

原著

人工筋型筋電装具における上肢機能の習熟度と把持力の特性
および習熟度による主観的満足度の検討中山淳^{1*}, 砂川耕作¹, 福井信佳¹, 田野確郎²¹ 関西医科大学 リハビリテーション学部² でんの整形外科クリニック

要旨

【緒言】上肢の末梢神経麻痺に対するリハビリでは、装具療法の重要性が報告されている。著者らは、筋電を用いた装具 MfHAH を開発した。MfHAH における上肢機能の習熟度、把持力および装具の満足度評価を用いて検討した。

【方法】上肢機能の習熟度については、前後の個数から相対的変化率を算出し、増減率 5% 未満を習熟とし、習熟した回数を評価した。把持力にはタッチセンサを用いて評価した。また、習熟前後における満足度については、システムや製品に対するユーザの主観的満足度を評価する日本語版 SUS⁶⁾を用いて評価した。

【結果】上肢機能における習熟回数に関して 1, 2 回目および 2, 3 回目は MfHAH と比較して、非装着で有意な差を認めた ($p < 0.05$)。3, 4 回目の相対的変化率は MfHAH では $30.9 \pm 13.0\%$ 、非装着で $2.4 \pm 5.3\%$ と有意な差を認めた ($p < 0.05$)。4, 5 回目以降は MfHAH と非装着時で有意な差は認めなかった。上肢機能における習熟度は、4, 5 回目以降は差を認めなかった。把持力は、非装着時と有意差は認めなかった。MfHAH の満足度評価では、初回時と比較して習熟後で有意に改善した ($p < 0.05$)。

【結論】MfHAH は、習熟するまでに一定の練習回数を要するが、手先のコントロールが可能な把持特性があり満足度が高い点から有効な装具であることが言える。

受付日 2023 年 12 月 25 日

採択日 2024 年 5 月 13 日

*責任著者

中山淳
関西医科大学 リハビリテーション学部

E-mail:

nakayamj@makino.kmu.ac.jp

キーワード

筋電装具
タッチセンサ
満足度

はじめに

上肢の末梢神経麻痺による疾患では、装具療法の重要性が報告されている^{1,2)}。運動麻痺の装具に、随意的に可動させ手指の運動補助を目的とした装具はこれまでにない。現在の治療に用いる装具は、矯正用装具と保護用装具に大別される³⁾。矯正用装具は拘縮した関節を運動制限方向に矯正する目的で使用され、先行研究では弱力で長時間矯正を加えることで軟部組織の伸張に有効とされている⁴⁾。一方、保護用装具は、麻痺手への保護や除痛への効果が報告されている³⁾。しかし、これらの装具は問題点も多い。矯正用装具では、拘縮改善用に重きを置くため、ADL への補助的装具には適応できない。

また、屈曲もしくは伸展のどちらか一方の運動方向にしか矯正を加える事が出来ず、症状に応じた矯正力の変更が困難である。一方で保護用装具では、使用目的に応じた角度の調整が困難である²⁾。また、上肢の運動麻痺と変性疾患の併存例などは、臨床症状により目的に応じた複数の装具の付け替えが必要となることなどがあげられる。そこで、これまでの問題点を改善し、矯正機能と固定角度の調整が可能な保護機能、さらに随意的な運動を可能とする装具の開発が必要であると考えられた。そこで中山らは、末梢神経麻痺患者を想定して、拘縮の矯正および手の機能の代替を背景として人工筋装具に筋電機能を取り入れた人工筋型筋電装具 Myoelectric function

type Hybrid Artificial Muscle Splint (MfHAH)⁵⁾を開発した。しかし、開発した MfHAH は筋電を使用しており、これにより習熟までの時間が必要であるため、装具の満足度が低下し、装具の装着効果が得られにくいことが推測される。また、人は高度な手先技術を持ち、物体を把持する際には、最小限の把持力で操作している。しかし、本装具では、対象物を無意識に把持する際に生じる把持力については明らかにされていない。

そこで本研究では、装具の非装着を基準として、開発した MfHAH の習熟回数、把持力の特性を明らかにし、習熟度の違いを System Usability Scale (SUS)⁶⁾を用いた義肢・装具主観的満足度を用いて調査し、装具の有効性について検討することを目的とした。

