



資料

## 学生教育用に試作した筋隆起センサを用いた模擬電動義手の紹介

福井信佳<sup>1\*</sup>、永井栄一<sup>2</sup>、中山淳<sup>1</sup>、川村慶<sup>3</sup>、西野誠一<sup>3</sup>、松本成将<sup>3</sup>、吉川雅博<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 関西医科大学

<sup>2</sup> 関西福祉科学大学

<sup>3</sup> 川村義肢株式会社

<sup>4</sup> 大阪工業大学

### 要旨

近年、動力義手の1つである電動義手 Finch が開発され臨床応用が試みられている。そこで筆者らは、Finch は教育現場でも利用できる可能性があると考え、Finch を非障がい者用に改良した模擬電動義手を試作し教育的利用について検討した。筆者らが試作した模擬電動義手の主な構造は、本体であるシーネ状の前腕支持具、手先具の開閉操作を円滑にするための手関節固定装具、手先具及び筋隆起センサからなる。製作上の工夫点は、手関節固定装具内にスイッチである筋隆起センサを挿入し、その筋隆起センサを橈側手根伸筋上に設置したことである。手関節固定装具は手背から前腕背側長軸方向にアルミ製の金属プレートがつけられている（以下、金属プレート）。対象者は手関節を背屈すると手背部では手背が金属プレートを押し上げ、手関節を支点として前腕背側部分では金属プレートが筋隆起センサを押し下げ、スイッチ操作を容易にした。試用の結果、対象者は不自然な身体運動を伴うことなく手先具の開閉が可能であり、筋隆起が不十分な被験者でも手関節固定装具の併用が有効であった。模擬電動義手は構造面、重量面に課題はあるものの、能動義手との違いがわかりやすく教育的利用が可能であると推察された。本稿の目的は、教育用に試作した模擬電動義手の機能と構造を紹介するとともに、試用による効果と今後の課題について検討することである。

受付日 2021年5月24日

採択日 2022年3月28日

### \*責任著者

福井信佳

関西医科大学 リハビリテーション学部 作業療法学科  
(前所属：関西福祉科学大学)

E-mail:

fukuin@makino.kmu.ac.jp

### キーワード

電動義手  
模擬義手  
学生教育

### はじめに

平成25年5月の義肢等補装具費支給要領の改正に伴い筋電義手の支給対象が緩和されたことにより筋電義手の調査、事例報告が増加傾向にある<sup>1-4)</sup>。また筋電義手においては非障がい者に対して操作体験可能な模擬筋電義手の紹介や<sup>5)</sup>、上肢切断者に対して模擬筋電義手を用いて筋電操作能力を検証する報告がある<sup>6)</sup>。しかし、従来から筋電義手には、重量が重いことや高価格である課題は解決されていない<sup>7)</sup>。そこでその課題解決のため吉川<sup>8)</sup>は軽量で低価格の電動義手である Finch を開発し、田中<sup>9)</sup>はその Finch を第3の義手として紹介し、今後活用法について検討していく必要があると報告している。そこで筆者らは、Finch は筋電義手同様に臨床場面だけ

でなく、非障がい者に対する体験用としても利用が可能ではないかと考えた。今回 Finch を改良した模擬電動義手を試作し、教育場面における利用の可能性を検討することとした。筆者らの知り得る限り電動義手の教育的利用の報告は見当たらない。

試作した模擬電動義手の主な構造は、本体であるシーネ状の前腕支持具、手関節固定装具、手先具及び筋隆起センサからなる。操作上の特徴は、手関節を背屈すると橈側手根伸筋の隆起が筋隆起センサを押し手先具が開き、接触をやめると自動的に手先具が閉じるように設定し、スイッチである筋隆起センサを押す際に、体幹の傾きなど不自然な身体運動を伴うことなく手先具の開閉が可能になる点である。本稿の目的は、教育用に試作した

模擬電動義手の構造と機能を紹介するとともに、製作から試用に至るまでの成果と今後の課題について報告することである。

## 模擬電動義手の評価方法

### 1. 対象

今回のモデルとなった対象者は、40歳代の非障がい者の男性で、身長170cm、体重83kg、前腕長24cm、前腕最大膨隆部周径30cmである。また製作後は、非障がい者である4名の学生（以下、体験者）に試用した。4名の学生は20歳代の男性3名、女性1名で、本学作業療法学専攻の4年生である（表）。模擬電動義手の製作方法は、まず既述の通り1名の対象者に製作し、その後4名の体験者に適用できるように、模擬電動義手の本体となる前腕支持具に、手関節固定装具を併用した。模擬電動義手は義肢装具製作技術者によって製作された。

### 2. 評価基準

模擬電動義手の教育的利用に関する評価方法は、模擬

表.

