
電動義手における入力装置の多様化に関する研究

Development of a System for Improving Usability of an Electrically-Powered Prosthetic Hand

原 良昭 赤澤康史 中村俊哉 松原裕幸

HARA Yoshiaki, AKAZAWA Yasushi, NAKAMURA Toshiya, MATSUBARA Hiroyuki

陳 隆明 柴田八衣子 溝部二十四 深澤喜啓 岡本真規子 (兵庫県立総合リハビリテーションセンター)

CHIN Takaaki, SHIBATA Yaiko, MIZOBE Futoshi, FUKAZAWA Yoshihiro, OKAMOTO Makiko
(Hyogo Rehabilitation Center)

キーワード:

筋電義手、電動ハンド、習熟度

Keywords:

Myoelectric hand, Electric hand, Proficiency

Abstract:

The aims of this study are to develop a device to control an electrically powered prosthetic hand for congenital upper limb deficiency to improve a usability of the hand, and to develop a quantitative evaluation method for proficiency to control a myoelectric hand that needs two signals to control a motion of the hand for suitable therapy.

In last year, we developed the quantitative evaluation method and evaluated proficiency of four users. In this year, change of proficiency of controlling skill with occupational therapy was measured during the hospital stay by the modified developed evaluation method.

1 はじめに

上肢欠損者は義手を用いることで欠損している上肢機能の一部を代償できる。一般的な義手には掌と手指に相当する手先具と呼ばれる部位があり、義手が代償できる機能は手先具によって特徴づけられる。手先具の1つに電動ハンドがあり、電動ハンドの開閉を筋電位によって制御している義手を筋電義手という。

臨床現場では、通常、2つの独立した制御信号の振幅情報によりその開閉が制御される電動ハンドが用いられる¹⁾²⁾。

昨年度、我々は、電動ハンドの使いやすさの向上

を目的として、「電動ハンド用入力装置の開発」と「筋電義手制御能力の評価手法の開発」を行った³⁾。

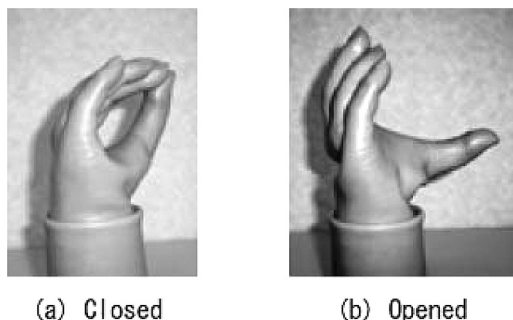
本年度では、昨年度に開発した「筋電義手制御能力の評価手法」を応用して筋電義手練習者の入院から退院までの「筋電位制御能力」の時系列変化を評価したので報告する。

2 筋電位制御能力の評価手法

2.1 筋電位制御能力の定義

日本において一般的であるOtto Bock社の電動ハンドでは2つの独立した制御信号(以下、信号1、信号2)を持ち、信号1と信号2のどちらが先に設定されている閾値を越えたかによって電動ハンドの開閉を制御する方法(First Over方法: FO方法)が用いられている²⁾⁴⁾⁵⁾。本研究ではOtto Bock社製FO方式の電動ハンドの使用者を評価対象とする。

FO方法では、信号1が閾値を先に越えると電動ハンドは開き始め、信号2だと閉じ始め、また、両方の信号が閾値を越えた場合は、先に閾値を越えた信号の動作を続ける。また、FO方法は、「信号の振幅に応じて電動ハンドの把持力と動作速度が変化する比例制御方式」と「信号の振幅によらず把持力と動作速度が一定なOn-Off制御方式」の2つの制御方式に分類できる¹⁾⁵⁾。



(a) Closed

(b) Opened

図1 開閉時の電動ハンド

Fig. 1 Typical electrically-powered hand

筋電義手の信号1と信号2には、通常、前腕断端部に残存する手関節背屈筋群（以下、背屈筋群）と手関節掌屈筋群（以下、掌屈筋群）の整流平滑化処理がされた筋電位（Average rectified value:ARV）が用いられる¹⁾。

医療スタッフは筋電義手の使用者に対して電動ハンドを使用者の意図通りに開閉できるように各筋のARVを制御できるようになる練習内容を提供する^{2) 6)~9)}。また、比例制御方式の電動ハンドを制御できればOn-Off制御方式の電動ハンドも制御でき、また、On-Off制御方式よりも比例制御方式のほうが電動ハンドの開閉速度や把持力を変化させることができるため筋電義手の使用者からの評価が良いことから¹⁰⁾、通常、比例制御方式の電動ハンドが制御できるようになることを目標とする^{2) 6)}。

