

筋電義手練習支援システムに関する研究

—ポータブル型練習補助デバイスの開発—

Research on assist system to train myoelectric hands

—Development of portable assistive device to train—

根本和彦 本田雄一郎 赤澤康史 杉本義己
 NEMOTO Kazuhiko, HONDA Yuichiro, AKAZAWA Yasushi, SUGIMOTO Yoshimi
 陳 隆明 柴田八衣子 溝部二十四 若林秀昭 中勝彩香 松村佳奈
 (兵庫県立リハビリテーション中央病院)
 CHIN Takaaki, SHIBATA Yaeko, MIZOBE Futoshi, WAKABAYASHI Hideaki,
 NAKASYO Ayaka, MATSUMURA Kana (Hyogo Rehabilitation Center)

キーワード：

筋電義手、可視化、訓練システム

Keywords:

Myoelectric upper limb prostheses, Visualization, Training system

Abstract:

First stage of training to use myoelectric hand of pediatric user begins by generating EMG signal with or without will of the user. In the training, a therapist observes EMG-signal with Myoboy, in order to ascertain the sufficient amplitude of the signal. While the training without myoelectric hand, the EMG-signal can be displayed on PC-screen, so the therapist can check the signal easily. However, when the user trains with temporary upper limb prostheses, the therapist can not check EMG-signal anymore, because of lack of interface between the prostheses and the observation instrument of the signal. So the therapist has no way to compare the relation of the movement of the myoelectric hand and the EMG signal while actual training. Specially, when the therapist trains children, it is not clear, which the children understand and follow their instructions. In the case of unexpected reaction of the myoelectric hand, they can't assess that reason: 1) some technical problem occurs, 2) attachment problem of myoelectric sensors and 3) the child doesn't follow their instruction.

The purpose of this work is to solve abovementioned problem through developing an assistive device. The development was carried out through working medical doctor, therapist, PO and engineer together. The development of the device has reached the frequent use of the device while pediatric training of myoelectric hand.

Using the device, the therapists find more convenient functions to add on the device. Through conveying their improvement's request to the engineer, the device will be brushed up.

Through developing this device, we could get not only the usable device, but also good relationship for further work.

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ことが必須である。通常、筋電義手の使用訓練は、義手を用いない電極のみの筋電位出力練習から、電極を配置した仮義手を用いての練習へと移行していく。電極のみでの出力練習では、筋電位出力の大きさをPC画面などに表示可能であるのに対し、仮義手を装着しての練習では、筋電位出力を直接確認することができないため、実際のハンド部の開閉動作の有無で判断するほかない。そのため、次のような問題点がある。すなわち、正しく筋電位が出力されているにも拘わらずソケット適合、パーツの不良など義手側の要因によりハンド部が動作しない場合に、誤学習から習熟の遅延、ひい

ては筋電義手不適合との判断に至るケース、また、その逆に義手側に何ら問題がないのに、装着者本人の体調や訓練の不足などにより正しく筋電位が出力されない場合に義手の不良と判断されるケースがあることである。義手装着中の筋電位を確認できるようになれば、療法士が問題点を的確に把握できるようになるため、練習時間の短縮につながる事が期待できる。また、ユーザー自身へのフィードバックが量的に行えるようになり、練習動機の維持向上や効率的な自主練習実施が可能となると考えられる。

本研究では、筋電義手操作練習を支援することを目的に、義手装着中に筋電位波形・値を表示可能な小型ディスプレイを含む筋電位表示装置を開発し、小児および成人の筋電義手訓練時に試用した。

