

令和 6 年 4 月 23 日現在

機関番号：34509

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03858

研究課題名（和文）片側前腕切断者の運動生理学的特性と筋電義手操作能力に関する研究

研究課題名（英文）Study on kinesiological characteristics and myoelectric prosthesis manipulation ability of unilateral amputees

研究代表者

大庭 潤平（Oba, Jumpei）

神戸学院大学・総合リハビリテーション学部・教授

研究者番号：10406259

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、筋電義手と能動義手の生理学的特性と運動学的特性を分析して操作訓練の効果と課題を明らかにすることである。

筋電義手と能動義手を用いて、片手操作課題と両手操作課題を行い、それぞれの訓練効果を測定した。研究デザインはクロスオーバー試験法を用いて2週間実施した。その結果、筋電ハンド開閉能力は片手操作練習と両手操作練習に差がなく、物品操作能力のうち、特に筋電ハンドの先端で把持対象物を的確に操作する動作では、両手操作練習が片手操作練習よりも効果があることが示唆された。視覚性認知能力では両手操作課題は片手操作課題と比較して筋電ハンドの開閉制御や物品操作に視覚注意を示すことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、片側前腕切断者と先天性上肢欠損児と健常人を対象に実験を行い、筋電義手操作能力および能動義手操作能力に関する基礎的データの集積を行った。これにより筋電義手操作能力の評価と訓練方法の基準が明確となり、上肢切断者および先天性上肢欠損児の身体的かつ精神的負担の軽減に繋がり、リハビリテーション実施期間の短縮が期待できる。また、この研究は、頸髄損傷者や脳血管障害者の運動や感覚フィードバックを応用することで、効果的リハビリテーション方法に発展できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to analyze the physiological and kinematic characteristics of myoelectric and active prosthetic hands and to clarify the effects and challenges of operation training.

One-hand and two-hand manipulation tasks were performed, and each training was carried out for two weeks. The results indicated that there was no difference between one- and two-handed manipulation training in the ability to open and close the myoelectric prosthetic hand, and that two-handed manipulation training was more effective than one-handed manipulation training in the ability to manipulate objects, especially in accurately manipulating an object grasped with the tip of the myoelectric prosthetic hand. With regard to visual cognitive abilities, the results suggest that the two-handed manipulation task requires greater visual attention to open/close control of the myoelectric hand and manipulation of the object compared to the one-handed manipulation task.

研究分野：福祉工学，リハビリテーション

キーワード：筋電義手 両手動作 片手動作 上肢切断

1. 研究開始当初の背景

近年、運動・感覚障害者の自立と社会参加のために、障害者やその支援者の視点に立ったリハビリテーションやロボティクス・メカトロニクス技術の開発やその応用の研究は活発である。中でも上肢切断者の失われた手の補完となる筋電義手の開発は、国内外問わずその代表格である。国内における筋電義手の普及は、欧米諸国に比べて遅れているが、近年は片側前腕切断者や先天性上肢欠損児およびその保護者からの筋電義手に関するニーズは高く、メディア報道等も散見され社会的話題となっている。

筋電義手の有用性について Lindner ら¹⁾は、筋電義手はリハビリテーションの目標を達成するために重要な役割を果たすと報告している。しかし、筋電義手操作練習の効果や操作能力などの定量的データは極めて乏しく、検査や計測などの数値を根拠に基づいた有用性を示したのとは言い難い。また、筋電義手の操作練習の効果は科学的根拠に基づいて確立されていない。

1) Lindner HY, Eklöf A, Hermansson LM. Test-retest reliability and rater agreements of Assessment of Capacity for Myoelectric Control version 2.0. Journal of Rehabilitation Research and Development. 2014; 51(4):635-644

2. 研究の目的

本研究の目的は、筋電義手と能動義手の生理学的特性と運動学的特性を分析して操作訓練の効果と課題を明らかにすることである。具体的には、筋電義手操作練習における片手操作練習と両手操作練習の効果と両練習効果の違いを明らかにすることである。

3. 研究の方法

対象は、片側前腕切断者 12 名（男性 8 名、女性 4 名）と健常者 12 名（男性 7 名、女性 5 名）とした。研究 1 として、片側前腕切断者を対象にクロスオーバー比較試験法を用いて、