電動ハンドは先に閾値を越えた信号側の動作を行うため、主動筋群のARVが先に閾値を越えさえすれば電動ハンドの開閉は制御できる。つまり、主動筋群のARVが先に閾値を越えていれば、拮抗筋群のARVはどのような値でもよい。しかし、電動ハンドの開閉による筋疲労を抑えるには、主動筋群のみが収縮しており、拮抗筋群は収縮していないこと、すなわち、拮抗筋群のARVは小さな値であることが望ましい。

また、比例制御方式では主動筋群のARVの値によって電動ハンドの把持力と動作速度が変化する。そのため、比例制御方式では、主動筋群のARVを閾値から電動ハンドの把持力と動作速度が変化する入力範囲の上限まで変化できるようになることが重要となる²⁾。

これらの理由により、筋電義手を使うための練習では、「拮抗筋群のARVを小さくしながら、主動筋群のARVを大きくできる能力の向上」を目標とする。

本研究では「拮抗筋群のARVを小さくしながら、主動筋群のARVを大きくできる能力」を“筋電位制御能力”と定義した。

2.2 筋電位制御能力の評価手法

本研究では、筋電義手の練習で行っているように被験者に電動ハンドが開閉するように各筋群を活動させてもらい、電動ハンドが「開く」ように各筋群を活動させたときでは、主動筋群と背屈筋群のARVが割り当てられている信号1を説明変数、拮抗筋群となる掌屈筋群のARVが割り当てられている信号2を目的変数、電動ハンドが「閉じる」ように各筋群を活動させたときでは、信号2を説明変数、信号1を目的変数とした切片が0である直線回帰を求め、その傾きによって筋電位制御能力の評価を行った。回帰直線の傾きは小さい方が「拮抗筋群のARVを小さくしながら、主動筋群のARVを大きくできる能力」が優れていることを示す。

3 測定内容

筋電義手使用者1名における筋電義手の使用訓練の開始約2週目から退院約1ヶ月前までの筋電位制御能力を評価した。

本研究では、被験者の目前に、2秒ごとに色が赤と緑に変化する円を描写しているモニタを設置し、次の2つの測定を行った。

まず、被験者に円が緑であれば、電動ハンドが「開く」ように各筋群を活動させるように、赤であれば「休憩」し各筋群を弛緩させるように指示し、このときの円の色を制御する信号および欠損前腕部に残存する背屈筋群のARVと掌屈筋群のARVをサンプリング周波数1kHzで測定した。この測定を測定1とする。

次に、円が緑であれば、電動ハンドが「閉じる」ように各筋群を活動させるように、赤であれば「休憩」し各筋群を弛緩させるように指示し、同様に円の色を制御信号と各筋群のARVを測定した。この測定を測定2とする。

測定には、入力範囲が±10V、A/D分解能は16bitのA/Dコンバータを用いた。各筋群のARVの導出には筋電義手用電極（13E200、Otto Bock社）を用いた。筋電義手用電極13E200には増幅回路も内蔵されており、その増幅率は2,000から100,000倍まで変化させられる。増幅率は作業療法士や義肢装具士などの医療スタッフによって電極ごとに調整されており、増幅率は測定ごとに異なっている。また、電極の設置場所も断端部の形状変化や得られる信号の強さなどの理由によって医療スタッフの判断のもと変更されていることがある。

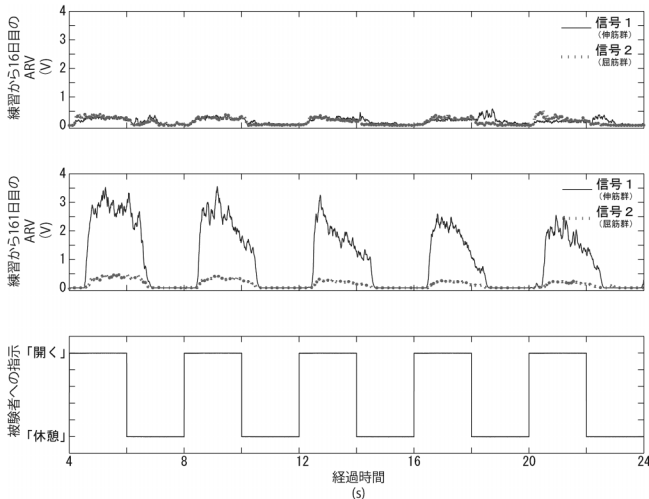


図2 「開く」活動時の各筋群のARVと被験者への指示
Fig.2 ARVs and direction for subject

測定時における被験者の切断側上肢は肩関節屈曲0度・外転0度、肘関節90度屈曲、前腕回内外中間位とした。

測定は被験者に研究の目的を説明し、測定への同意を得てから行った。

4 結果

測定1を行ったときの各筋群のARVとモニタの制御信号を図2に示す。図2の上段は、筋電義手の練習開始から16日目の各ARVを、中段は161日目の各ARVを、下段はモニタの指示を示している。