	身長	体重	前腕長	前腕最大膨隆部周径
学生1	160cm	50kg	22cm	21cm
学生2	174cm	63kg	30cm	25cm
学生3	163cm	50kg	26cm	25cm
学生4	166cm	60kg	27cm	26cm

電動義手の手先具の開閉である基本操作及び様々な目的物の把持操作が装着後すぐに可能となること、次にADLが4名の体験者に可能であることによって評価した。具体的には基本操作である手先具の開閉は、完全開大と完全閉鎖が体験者の前面でできること、次にその手先具の開閉が、体験者の腰背部、頭上部等様々な上肢の位置で開閉できることとした。様々な目的物の把持は立方体、球体等の形の異なる目的物の把持操作を、ADLは「パンにジャムを塗る」、「歯ブラシに歯磨き粉をつける」、「靴紐を結ぶ」各両手操作ができることとした。ADLの種目は、先行研究の一側上肢切断者に対する両手動作が必要となる項目から選定した<sup>10)</sup>。また体験者の感想も教育的利用に関する評価の参考にした。なお本研究は筆頭者の所属先において倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号19-01）。

## 模擬電動義手の特徴と主な工夫点

### 1. 模擬電動義手の構造

モデルとなった対象者の模擬電動義手の装着場面を示す（図1）。試作した模擬電動義手の構造は、①対象者の前腕部を掌側から包み込むシーネ状の前腕支持具、②筋隆起センサの固定や前腕支持具の安定性の向上に用いた手関節固定装具、③手先具、④筋隆起センサからなる。試作した模擬電動義手の総重量は500g、前腕支持具の長さは25cm、前腕支持具を含めた手先具までの全長は45cmである。前方及び後方からの装着場面を図2に示す。