片手操作練習実施後に両手操作練習を行う片手 両手群と両手操作練習実施後に片手操作練習を行う両手練習群の 2 群に分け 2 週間の練習を実施した(表 1)。それぞれの練習後に筋電義手操作能力検査として、筋電ハンドの開閉制御能力評価のために Box and Block Test (以下 BBT)、日常生活動作における物品操作時

表1 片手 - 両手群と両手 - 片手群

	片手 - 両手群 n=6	両手 - 片手群 n=6	p値
性別[男/女]	3/3	5/1	n.s
年齢[年齢]	43.8±12.8	42.0±16.1	n.s
身長[cm]	161.0±7.3	164.5±6.9	n.s
体重[kg]	56.2±6.6	61.7±6.7	n.s
切断側[右/左]	5/1	4/2	n.s
前腕長[cm]	17.3±5.2	19.0±6.5	n.s
断端率[%]	66.3±17.5	66.3±21.8	n.s
最大前腕周径[cm]	22.8±1.9	22.8±3.4	n.s
切断歴[月]	112.0±250.8	140.2±236.3	n.s
切断原因[後天性/先天性]*	5/1	4/2	n.s
能動義手使用歴[月]	4.0±2.6	4.0±5.2	n.s

n.s.: not significant
*後天性：生後は正常な身体でその後事故等で前腕部を切断した状態、先天性：出生時に前腕部が欠損している状態

の把握・保持・放出などの義手操作能力評価のために Assessment of Capacity for Myoelectric Control (以下 ACMC)、筋電義手操作における物品把握能力と日常生活動作能力の評価のために The Southampton Hand Assessment Procedure (以下 SHAP) を実施した。研究 2 として、筋電義手と健常手の物品操作能力や日常生活動作能力について、SHAP の日常生活動作課題 14 項目を用いて比較検討を行った。統計処理としては、研究 1 は片側前腕切断者の 2 群間の練習実施前後の差について、Mann-Whitney の U 検定と効果量を用いて、それぞれ

の検査で練習効果の違いがあるかどうか、また効果の大きさを示す効果量 r を求めた。

研究 2 は筋電義手と健常手の日常生活動作課題の等分散性について F 検定を行い、両群の課題遂行時間について正規性を確認した後、Welch の t 検定を用いて分析を行った。なお統計学的有意水準は 5% とした。

研究 3 は、健常な成人とし SHAP を用いて片手物品操作課題 6 種類と両手動作課題 3 種類 (Carton Pouring, Jar Lid, Glass Jug Pouring) をウェアラブルアイトラッカーで計測されたデータを解析ソフト (Tobii Pro Lab) に読み込み、Time of interest (以下 TOI) と Area of interest (以下 AOI) を設定して計測した。

倫理上の配慮は、本研究は、神戸学院大学ヒトを対象とする研究・教育上の調査・計測審査を受け神戸学院大学倫理審査委員会の承認 (承認番号: HEB17-06) と兵庫県立総合リハビリテーションセンター中央病院倫理審査委員会の承認 (承認番号: 1311) を受けた。

4. 研究成果

結果は、研究 1 では、すべてにおいて練習前と比較して両練習後の得点は増加し、持ち越し効果と時期効果はすべて認められなかった。そして、BBT は片手操作練習と両手操作練習に練習効果の差は認められなかった。(表 2) APMC は片手操作練習と両手操作練習に練習効果の差が認められ、両手操作練習の得点の変化が大きかった ($p=0.015, r=0.59$) (表 3)。SHAP は片手操作練習と両手操作練習に練習効果の差が認められ、両手操作練習の得点の変化が大きかった ($p=0.004, r=0.20$) (表 4)。

表2 BBTの片手操作練習と両手動作練習の前後比較

	前	後	p 値	効果量(r)
片手操作練習	7(6-8)	10(8-11)	0.002	0.86
両手操作練習	7(5-10)	9(9-11)	0.007	0.77

(個), 中央値 (四分位範囲)

表3 APMCの片手操作練習と両手動作練習の前後比較

	前	後	p 値	効果量(r)
片手操作練習	22(19-23)	41(39-42)	0.001	0.91
両手操作練習	21(21-22)	47(41-48)	0.001	0.98

(点), 中央値 (四分位範囲)

表4 SHAPの片手操作練習と両手動作練習の前後比較

	前	後	p 値	効果量(r)
片手操作練習	44(40-45)	47(45-48)	0.045	0.59
両手操作練習	42(38-44)	53(52-55)	0.001	0.86

(点), 中央値 (四分位範囲)