被験者への指示となるモニタの制御信号を用いて、「開く」および「閉じる」の各指示時の信号を切り出した。各指示における501から1,000サンプル、すなわち、0.5秒後から1秒後までの0.5秒間の信号を用いて筋電位制御能力を算出した。

図3に筋電位制御能力の時間変化を示す。各日の箱ひげ図の作成に用いたデータ数は5である。図3の縦軸は筋電位制御能力を示しており、その値が1であれば各筋群のARVの値が等しく、1を越えていれば主動筋群よりも拮抗筋群のARVの振幅が平均的に大きく、1を下回っていれば平均的に小さいことを示している。

図3は、筋電義手の練習を経るにつれて、筋電位制御能力が「開く」および「閉じる」とともに向上していることを示している。

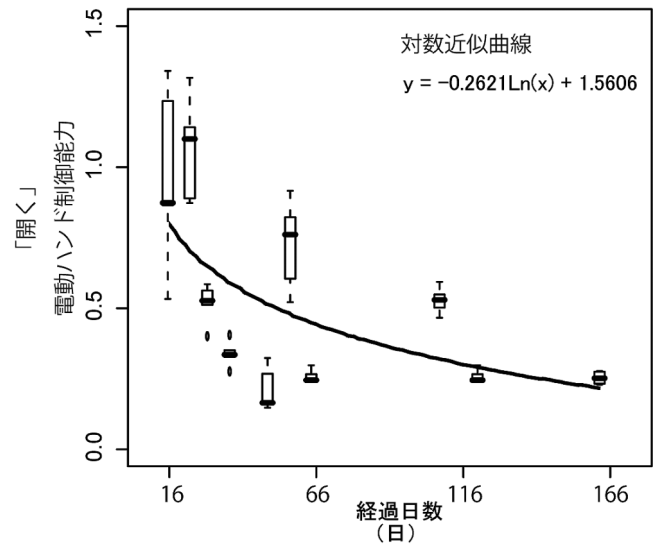
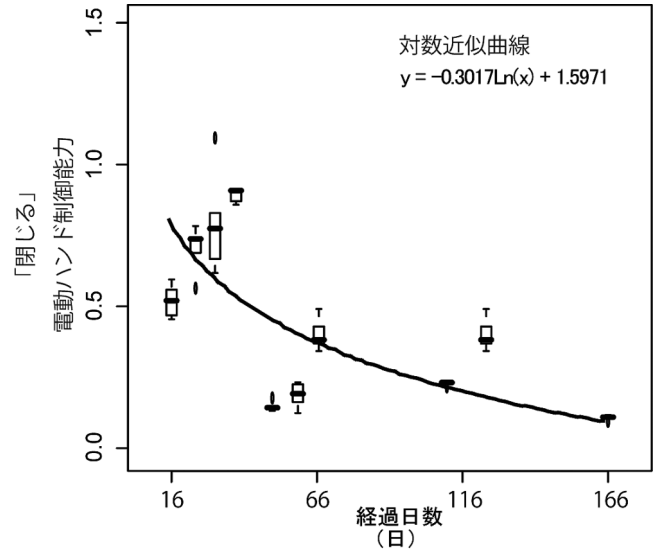


図2 「開く」活動時の各筋群のARVと被験者への指示
Fig.2 ARVs and direction for subject

5 考察

被験者が使用する予定であったOtto電動ハンドの動作閾値は0.6Vであり、図2の信号1に着目すれば、練習開始16日では、電動ハンドが「開く」ように筋群を活動させても、主動筋である伸筋群のARVに電動ハンドを動作させるに十分な振幅が生じておらず、それにともなって、「開く」を指示されたときと「休憩」を指示されたときの振幅の差が小さいことが分かる。

