

筋電義手在宅練習支援システムの開発研究（第一報）

Development research of portable device to assist in-home myoelectric hands training

根本和彦 本田雄一郎 赤澤康史

NEMOTO Kazuhiko, HONDA Yuichiro, AKAZAWA Yasushi

陳 隆明 柴田八衣子 溝部二十四

(兵庫県立リハビリテーション中央病院)

CHIN Takaaki, SHIBATA Yaeko, MIZOBE Futoshi (Hyogo Rehabilitation Central Hospital)

キーワード：

筋電電動義手、訓練システム、可視化

Keywords:

Myoelectric upper limb prostheses, Training system, Visualization

Abstract:

In our former research, we have got a good result using visualization equipment for myoelectric signals. In this research, we try to expand the application of the visualization equipment not only in the rehabilitation center, but also at patient's home.

We have added three functions to the visualization equipment at this time: 1) protection circuit on the transmitter, 2) new cable connection and 3) wired connection.

One of successful case of training a child to use a myoelectric hand using the visualization equipment was also presented. It is observed that the waveform of myoelectric signal changes. Through comparing the myoelectric signal with the movement of the myoelectric hand, a connection failure was found easily before confusing is occurred by the child.

1 はじめに

筋電義手のハンド部の開閉操作には、自在に筋電位出力を調節できるスキルが必須である。

筆者らは、平成24年度に筋電義手装着中にも使用可能な無線式筋電位波形表示装置を開発し、施設内訓練において試用を行った。その結果、筋電位波形

を表示することにより、義手使用中の筋電信号の経時的変化、肢位による筋電位出力の変化、義手動作不良時の問題個所の絞り込み等が視覚的に判別可能となった。

本研究では、開発した筋電義手練習支援システムをさらに発展させ、施設外でも使用可能なより堅牢なデバイスの開発を行うことで、在宅における筋電義手操作練習を可能にし、勤労者が筋電義手の練習に取り組みやすくするとともに、これまでの施設内練習をより効率的に行えるようにすることを目的とする。当該デバイスによりセラピストあるいは成人にあっては本人が筋電義手操作における問題点を的確に把握できるようになるため、モチベーション向上にともなう練習頻度増加、その結果としての練習期間の短縮につながることを期待できる。

本稿では、今年度行った表示装置の改良点と、継続的に表示装置を使用している症例1名について報告する。

2 改良点

今年度行った改良点および検討点は3点あり、保護回路の取付け、センサーケーブルの分岐方法、信号伝達の有線化である。各詳細を以下に示す。

2.1 送信器への保護回路取付け

(1) 故障の発生

筋電位表示装置を成人用筋電義手に取り付けて使用中に、送信器の故障が発生した。発生した状況は、義手にバッテリーが装着されている状態で、電動ハンドが義手から脱落した場面である。

オートボックス社製の成人用筋電義手システムで

は、前腕切断長断端より近位の切断に対してはクイックチェンジ式の手継手（図1）が用いられる。このクイックチェンジ式手継手は、電動ハンドを取り付けた角度から、同一方向へ300°程度回旋させると簡単に手先具を取り外せる仕様となっている。電動ハンドを着脱する際には、義手からバッテリーを取り外すように推奨されている。一方で、電動ハンドの向きを手継手部分で回旋させることは、目的とする動作を行いやすくするための基本動作の一つである。以上のことから、義手使用中に電動ハンドの脱落はしばしば起こりえる。そのため、送信機がハンドの脱落時に、故障しないよう対策が必要となる。



図1 クイックチェンジ式手継手（オットーボック社製）
Fig.1 Quick Disconnect Wrist (Otto Bock)

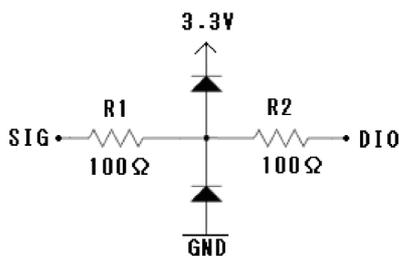
(2) 原因

故障発生時の状況を再現して、送信機にかかる電圧を測定したところ、信号線に10V程度の入力パルスが確認された。この信号線からの負荷により送信機のXBee Series1 (Digi International Inc.) が故障したものと考えられる。