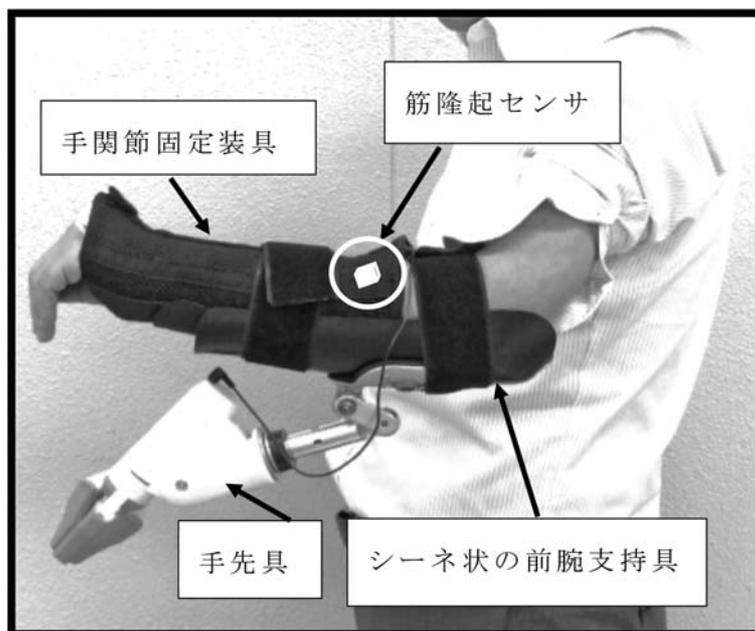


図1. 模擬電動義手の装着場面

筋隆起センサ（白線内に白く表示）は、橈側手根伸筋上で手関節固定装具内に設置しているので、実際の装着場面では外部から見えない。

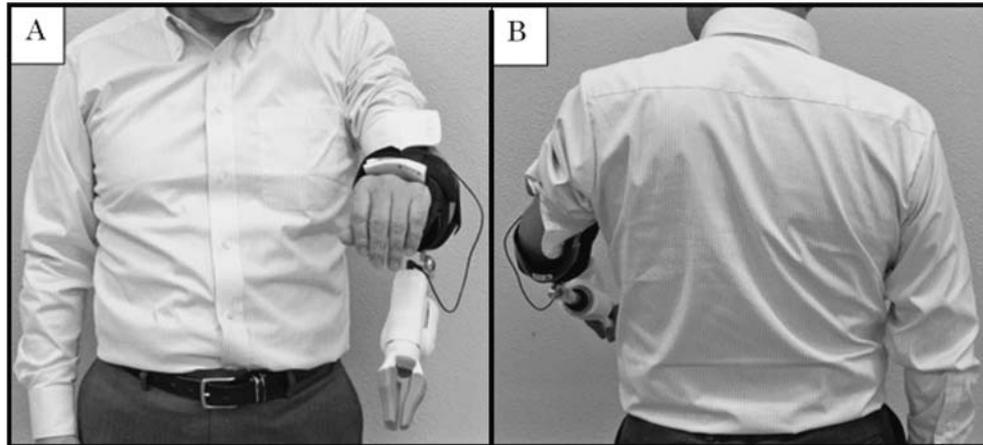


図2. 模擬電動義手の装着場面 (A: 前方からみた場面 B: 後方からみた場面)

## (1) 前腕支持具

前腕支持具は模擬電動義手の本体に該当する部分で、対象者の前腕部を掌側から包み込むシーネ状とした。掌側支持とした理由は、模擬電動義手操作中において前腕支持具の落下を予防するため、前腕支持具の中枢端を肘頭を越えて覆う構造としたためである。シーネ状とした理由は、試作後は体格の異なる体験者が使用するため、シーネ状にして前腕部をベルトで任意の強さに固定する方が、筒状のソケットに前腕部を挿入するよりもフィット感が良好であると考えたためである。支持具の素材はポリプロピレンで、この素材は、たわみがあるため体験者が変わっても前腕部へのフィット感が得られやすい。対象者は手関節固定装具を装着した前腕部を、前腕支持具に挿入し、2本のベルトで固定した(図3-A)。

前腕支持具と手先具をつなぐ手継手は、手先具を任意の角度に調節可能なものを採用した(小原工業 101 A-001)。体験者が手先具を見やすい任意の角度に設定できるためである。この手継手の調節可能範囲は屈曲(掌屈)方向に約180度である(図3-B)。

## (2) 手関節固定装具

手関節固定装具は日本シグマックス社製、手くび用サポーターを採用した(図3-C)。本稿では手関節固定装具とする。この手関節固定装具の構造は、手部から前腕部までを全体に軟性のメッシュ素材で覆い、手関節固定装具の掌側面と背側面には、それぞれ長軸方向に、手部から前腕部まで長さ225mm、幅15mm、厚さ1mmのアルミ製金属プレート(以下、金属プレート)が挿入されている。背側の金属プレートは手関節を軽度背屈位に設定した。固定装具ではあるが対象者は手関節の自動背屈運動が可能である。次に、この手関節固定装具の外側面の一部には面ファスナー(ループ)が取り付けられて

いる。なお、この手関節固定装具は左右S, M, Lサイズがあり体験者によって選択することが可能である。

手関節固定装具の使用目的は2つある。1つ目は、手関節固定装具内の金属プレート上に筋隆起センサを挿入するためのポケットを取り付け(図3-D)、橈側手根伸筋の隆起を筋隆起センサの面全体で捉えやすいように工夫した点である。2つ目は、前腕回内外の動きを前腕支持具で捉えるためである。対象者は、前腕部を前腕支持具に挿入しベルトで固定しただけでは、前腕支持具内で前腕回内外のスリップが観察された。そこで手関節固定装具表面と接触する前腕支持具の内側面に面ファスナー(フック)を取り付け、スリップを抑制した(図3-E)。

## (3) 手先具

手先具は吉川ら<sup>11)</sup>によって開発された Finch (ダイヤ工業社製)を採用した(図3-F)。Finchの構造は、筒状のソケットと対向3指つまみが可能な手先具部分からなっている。Finchを選択した理由は、軽量で低価格であったこと、Finchの手先具とソケットを切り離し、切り離した Finchの手先具と本研究に用いた手継手との接続が容易であったためである。

## (4) 筋隆起センサ

筋隆起センサの型は縦18mm×横18mm×高さ12mmの立方体で、設置場所は対象者の橈側手根伸筋上で筋の隆起を捉えられる位置とした。Finchの筋隆起センサを選択した理由は、この筋隆起センサは皮膚とセンサ間の距離センサであるので、必ずしも皮膚とセンサが接触する必要がなく筋隆起が不十分な体験者にも適用できると考えたためである。

