

電動式手袋による手指麻痺者の生活改善に関する研究

A study on improvement of quality-of-life of people with finger disabilities by using an electric-powered glove

電気電子情報通信工学専攻 堀澤 里奈

Rina HORISAWA

1. 緒言

本邦では事故等の外傷により頸髄を損傷し、後遺症として体に麻痺を生じている人（頸髄損傷者）が約7万人いると言われている。車椅子の利用と近年のバリアフリー環境の整備により、ある程度の活動範囲を得られているが、日常生活動作や就労機会に大きな制限を有しているのが現状である。筆者らはC5-C6損傷者の上肢運動障害、中でも手指運動麻痺に起因する問題に焦点を当て、日常生活動作の改善を目的として、軽量コンパクトな電動式把持装具であるパワードグローブの開発に取り組んできた。

今回、本装置が彼らの自立性や生活の質にどのような影響を与えるかを明らかにするために自宅にて長期利用してもらう臨床評価試験、装置の工学的に評価する性能評価試験と彼らの就労機会拡大に寄与しうるかどうかの基礎的検討を目的とした就労評価実験を実施した。

2. パワードグローブ

2.1 装置の概要

パワードグローブは大きく分けて次の3つの要素、(1)使用者が着用する“装具部”、(2)グローブを制御する“コントローラ”、(3)使用者の意図を読み取る“ユーザーインターフェース”で構成されている。装置の写真を図1に示す。インターフェースは利用者の頭部に装着され、操作信号を読み取ってコントローラへ送る。コントローラは操作信号に基づいて駆動装置を制御することで、パワードグローブの自在な操作を実現している。装具部は柔軟な革製手袋の内部に人体の腱と腱鞘に相当する駆動システムが内蔵された構造となっている。装具部とコントローラは動力伝達ケーブルで接続されており、コントローラが腱に相当する駆動糸を牽引することで指の屈曲運動を実現している。駆動糸を緩めると装具部内のバネにより指は進展される。

インターフェースには咀嚼センサを用いており、利用者の側頭筋の隆起を検知する。咀嚼センサで検知される

利用者の顎運動による噛みしめを操作コマンドとして抽出している。

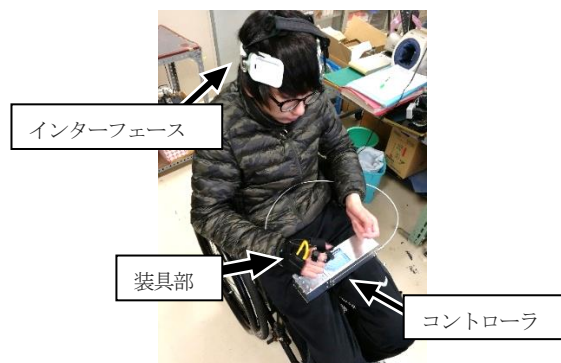


図1 装置の使用する対象者

2.2 本研究で行った装置の主な改良

本研究では臨床評価試験を通して、インターフェースの装着性の向上や操作システムの充実化による機能の拡大などパワードグローブの改良を行った。ここでは、頸髄損傷者の日常生活動作（以下、ADL）の改善に最も寄与したとされる3種類の操作モードについて説明する。

2.2.1 3種類の操作モード

従来のパワードグローブは奥歯を噛みしめている間だけ、指を閉じるという操作1種類のみしか実装されていなかった。より多くのADLを可能とするために、従来のデフォルトモードに加え、2段把持モードと、指曲げ量加減モードの2種類の操作モードを追加し全3種類を随時切り換えて使用可能とする制御プログラムを作成した。以下に各モードの簡単な説明を記す。

①2段把持モード

大きさの違う対象物の持ち替えや把持を持続することが可能。プログラムにて閾値が2つ設けられており、完全屈曲と5cmピンチがそれらの閾値を一度超えるのみで操作可能とした。

②指曲げ量加減モード

対象物の大きさ、重量や強度に応じて把持力を加減しながら対象物を把持することが可能。センサの値の数値だけグローブの指を屈曲させる。

③デフォルトモード

従来の把持システムで、センサの値が閾値よりも大きければグローブは指を完全屈曲させる。

3.2.2 把持動作の切り替え方法

閾値を超えたでセンサの値が山を3つ描くように、一定数以上センサの値の増減を3回繰り返すとブザーが鳴る。その後、センサの値が閾値より下回ると3秒間隔にブザーが鳴り、各ブザー音の後に噛みしめが検知されると、3.2.1にて紹介した把持モードに切り替わる。