研究 2 では、コインつまみ ($p=0.005$), ボタンはずし ($p=0.033$), カードめくり ($p<0.001$), 鍵回し ($p<0.001$), ジッパーの開閉 ($p<0.001$), ねじ回し ($p=0.003$), ハンドル回し ($p<0.001$) において筋電義手が健常手と比較して分散が大きいことが認められた。また筋電義手群と健常手群の課題遂行時間の平均値の比較は、全ての項目において有意な差を認め、健常手群が筋電義手群よりも課題遂行時間が短かった ($p<0.001$)。

研究 3 では、片手物品操作課題の NOF の結果を表 5.6 示す。また、義手と対象物の NOF に違いが認められたものは Tripod と Lateral の Light, Heavy であった。Tripod Light は義手 5.86 ± 3.24 ・ Tripod Light 3.86 ± 2.97 ($p = 0.004$), Tripod Heavy は義手 8.00 ± 3.83 ・ Tripod Heavy 4.86 ± 3.48 ($p = 0.006$), Lateral Light は義手 3.71 ± 2.21 ・ Lateral Light 7.00 ± 5.60 ($p = 0.047$), Lateral Heavy は義手 3.71 ± 2.21 ・ Lateral Heavy 6.71 ± 3.68 ($p = 0.029$) であった。両手物品操作課題の NOF の結果を表 1 に示す。Carton Pouring は筋電義手 4.8 ± 4.5 個・健手 2.5 ± 4.5 個・紙パック 25.7 ± 12.9 個・ビン 10.5 ± 12.4 個 ($p=0.001$), Jar Lid は筋電義手 12.3 ± 5.0 個・健手 0.0 ± 0.0 個・コップ 30.8 ± 8.2 個・ビン 9.8 ± 4.3 個 ($p=0.001$) で筋電義手と健手と対象物 ,対象物 の NOF に違いが認められた。Glass Jug Pouring は筋電義手 8.7 ± 5.5 個・健手 0.0 ± 0.0 個・ビン 5.3 ± 3.4 個・フタ 10.2 ± 6.0 個で筋電義手と健手と対象物 ,対象物 の NOF に違いは認められたが、統計学的な差は認められなかった。

(表 5)

		義手	対象物	p 値
Spherical	Light	8.86 ± 5.46	6.43 ± 4.08	0.059
	Heavy	11.29 ± 6.45	7.71 ± 3.59	0.073
Tripod	Light	5.86 ± 3.24	3.86 ± 2.97	0.004
	Heavy	8.00 ± 3.83	4.86 ± 3.48	0.006
Power	Light	6.00 ± 2.45	6.57 ± 2.23	0.723
	Heavy	7.43 ± 3.15	8.14 ± 6.39	0.733
Lateral	Light	3.71 ± 2.21	7.00 ± 5.60	0.047
	Heavy	3.71 ± 2.21	6.71 ± 3.68	0.029
Tip	Light	3.89 ± 1.68	2.86 ± 1.07	0.111
	Heavy	4.14 ± 2.79	3.71 ± 3.04	0.667
Extension	Light	6.14 ± 2.85	6.29 ± 1.60	0.853
	Heavy	5.86 ± 1.57	5.57 ± 2.70	0.824

(表 6)

	筋電義手	健手	物体	物体	p 値
Carton Pouring	4.8 ± 4.5	2.5 ± 4.5	25.7 ± 12.9	10.5 ± 12.4	0.001
Jar Lid	12.3 ± 5.0	0.0 ± 0.0	30.8 ± 8.2	9.8 ± 4.3	0.001
Glass Jug Pouring	8.7 ± 5.5	0.0 ± 0.0	5.3 ± 3.4	10.2 ± 6.0	ns

以下に考察を述べる。片手操作練習と両手操作練習の比較では、BBT の結果から筋電ハンドの開閉制御に関する練習効果に差がないことがわかり、片手操作練習と両手操作練習に同等の効果が期待できることが考えられる。ACMC と SHAP の結果から日常生活動作に関する義手操作能力として両手操作練習は筋電ハンド開閉のタイミングや開閉の繰り返しがスムーズで、物品操作の巧緻性を必要とする操作に効果があることが考えられる。これは、

両手操作練習が残存手との協調した運動やそれに伴う筋電ハンドの細かな開閉を繰り返し行ったためであり、対象物の把握力調整、保持や移動、操作など上肢運動や体幹運動などの代償運動の習得にも影響を及ぼしたと考えられる。