対象

被検者は、装具や筋電義手の経験がなく、上肢に可動域制限がない非障害者を対象とした。性別は、男性 9 例 9 手、女性 3 例 3 手合計 12 例 12 手であり、利き手は全例右利きであった。また、平均年齢は 36.2 歳 (64-19 歳)であった。被験者の除外基準として、既往歴に上肢の関節疾患及び筋疾患がある者、また研究協力を継続的に実施できないものや同意の得られない者は除外した。また、本研究は、関西医科大学の倫理評価委員会の承認 (承認番号: 2022243) を得た。その後、すべての対象者に研究の主旨と方法および研究参加の有無により不利益が生じないことを説明し、書面にて承諾を得た後に測定を実施した。

方法

人工筋型筋電装具 (MfHAH)

MfHAH の構成パーツは、人工筋コントローラ、グローブ、手関節カフ、前腕カフ (ダイヤ工業社製)、マッキベン型人工筋 (掌側用 2 本、背側用 2 本の計 4 本)、筋電アンプ、電源ランプ、筋電電極から構成される (図 1)。

本装具の最大の特徴は、手関節および手指の矯正にマッキベン型空気圧ゴム人工筋 (Pneumatic Artificial Muscle; PAM) 用いて、筋電を利用した随意的な運動を可能にした点である。PAM は空気圧を利用し給気した際にゴムチューブが中心点に向かって膨張し収縮力が発生する。排気時にはゴムチューブは弛緩し収縮力は消失する構造となっている。

人工筋コントローラ内には人工筋内への給気排気を切り替えられる電磁弁を搭載しており、ON-OFF 信号により操作することが可能である。筋電のデバイスには、システムデザイン・ラボ製 templer switch TS-1 を用い

た。非装着側の電極から筋電位を計測し設定した閾値を超えることでスイッチング信号をモノラルプラグで出力し、スイッチジャックを介してコントローラ内にある電磁弁で操作している。

被験筋は、非装着側の手関節背屈筋群 (長橈側手根伸筋・短橈側手根伸筋) および手関節掌屈筋群 (尺側手根屈筋) とした。手関節背屈筋群の筋電信号が閾値を超えることで、掌屈用人工筋が排気し、背屈用人工筋及びグローブ内の人工筋⁴⁾への給気が開始され手関節が背屈し手指が屈曲する。一方、手関節掌屈筋群の筋電信号が閾値を超えることで、背屈用人工筋が排気し、掌屈用人工筋及びグローブ内の膨張型人工筋への給気が開始され手関節が掌屈し手指が伸展するメカニズムである⁵⁾ (図 2)。MfHAH は矯正機能と介助機能を合わせ持った装具である。装着中には、装着側の前腕屈筋群および伸筋群に筋電センサを装着し、筋活動が生じないようにモリタリングしながら実施した。

習熟回数に関する評価

上肢機能評価には BBT (Box and Block test)⁷⁾を用いた。BBT は 25mm 四方のブロックを二つのボックス間を移動させることにより、上肢の器用さを判断するためのテストである⁷⁾。練習として、15 秒間ボックスの移動を行った後に、60 秒以内にできるだけ多くのブロックを 1 つずつ箱からもう一方の同じ箱へと移動させることによって測定した。MfHAH、非装着時それぞれ 1 セッションで BBT を 3 回実施しセッションの平均個数を算出した。習熟とは、操作者が自身の筋活動により発生する表面筋電位信号を用いて装具操作パフォーマンスを向上させることであり、その評価には、前後の個数から相対的変化率 (実施後 - 実施前 / 実施前 × 100) 算出し、増減率 5% 未満を習熟と定義した。訓練期間は、毎日午前中に計測初回から 7 回目までの合計 7 セッション実施し計測した。

タッチセンサの用いた把持力の評価

株式会社テック技販社製のタッチセンサを用いて指尖部に加わる力を X, Y, Z 軸の 3 軸方向の合力を計測した値を把持力と定義した (図 3)。タッチセンサの大きさは (D35mm × H35mm × W50mm) かつ軽量 (約 53g) でありセンサ本体を柔軟性の高いボディが包んでいる。センサから得られたデータを A/D 変換しサンプリング周波数 1000Hz、分解能 14bit で計測した。

本研究では、以下の手順で実施した。センサを把持する。センサを机上から 30cm 挙上させ 5 秒間維持した値を計測した。計測後センサを下し机上に置く動作を 3 回



