

筋電電動義手の処方と製作システムの確立に関する研究

Development of a support system

for Myoelectric Hand Users

— 処方、訓練、組立、メンテナンスシステムの研究 —

— The study of the system consisted of prescriptions, trainings,

fabrications and maintenances —

大塚 博、中川昭夫

OTSUKA Hiroshi, NAKAGAWA Akio

陳 隆明、中村春基、柴田八衣子、大庭潤平、山下英俊、溝部二十四

CHIN Takaaki, NAKAMURA Haruki, SHIBATA Yaeko, OBA Junpei, YAMASHITA Hidetoshi, MIZOBE Futoshi
(Hyogo Rehabilitation Center)

古川 宏 (神戸大学)

FURUKAWA Hiroshi (Kobe university)

キーワード:筋電義手、システム、普及

Keywords: Myoelectric hand prosthesis, Support System, Popularization

Abstract:

The purposes of this study is to establish the myoelectric hand prostheses support system which is consisted of prescriptions, trainings, fabrications and maintenances, and to supply amputees them appropriately who want to use like other industrialized countries nations.

We applied our system on 14 amputated subjects before the end of this year. As a result, we obtained the know-how at each step in the system and user's needs but not to became clear because of few users in Japan. The following is our report.

1. はじめに

筋電（電動）義手^{*)}は、多くの先進国において義手処方時の選択肢の一つとして普及しているが¹⁾、日本では「公的給付制度では完全には認められないこと=全額（100万円以上）自己負担にて購入しなければならない」、「リハスタッフの経験不足=専門

家として責任ある対応ができない」等が原因となり、未だに普及していない。そこで、本研究は、「リハスタッフの経験不足」を解消し、筋電義手を普及させることを目的として、平成11年度から開始した。

我々は上記の問題点を解決するために筋電義手の処方、訓練、組立、メンテナンスをどのように行えば適切にかつ効率よく対応できるか、を実践から学び、システムを確立させていく手段を選んだ。すなわち、総合リハビリテーションセンター内に医師、義肢装具士、作業療法士およびリハエンジニアからなる筋電電動義手サポートシステムを立ち上げ、実際に上肢切断の被験者に筋電義手を処方し、筋電義手を製作して切断者に装着させ、そして生活で使用できるように訓練を行った。また、使用中に生じた故障に対してメンテナンスを行った。

今年度は前年度に引き続き被験者（14名）に対してシステムを運用した結果、システムの各要素で必要となるノウハウを蓄積し、新たに生じた問題点から改良すべき点が明らかになった。また、国内ではこれまで筋電義手使用者が少なく、不明であった使用者のニーズも把握できたのであわせて報告する。

表1 被験者のプロフィール

Table 1 Profile of subjects

NO	性別	新旧	訓練環境	切断肢	断端長	年齢	労災
1	男	新	入院	両	長	25	○
2	男女	新	入院	片	中	55	○
3	女	旧	通院	両	長	63	○
4	男	旧	通院	片	中	43	○
5	男	新	入院	両	上腕	26	○
6	女	旧	通院	片	中	42	○
7	男	旧	通院	片	中	73	○
8	男	旧	通院	片	長	58	○
9	女	旧	通院	片	中	55	○
10	女	旧	通院	片	中	17	○
11	男	新	通院	片	中	35	○
12	女	新	入院	片	中	63	○
13	女	旧	入院	片	中	60	
14	男	新	通院	片	中	35	○

2. 研究方法

本研究に使用した筋電義手はOtto Bock 社の成人用である。

このシステムに関わる主たるスタッフは医師、作業療法士、義肢装具士およびエンジニアである。それぞれのスタッフが協力し、連携すること、すなわち「チームアプローチ」の手法を用いてシステムの確立を進めた。スタッフの役割を示す。

①医師

本システムのコーディネーターとして各スタッフを統括する。また、切断者の外来診察時にオリエンテーションを行い、筋電義手の機能、生活に与える影響などについて説明する。オリエンテーション後、筋電義手に適する断端であるか医学的評価を行う。