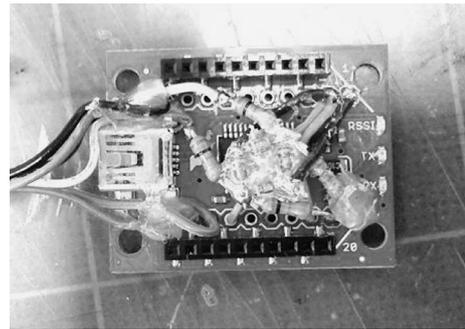
(3) 保護回路の取付け

信号線から入ってくる高電圧パルスから送信機を保護する回路（図2）を作製し、送信機のXBee Explorer (SparkFun) 基板上に取り付けた。この回路により電源電圧（3.3V）よりも大きな入力電圧は電源側へと流れ、XBee Series1が保護される。

保護回路の有無による筋電位測定値の大きな相違は確認されなかった。



a.保護回路の回路図



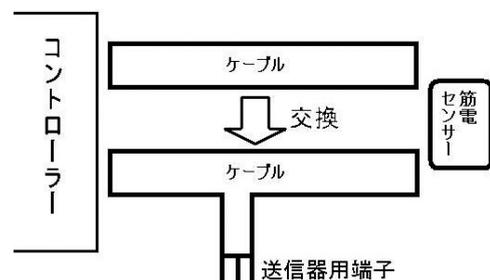
b. XBee Explorer基盤への取付け

図2 送信機の保護回路

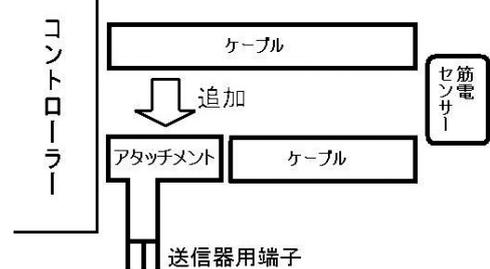
Fig.2 Circuit diagram of protection circuit (a) and The main board of transmitter with the circuit(b)

2.2 センサーケーブルの分岐方法の検討

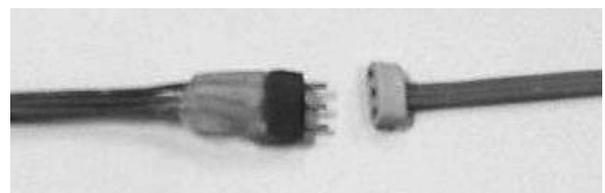
筋電センサーが採取した信号を電動ハンドに加え、同時に送信器へも送るために、センサーケーブルを分岐して送信器用端子を取り付ける改造を行い、この端子付きケーブルを従来のケーブルと交換することで使用していた。この方法では、完成した義手へ後付け可能であるが、ケーブルの交換作業を筋電センサー側とコントローラー側の両端で行う必



a.従来の方法



b.アタッチメントによる方法



c.センサーケーブルとの接続部

図3 送信器用端子の取付け方法
Fig.3 Connection attachment for the transmitter

要があった。ケーブルの交換に時間がかかるため、外来において訓練する義手使用者にとっては訓練時間のロスとなっていた。

そこでコントローラーとセンサーケーブル間に簡単に送信器用端子を取り付けることができるアタッチメントを作製した。アタッチメントは直径0.8mmのアルミ棒を接点に用い、センサーケーブル端に接続可能な形状に製作した。

2.3 有線化の検討

電波の混信などが起こり無線の使用が難しい場面での訓練を想定して、有線での使用も可能となるよう検討した。今後の無線・有線のハイブリッド化への準備として、有線による接続でも電気的安全性を確保できる機能を満たしたパーツで装置を試作した。

筋電位の計測は無線式と同様に、電極 - コントローラー間で行った。装置の電源は、筋電義手のバッテリーと共用せずに、単4電池を用いた。(図4)