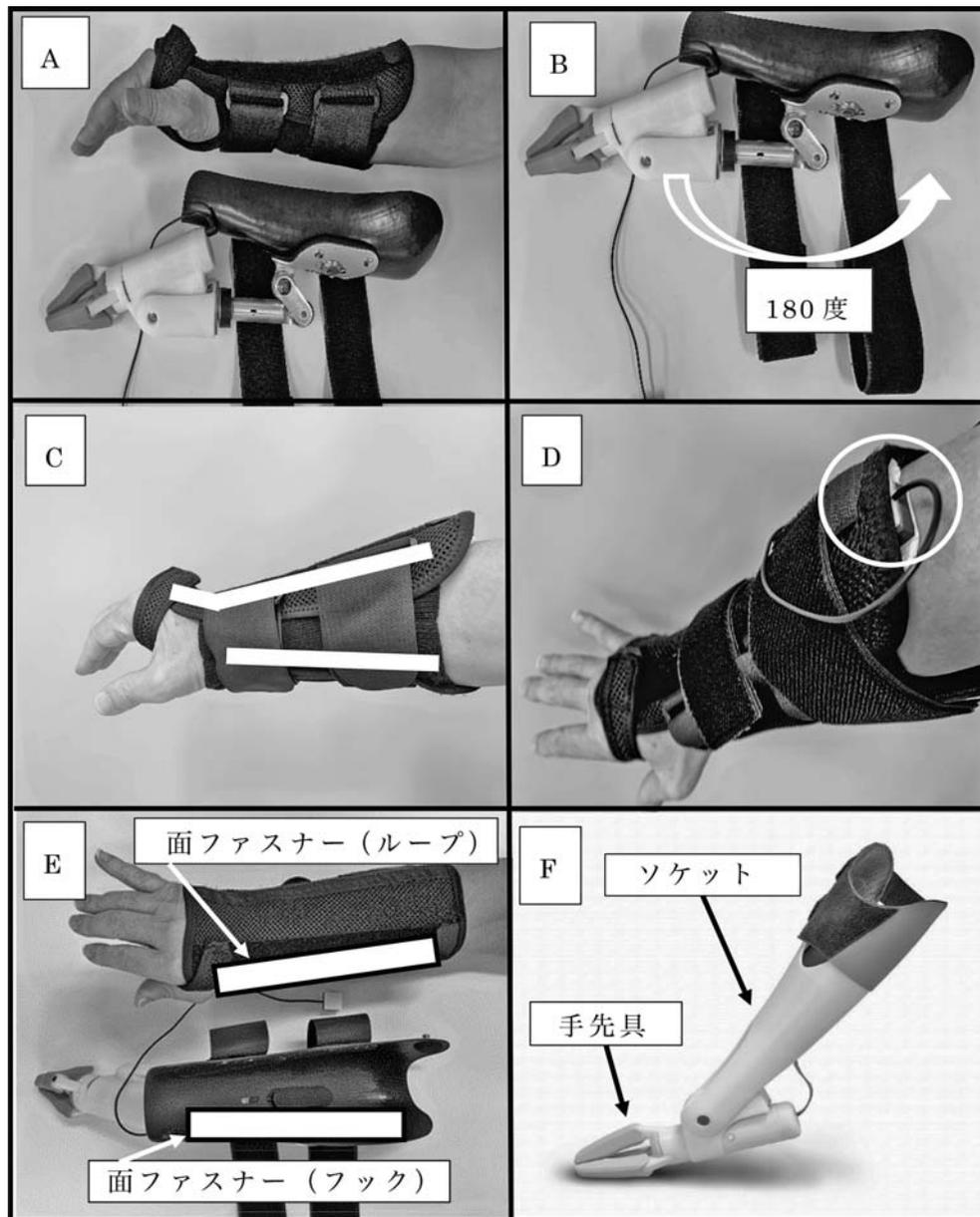


図3. 模擬電動義手の構造の詳細

- A: 前腕支持具(下)に手関節固定装具を装着した前腕部(上)を挿入して固定する
- B: 手継手の調節可動範囲は屈曲(掌屈)方向に約180度である
- C: 手関節固定装具の背側面、掌側面に金属プレートが挿入されている(白線部分)
- D: 手関節固定装具内の金属プレート上に、筋隆起センサを挿入するポケットを取り付け設置した(円内)
- E: 手関節固定装具と前腕支持具を上方から見た場面である。白線部分に面ファスナーが取り付けられている
- F: 電動義手 Finch の全体図である。本研究では手先具とソケット部分を切り離し、手先具部分を採用した