②作業療法士（OT）

筋電義手を操作するために必要な筋電信号の評価と訓練を行う。また、訓練用筋電義手が完成した後、切断者が義手を使用して日常の動作を行うための訓練を行う。

③義肢装具士（PO）

筋電義手を製作するために、切断者の断端を採型し、最適なソケットデザインとバーツを選択し、製作後、切断者へ適合させる。義手が供給された後も、故障時の修理メンテナンス等継続的に使用者へのフォローアップを行う。

④エンジニア

本システムに適した義手や訓練機器等の周辺機器を評価し、改良・開発を行う

3. 被験者データ

前年度から14名の被験者に、筋電義手を製作し、訓練を行った。被験者の内訳は、すでに筋電義手以外の義手を所持し社会復帰していた者が8名（旧）と、はじめて義手を装着した者が6名（新）である。また、2名以外は仕事中の事故による切断であった。また、訓練を入院で行った切断者が5名、通院が9名だった。被験者のプロフィール表1に示す。

4. システムの内容

被験者にシステムを運用した結果、新たな問題点を抽出し、より良いシステムを構築するために修正を行った。そして前年度に暫定的に製作したフロー チャートを改良し、各ステップ間の所要時間を追加した。（図1）。各項目で行うべき事項の詳細を以下に示す。

4. 1. 医学的評価とオリエンテーション

筋電義手を処方するために、医師は上肢切断者の医学的評価（図2）を行い、筋電義手を使用するための条件に適しているか評価する。その条件とは
 ①知能：筋電義手の操作を理解できるか
 ②断端：筋電義手を装着、操作するのに適切な断端長（10cm以上）や断端皮膚状態であるか
 ③拘縮：前腕切断の場合、肘屈曲70-80度以上であるか
 である。