一方、練習開始161日では、電動ハンドが「開く」ように筋群を活動させることによって十分な振幅のARVが生じていることを図2は示している。

また、信号2に着目すれば、16日目および161日目ともに「開く」ときの振幅はほぼ同じであり、図3に示される電動ハンド制御能力の向上の原因となっ

ている。

本研究で提案した「電動ハンド制御能力」は「拮抗筋群のARVを小さくしながら、主動筋群のARVを大きくできる能力」の評価であり、ARVの値が変化した理由は分からない。しかし、「電動ハンド制御能力」の向上の被験者に起因する要素として「筋電義手の練習によって、断端部の筋群の活動が活発になり、不活動であった運動単位群も活動するようになったこと」が考えられる。また、被験者に起因しない要素として「信号の増幅率の変更」、「電極の設置場所の変更」が考えられる。

現在、Otto Bock社製筋電義手における信号の増幅率は、信号のモニタはされているが、基本的には医療スタッフの臨床経験に基づく主観によって決定されているが、“電動ハンド制御能力”は、信号の増幅率を決定するときの定量的指標になると考えられる。例えば、信号2の増幅率を変化させずに、信号1の増幅率を低下させると、信号1の振幅は小さくなると同時に電動ハンドを「開く」ように筋群を活動させたときの回帰直線の傾きは増加する。そのため、提案する評価手法を用いれば、電動ハンドの動作に必要な振幅を維持したまま、“電動ハンド制御能力”を高くできる増幅率を選択することが可能となる。

電極の増幅率と同様に、電極の位置も医療スタッフの臨床経験に基づき決定されている。電極の位置によって同じ筋であっても得られる筋電位の振幅は異なるため、電極の位置によって“電動ハンド制御能力”も異なると考えられる¹⁰⁾。そのため、増幅率と同じく電極の位置決めにおいても“電動ハンド制御能力”は定量的評価指標になると考えられる。

6 まとめ

本研究では、電動ハンド制御能力として、電動ハンドの動作を制御する信号を電動ハンドの使用者が練習にそった内容で生成できているかを評価する手法を提案し、その手法を用いて、筋電義手の練習開始約2週目から退院1ヶ月前までの約150日にわたり、電動ハンド制御能力の変化を測定し、筋電義手の練習によって電動ハンド制御能力が向上していること定量的に明らかにした。

今後の課題としては、電動ハンド制御能力の日内変動や測定姿勢による変化を明らかにすることが必要である。

また、今回の測定では、被験者が1名であったが、今後、症例数を増やすことで、「電動ハンド制御能力がどの程度なら筋電義手の装着を行えるか」や

「退院時の電動ハンド制御能力と筋電手の使用率」などを医療スタッフの協力を受けながら明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 川村次郎、青山孝、古川宏：「動力義手の最近の進歩と臨床応用－筋電義手を中心に－」、リハビリテーション医学、Vol.34, No.1 pp.70-76, 1997
- 2) 陳隆明：「筋電義手訓練マニュアル」、全日本病院出版会 p.44, 2006
- 3) 原良昭、赤澤康史、中村俊哉、松原裕幸、陳隆明、柴田八衣子、溝部二十四、深澤喜啓、岡本真規子：「電動義手における入力装置の多様化に関する研究」、福祉のまちづくり工学研究所報告集平成18年度版全、pp.120-125, 2007
- 4) C. Lake and J. Miguelez: “Comparative Analysis of Microprocessors in upper limb prosthetics”, J Prosthet Orthot, Vol.15, No.2 pp.48-63, 2003
- 5) 赤澤堅造、奥野竜平、菊谷功：「動力義手・装具の研究開発の現状と未来」、日本ME学会雑誌、Vol.13, No.2 p.35, 1999
- 6) 柴田八衣子、大塚博、澤村誠志、陳隆明、中川昭夫、中村春基、大庭潤平、溝部二十四、山下英俊、深澤喜啓：「筋電義手の装着訓練とメンテナンス－実際の症例から－」、日本義肢装具学会誌、Vol.17, No.4 pp.249-256, 2001
- 7) A. C. Dipont and E. L. Morin: “A Myoelectric Control Evaluation and Trainer System”, IEEE Trans. Rehabilitation Engineering, Vol.2, No.2 pp.100-107, 1994
- 8) S. Hubbard, H. R. Galway and M. Milner:「Myoelectric training methods for the preschool child with congenital below-elbow amputation」, J Bone Joint Surg Br, Vol.67-B, No.2 pp.273-277, 1985
- 9) L. M. Hermansson:「Structured training of children fitted with myoelectric prostheses」, Prosthet Orthot. Int., Vol.15, No.2 pp.88-92, 1991
- 10) HH. Sears and J. Shaperman:「Proportional myoelectric hand control:An evaluation」, Am. J. Phys. Med. Rehabil, Vol.70, No.1 pp.20-30, 1991