図2に把持動作の切り替え方法のフローチャートを示す。

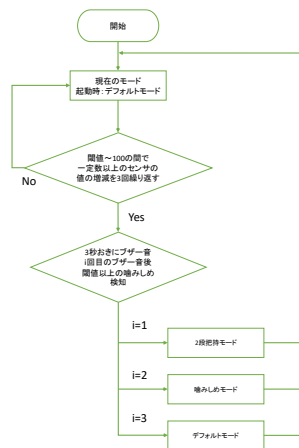


図2 切り替えのフローチャート

3. 日常生活支援

本研究室の最終目的は現在の共同研究先企業から実用化を果たし、装置の普及を通して彼らの日常生活動作の改善、就労機会拡大、生活の質(QOL) 向上に寄与することを目的としている。

装置の普及に向け、厚生労働省へ完成用部品登録申請を行うために最低3名による90日以上の臨床評価試験が必要である。また、普及させるためには、本装置がどんな生活困難を解決しうるかを明確にし、頸髄損傷者と装置をマッチングさせることも必要である。

そこで、今年度は臨床試験の実施及び、試験中に被験者への聞き込み等を行うことで本装置がどのような生活困難を解決しうるかまた解決するための装置の開発も行った。

3.1 臨床評価試験

対象者による装置の使用を通して、有効性や実用性等を確認するための評価を実施した。被験者は1名(22歳男性(Zancoli の分類: 右 C6B2 左: C7A))で、実施期

間は延べ126日である。評価方法としては、2週間毎にアンケートに答えてもらった。アンケートには、パワーグローブを用いて試みた日常生活動作を記入し、やりやすさについて選択する項目がある。やりやすさについて、7段階で(1.とてもやりにくい 2.やりにくい 3.少しやりにくい 4.どちらともいえない 5.少しやりやすい 6.やりやすい 7.とてもやりやすい)という点数評価になっている。以下にそのアンケートの質問項目の一例を列挙する。

アンケートの質問項目の一例

1) パワーグローブを用いて試みた日常生活動作を記入し、その可否およびやりやすさを選択肢から選び数字で答えてください。

日常生活動作: 動作の可否とできる動作のやりやすさ

2) もし今回初めて挑戦した日常生活動作があれば教えてください。また出来具合と感想を記述してください。

全アンケートより本装置により実施された各日常生活動作を①食事②整容③更衣④情報収集⑤その他身に回りの用事と項目分けした。表1に臨床評価試験のアンケート結果(装置を用いて試みた日常生活動作について)を示す。

表1 臨床評価試験のアンケート結果

	食事	点	整容	点	更衣	点	情報収集	点	身の回り	点
できる	ペットボトルをつかむ	5	歯磨きをする	5	靴下を履く	5	スマホの操作	6	下に落ちたものを拾う	5
	包丁を使う	4	眼鏡を拭く	6			本のページをめくる	6	高いところにあるものをとる	6
	ビニール袋を開ける	4	洗濯物をたたむ	6			パソコンの操作	4	ハサミを使う	5
できない	ペットボトルの蓋を開ける	0	洗濯ばさみを使用する	0	シャツのボタンを留める	0	テレビなどのリモコンの操作	4	ドアノブを開ける	4
					ズボンを履く	0				
					靴紐を結ぶ	0				
平均		4		6		5		5		5

把持機能が支援されたことにより様々なADLの改善が見られた。できる項目のみで点数の平均をみると整容が最も高く特に自立性に寄与できたと考えられる。しかし、できないとされた動作についてみてみると更衣が最も多く細かな動作が難しいとされている。これは、装具の指キャップが人の指先よりも太く大きいことから対象物が小さいと視認しにくく場所の感覚がつかみづらいのではないかと考えられる。

3.2 日常支援のための実用的装置の開発

臨床評価試験中にインターフェースの装着に30分かかってしまい苦勞する、装置を活用してもできないADLが存在するなどの問題が発生した。これらの問題に対してインターフェースの装着性及び操作性の向上、操作システムの充実化による機能の拡大や装置の安全性と利便性向上の改良を行い、臨床評価試験にてできないと評価されたADLについて再試験を行ってもらった。臨床評価試験の同様のアンケートの基、上記の改良による効果を評価した。ADLの向上をわかりやすくするために、表2のマーク表記を行った。表3に上記の改良により改善されたADLについて示す。