医学評価通過後、医師またはOTは筋電義手の使

用を望む切断者に対して、この義手の機能、生活に与える影響および今後供給されるまでの予定などについて十分な説明を行い（図3）、意向を確認する。

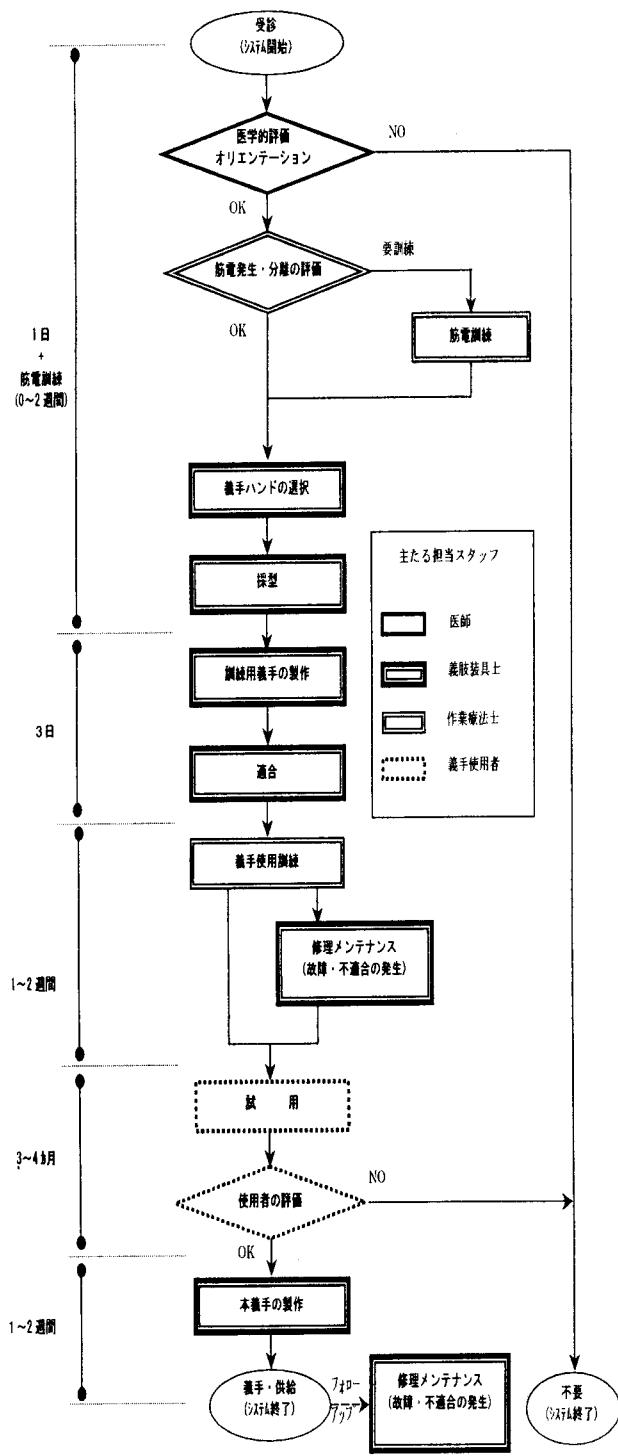


図1 システムのフローチャート
Fig. 1 Flow-chart of our system



図2 医学的評価
Fig. 2 A medical evaluation for a myoelectric hand prosthesis



図3 オリエンテーション
Fig. 3 A orientation about a myoelectric hand prosthesis

4. 2. 訓練

<訓練前評価>

OT または PO は断端に残存した手関節の屈筋と伸筋から筋電信号が発生できるか筋電テスターで確認する（図4）。取得できればそれらが随意的に分離して発生できるか評価し、通過すれば訓練用筋電義手（以下、訓練用義手）の製作に進む。もし、できなければ筋電発生訓練を行う。

<筋電発生訓練>

筋電テスターを使用し行う。屈筋と伸筋の収縮を瞬時に最大限に発揮できる訓練を行う。その後、屈筋と伸筋を分離して収縮する訓練を行う。

☆被験者の中に筋電発生訓練当初は、筋電が1箇所しか得られなかつたが訓練によって改善し2箇所得られるようになったケースが2名認められた。よつ

てダブルチャンネル（参照：最適な義手ハンドの選択）を安易に選択せず、1、2週間の訓練後判断することが重要である。

<基本訓練>

訓練用義手が完成後は訓練に移行する。ここで訓練は誤動作をなくし、疲労しにくい程度の軽い力で、操作をスムーズに行えることを目的に行う。具体的には、様々な位置での「握り」「開き」の練習や紙コップを潰さないように握る練習などである。（図5）。

<応用動作訓練>

紐結びなどの両手動作訓練や書字訓練、また、重い物を運ぶ、割れやすい卵を握る、ボールを投げる、ころがす、つかむなど様々な応用動作を目的に合わせて訓練していく。ここでは、筋電義手を自分の手のように、他の関節と共に動かすなどの複合動作や、筋電義手の利点である、把持力の強いことや、どの部位でも開閉可能で健側の機能が十分活かせるよう行う。また、筋電義手を使用した両手動作訓練も行い、定規を使用して線を引く動作や電話をしながらメモをとるなどの様々な日常生活に結びつけられるよう動作訓練を行っていく（図6）。

<日常生活動作訓練>

両側切断者の場合は、筋電義手を日常生活動作に使用する割合が高くなるため、食事、更衣、排泄、整容など動作に合わせた操作方法の訓練や自助具の調整が必要になる。片側切断者の場合は、家事動作やナイフとフォークでの食事、靴紐を結ぶ、傘をさしながら鞄を持つなど両手動作で活用できるよう切断者と意見交換しながら訓練を行う。（図7）

さらに、外泊し家や職場で訓練用義手を使用し実際の生活での訓練を行ってもらう。このように生活場面での訓練評価を行い、筋電義手の適応を評価する。

☆筋電義手の操作の習熟がどの程度得られたかを評価するために、ADL（日常生活動作）を行いその筋電義手の使用がどの程度習熟しているのかまたどの程度活用しているのかテストするための評価表をOTが中心となって制作した（表2）。このテストを被験者に適用し、活用習熟レベルの判断基準を検討している。