筋電義手と健常手で差がある動作は、手関節の掌屈背屈・撓屈尺屈と前腕回内外の運動を必要とするものであった。筋電義手では手継手やソケット形状の影響でそれらの運動が制限されており、代償運動として肩関節運動の習得が重要であると考えられる。また筋電義手の機能の改善点としては、健常者と同じ動作ができるように筋電義手操時に随意的に筋電ハンドと物品との位置関係が調整できる手関節運動機能がある手継手の開発が望まれる。義手の操作訓練を行う上で難易度の設定や効果的な段階付けは重要である。

研究3の結果からは、対象物が小さくて、適切な把持方法が限定されるものはハンドを注視する傾向があることが示唆された。そのため、ハンドの動きを注視させるには小さく特徴を持った対象物を用いて操作訓練を実施することが有効であると考えられる。また、側面つかみが必要な課題は、体幹・上肢の代償運動が求められ、そのため対象物を注視する傾向があることが示唆された。このことから、代償運動を獲得させたい場合には Lateral のような特徴を持った対象物を用いて操作訓練を実施することが有効であると考えられる。

筋電義手を注視するのではなく筋電義手で把持された対象物やその対象物に関連する物体に注視することが示唆された。加えて、訓練初期には義手のハンド全体で握めるぐらいの大きさでどの面を持っても把持できるような形状を最も難易度の低い課題として設定するのが適当であると考えられる。

結論は、本研究では、両手操作練習でも片手操作練習と同様の筋電ハンド開閉能力の向上が確認でき、両練習に効果の差がないことが確認された。また両手操作練習は片手操作練習と比較して、日常生活の筋電ハンドの先端部で行う操作に効果があることが考えられた。そのため両手操作練習を重点的に行うことで、早期に ADL 動作の獲得ができる可能性が示唆された。また、筋電義手は健常手と比較して手関節や前腕回内外の代償運動の習得が重要であることが示唆された。つまり片側前腕切断は、片手操作練習と比較して両手操作練習を重点的に行い、筋電義手使用時の肩関節の代償運動の指導を受けることで筋電義手操作能力を効率的に習得できる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Jumpei Oba, Sumiko Yamamoto, Kengo Ohnishi, Isamu Kajitani, Yaeko Shibata, Koki Asai	4. 巻 18
2. 論文標題 Effects of Single-handed and Dual-handed Tasks on Myoelectric Hand Prosthesis Operability of Unilateral Transradial Amputees	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Asian Journal of Occupational Therapy	6. 最初と最後の頁 39-46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11596/asiajot.18.39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 大庭潤平	4. 巻 31
2. 論文標題 義手の基本知識	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of clinical rehabilitation	6. 最初と最後の頁 622-631
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oba Jumpei, Yamamoto Sumiko, Ohnishi Kengo, Kajitani Isamu, Shibata Yaeko, Asai Koki	4. 巻 18
2. 論文標題 Effects of Single-handed and Dual-handed Tasks on Myoelectric Hand Prosthesis Operability of Unilateral Transradial Amputees	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Asian Journal of Occupational Therapy	6. 最初と最後の頁 39 ~ 46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11596/asiajot.18.39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 稲葉乃愛、浅田将希、大庭潤平
2. 発表標題 筋電義手操作における視覚性フィードバック機能の特徴 - ウェアラブルアイトラッカーを用いた分析、第38回日本義肢装具学会学術大会
3. 学会等名 日本義肢装具学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大庭潤平、妹尾勝利、柴田八衣子
2. 発表標題 作業療法士養成校における義手教育の現状と課題 アンケート調査から
3. 学会等名 日本作業療法学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安藤悠、大庭潤平、浅井康紀、菊地理仁、柴田八衣子
2. 発表標題 義手の実用的使用状況と抑うつ状態の関係性
3. 学会等名 日本作業療法学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安藤悠、大庭潤平、浅井康紀、菊地理仁、柴田八衣子
2. 発表標題 義手の実用的使用状況と健康関連QOLの関係性
3. 学会等名 日本義肢装具学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大庭潤平
2. 発表標題 筋電義手 どう使う？どう評価する？ ACMCのはなし
3. 学会等名 日本義肢装具学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	梶谷 勇 (Kajitani Isamu) (00356768)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	
研究 分担者	大西 謙吾 (Ohnishi Kengo) (70336254)	東京電機大学・理工学部・教授 (32657)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------