

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：32692

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12711

研究課題名(和文)片麻痺上肢に対するポータブル機能訓練機器の開発

研究課題名(英文)Development of a portable training equipment for hemiplegic upper extremity

研究代表者

酒井 弘美(SAKAI, Hiromi)

東京工科大学・医療保健学部・教授

研究者番号：40624945

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文):本研究の目的は脳卒中片麻痺上肢に対するポータブル簡易訓練機器を開発し、その効果を検討することである。一般病院や施設、家庭でも使用できるよう小型軽量低コストでありながら、療法士の介入がなくとも、適切で十分な運動量を確保することを目指した。ブルンストローム 以上の上肢に対して使用する「自動型」をポータブルリーチ訓練機器(Portable Active Reach Training System: PARTS)として完成させ、PARTSを試用した健常者と片麻痺者の動きの違いを分析した。また、協力病院にて臨床での効果検証を実施した。PARTSは一部の片麻痺上肢の機能回復に有効である可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文):The purpose of this study was to develop portable training equipment for hemiplegic upper limb and to examine its effect. We aimed to ensure adequate and sufficient exercise amount without intervention by a therapist, while being compact, lightweight and low cost so that it can be used in general hospitals, facilities and homes. We completed "automatic type" used for upper limbs of Brundstrom IV or higher as Portable Active Reach Training System (PARTS) and analyzed the difference in movement between healthy subjects who tried PARTS and hemiplegic patients. We also conducted clinical efficacy checks at cooperative hospitals. It was suggested that PARTS may be effective in restoring the function of some hemiplegic upper limbs.

研究分野：身体障害作業療法

キーワード：脳卒中 上肢機能回復 ポータブル 訓練器器

## 1. 研究開始当初の背景

脳卒中患者の85%は後遺症として上肢に運動障害を有し、日常・社会生活に大きな支障をきたしている。これまで片麻痺の上肢機能障害に関しては、下肢に比べて予後が不良であるとされてきた。脳の可塑性の研究が進み、機能回復の可能性が明らかになった今、急性期、回復期はもちろん、慢性期においても上肢の機能回復訓練を望む声は多い。しかし、現状の診療報酬体系では上肢機能回復訓練に十分な時間を確保することは難しく、特に慢性期の患者は継続的な上肢機能回復の機会を奪われているのが実情である。

近年、ロボット技術、VR技術を活用した上肢訓練機器が提案され、ロボットを用いた訓練は上肢機能回復に有効であるとの報告もある。しかし、これまで報告されたものは設備が大がかりで高価であり、一般の病院や在宅での使用は困難である。

そこで、我々は十分な運動量を確保するためのポータブル上肢訓練機器の開発を行った。将来は3次元空間内の運動を目指す、今回は机上での2次元平面の動作を補助・強化するもので、A.自動、B.他動、C.自動介助の運動ができるシリーズで、回復段階に応じた3種類の機器の開発を目指す。本研究では上記の訓練機器のうち、A.自動型(患者の麻痺手を能動的に動かすもの)、B.他動型(モーターにて麻痺手を動かすもの)について訓練器開発を試みた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、以下のとおりである。

- (1) 脳卒中後の上肢機能回復段階がBrunnstrom Stage (Brs) III~IVの分離運動が不十分な上肢を対象とする訓練器機を開発する。
- (2) 作成した自動型の機器を使用して臨床試験を行い、その効果を検証する。
- (3) 作成した自動型機器を用いた際の片麻痺者の動きを筋電と動作解析を用いて比較検討する。
- (4) 機能回復段階がBrs I~IIの随意運動がほとんど見られない上肢を対象とする訓練器機を作成し、適応や安全性を検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) 自動型の作成

脳卒中の上肢機能回復訓練として一般に使用されている訓練内容を取り入れ、安価ながらパソコンと机があればどこでも使用でき、かつ十分な運動量を確保することを可能とすることを目指した。手の主な役割である物体の操作に必要なリーチングと呼ばれる肩・肘の一連の動作の向上を機器使用の目的とした。片麻痺患者は共同運動から逸脱した運動パターンでの動作が困難となるため、リーチングが困難となり上肢の実用性が低下している。そこで、共同運動から分離した適切な運動を繰り返し行う事で分離運動の促

通を図る。リーチングには3次元の運動が必要となるが、まず2次元での運動機会を増やすため、作業療法場で多用されるワイピング動作を取り入れた。光学マウスを取付けた移動体をゲーム用マウスとして運動軌跡を確認しながらモニターを使ったゲーム等を行い、目的志向的動作の反復訓練を行うものとした。