<試用期間>

リハビリテーションセンターでの訓練が終了した後、自宅あるいは職場で実際に試用してもらい、個々の切断者のニーズに合致し、有効であるか判断してもらう。

☆協力していただいた14名の被験者のうち6名が個々の理由で試用を中止した。そのうちの一人は筋



図4 筋電発生訓練

Fig. 4 A training of EMG



図5 基本訓練（様々な位置での操作）

Fig. 5 A fundamental training; controlling hand at several positions of his arm



図6 両手動作・メモをとる

Fig. 6 A training of using with other hand; writing while telephone

電義手の強い把持力の有効性を認め作業用として職場で8ヶ月間使用していたが夏場の労働に際し発汗による様々な問題が発生したのが原因で使用を中止した。この例を除く5名は訓練開始から4ヶ月間までに中止している。よって訓練終了後に一定の試用期間を設けることで、使用者が筋電義手の有効性を実生活の中で見出し、真に必要を認めた適用者に効果的に筋電義手を供給することができる事が明らかとなった。

4. 3. 組立（製作）

＜最適な義手ハンドの選択＞

訓練用義手を製作する前に筋電発生訓練後の使用者の能力を、筋電テスターを使用して再確認し、最適なハンドを選択する。義手ハンドにはサイズはもちろん制御方式の異なるものがある。

①2つの筋電センサーでハンドの開閉を操作するタイプ

②2つの筋電センサーでハンドの開閉を操作するが、筋電の発生を強弱させることによって開閉スピードを変化可能なタイプ（比例制御）

③1つの筋電センサーでハンドの開閉を操作するタイプ

※Otto Bock 社の電動ハンドは①、②、③をそれぞれ「デジタルシステム」、「DMCシステム」、「ダブルチャンネルシステム」という。

＜探型＞

筋電の最もよく採取できる部位にマークし、断端を探型する。（図8）

＜訓練用義手の組立＞

陽性モデルを作成し、透明な熱可塑性プラスティックでチェックソケットを製作する。チェックソケットを断端に適合させ、このチェックソケットにハンド、筋電センサーおよびバッテリーをソケットに取付け、訓練用義手を完成させる。

＜適合＞

義手の完成後、使用者へ装着させ適合をチェックする。（図9）

4. 4. メンテナンス

訓練中や日常生活中で義手の動作不良や故障時に、調整・修理に迅速に対処し、使用者の義手不使用時間をできる限り短縮するための対応を行う。前年度に実際に生じた故障に対して、交換部品を準備しておくことで即時修理が完了し、装着者の不使用時間を最小にできた。今年度は以下のような故障が発生した。

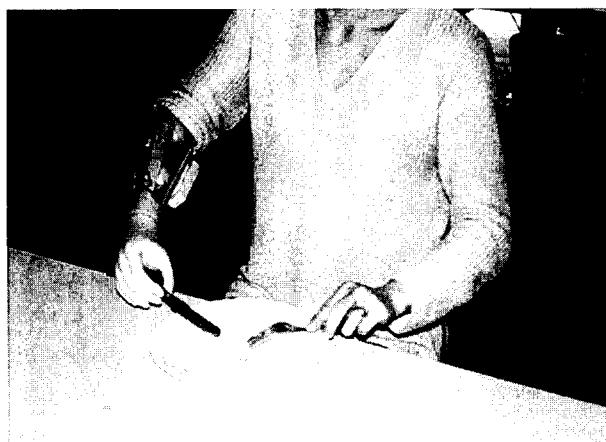


図7 ナイフとフォークの練習

Fig. 7 A training of ADL using a knife and a fork

表2 活用・習熟の評価表（一部）

Table 2 A part of check list for evaluations of skill using a myoelectric hand prosthesis