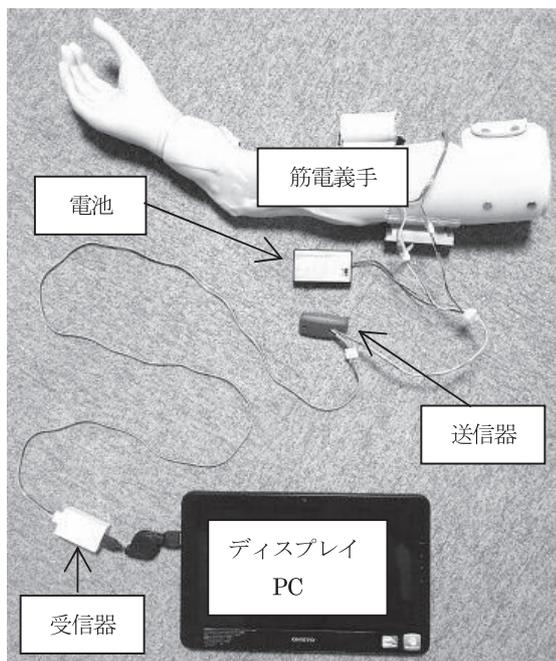


図4 試作した有線式表示装置
Fig.4 The prototype of the wire type visualization equipment

筋電波形の受信器とディスプレイとなるPCの接続には、絶縁USB - Serial変換基盤ADuM3210 (アナログ・デバイス社製) を用いた。ADuM3210は、PC側回路と送信器側回路が完全に分離しており、トランスによる電磁結合のみとなっているため、PCと生体間に絶縁を確保することができる(図5)。また、送信器側回路が電源OFFの状態でもPC側回

路がシリアルポートとして認識され、計測装置の電源OFF/ONの度にシリアルポートのClose/Openを待つ必要が無いという特徴がある。

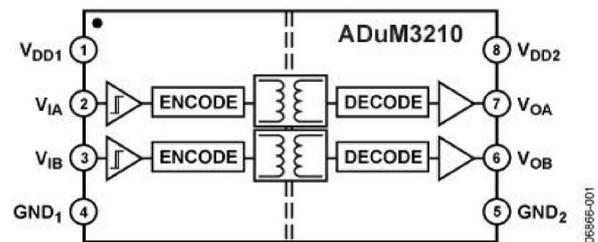


図5 機能ブロック図
Fig.5 Block diagram of ADuM3210

送信器はArduino Pro Mini 328 (SparkFun社製) 基盤上に各種信号を繋ぐ配線を施して利用し(図6)、筋電位信号のデジタル化を行っている。各基板は取り扱いを容易にするためプラスチックケースに収めた。

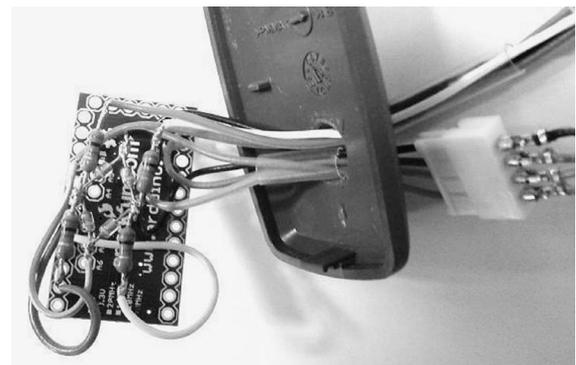


図6 有線式送信器
Fig.6 The wire type transmitter

3 症例報告

代表例として、小児筋電義手使用者1名の経過を報告する。

対象は、左前腕欠損短断端、義手の仕様の経過を表1に示す。1歳11ヶ月で筋電義手の制御方式を2電極にするに当たり表示装置の使用を開始した。

表1 義手仕様の経過
Table.1 Process of changing hand prothesis

日付	年齢	経過
H22年 12月	4ヶ月	初診
H23年 4月	8ヶ月	装飾義手完成
H23年 11月	1歳3ヶ月	筋電義手(1電極)
H24年 6月	1歳11ヶ月	筋電義手(2電極) 表示装置使用開始
H26年 1月	3歳5ヶ月	表示装置使用継続中

当センター中央病院の訓練プログラムでは、筋電義手の制御方法を1電極から2電極へ変更する時期は、3歳前後に行われることが多い。本症例は、1電極での義手操作能力及び訓練中の意志疎通が良好であったため、過去最年少の1歳11ヶ月にて2電極訓練開始となった。