図1. 人工筋型筋電スプリントの必要パーツと装着図

A: 人工筋コントローラー、グローブ、手関節カフ、前腕カフ（ダイヤ工業社製）、マッキベン型人工筋（掌側用2本、背側用2本の計4本）、筋電アンプ、電源ランプ、筋電電極から構成される。

B: 筋電装具（MfHAH）：矯正機能と介助機能を合わせ持った装具である。手関節およびハンドの動力源には、空気圧アクチュエーターである。装具非装着側の筋電を収縮させ、装具の開閉を行う。研究実施の際には、装具装着側にも筋電電極を付着させ随意的に装具を開閉させていないか確認を行ないながら実施した。

実施し、把持力の平均値を算出した。以上の方法で、MfHAH と非装着両方で把持力の最大随意等尺性収縮（Maximum Voluntary Contraction: MVC）と意識せずセンサを把持する値を計測した。計測した値を二乗平均平方根（Root Mean Square: RMS）処理し、得られたデータは解析ソフト Yawasa Slide Touch ソフトウェアを使用し、安定した3秒間の積分値を求めた。その後、把持

力の100%MVC で得られた積分値を基準に正規化を行い、MVC を基準として規格化（MfHAH もしくは非装着/MVC）した。

SUS を用いた主観的満足度調査（図4）

日本語版 SUS⁶⁾ はシステムや製品に対するユーザの主観的満足度を評価する、分野を限定しない汎用的な満足度

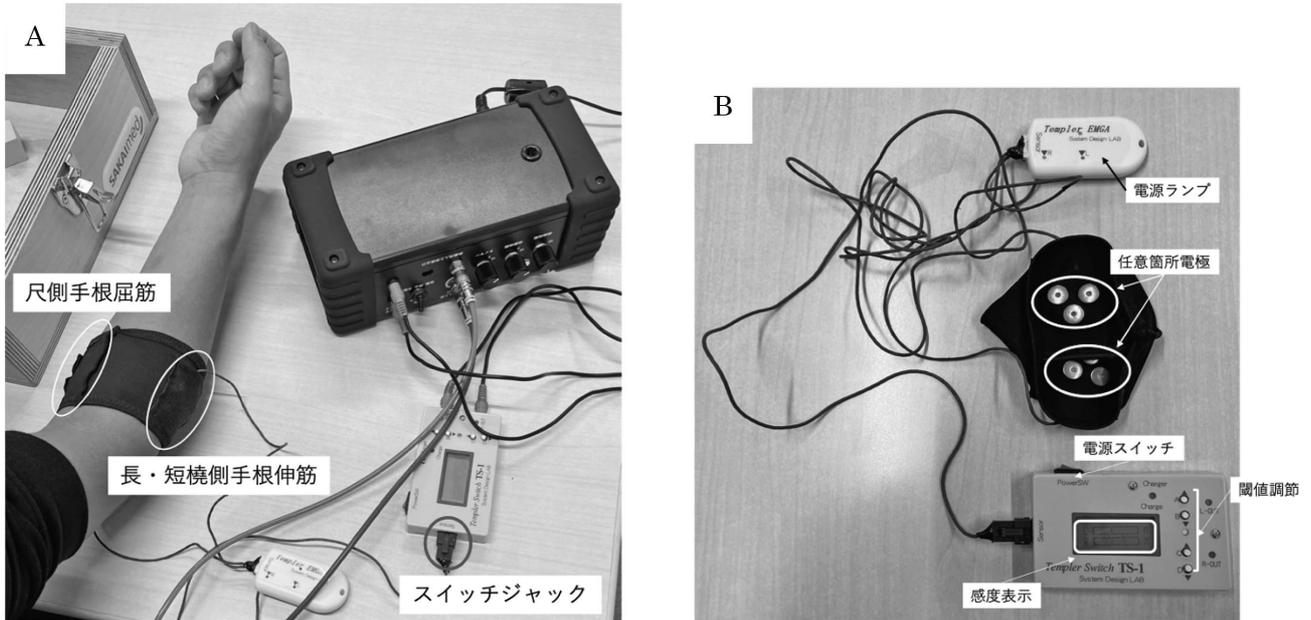


図2. 筋電信号と動作

A：手関節背屈筋群（長橈側手根伸筋・短橈側手根伸筋）の筋電位を計測することで、掌屈用人工筋が排気し背屈用人工筋及びグローブ内の人工筋への給気が開始され手関節が背屈し手指が屈曲する。伸展方向へは、手関節掌屈筋群（尺側手根屈筋）の筋電位を計測することで、背屈用人工筋が排気し掌屈用人工筋及びグローブ内の人工筋への給気が開始され手関節が掌屈し手指が伸展する。