	調理動作	評価
1	両手鍋を運ぶ	
2	フライパンとフライ返しを使う	
3	包丁で野菜等を切る皮をむく	
4	スナックなどの袋を開ける	
5	ラップを切って使用する	
6	食器をあらう	
7	卵を割る	
8	茶碗に御飯を盛る	
	家事動作	
1	床拭き	
2	アイロンをかける	
3	布団を整える	
4	枕カバーをする	
5	長柄ほうきをつかう	
6	掃除機を使う	
7	洗濯物を干す	
8	干してある洗濯物を伸ばす	
9	針に糸を通す	
10	棚の上のものを取る	
11	裁縫をする	
12	ちりとりとほうきをつかう	
13	洗濯物をたたむ	
14	ハンガーに服をかける	
15	ふとんを干す	

①装飾グローブの破損

作業で繰返し重量物(30kg)を把持したため、装飾グローブの指先に繰返しせん断力がかかり、裂けた(図10)。対応としては、その場で新しいグローブと交換しメンテナンスが終了した。

②装飾グローブの汚れ

両側切断の被験者から「自宅で8ヶ月間使用していたが、装飾グローブの汚れが気になる」と訴えがあった。毎日、終日使用していることもあり、専用クリーナーを使用しているが、塩ビ製のグローブの特徴で、汚れが染み込むと取れない。対応としては、グローブは消耗品であることを説明し、なるべく汚れた直後、すなわち染み込む前にクリーナーで落とすことで寿命を延ばすことを勧めた。

③ハンドの動作速度の低下

ハンドの動作速度が遅くなったという訴えがあった。その場で修理できる問題ではないと判断し、在庫していた別のハンドと交換し、その場で対応した。

故障したハンドは後日、販売店に修理に出した。

④ハンド内部の配線の断線

動作不良をおこしたハンドのインナーグローブを外し、内部を点検したところ、配線が切断されていて、取付けネジが外れた小部品が遊離しているの事がわかった。インナーグローブの内で知らぬ間にハンド内部の小部品が外れ、開閉動作によって小部品が移動し、ハンド内部の配線を切断したと思われる。

対応としては、その場で在庫のハンドと交換しメンテナンスが終了した。故障したハンドは後日、販売店に修理に出した。

⑤汗による動作不良

作業用として屋外で使用していた被験者から、断端が汗をかき動作不良を起こすと訴えがあった。適度の汗は皮膚からの筋電の伝導性を増加させるが、断端全体が濡れるような過剰な汗の場合、目的筋以外の筋電を拾い、誤動作や動作不良をおこす原因になると考えられる。この場合も過剰の汗が原因と思われた。

対応として断端が蒸れて発汗するのを防ぐために、ソケットに通気のための穴をあけた。また、ソケット内部に汗を吸収する汗取りパッドをソケット底部に入れ汗が断端全体に広がるのを防ぐよう指示した。これらの対処で1ヶ月は対応できたが、季節が夏に近づき気温が上昇したのが原因で汗量が増加した。そして汗が通気穴からソケット外部に進出し、ハンドとリストの連結部に進入し、金属部を腐食させ(図11)、ついに動作しなくなった。

これらの経緯から、この被験者の用途に筋電義手が適用していないことが判明した。そして電動義手



図8 採型

Fig. 8 A casting for a myoelectric hand prosthesis



図9 適合

Fig. 9 A fitting of a myoelectric hand prosthesis



図10 グローブの破損(示指)

Fig. 10 A broken cosmetic glove

として使用することを試みた。すなわち、ハンドを筋電で操作するのではなく、体内力源を利用して外部スイッチを ON/OFF することでハンドを開閉させる（図12）。しかし、この電動義手の操作訓練は、退院し職場復帰していたため本人に任せざるを得なかつたため、操作の習熟が困難であり、本人から使用を断念する意向が強くなり中止した。