## 2. 模擬電動義手の機能

模擬電動義手は、スイッチである筋隆起センサを押すと模擬電動義手の手先具が開き、スイッチを押すことをやめると手先具が閉鎖するように設定した。具体的な操作方法は、対象者が手関節を背屈すると、手背部では金属プレートを押し上げ、前腕背側の筋隆起センサ設置部分では金属プレートが筋隆起センサを押し下げ手先が開き、手関節の背屈をやめると手先具が自動的に閉じる。

## 3. 模擬電動義手の成果(教育的利用の可能性)

製作後はまず1名のモデルに対して試用し、基本操作である手先具の完全開大と完全閉鎖である基本操作が前面で可能であった(図4)。その後手先具の開閉が腰背部、頭上部等様々な上肢の位置でも手先具の開閉が、さらに種々の目的物による把持操作が可能であった(図5)。ここまでの操作は模擬電動義手装着後まもなく可能であった。4名の体験者においても模擬電動義手装着

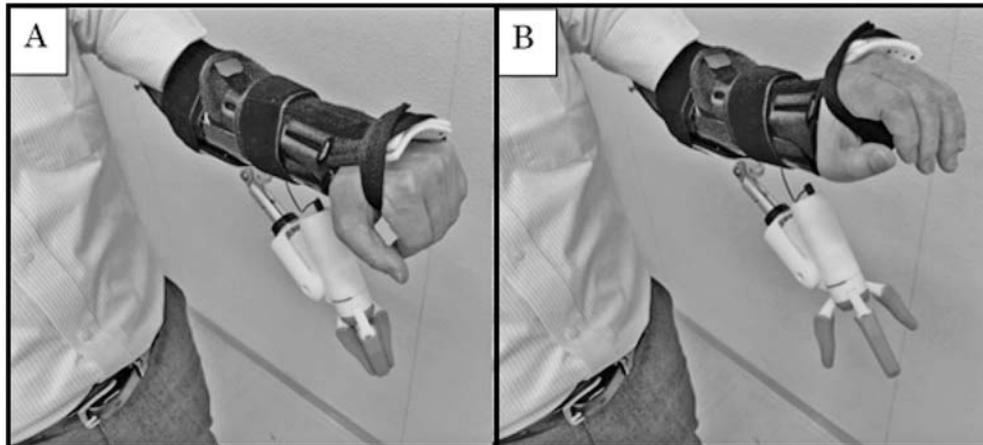


図 4. 模擬電動義手の基本操作

A : 手関節が背屈掌屈中間位でスイッチ OFF の状態  
 B : 手関節背屈によるスイッチが ON の状態

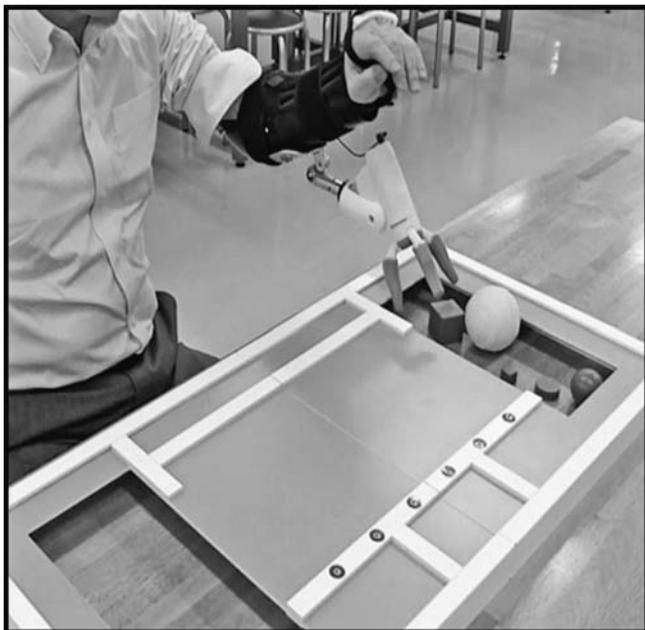


図 5. STEF による基本操作の練習と評価の場面

後、容易に手先具の開閉が可能であった。その後、体験者に対しては一週間の基本操作及び種々の目的物の把持操作訓練を行った後、「パンにジャムを塗る」、「歯ブラシに歯磨き粉をつける」、「靴紐を結ぶ」各 ADL を行い、拙劣さはあるがすべての体験者に試用可能であった(図 6)。