さらに、練習に飽きやすい小児の練習集中時間を増加させることを目的に、電動玩具等に改造を加え、筋電義手を用いて操作できる簡易練習機器の開発を行った。

2 使用する筋電義手システム

小児用、成人用ともにOtto Bock社製システムを使用している（図1）。

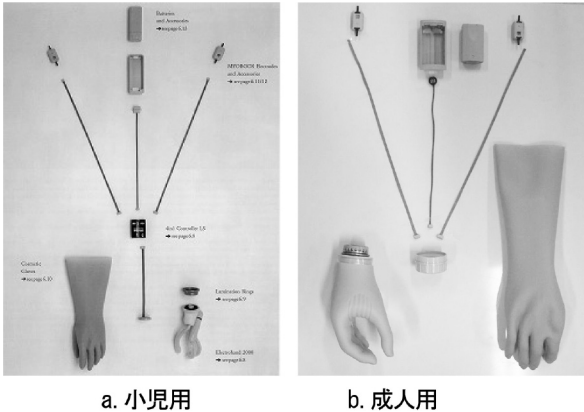


図1 筋電義手パーツ（Otto Bock社製）
Fig.1 Parts of Myoelectric Hand (Otto Bock)

3 既存の筋電位表示装置

(1) MyoBoy（Otto Bock社製、図2a）

本装置は単体では筋電位の表示、PCに接続した場合では筋収縮訓練支援プログラム（MyoSoft）を利用できる製品である。当センター中央病院においては、筋電義手の適応を判断する為の筋電位の採取や、義手を用いない電極のみでの筋電位出力練習に用いられている。

(2) 簡易型筋電位表示装置（図2b）

当研究所で試作された、小型・軽量の筋電位表示装置である。小型ディスプレイに筋電位波形を表示する。

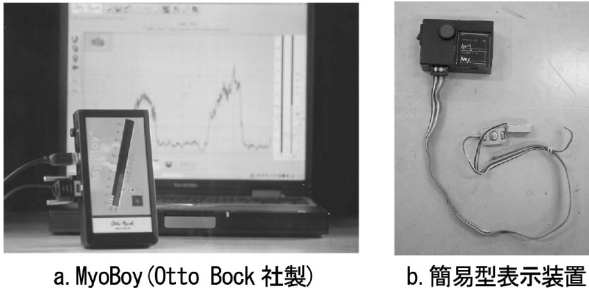


図2 既存の筋電位表示装置
Fig.2 The observation instrument of the EMG-signal

4 筋電位表示装置の開発

4.1 設計コンセプト

筋電義手訓練に携わる医師、療法士から筋電位表示装置に求められる機能、現在使用している機器の改善点等について聞き取りを行った。

その結果を表1にまとめた。

表1 改善点などの聞き取りの結果
Tabl.1 Results of hearing investigation

筋電義手を着けた状態での筋電位を見たい。
筋電義手は動かなくなることが度々ある。
使用している表示装置は高価で気を使う。
コードが多く、機器の取り回しがしにくい。
コードが邪魔になり自由に動作ができない。
小児は訓練時に動き回ることが多い。
小児は訓練時に意識がそれることが多い。
小児は筋電センサーを断端につけるのを嫌がる。
訓練中の指示が適切に伝わっているかわからない。
訓練中の指示に適切に反応してくれているかわからない。 (表情では筋緊張を行っているが実際は筋肉には力を入れていないかもしれない。)

筋電位表示装置は、筋電位を計測する部分と、その計測値を表示する部分により構成される。

筋電位計測部は、筋電義手装着訓練の妨げにならないよう小型、軽量で義手の機能に影響を与えずに使用できる必要がある。また、既に日常生活に用いられている筋電義手にも取り付けて使用できるように、義手の主要パーツや支持部を改造することなく着脱できることも望まれる。

筋電位表示部は、見やすさと持ち運びのしやすさの両立を考慮して、数種類の大きさが異なるモックアップを作成し（図3）、療法士に聞き取りを行うことで、大きさや表示画面の色使い等を決める参考とした。モックアップでは、一次試作用には5インチ程度の大きさが適切と判断された。しかし、実際に動く装置ができあがってみて、再度検討することとなった。

以上のことを踏まえて、設計コンセプトは、小型・軽量の筋電位計測部を義手に取り付け、計測値を無線通信にて表示部に送信する形式とした。また、計測した筋電位の保存機能を付加することとした。

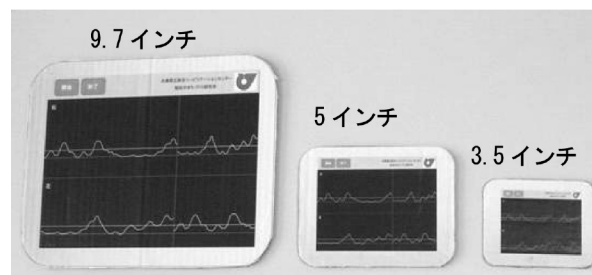


図3 モックアップの大きさ比較：初期の聞き取りでは5インチサイズが適しているとの回答を得た。

Fig.3 Comparison between display sizes by hand made mock-ups. Initial best size was 5" type.