 B：筋電のデバイスは、システムデザイン・ラボ製 templer switch TS-1を用いた。非装着側の任意箇所電極から筋電位を計測する。閾値調節で調整し、感度表示された閾値を超えることでスイッチング信号を、スイッチジャックを介してコントローラー内にある電磁弁で on-off を操作している。

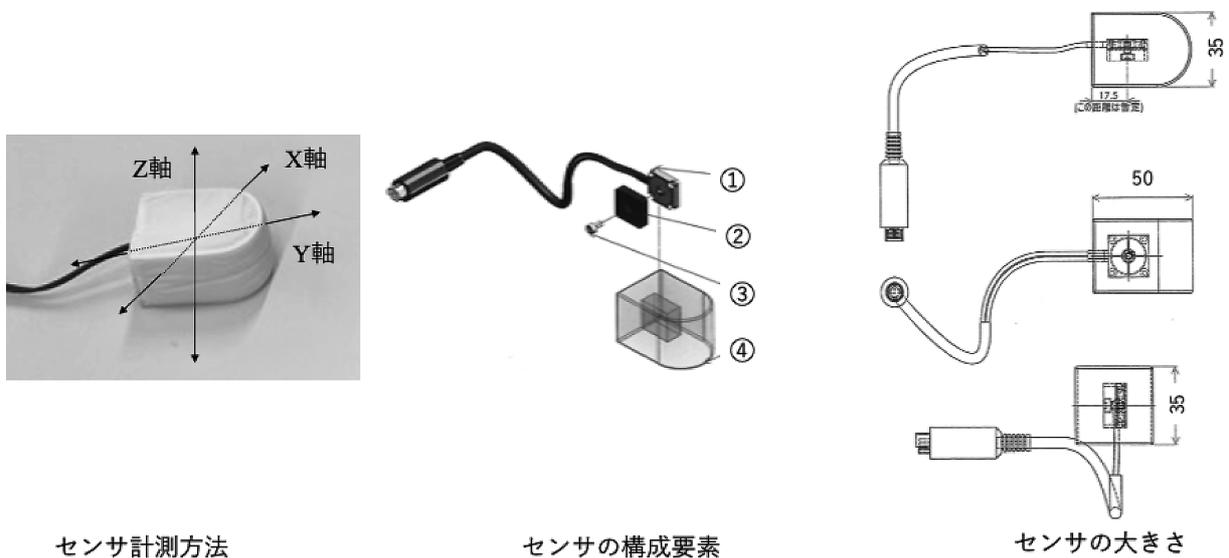


図3. 本研究で用いたタッチセンサ

- ・センサの計測方法：センサ本体をボディが包み、Z 軸、X 軸、Y 軸の3軸の合力を把持力として計測
- ・タッチセンサの構成要素：①3軸ロードセル ②受け板 ③六角穴ボルト ④ボディ
- ・センサの大きさ：大きさは、D35mm×H35mm×W50mm。重さは約53gである

評価の指標であり、10項目を1点から5点の5段階で評価する質問紙である。10項目あるうちの奇数番目と偶数番目では、良い評価と悪い評価の方向が逆に並んでいる特徴があり、これはレスポンスバイアスや従属バイアスを最小化するために設計されている⁸⁾。SUSスコア

が70点以下であればユーザの満足度に対しての配慮不足が考えられ、70点台では受け入れが可能、80点台では高い満足が得られていると評価することができ、90点台では特に高い水準の満足を得られていると判断できることがわかっている。主観的満足度調査は装具の装着

日本語訳 SUS rev1

今使ったばかりの支援機器について、下の質問に感じたことを「まったくそうは思わない」から「まったくそう思う」までの5段階評価の数字を○で囲んで教えてください。総ての質問に、考えこまないで、直感的に評価してください。答えられない質問には3点をつけてください。なお、右端の欄は作業用ですので記入しないでください。