のことから使用環境や体質が原因で汗が過剰になる場合は、筋電義手の適用はないことが判明した。

5. 被験者からのニーズ調査

訓練後、筋電義手の使用がある程度できるようになった被験者から”価格や給付制度の改善を求める意見”、“筋電義手の改良してほしい点”など様々な意見を聞くことができた。また、14名中6名は訓練後の試用期間中にさまざまな理由により使用の中止を選択した。そこで価格以外の義手本体に関する使用者（被験者）要望や中止に至った原因を以下に挙げる。

①軽量化

訓練初期の被験者はほぼ全員、“重い”というが、日常で積極的に使用し、1日の装着時間が比較的長い使用者は義手の重さを気にするものは少なかった。これは、筋電義手の装着時間と依存度が相互作用して義手装着に耐えうる上肢（上腕、上肢帯）の筋力を鍛えられたからと考えられる。訓練後なおも軽量化を訴えるのは小柄な女性や50代以上の使用者である。これらの使用者は上の被験者と比べ筋力は小さい。そして装飾用や能動フックタイプの義手を併用する場合が多く、重さを気にならなくなつた被験者と比べ筋電義手の装着時間が短かったことも原因と考えられる。

②装飾性の高いもの

国内メーカーは、装飾義手用のシリコーン製のグローブを市販し、実物に迫る仕上がりのオーダーメイド製品も供給している。使用者がこの装飾義手と本研究で使用した筋電義手を比較した場合、“見た目重視”か“機能重視”を選択することになり、使用者の多く（特に女性）は装飾性の高いものを要求する意見が多かつた。

③汚れ

筋電義手の装飾グローブは塩化ビニル製であり、汚れがつくと内部に染み込み、除去できない特徴がある。

④バッテリー

バッテリーに対する要望は小型化と電気容量の増加である。ソケット外壁に取付けられたバッテリ

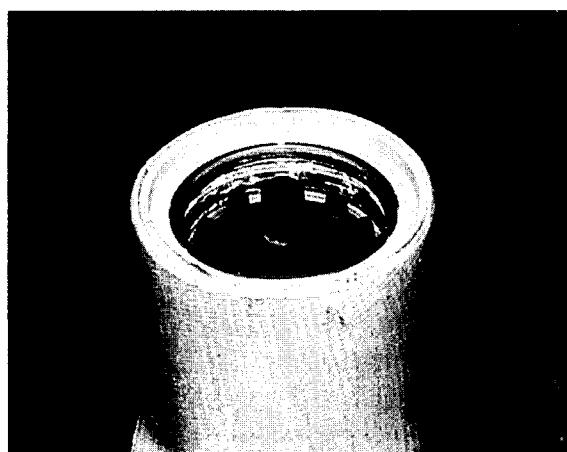


図11 連結部の腐食

Fig. 11 A wrist connector corroded by perspiration

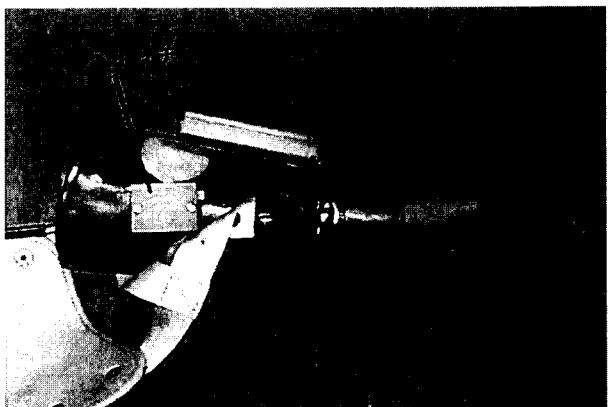


図12 スイッチで操作する電動義手

Fig. 12 An electric hand controlled by a pull switch

一ボックスにバッテリーを入れると前腕部（前腕義手の場合）が太くなり、衣服を着にくく、外観が悪いという訴えがあった。そして特に、比例制御式の筋電義手は通常のものより消費電力が大きく、バッテリー交換を頻繁に行う必要があり、またその分バッテリーの寿命も短くなるので改善を求めるものが多かつた。