また体験者の感想からは、「模擬能動義手との操作の違いがわかりやすい」、「手先具がスイッチで動くので(肩甲帯の動きを力源とする)能動義手よりも操作上の違和感が少ない」と好印象があったが、「前腕支持具に対して手先具部分の重量が重く感じる」、「模擬電動義手全体のサイズが大きいため、袖を通す更衣動作の体験に

は不向きである」等の課題も認めた。

## 体験的利用から明らかとなった模擬電動義手の成果と課題

今回、Finch を改良した模擬電動義手を製作し構造と機能を紹介した。また複数の体験者による試用が可能であり、基本操作、種々の目的物の把持操作及び ADL が可能となった。

### 1. 模擬電動義手の構造と機能

製作した模擬電動義手の構造上最大の工夫点は、手関節固定装具を併用したことであった。これにより筋隆起センサへの接触が容易になった。筋隆起センサへの接触について、筋電義手の場合は皮膚表面に電極を接触させ信号を採取するため、皮膚と電極間の接触状態が操作に影響すると報告されている<sup>12)</sup>。本研究においても、センサと皮膚の距離をいかに調節できるかという点において接触状態の場合と同様の課題があった。筋隆起が十分な体験者では筋隆起だけで手先具の開閉が有効であったが、筋隆起が十分でない体験者では手関節固定装具の併用が筋隆起センサと皮膚の接触をしやすくしたと考えられた。

また手関節固定装具は前腕支持具内での前腕回内外のスリップ抑制に効果的であった。その仕組みは、シリコンライナーソケット<sup>13)</sup>を装着する時のように、まず体験者はサイズに適合した手関節固定装具を前腕部に密着させ、次にその手関節固定装具を前腕支持具に固定させることによって、体験者の前腕部と前腕支持具の良好なフィッティングが得られた。この点は、ADL 上にて両手動作を行う際に Finch の手先具を正確に前方、下方及び側方へ向ける際に効果的であり、模擬電動義手の操作