2電極訓練開始時の波形を示す(図7)。義手ハンドの開は可能であったが、閉が随意的には出来なかった。波形を見ると、伸筋側は分離していることが多いが、屈筋活動時には伸筋も活動する傾向が多くみられ同時収縮となっていた。

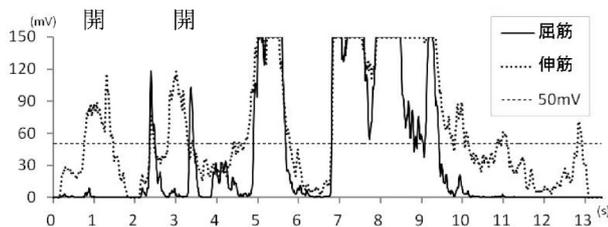


図7 2電極訓練開始時の筋電位波形

Fig.7 The EMG-signal waveform in the initial phase of training with 2 channel electrodes

2電極訓練開始3ヶ月後の訓練にて、義手ハンドを閉じる際に体幹や健側の手を使って義手の内側を押し動作が見られた(図8)。義手に外力がかけられない肢位では、義手ハンドを開くことは可能であるが、閉じることはできなかった。この動作時の波形を示す(図9)。健側の手や体幹を使って義手の内側を押し、断端でその力を押し返すことにより、断端屈筋の活動が活発になるとともに、ソケット内で伸筋側電極の当たりが弱まり、義手ハンドを閉じるよう代償動作を行っているものと考えられる。



図8 代償動作

Fig.8 Compensatory movement

2電極訓練開始8ヶ月後の訓練にて、義手ハンドの開閉の随意性は高くなり、スムーズな動作が可能となった。訓練時の筋電位波形を図10に示す。

波形を見ると、2電極訓練開始時とは逆に閉時の屈筋信号は分離しているが、開時に同時収縮となる傾向が見られた。しかし、開閉動作はスムーズに行

われており、トリガー電位を先に越えたチャンネル側の動作が行われるという義手の仕様を利用して操作していると考えられる。訓練中に波形表示を見ながらこの開閉の判定を行うのは困難であり、波形の表示とは別にハンドの開閉を判定する機能などの検討も必要と思われる。

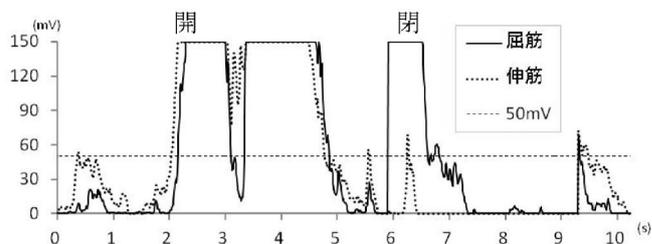


図9 代償動作時の筋電位波形

Fig.9 EMG-signal form during compensatory operation

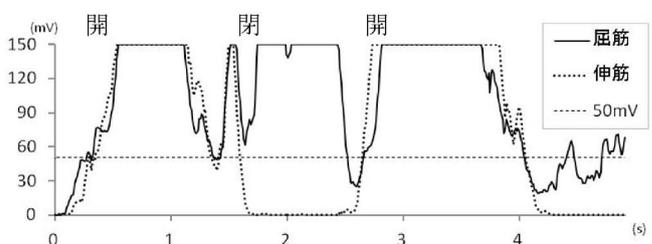


図10 訓練時の筋電位波形

Fig.10 The EMG-signal waveform during training

平成26年1月の訓練にて、本人から義手の動作が不良との訴えがあった。本装置による筋電位波形は正常に出力されていたため、義手側の問題と判断することができた。義手を調べると、電動ハンドとコントローラー間でのケーブルの接続不良が見つかった。

4 今後の課題

筋電位波形の表示と同時に動画を記録できる仕様になっているが、録画を行うと映像データのサイズが大きくなってしまい、映像(AVI形式)と筋電位データ(CSV形式)が別のファイルで保存されるため、同時に再生、編集できるソフトウェアの開発が望まれる。また、使い勝手の向上のために、義手への送信器取り付け方法の簡便化、多様な利用状況に対応できるように波形を表示するデバイスの再検討、利用場所を特定せず使えるよう無線・有線のハイブリッド化を進めていく予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、電動義手ユーザー様とご家族様に、ご理解と多大なご協力を賜りました。ここに謝意を表します。