⑤耐水性

「4.4メンテナンス」でも述べたが、過剰な汗によって正しく筋電が採取できなくなり、動作不良の原因と考えられた例があった。また、筋電義手はバッテリーや電極などには配線と接続部があり、汗や雨などの水分の進入は、短絡や腐食の原因となる。

⑥誤動作

筋電義手で物を持したまま、肘や肩を動かしたときに無意識に筋電が発生し、物を落とすという誤動作を訴えるものが多い。

⑦手先の形状の改善

筋電義手の指先の形状は人の指に似せてつくられているため曲率が大きく、人の指のように柔軟でないため、細かいものを把持することが困難である。また、筋電義手で書字する時に中指と小指が屈曲しないため義手が紙に接近できず書きにくいという訴えがあった。

⑧開閉速度の増加

筋電義手の1日の装着時間が比較的長く、依存度の高い使用者は、現在使用している筋電義手の開閉速度をより速い物にしてほしいと訴えるもの多かった。しかし、自分で動かそうと思ってから筋電が動き出すまでの反応時間が遅いと訴えるものはいなかった。

これらのうち①と⑦は市販製品を用意して検討した。

①軽量化

本研究で使用した筋電義手部品よりも軽量なイギリス・Steeper社の筋電義手(図13)(a)とOtto Bock社の小児用(b)(図14)を用意し検討した。両者の仕様を表3に示す。

(b)を被験者に試したところ、軽さと外観(小さいこと)は気に入ったが、開閉速度が遅いと指摘した。本人の総合的評価としては使用の意欲を感じ、現在も継続中である。(a)については試用する機会を未だ

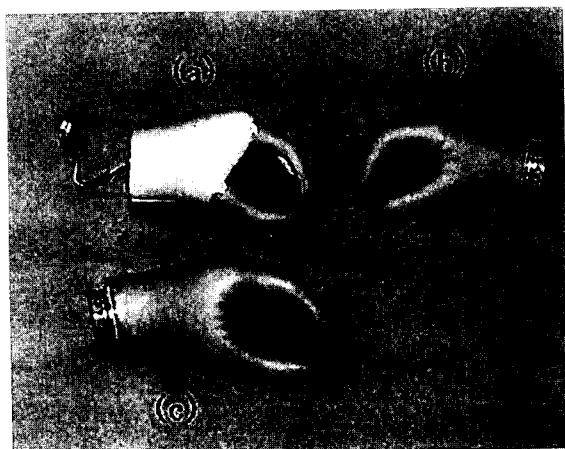


図14 大きさの異なる電動ハンド
((a)Steeper社、(b)Otto Bock社小児用、(c)Otto Bock社成人用(従来使用))

Fig. 14 Several electric hands ((a)Steeper Hand, (b)Otto Bock Child Hand, (c)Otto Bock Adult Hand: using in our study)

表3 筋電義手ハンドの仕様 (各社カタログ参考)

Table 3 Specifications of each hand

ハンド	重量(バット)	把持力	開閉速度
Steeper	309g	35N	94mm/s
Otto Bock 小児用	320g	50N	39mm/s
Otto Bock 成人用	480g	90N	110mm/s

得ていないので来年度の報告書に示す。

⑦手先の形状の改善

Otto Bock社の筋電義手付属部品の中に細かい対象物の把持用として、ハンドに装着する「ピンセット」がある。これを試用してもらったところ、使用感は良好であった(図15)。しかし、常時携帯する必要性と着脱の手間に欠点を感じたようであった。総合的評価は現在も継続使用中であり、来年度に報告したい。