		まったく そうは思わない					まったく そう思う				
1	この支援機器はしょっちゅう使いたくなるだろうと感じた。	1	2	3	4	5					
2	この支援機器は必要以上に複雑だと感じた。	1	2	3	4	5					
3	この支援機器は使いやすいと感じた。	1	2	3	4	5					
4	この支援機器を使えるようになるためには専門職の助けが必要だろうと思った。	1	2	3	4	5					
5	この支援機器にはいろんな機能がうまくまとまっていると感じた。	1	2	3	4	5					
6	この支援機器にはちがはぐな点が多すぎると感じた。	1	2	3	4	5					
7	この支援機器の使い方はたいいていの人がすぐに身につけるだろうと感じた。	1	2	3	4	5					
8	この支援機器はとても扱いづらいと感じた。	1	2	3	4	5					
9	この支援機器を使いこなせると確信している。	1	2	3	4	5					
10	この支援機器を使い始められるまでに学ぶことが多かった。	1	2	3	4	5					

下線部は他の適当な用語で置き換えることが可能。

スコアの算出には、各項目への評点を x とし、奇数番目の質問へのスコアは $x-1$ 、偶数番目の質問には $5-x$ として右端の欄に記入する。未回答の項目に対しては $x=3$ とする。スコアの総計に 2.5 をかけて 100 点満点のスコアとする。

図 4. System Usability Scale 支援機器日本語版 (著作権について了解を得ている)

開始時と終了時に実施した。尚、日本語版 SUS の著作権について了解を得ている。

解析方法

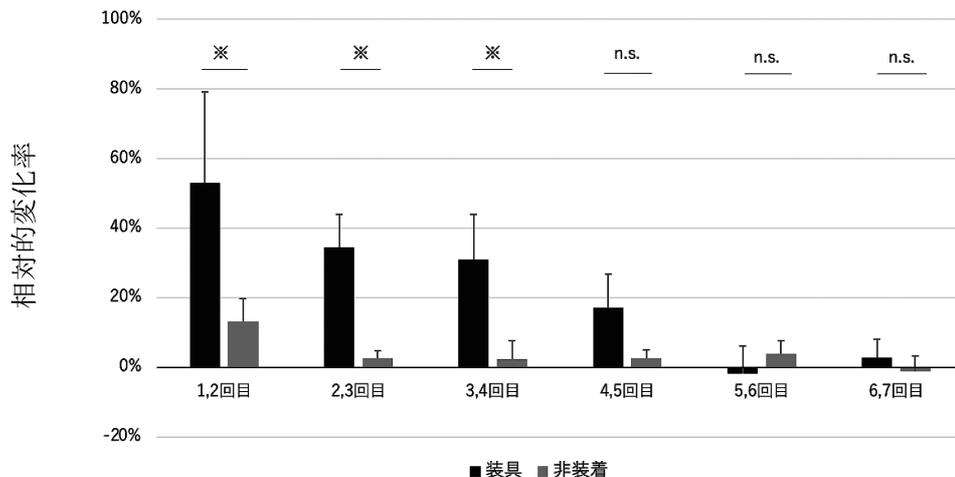
習熟回数に関する評価については、MfHAH 装着時と非装着時における各セッション間の相対変化率の比較には一元配置分散分析を実施後事後検定として Steel-Dwass の多重比較を用いた。タッチセンサを用いた MfHAH 装着時と非装着時の把持力の差を Wilcoxon Signed-rank test を用いて分析した。SUS を用いた主観的満足度調査に関しては、装着開始時と終了時の差について対応のある T 検定を実施した。分析には SPSS ver 11.5 を用い、有意水準は 5% 未満とした。

結果

上肢機能における習熟回数の結果

上肢機能における習熟回数に関して MfHAH 装着時は、4 回目と 5 回目の変化率 17.2% であった。5 回目と 6 回目の変化率は -2% となったため結果は 6 回目で習熟した。一方、非装着時は、1 回目と 2 回目の変化率 13.1% であった。2 回目と 3 回目の変化率は 3.1% となったため結果は 3 回目で習熟した。MfHAH 装着時と非装着時との変化率の比較では、1, 2 回目の相対的変化率は MfHAH では $52.9 \pm 26.2\%$ 、非装着で $13.2 \pm 6.5\%$ と有意な差を認めた ($p < 0.05$)。2, 3 回目は MfHAH では $34.5 \pm 9.6\%$ 、非装着で $2.7 \pm 2.1\%$ と有意な差を認めた ($p < 0.05$)。3, 4 回目の相対的変化率は MfHAH では