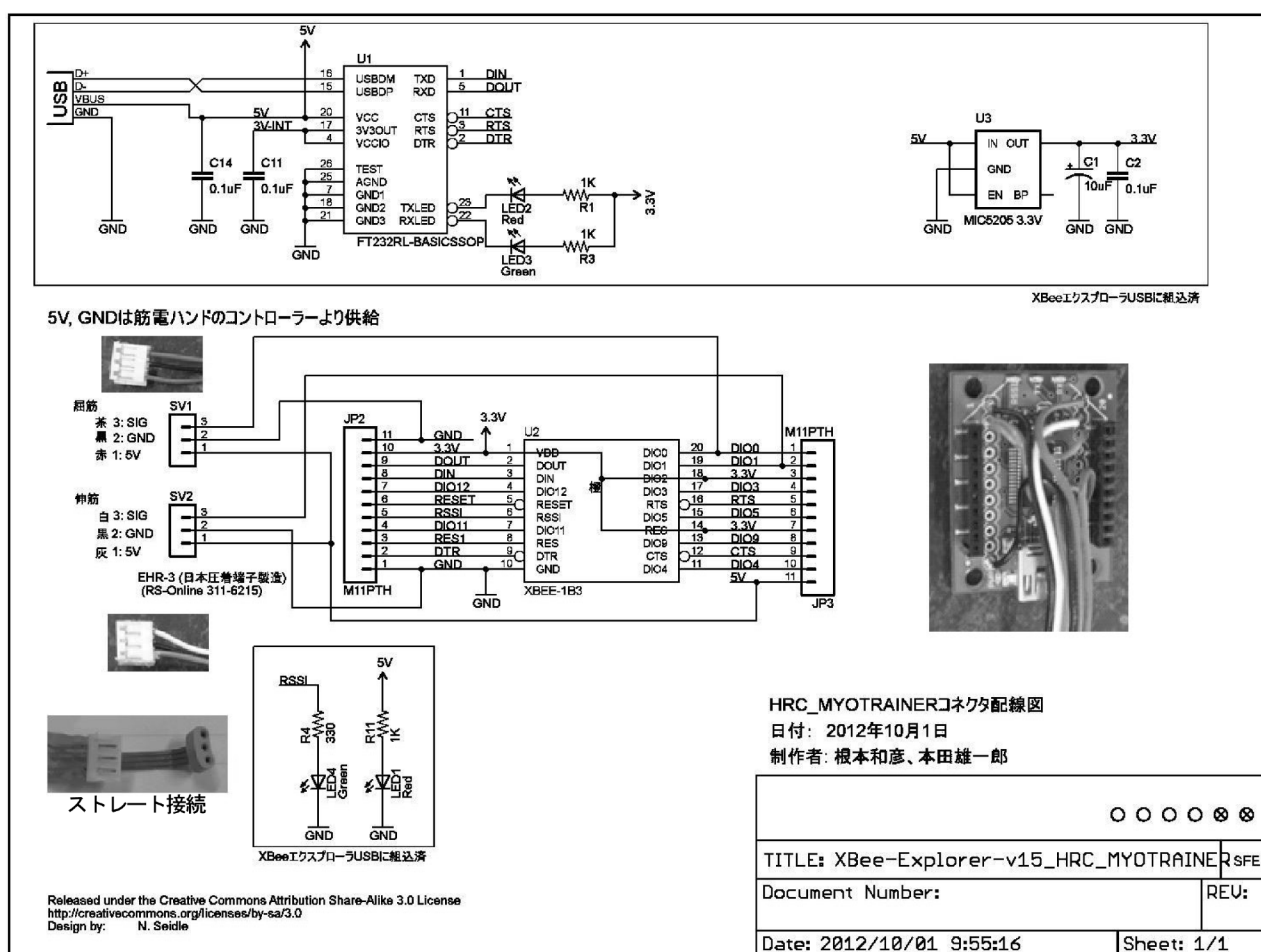


図4 送受信機の回路図

Fig.4 Circuit diagram of transmitters

表2 送受信機のパラメータ設定（一次試作品の場合。*は設定不要）

Tab.2 Parameters on the transmitter

	CH	ID	DH	DL	MY	BD	D0	D1	D2	D7	PR	IT	IR
送信機	C	9283	0	0	1	7	2	2	2	0	E3	5	A
受信機	C	928	0	1	0	7	*	*	*	1	*	*	*

4.2 一次試作

一次試作は、前述の設計コンセプトを具現化し、実際に療法士が訓練に用いて評価できることを目的として製作した。

4.2.1 一次試作品の仕様

筋電位表示装置は、筋電義手に取り付ける送信器と、PCに接続された受信器から構成され、PCにより筋電波形の表示・記録を行う。

筋電位の計測は電極・コントローラー間で行い、この部分のケーブルを装置取り付け用端子が付いた分岐ケーブルに交換することで、筋電義手に不可逆的な改造を加えることなく装置を着脱できるようにした。送信器の電源は、筋電義手のバッテリーと共用とした(図5)。計測は伸筋・屈筋の2カ所で行い、サンプリングは100回/sとした。無線通信によるデータ転送をスムーズに行うため、計測したデータは5サンプルを1つのパケットにまとめたうえで受信器に送信するよう設定した。

受信器は、受け取ったパケットデータをPCへ転送する。PCの役割は、転送されてきたパケットデータを伸筋・屈筋の筋電位として分離処理し、時系列にモニターへ表示するとともに、受信データをハードディスク上に記録することである。

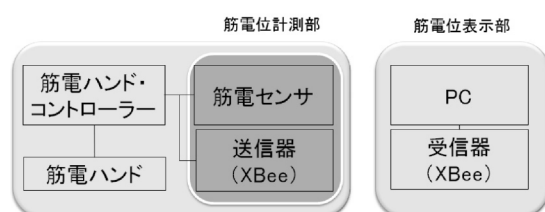


図5 筋電位表示装置のブロック図

Fig.5 Block diagram of wireless measurement system