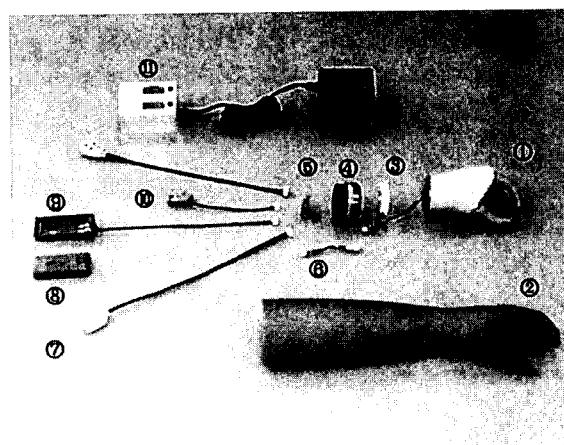


図13 Steeper社製筋電義手

- ①ハンド
- ②装飾グローブ
- ③接続プレート
- ④リストユニット
- ⑤接続ブロック
- ⑥ハンド接続ケーブル
- ⑦電極
- ⑧バッテリー
- ⑨バッテリーホルダー
- ⑩ON/OFFスイッチ
- ⑪充電器

Fig.13 Components of Steeper System hand
①Myoelectric hand, ②Cosmetic glove, ③Hand connection plate, ④Friction wrist unit, ⑤Connector block, ⑥Hand connector cable, ⑦Electrode, ⑧Battery, ⑨Battery holder, ⑩On/Off Switch, ⑪Battery Charger

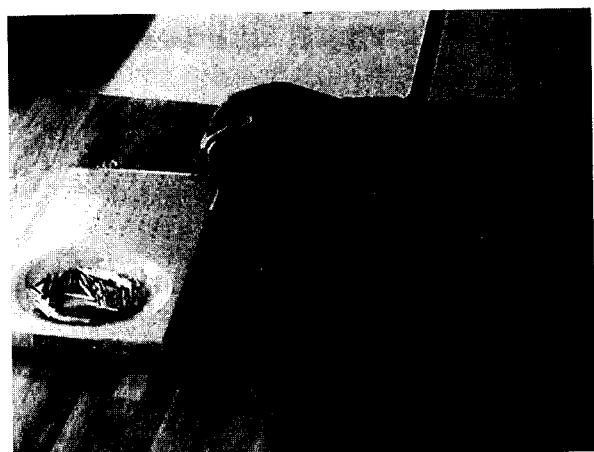


図15 オプションのピンセット
Fig. 15 Tweezers option device for small objects

6. まとめおよび今後の課題

14名の被験者に筋電義手を使用してもらい、システムを運用し、新たな問題点を抽出した。その結果、次の成果を得ることができた。

- ①今年度までの結果を踏まえた、各ステップ間の所要時間を含むシステムのフローチャートを制作した。
- ②各ステップで適切に対応するためのノウハウを蓄積した。
- ③訓練によって筋電義手を日常生活にどの程度活用できるかを評価するための試験方法を提案できた。
- ④被験者からの筋電義手に対するニーズを調査することができ、筋電（電動）義手の開発要素となり得る可能性を抽出できた。
- ⑤故障時に即時対応できる修理メンテナンス体制として、在庫部品の充実させることの有効性を再確認できた。

来年度はさらに新たな被験者を増やし、また現在すでに協力していただいている被験者には継続使用してもらい、より多くのデータを蓄積する。また、本研究の最終年であり、まとめとして、特に使用者の筋電義手に対する評価を調査し、処方（給付）する際の判断基準すなわち筋電義手を真に必要とする切断者の評価方法を確立させ、給付する側である行政へ提案する予定である。

*) 「筋電義手」とは筋電信号を、手先の開閉のスイッチとして電動のハンドを操作する義手であり、「電動義手」の一部である。本研究の対象は主に「筋電義手」であるが、「電動義手」と共通する部分を含むので限定しない旨、テーマ名は「筋電（電動）義手」とした。本文中では「筋電義手」とした。

<参考文献>

- 1) 川村次郎ら：海外における筋電義手の公費支給制度インターネットによるアンケート調査、第16回日本義肢装具学会学術大会講演集、207-207、2000.