押し付けられることが知覚できているかを観察する。

図4に実証実験の様子を示す。複数回の試行により、対象児より腕先端部に対する力覚提示への反応をみる事ができた。力覚提示部が動作している様子を見たり(図4左)、「ぐにゅってしている」との意見を聞くことができた。これより腕先端部への力覚提示の知覚を確認できたため、開発した筋電制御ハンドを用いた筋電義手の把持動作学習への応用の可能性が示された。

5. まとめと今後の展望

本研究では、把持動作学習を支援する新たな運動訓練法のための力覚提示機能を有する筋電制御ハンドの開発を行った。健常者による評価実験から、開発した筋電制御ハンドの力覚提示により手先の開閉感覚をフィードバックできることが示された。また先天性前腕欠損児への評価実験を通じ腕先端への力覚知覚を確認したことから、開閉感覚を力覚によりフィードバックを行う把持動作学習への応用可能性を示した。

評価実験の対象児が、前腕へ力覚提示部が押し付けられる感覚と離れていく感覚を異なる感覚として知覚できているかや、それらの感覚を手先の開閉と結び付けられているかについて本稿の評価実験では確認できなかったため、引き続き検証していきたい。

参考文献

- (1) 松原ら, 成長に合わせた小児筋電義手訓練システムに関する研究, *HiAT Report 2010*, 福祉のまちづくり研究所報告集, pp.95-100, 2010.
- (2) A.Alejandro Hernandez, Ryu Kato, Hiroshi Yokoi, Ramio Arai, Takashi Ohnishi, "An fMRI study on effects of electrical stimulation as biofeedback," *IEEE/RSJ IROS*, pp. 4336-4342, 2006.