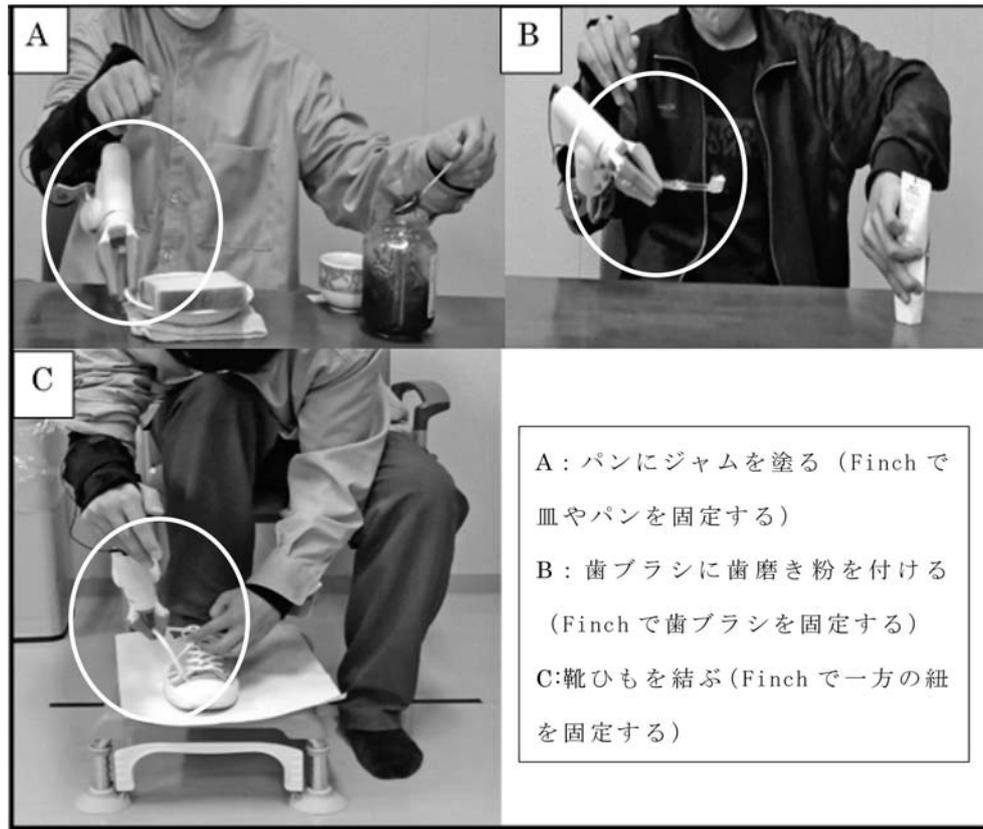


図 6. ADL 両手動作の体験 (円内が Finch の手先具)

性の向上につながったと考えられた。

## 2. 模擬電動義手の成果 (教育的利用の可能性)

教育的利用を可能にするには、体験者が交代しても操作可能でなければならない。既述した通り、製作段階では1名の対象者に対して採型しているのので、このままでは体験者が交代すると良好なフィッティングは得られない。そこで体験者は S, M, L サイズから適合可能な手関節固定装具を選択し、前腕支持具に密着させ、模擬電動義手の基本操作及び ADL の実施を可能にした。体験者が交代しても利用可能であった点は、体格の異なる学生が装着、操作体験が可能であることを示しており、教育的利用が可能になると推察された。

次に模擬電動義手装着後まもなく基本操作及び様々な目的物の把持が可能であった。一般的に一側上肢切断者に対する能動義手の訓練には 15~25 時間を要するとされる<sup>14)</sup>。装着が良好であれば、能動義手よりも電動義手の基本操作の習得は容易であるのかもしれない。体験のために多くの訓練時間を必要としない点も教育的利用に有効であると考えられた。

また体験者による「模擬能動義手との操作の違いがわかりやすい」、「手先具がスイッチで動くので (肩甲帯の

動きを力源とする) 能動義手よりも操作上の違和感が少ない」という意見は、模擬電動義手の操作が、体験者自身の筋隆起によって手先具を制御できるので、能動義手との操作の違いを、体験を通してより理解しやすくなっていると考えられた。さらに「前腕支持具に対して手先具部分の重量が重い」、「模擬電動義手のサイズが大きい」ため、袖を通す更衣動作の体験には不向きである」等の意見は、構造面、重量面で改善の必要性があることを示唆していると考えられた。

以上のように、模擬電動義手はいくつかの課題があるものの、体験者が交代しても模擬電動義手装着後まもなく基本操作、目的物の把持操作が可能である、さらに ADL への試用も可能であった。この点は模擬電動義手の構造や機能を学習し、操作を体験することに有効であり教育的利用に期待できると考えられた。また試作した模擬電動義手は特に能動義手との比較において、操作上の違いを体験しやすいことも明らかとなり、能動義手の理解にも好影響を与えると考えられた。

## 3. 今後の課題

今回は模擬電動義手の製作及び試用経験の報告であった。今後、学生教育用に有効であるか否かは安定性、巧



緻性等の評価や、多数の学生に対する試用アンケートが必要であると考えている。また製作面からは模擬電動義手の小型化、軽量化が必要である課題も窺えた。さらに動力義手が未経験の上肢切断者に対して試用することも、当事者にとって義手選択の一助となり得るので、課題解決に努めつつ引き続き開発、研究を継続したいと考えている。

## 謝辞

本研究の模擬電動義手の試用に当たり協力いただいた学生の皆さんに感謝します。この研究の一部は、関西福祉科学大学保健医療学部リハビリテーション学科作業療法学専攻の卒業研究として実施しました。