BBT による習熟度の変化



※: $p < 0.05$ n.s. = not significance

図 5. 上肢機能評価による変化率の比較

1, 2 回目, 2, 3 回目, 3, 4 回目の相対的変化率は、装具の有無で有意に差が生じる結果となった。4, 5 回目以降は有意差はなかった。

タッチセンサを用いた計測

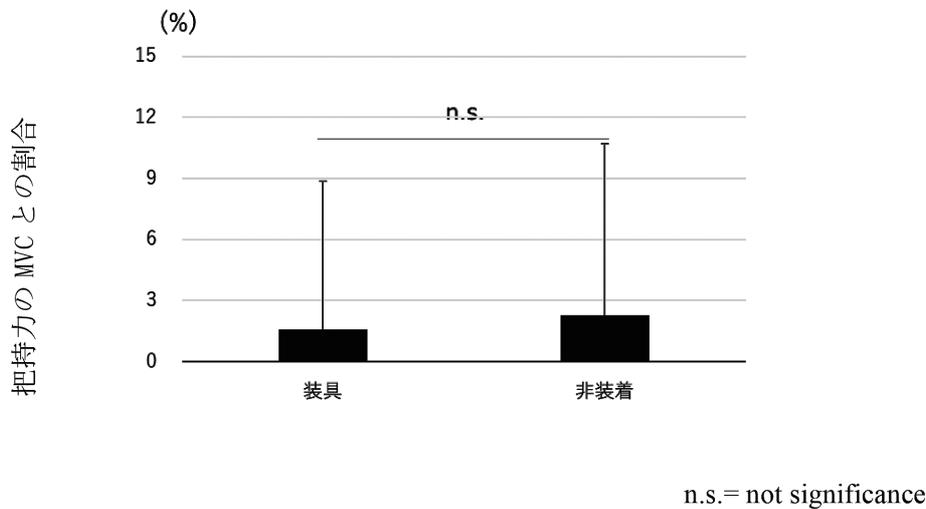


図 6. 把持力の変化
装具装着時と非装着時における、把持力の MVC との比較では有意差はなかった

30.9 ± 13.0%, 非装着で 2.4 ± 5.3% と有意な差を認めた ($p < 0.05$). 4, 5 回目以降は MfHAH と非装着時で有意な差は認めなかった (図 5).

把持力の結果

MfHAH 装着時は、1.6 ± 7.3% であった。非装着時は 2.3 ± 8.4% であった。MfHAH 装着時と非装着時の間に有意な差は認めなかった (図 6).

SUS の結果

MfHAH の満足度は、初回時には 61.0 ± 20.7/100 点で、習熟後には 81.2 ± 3.9/100 点と有意に改善を認めた ($p < 0.05$).

考察

上肢機能の習熟回数と把持力について

BBT は手全体の巧緻性のパフォーマンスを評価する検査である⁹⁾。BBT は Mini Mental State Examination (以下 MMSE) や握力との関連が報告されている¹⁰⁾。また、手全体の巧緻性のパフォーマンスだけでなく、上肢操作に必要な認知機能を踏まえた上肢のパフォーマンス評価となりうるため、食事動作の自立可否に対する判別指標にも用いられている¹¹⁾。このように BBT は、日常生活動作を遂行する際に必要な能力との関連性が報告されている。本研究の結果から、BBT の習熟に関しては、非装着時と比較して MfHAH 装着下では習熟するまで回数を要した。BBT は無造作に重ねられた状態の複数のブロックを把持するため筋電ハンドの位置をブロック

に対して把持しやすい位置にアプローチしなければならない¹²⁾。筋電義手の場合、臨床研究の結果、筋電は肢位によって掌屈筋群や背屈筋群が不随意に収縮することや弛緩しにくいことがある¹³⁾。そのため基本訓練を開始時の筋電使用者は、両筋電位が閾値を越えないことや逆に両筋電位が同時に閾値を超えることが頻繁にあり義手操作獲得までに期間を要する^{13, 14)}。さらに、習熟期間は、筋電義手では 1 週間後には 1 日中装着可能にすべきであると報告されている¹⁵⁾。このように筋電の操作性を向上させるためには一定の期間を要することが報告されている。MfHAH においても非装着側の電極から採取したためイメージが付きにくかったことや閾値のコントロールに慣れるまで回数を要した要因であると考えられる。