### (2) 臨床試験

回復期から慢性期の片麻痺患者20名(予定)で、条件を満たしたものに対し、開発した自動型機器を4週間施行させ、その効果を検証した。

対象者の条件は、①発症から1ヶ月以上の片麻痺者である、②Brs III以上である、③日常生活に支障をきたすほどの高次脳機能障害、知的障害がない、④座位が安定し、自主トレとしての机上動作訓練が試行可能である、⑤重度な感覚障害がない、⑥肩の亜脱臼、痛みがある程度コントロールされていることとした。研究に同意した対象者のうち当機器を使用しての訓練群20名とコントロール群に無作為に分けた。

効果判定の指標は、①上肢機能評価としてBrs、Fugl-Meyer test<sup>\*1</sup>(FMA)、Wolf Motor Function Test<sup>\*2</sup>(WMFT)、②ADLでの上肢使用頻度としてMotor Activity Log (MAL)を選択した。

近隣の回復期リハビリテーション病院において、通常訓練に加えて機器を使った自主トレーニングを週に5回、4週間行わせ、上記指標を開始時と4週間後に評価し、訓練前後また対照群とコントロール群を比較した。

※1 Fugl-Meyer test: 脳卒中片麻痺の機能評価として開発されたもので、信頼性と妥当性が確立している。

※2 Wolf Motor Function Test: 脳卒中片麻痺の機能評価として開発されたもので、信頼性と妥当性が確立している。粗大運動のみでなく巧緻動作の評価も含まれ、Fugl-Meyer testより詳しい能力評価が可能である。

### (3) 動作解析

自動型使用時における健常者と片麻痺患者の動作パターンの違いを、筋電図および動作解析機を使って解析した。

表面筋電図はMWATCH(和田製作所製)を使用し、双極誘導にて実施した。導出筋は、三角筋(前・中・後部)、大胸筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、橈側手根伸筋、手指屈筋の8筋とした。電極は、MWATCH専用電極パッドを用いた。

3次元動作分析には、KINECT2をセンサーとし、ヒューテック社の動作解析システムIC-proを用いた。マーカーを両肩峰、上腕骨外側上顆、橈・尺骨茎状突起中点、第3指中手骨頭に設置し、校正作業等を行って実施した。

被験者は机に向かって体幹を固定した椅子座位をとり、被験者の前面に設置したモニターを見ながら課題を施行した。課題は、画面を見ながら、目標点を目指しリーチング動作を行うものであった。

#### (4) 他動型の開発

健側手で操作可能なジョイスティックと、患側手を乗せるモーター、光学マウス、電池を内蔵した移動体から構成する。ジョイスティックと移動体は無線で情報伝達を行い、ワイヤレスで健側手による操作を受けて移動体のモーターによる他動運動を行うものとした。麻痺手の随意運動が出ていない時期から、モニター画面に現れた運動軌跡で運動イメージを持ちながら訓練を行うことが可能となる。作成後、健常者で安全性を確認し、適応を検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) 自動型の開発

以下の機器を作成した。

サラダボウルに指添え用棒と、底に回転自在ローラーを4カ所取り付け付けた移動体(図1)に麻痺手を乗せ、机上での運動を行うものである。底には充電式ワイヤレスマウスが取り付けられており(図2)、パソコン上の画面を見ながら図1の移動体を動かすと、パソコン画面上の指標が連動して動き、もぐらたたきや鬼退治等の様々なゲームを楽しむことができる(図3)。



図1 自動型の外観



図2 側面



図3 機器を使用している様子



図4 ノートパソコンで使用する様子

当機器の利点として、①装置がポータブル、小型、簡易、安価であり、一般の施設や家庭で使用できるため、パソコンと机があれば、自主トレーニング等で訓練器回りの提供ができる(図4)。②画面で運動軌跡をみながら志向することができるため、視覚と運動の関連学習が可能である。③ゲームで楽しみながら訓練ができるため、訓練のモチベーション向上が得られ、反復・強化訓練につながる、などがあげられる。しかし、①マウスによる信号のため、手と画面上のマークがずれやすい。②移動体の形状や大きさが患手と合わないことがある。③空間での運動に対応する機能がない。④広い机が必要である、などの課題も見つかった。今後、これらの課題に対する改良が必要である。