4.2.2 一次試作品

送信器および受信器は、XBee Series1 (Digi International Inc.) をXBee Explorer (SparkFun) に取り付けて利用する。

送信器に関してはXBee Explorer基盤上に各種信号を繋ぐ配線を施し利用した(図5)。無線通信および筋電位信号のデジタル化はXBeeの組み込み機能を用い、パラメータの適切な設定で実現している(表2)。配線の済んだ送信器は図6のようにプラスチックケースに収めた。無線通信で利用する周波数チャンネル(CH)、通信に関わる機器のグループID(ID)、各無線機に割り当てるアドレス(DH、DL)、エンドデバイスとコオルディネータデバイスの役割設定(MY、Enddevice:1, Coordinator:0)、有線シリアル通信速度設定(BD, 7: 115200bpsに設

定)、無線機のポートの機能設定(D0~D2,D7, 2:アナログ・デジタル変換入力ピンに設定, D7=1:CTSフローコントロールを行う)、各ポートのプルアップ抵抗の設定(PR, アナログ・デジタル変換入力ピンに設定したピンのプルアップ抵抗の解除)、アナログ・デジタル変換したデータサンプルを無線通信にて送信する前の貯め個数(IT, 5: 5回サンプル)、アナログ・デジタル変換のサンプルレート(IR: A=0x0A=10ms)は、表2のように設定した。CH、IDはシステム毎に変更しなければ混信を招く結果となるので注意が必要である。

受信器は、5インチ・タブレット型PC(SmartCaddie, PBJ株式会社)のUSB端子に接続する。受信した計測値は、専用プログラムを開発し表示できるようにした。伸筋と屈筋の各筋電位波形と筋電義手が動作する最低電圧であるトリガー電圧を表示している。その際、療法士と見やすさを相談しながら配色を決めた。計測データはCSV形式で保存可能とした。