次に、把持力について述べる。日常生活において人間は手指でものを掴んで持ち上げたり、箸やボールペンを使ったりする。このように物を手指で操作する場合、ものの重さや表面の材質などの特性に応じては握力を調整している。このような把握を精密把握と呼ぶ¹⁶⁾。本研究では、可能な限り精度の高い精密把握を評価する目的で 3 軸のタッチセンサを用いた。その結果、MfHAH では非装着側と比較して差は生じない結果となった。精密把握動作での安定把持には、柔軟な指先の変形による物体との面接触を維持すること (force closure)¹⁷⁾ が重要であると述べている。また、ハンドにおける PIP 関節の屈伸機構により、握力把握での把持安定性が向上すると述べている¹⁸⁾。MfHAH の指先は伸縮性のあるサポーター生地の中にゴムチューブから構成されており柔軟性の高い構造である。さらに MP 関節から DIP 関節まで

屈曲可能な構造であり、力源は空気圧を用いている。その結果、衝撃の少ないソフトな接触動作を可能としており把持力を調整している装具であると考えられる。

以上のことから MfHAH は、手先の把握力は非装着と類似している特性を有した装具であると言える。

満足度の調査について

MfHAH 装着開始時には $61.0 \pm 20.7/100$ 点で、習熟後には $82.2 \pm 6.9/100$ 点と有意に改善を認めた。開始時には、「扱いづらい」「使い始めるまでに学ぶことが多い」など満足度は低かった。その要因として、電極の位置が発汗などによってクロストークを引き起こし、閾値のコントロールが難しいことが挙げられる。高い習熟度を獲得するには、わずかな筋電位でハンドの開閉を可能とし、また柔らかいものを潰さずに保持し、大きな把持力を得ることが重要である²⁰⁾。研究結果から、閾値のコントロールが容易になったことで、操作効率が安定し、「使いやすさ」や「複雑さの感じ方」も改善され、満足度が向上したのではないかと考えられる。

結論

MfHAH は、習熟するまでに一定の練習回数を要するが、手先のコントロールが可能な把持特性がありで満足度が高い点から有効な装具であると言える。今後は、末梢神経障害を呈した患者に用いることで QOL の改善が期待できる可能性があると言える。

研究の限界

MfHAH における上肢機能における習熟度および把持力について検討した。本装具の適応は、指示理解力があり非装着側の筋出力を筋電センサが感知可能な筋力が必要となる。しかし、本研究ではいくつかの課題がある。まず、対象者の年齢にばらつきが生じたため、習熟度に影響を与えてしまった可能性があること。そして、把持力についてはセンサを把持する力しか計測しておらず、定量的にコントロール能力は計測していないため不透明であることである。また、本研究の結果からは、日常生活動作を実現可能とした装具とは言及できない。今後は、筋電だけでなく赤外線などの筋出力形態を組み合わせ、把持形態の定量的評価を実施していく。さらに、日常生活動作に基づいた運動技能とプロセス技能の評価 (AMPS) を取り入れ、より多角的な評価が必要である。