表2 マーク表記

マーク	評価
×	できない
△	とてもやりにくい やりにくい 少しやりにくい
○	どちらともいえない 少しやりやすい
◎	やりやすい とてもやりやすい

表3 装置の改良により改善されたADL

	歯磨き	靴下を履く	本のページをめくる	はさみ	ドアノブをあげる
改良前	△ 2	×	△ 4	△ 1	△ 2
コメント	口を開けると歯ブラシが落ちる	把持力が足りない	手袋なしと変わらない	力が入りにくい	ないといけないが、あるとなんとかできる
改良後	○ 5	○ 5	◎ 6	○ 5	○ 4
コメント	歯の裏まで磨けるようになった	噛み続ける必要がなくなり楽になった	うまくできた	指曲げ量加減モードでかなり安全に利用できた	2段把持モードで少し楽になった

臨床試験のアンケートにてできないとされた5項目のADLについて向上が見られた。これらは3つの把持モードを実装したことと液体ゴム製の指紋を塗布したことの寄与が大きいと考えられる。

3.3 日常生活支援のまとめ

臨床評価試験と並行して実用的装置に向けた改良を行うことにより、本装置の利用で可能となるADLを増加させることができた。しかしながら、小さい対象物の把持や細かい制御は依然として難しい。これは、装具の指キャップが人の指先よりも太く大きいことから対象物が小さいと視認しにくく場所の感覚がつかみづらいこと、また指が覆われていることから掴んでいる感覚がしないことによると考えられる。そこで、今後は、指キャップ部をより薄くすること、もしくは感覚をフィードバックさせることが必要である。

4 就労支援

本装具の活用により、どのような職種が対象者の新しい就労の選択肢になりうるか、実在する業務の模擬作業場でのシミュレーション実験を通して検証を行った。本研究室では、“単純手作業業務”、“一部手作業を含む知的業務”の二種類の業務を取り上げた。

4.1 単純手作業業務の実験

今回の試験では単純手作業業務として付箋紙の検品作業を採用した。図4に作製した実験環境を示す。付箋紙は100枚一組でラミネート加工されており、サイズは75×50×9mmで3色240個ずつ、合計720個用意した。そのうち30個には図5のような視認可能な欠陥を模擬した印が側面のいずれかについている(以下、これをエラー品と記述する)。さらに、エラー品の中には小型の永久磁石が埋め込まれている。ゲートと不良品ボックスには近接センサと磁気センサが取り付けられており、通過した付箋の個数と、含まれるエラー品の個数をそれぞれ計測し、作業速度と正確性を評価出来るようにした。

本実験には健常者3名(23歳男性1名、23歳女性2名)、頸髄損傷者2名(27歳男性(Zancolliの分類:C6BII)、21歳男性(同:C5B))が参加した。

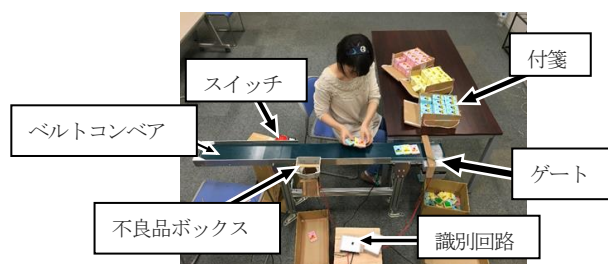


図4 作業環境



図5 用意したエラー品

4.1.2 実験結果

表4に実験の結果を示す。C5の頸髄損傷者は手首の背屈ができず、作業に困難を要していた。また、健常者と頸髄損傷者の総合計を比較すると頸髄損傷者は健常者

の20%以下の効率であった。作業の正確さには健常者と顕著な差は見られなかった。

表4 単純作業への就労検証実験の結果

	頸髄損傷者		健常者			
	Sub1	Sub2	Sub3	Sub4	Sub5	Average
ゲートに流した数	333	108	1503	1584	2193	1760
ゲートに流したエラー品数	0	0	1	2	1	1.3
ボックスに投入した数	23	6	65	63	95	74.3
ボックスに投入した正常品数	0	1	0	0	0	0
扱った製品合計	356	114	1568	1647	2288	1834.3
誤検知の数	0	1	1	2	1	1.33
誤検知率[%]	0	0.88	0.063	0.121	0.044	0.076