4.2.3 一次試作品の試用

一次試作品を、小児1名(図7)、成人1名に試用した。図6に示すポシェットは、送信器を中に入れて隠すことで小児に見えなくし、装着時の不安を和らげるための工夫である。

試用の結果、筋電位の計測、表示及び保存は問題なく行うことができた。しかし、筋電波形の表示のみではハンド部の動作状況が把握できないという指摘があった。また、成人用電動義手では、電源バッテリーの電圧が小児用に比べて高く(成人用:7.8V、小児用:4.8V)、送信器の故障が発生した。



図6 送信器を納めるポシェット

Fig.6 The transmitter and a pochette.



図7 一次試作品の利用例：PCに接続した受信器はPCの背面に固定されている。

Fig.7 A scene of the using the first prototype.

4.2.4 二次試作品

ハンド部の動作状況の把握方法として、細かな開閉動作の把握の検証は困難であるが、タブレットPCの内蔵カメラを用いて、訓練中の動画を撮影し表示することとした。動画を処理するため、一次試作品のプログラムに映像処理機能を付加した。映像処理の計算量をこなせるようにタブレットPCをTW117A4 (Onkyo)に変更したため(図8)、ディスプレイは一次試作品より大きくなった。動画データはAVI形式で保存可能とした。訓練中にデータ保存ボタンを押し忘れる事があったため、表示画面に録画状態を表示する変更を加えた(図9)。



左：二次試作 TW117A4 (Onkyo):10.1インチ

右：一次試作 SmartCaddie (PBJ 株式会社) : 5 インチ

図8 使用したタブレットPC

Fig.8 Tablet PC. Left) 10.1' type, Right) 5 'type.

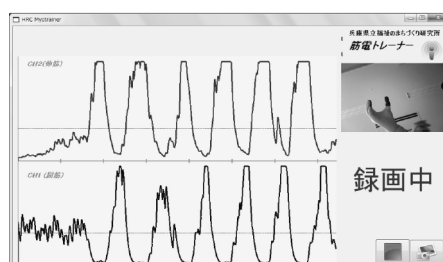


図9 表示装置の画面

Fig.9 Display of the observation instrument

成人用義手の電源電圧への対応として、成人に用いる際は、送信器の電源として小児用筋電義手のバッテリーを追加することとした。また、送信器を直接、腕や義手に固定できるケースを作成した。受信機もPCのUSBポートに直差しできるようデザインを改めた(図10)。

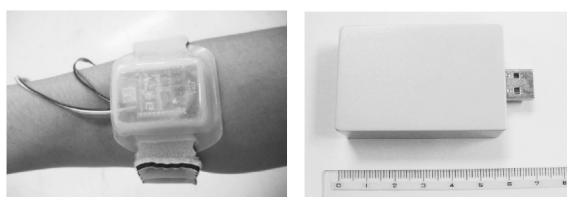


図10 腕に固定可能な送信器とPCに直差し可能な受信器

Fig.10 The arm-attachable transmitter and the receiver with direct connect interface to PC.

5 症例報告

二次試作品において設計コンセプトをほぼ達成することができたため、小児8名、成人2名に試用を行った。その内、2症例を報告する。

(1) 症例1

1歳男児。右先天性前腕欠損、短断端。7カ月より装飾義手装着、1歳1カ月より筋電義手(1電極、随意開き式)の装着訓練を行った。筋電位の採取及び、筋電義手装着訓練当初より本装置を使用した。

安定した座位、歩行が確立していない幼児においても、訓練中の粗大運動を妨げることなく使用することができた(図11)。



図11 筋電位表示装置を用いた訓練の様子

Fig.11 Training scene with the system

(2) 症例2

50代男性。仕事上の事故による右前腕切断、短断端。労災の試験給付制度により、筋電義手の操作訓練を行っていた。MyoBoyでの筋電位導出訓練にて2電極筋電位の分離が確立された後、仮義手を製作し訓練を開始した。装着した筋電義手の重みを健側手で支える(以下、免荷動作:図12)とハンド部の開閉動作はスムーズに行えるが、健側の支え無しではハンド部を閉じる動作がしにくいという問題がみられた。