## 利益相反

本研究に、開示すべき利益相反はありません。

## 文献

- 1) 戸田光紀, 陳 隆明, 柴田八衣子・他: 上肢欠損児に対する特例補装具としての筋電義手支給状況に関する調査-兵庫県立リハビリテーション中央病院 15年の経験から-。義装会誌 36: 51-53, 2020
- 2) 田中洋平, 浦田一彦, 高原安浩・他: 筋電義手 i-limb の使用経験。義装会誌 34: 66-69, 2018
- 3) 戸田光紀, 陳 隆明, 柴田八衣子・他: 小児筋電義手の現状と課題-兵庫県立リハビリテーション中央病院 15年の経験から-。義装会誌 35: 136-141, 2019
- 4) 徳弘昭博, 濱田全紀, 木下勝令: 労災切断者に対する筋電動義手普及を支援するシステム。義装会誌 34: 60-65, 2018
- 5) 加藤弘明, 金高寿之: 模擬筋電義手の作成と使用の経験。義装会誌 30 (特別号), 148, 2014
- 6) 大庭潤平, 梶谷 勇, 大西謙吾・他: 片手操作課題と両手操作課題が筋電義手操作能力に及ぼす影響-模擬筋電義手による検証-。義装会誌 35: 59-64, 2019
- 7) 浅見豊子: 筋電義手の実用性における課題。義装会誌 29: 74-79, 2013
- 8) 吉川雅博: デジタルファブリケーションツールを活用した義手開発。義装会誌 34: 115-118, 2018
- 9) 田中洋平: 筋電義手・電動義手の現状と課題。義装会誌 34: 110-114, 2018
- 10) 小川恵子: 切断と義肢 (小川恵子, 出口 昇, 菊池恵美子・他共訳), 身体障害の作業療法改訂第 2 版, pp 396-397, 協同医書出版, 1992
- 11) 吉川雅博, 河島則天: 電動義手 Finch の製品化と普及の取り組み。日本ロボット学会誌 38, 131-134, 2020
- 12) 梶谷 勇: 電動義手の開発に向けて。義装会誌 26: 102-106, 2010
- 13) 蜂須賀研二, 大峰三郎: 大腿義足 (川村次郎, 陳隆明, 古川 宏・他編): 義肢装具学第 4 版, pp 139-142, 医学書院, 2016
- 14) 小川恵子: 切断と義肢 (小川恵子, 出口 昇, 菊池恵美子・他共訳), 身体障害の作業療法改訂第 2 版, pp 392-395, 協同医書出版, 1992



Report

# Prototype electrically driven prosthetic hand model with experimental muscle-rise sensor designed for use in student instruction

Nobuyoshi Fukui<sup>1\*</sup>, Eiichi Nagai<sup>2</sup>, Jun Nakayama<sup>1</sup>, Kei Kawamura<sup>3</sup>, Seiichi Nishino<sup>3</sup>, Shigemasa Matsumoto<sup>3</sup>, Masahiro Yoshikawa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Kansai Medical University

<sup>2</sup> Kansai University of Welfare Sciences

<sup>3</sup> Kawamura Gishi Co., Ltd

<sup>4</sup> Osaka Institute of Technology

## ABSTRACT

Development of the *Finch* as an electrically driven hand prosthesis and investigation of its clinical application in recent years have led the authors to consider the possibility of its use by non-disabled individuals at educational sites. Consequently, the authors sought to construct a modified model with electrically driven opposing fingers and investigate its potential for educational use. of this prototypical electrically driven hand prosthesis are its splint-form forearm support body including the wrist joint immobilization orthosis for smooth opening and closing of the opposing fingers and its finger and muscle-rise sensors. Particularly innovative aspects are its inclusion of the muscle-rise sensor serving as a switch in the wrist immobilization orthosis and mounting of the muscle-rise sensor on the extensor carpi radialis muscle. The wrist immobilization orthosis is an attached aluminum plate (hereinafter “metal plate”) extending from the back of the hand along the postcubital major axis. When the test subject dorsiflexes their wrist the back of their hand pushes up the metal plate with the opisthenar. Thus, in the forearm postcubital region, the metal plate pushes down the muscle-rise sensor with the wrist joint as the fulcrum, facilitating operation of the switch. The test results show that the test subject can readily open and close the finger devices unaccompanied by any need for unnatural body movement, and that use in combination with the wrist joint immobilization orthosis is effective even in those with insufficient muscle rise. Although further improvement may be necessary regarding the structure and weight, the study indicates that the electrically driven prosthetic hand model can clearly present the differences in perception and effects from those of a body-driven prosthetic hand and that educational use will be possible. The purpose of this paper is to report the structure and function of the prototype electrically driven prosthetic hand model for educational use, present the results of utilization tests, and identify aspects that will require further development.

**Key words:** electric upper limb prosthesis, model prosthetic arm, student education