#### (2) 臨床試験

近隣の回復期リハビリテーション病院にて計画に基づいて実施した。実施群と通常の自主トレ群での対照試験を行う予定であったが、実施群と比較できる数の対照群が集められず、対照群との比較には至らなかった。最終的にデータに不備がなく、最後まで当機器を使用した訓練を実施した12名について分析した。研究開始時と4週間後の終了時の差は、ウイルコクソン検定で行い、有意水準を0.05とした。

対象者の内訳は、男性10名、女性2名で年齢は34~78歳で平均 $58.2 \pm 15.9$ 歳であった。脳出血が5名、脳梗塞が6名、その他1名であり、発症からの平均日数は $84.5 \pm 43.3$ 日であった。

上肢機能評価の結果を表1に示す。

表1 開始時と終了時の上肢機能評価

	Br-stage		FMA		WMFT	MAL	
	arm	finger	FMA	FAS	WMFT	AOU	QOM
開始時	3.5	3.5	41	2.9	728.0	0.7	0.7
(25-75)	(3.0-5.0)	(3.0-5.0)	(21.3-53.0)	(2.0-3.8)	(74.1-861.8)	(0-1.9)	(0.3-2.7)
終了時	5	5	51	3.8	136.6	2.5	2.5
(25-75)	(4.0-5.0)	(4.0-5.0)	(41.5-56)	(3.1-4.3)	(58.4-457.7)	(1.0-4.2)	(0.9-4.0)
p	0.024*	0.024*	0.003**	0.003**	0.003**	0.002**	0.005**

\*p<0.05 \*\*p<0.01

上肢機能評価においては、Brs、FMA、WFMT、MAL の各評価結果とも改善していたが、対象者が回復期であることとコントロール群との比較ができなかったため、この機器の効果かどうかは言い切れない。しかし、中には発症から5ヶ月を過ぎた対象者が当機器を使用してから機能の改善が目に見えるようになった、また、麻痺手を動かすと非麻痺手も無意識に連動して動いてしまい、日常生活に支障をきたしていた対象者が、麻痺手のみの動きができるようになった、肩の痛みが強く、ほとんど麻痺手を動かさないために回復が遅れていた発症4ヶ月の対象者が、無理のない範囲での運動回数が増えたことで、肩の痛みの改善と共に機能回復が見られたなどの当機器の効果の可能性も示唆された。

ロボット訓練は上肢機能運動障害を改善させるといわれる。Reo-goでの研究でも、重度の麻痺患者においてロボット訓練によって麻痺側上肢の随意運動の出現を認めており、それらは、同一の運動を複数繰り返すことにより、脳内の神経回路が賦活され、再建が促されたと考察されている。しかし、これまでのロボットは高価で装置が大掛かりであり、一般の病院や施設、ましては個人での導入は困難であった。当機器は通常の訓練に加えて自主トレーニングという形で目的に沿った反復運動を一定量行うことができる。

今回、研究計画通りにデータ収集ができずに、効果検証には不十分であったが、今後も検討を続けたい。

### (3) 動作解析

#### ① 運動速度

運動速度は、片麻痺者が健常者のほぼ2.5倍と遅く、常に細かくはない変化があった。また、健常者は動き出すと速度を上げ、到達点に近づくとき減速するという速度変化のパターンがあったが、片麻痺者は目標点までの位置による変化がはっきりしなかった。

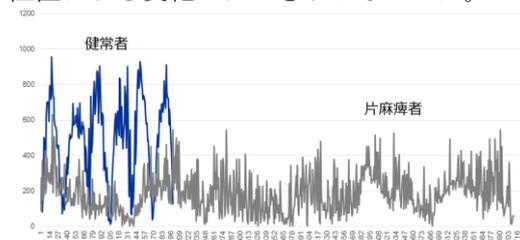


図5 運動速度の違い(典型例)

#### ② 運動軌跡

手先の運動軌跡では、健常者に比べて、片麻痺者は軌跡が細かく揺れており、開始位置から到達点の長さは片麻痺者のほうが短く、目標点までの最短距離と実際の移動距離の比では、健常者が1.2倍のところを片麻痺者は2.5倍であった。また、肩峰の各方向への動きをみると、健常者が健側の位置が変化しないのに対して、片麻痺者は健側も大きく運動方向に動き、正面そして肩と肘の分離が最