4.2.1 手作業を含む知的作業の実験

本実験では手作業を含む知的作業として携帯電話ショップでの機種変更対応業務を採用した。作業は客を相手に、事前に目をとおした台本に沿って実施し、作業の工程別に掛かった時間を記録した。図6に実験環境を示す。実験時には台本を前方のスクリーンにも表示した。



図6 実験環境

本実験で課した大まかな業務内容を次に示す。

- (1)店舗を訪れた客の希望するサービス内容を確認
- (2)本人確認
- (3)タブレットによる各種案内
- (4)契約内容の登録
- (5)端末の初期設定
- (6)紙袋に購入物を入れ客に手渡す

本実験には健常者3名(23歳男性2名、23歳女性1名)、頸髄損傷者2名(27歳男性(Zancolliの分類:C6BII)、22歳男性(同:右手C6B2左手C7A))が被験者として参加した。

4.2.2 実験結果

表5に実験の結果を示す。

表5 一部手作業を含む知的作業の実験結果

	健常被験者				対象被験者		
	Sub1	Sub2	Sub3	Average	Sub4	Sub5	Average
サービスの内容確認と本人確認の時間	0:33	0:42	0:50	0:41	0:50	0:59	0:54
スマートフォンを取りに行く時間	0:10	0:15	0:14	0:13	0:14	0:30	0:22
タブレットの操作時間	7:05	7:54	9:22	8:07	9:12	10:55	10:03
申込確認書を取りに行く時間	0:10	0:07	0:12	0:09	0:21	0:14	0:17
ラミネートを開ける時間	0:22	0:21	0:35	0:26	1:04	1:03	1:03
箱を開ける時間	0:09	0:08	0:11	0:09	0:07	0:03	0:05
SIMカードを取り出す時間	0:59	0:37	0:18	0:38	1:18	1:14	1:16
SIMカードを挿入する時間	1:00	0:42	0:23	0:41	2:27	2:23	2:25
初期設定にかかる時間	1:28	1:12	2:05	1:35	1:32	2:22	1:57
紙袋に入れる時間	0:18	0:22	0:25	0:21	2:19	0:37	1:28
紙袋を渡す時間	0:06	0:01	0:16	0:07	0:06	0:03	0:04
所要時間	13:12	13:05	15:16	13:51	20:44	22:22	21:33

4.3 就労支援のまとめ

単純手作業業務の実験では2名の被験者の作業効率は健常者の約1/5ないし1/16という結果となった。この結果から、彼らの就労の選択肢としては現実的ではないことが示唆された。一方、一部手作業を含む知的作業の実験では作業全体で約1.6倍の所要時間となっており、作業効率は約2/3となった。ただ、作業項目別に見てみると、タブレットの操作時間において対象被験者(Sub4)は健常者のひとり(Sub3)より短く、対象被験者が取り分け時間を要している訳ではないことがわかる。また、紙袋に入れて渡すやSIMカードを扱う作業では慣れないグローブや道具を使用していることを考えると、練習を行うことで短縮できる可能性がある。

携帯電話ショップ3店舗に障害者の雇用について取材を行ったところ、通常の機種変更1件の対応時間は平均約60分であり、障害者が勤務するとして許容できる超過時間は10~30分程度とのことであった。機種変更に必要な手作業をほぼ全て含む今回の実験において、健常者と比較した超過時間は7.7分間であったことから、作業効率の面のみで考えると就労の可能性は充分にあると考えられる。この他、実験や聞き取りを通して、郊外の独立店舗で自動車通勤が可能、かつ車椅子で移動可能な店内配置や柔軟なシフトに対する店舗責任者の理解など、対象者の就労にはいくつか必要な条件があることも確認された。

5 結言

本研究は頸髄損傷者の生活支援および就労支援を目的としたパワーグローブの開発とその評価を行った。

臨床評価試験では装置を活用した対象者の日常生活動作の改善および自立性向上の実現方法についての継続的検討と更なる装置の改良を実施し、本装置が彼らのADL向上や自立支援に寄与しうることが確かめられた。

就労評価試験では本装置の利用で対象者が従事可能となる業務を選び、その作業内容や作業環境を調査して、研究室内に模擬作業場を構築した。その結果、パワーグローブの活用に加えて、本人の訓練と条件や環境の整備により、少なくともC6B2の頸髄損傷者にとって、一部手作業を含む知的作業が新たな就労の選択肢となる可能性が示された。