利益相反

開示すべき利益相反はない。

文献

- 1) Glasgow C, Fleming J, Peters S.: Dynamic splinting for the stiff hand after trauma: predictors of contracture resolution. *J Hand Ther* 24: 195-206, 2011.
- 2) Nan Y, Bing-shui W, Xiong-xiang Z, Da-hai H, et al.: Application with a series of orthotic splints for recovery of hand function after burn. *Chinese journal of burns* 24: 191-194, 2008.
- 3) Wong, JM: Management of stiff hand, an occupational therapy perspective. *J Hand Surg* 7(2): 261-269, 2002.
- 4) Flowers KR, LaStayo P.: Effect of total end range time on improving passive range of motion. *J Hand Ther* 7: 150-157, 1994.
- 5) 中山淳, 小川和徳, 岡久雄, 他.: 筋電機能を取り入れたハイブリッド型人工筋装具の開発. *地域ケアリング* 25(2): 65-68, 2023.
- 6) 佐藤健斗, 三富菜々, 昆恵介, 他.: 義肢装具領域における System Usability Scale (SUS) の信頼性と検討. *PO アカデミージャーナル* 30(1): 32-37, 2022.
- 7) Mathiowatz V, Volland G, Kashman N, et al.: Adult norms for the Box and Block test of manual dexterity. *Am J Occup Ther* 39(6): 386-391, 1985.
- 8) 山内繁: 人を対象とする研究計画入門 科学的合理性と倫理的妥当性. 74-118, 丸善出版, 2015.
- 9) Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K: Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther* 39(6): 386-391, 1985.
- 10) Song CS: Relationship between visuo-perceptual function and manual dexterity in community-dwelling older adults. *J Phys Ther Sci* 27(6): 1871-1874, 2015.
- 11) 宮内貴之, 佐々木翔太郎, 佐々木洋子, 最上谷拓磨: 急性期脳損傷患者における Box and Block Test と食事動作の自立度の関連. *作業療法* 42(3): 263-269, 2023.
- 12) 鈴森康一: ロボットとアクチュエータのバックドライバビリティ. *日本ロボット学会* 31(6): 548-551, 2013.
- 13) 柴田八衣子, 大塚博, 澤村誠志, 他.: 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* 17(4): 249-256, 2001.
- 14) 浅見豊子: 筋電義手の実用性における課題. *日本義肢装具学会* 29(2): 74-79, 2013.
- 15) 小川恵子, 宮前珠子, 清水 一, 山口昇監訳 訳:



- 第2節電動義手. 身体障害の作業療法改訂第4版, 651-652, 協同医書出版, 1999.
- 16) 森田良文, 安藤晃平, 野村正和, 他. : 脳卒中片麻痺患者に対する把握力調整能力評価トレーニングデバイスの有用性の検証. 計測自動制御学会 55(1) : 78-84, 2019.
 - 17) 田原健二 : 動的安定把持に基づくマニピュレーション. 日本ロボット学会 31(4) : 364-369, 2013.
 - 18) 谷直行, 姜銀来, 東郷俊太, 他. : 握力把握・精密把握における安定把持のための筋電義手用手関節屈伸機構の開発. 日本ロボット学会 37(2) : 56-66, 2013.
 - 19) 木塚朝博 : ~口伝 表面筋電図篇~いざ計測の巻. バイオメカニズム学会誌 25(1) : 43-47, 2001.
 - 20) 村上公照, 河津隆三. : ハイブリッド式筋電義手を用いた上腕切断者2症例からの経験. 日本職業・災害医学会会誌 60(5) : 303-308, 2012.

Original article

Study on proficiency level of upper limb function and grip force characteristics of subjective satisfaction according to proficiency level in artificial muscle type myoelectric splints

Nakayama Jun^{1*}, Sunagawa Kosaku¹, Fukui Nobuyoshi¹, Denno Kakuro²

¹ Kansai Medical University Faculty of Rehabilitation

² Denno orthopedic clinic

ABSTRACT

【Introduction】 The importance of orthotic therapy has been reported in rehabilitation after peripheral nerve paralysis of the upper limbs. The authors developed an orthosis, MfHAH, utilizing electromyography. The aim of this study was to assess the proficiency of upper limb function, grip strength, and satisfaction with the orthosis MfHAH.

【Methods】 To evaluate the proficiency of upper limb function, the relative change rate was calculated from the number before and after, considering changes of <5% as proficient, and the number of proficient times was summed up. Grip strength was evaluated using a touch sensor. Satisfaction before and after proficiency was evaluated using the Japanese version of the System Usability Scale (SUS).

【Results】 For proficiency in upper limb function with MfHAH, the first and second attempts, as well as the second and third attempts, showed a significant difference compared to those when not wearing the orthosis ($p < 0.05$). The relative change rate for the third and fourth attempts was significantly different between with and without MfHAH ($30.9 \pm 13.0\%$ versus $2.4 \pm 5.3\%$, respectively; $p < 0.05$). No significant difference was observed between with and without MfHAH from the fourth attempt onwards. Proficiency in upper limb functions did not show a significant difference from the fourth attempt onwards. There was no significant difference in the grip strength without MfHAH. The satisfaction with MfHAH significantly improved after improvement in proficiency compared to the initial attempt ($p < 0.05$).

【Conclusion】 MfHAH is an effective orthosis with controllable gripping characteristics and high satisfaction, although it requires a certain amount of time to master. Furthermore, it is believed that the use of MfHAH in patients with peripheral nerve disorders may lead to an improvement in the quality of life.

Key words: Myoelectric splint, touch sensors, satisfaction level