仮義手に送信器を取り付け、義手操作中の筋電位を計測した。免荷動作時のハンド部の開閉では屈筋、伸筋の筋電位は分離していたが、免荷動作無しでは閉動作時にも伸筋の筋電位が発生しており、同時収縮となっていた(図13)。原因としては、短断端であることによる支持力不足、ソケットがゆるいことによる支持力不足、患側肢の筋力不足、筋疲労、筋電位分離訓練の不足などが考えられる。

筋電位波形を見ながら分離を意識しての動作練習を30分程度行った結果、完全では無いものの筋電位の分離に上達がみられ、訓練時の意識付けとして筋電位波形の表示が有効であると考えられた。



図12 免荷動作
Fig.12 Relief movement

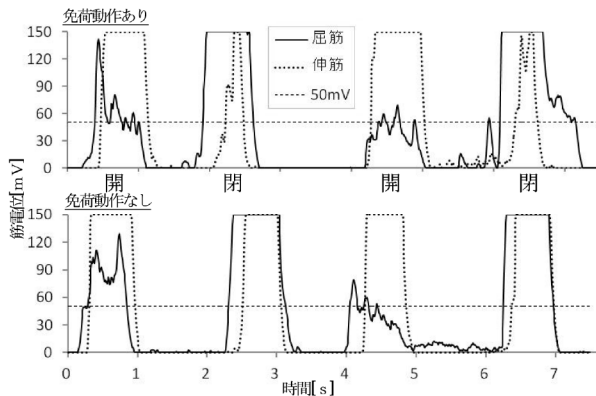


図13 訓練中の筋電波形
Fig.13 EMG-signal form in the training



a. 製作したスイッチ

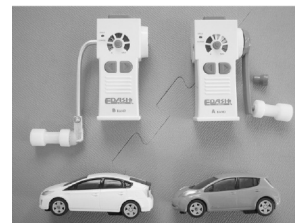


b. ハンドルへの取付



c. 訓練の様子

図14 電動ミニカーの改造
Fig.14 Remodeled electric mini-car



a. レバーの改造



b. 訓練の様子

図15 リモコンカーの改造
Fig.15 Remodeled controller of the remote control car

6 小児用簡易訓練機器の開発

市販の玩具に筋電義手で操作しやすいような改造を加え、操作訓練の練習機器として用いた。

(1) 子供用電動ミニカーの改造 (図14)

小児が乗り込み、自由に運転して走り回れる電動ミニカー (HT社製) のアクセルを、フットペダル式から握りスイッチ式に変更した。このスイッチをハンドルの義手が把持する部位に取り付けることで、義手でハンドルを強く握ると車が前進するようにした。スイッチ形状は数種類用意して交換可能とすることで、小児の義手操作能力や好みに対応することができた。ハンド部の開閉動作を、健側と協調してのハンドル操作と同時に行うので、訓練効果は高いと考えられる。小児には好評であったが、運転に慣れてくるとスイッチを握った状態で義手の電源を切ってしまう小児が多く、対応策の検討が必要である。

(2) リモコンカーの改造 (図15)

手回し充電式リモコンカー「EDASH (イーダッシュ)」(タカラトミー社製) のリモコンを改造し、左手で手回しレバーを回せるようにした。併せて、レバーの柄を持ち易いよう大きくした。

7 まとめ

筋電義手装着中の筋電位波形を表示することにより、下記の項目が視覚的に判別可能となった。

- 筋電信号の時間的な変化
- どの程度の筋電信号の振幅が出ているか
- 肢位による筋電位出力の変化
- 本人が実は操作しようとしていない
- 義手動作不良時の問題個所の絞り込み

今後、計測データを詳細に検討することにより、義手操作能力の評価方法の提案等にも利用できると考えられる。

また、この開発を通してデバイスが得られただけでなく、今後の仕事に対しても医師、療法士、義肢装具士、エンジニアの良い関係を築くことができた。

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。ここに記して謝意を表します。