も要求される麻痺側外側方向でその動きが大きくなり、代償動作が大きかった。

#### ③ 筋電図

片麻痺者は安静時も常に放電がみられ、二頭筋、三頭筋、橈側手根屈筋で放電が高く動作に努力を要したことがうかがえた。

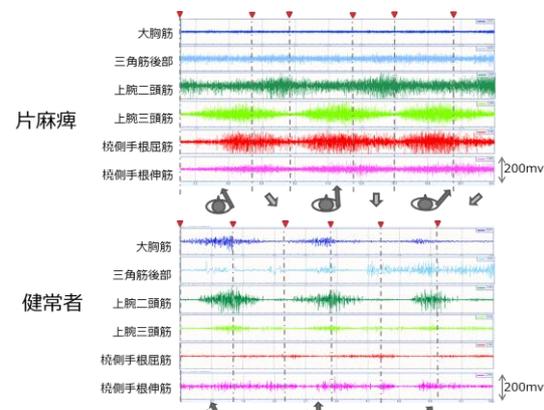


図6 筋電図の違い(典型例)

また、積分値をみると、健常者は大胸筋・二頭筋が前内方、前方へのリーチで活動量が大きく、戻るもしくは外測のリーチでは小さくなっていましたが、片麻痺者は方向そして動作による活動量の差が明らかではなかった。

今回の結果から、片麻痺者は机上リーチングにおいても、分離の不十分さを体幹の動きで代償しており、運動は主動作筋-拮抗筋バランスが崩れ、過剰努力を伴うため、滑らかな運動が制限されている。また、片麻痺者は目的とする動作にあった選択的な筋活動が不十分であり、課題の達成だけに注目すると、必要な運動が誘導できていないことがうかがえた。片麻痺患者にみられる代償運動は、動作のエネルギー効率を低下させ、不必要な筋の活動が限定された動作パターンを一層増強させる。(Kottleら1978, Bobath1992)片麻痺者の特異的な動作の繰り返しは、本来学習しなくても良いシナプス回路が賦活される可能性がある。(正門1996)早期から用いられる机上リーチング訓練では、片麻痺の運動特性を考慮して適切な運動を誘導し、適切な動作学習につなげる必要がある。

#### (4) 他動型の開発と安全性の確認

健側手で操作可能なジョイスティックと、患側手を乗せるモーター、光学マウス・電池を内蔵した移動体から構成した(図7)。ジョイスティックと移動体は無線で情報伝達を行うため、使用者は健側手による操作を受けて移動体のモーターによる他動運動を行う。その際、モニター画面に現れた運動軌跡で運動イメージを持つことが可能である。移動体の底面に取り付けた4つの車輪は、各方向に動くことが可能であり、動力源には充電式モーターを使用した(図8)。

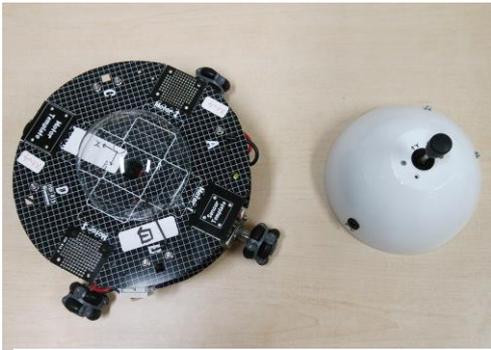


図 7 他動式の移動体とジョイスティック

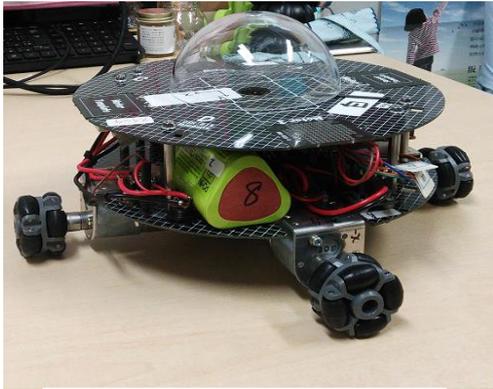


図 8 他動式移動体の側面

これらについて、健常者でジョイスティックの動きに合わせて手を乗せた移動体が動くことを確認した。しかし、当機器は回復段階が低いほとんど動きのない上肢に対して使用するため、より安全性が必要となる。この回復段階は肩の支持性も低い状態と考えられ、当機器は腕の重みを支える機能がないことから、実際の対象者において機器操作上の安全性を確認するまではいかなかった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 3 件)

- ①. 酒井弘美, 安倍あき子, 橋野賢. 片麻痺患者における机上リーチング動作の運動特性. 第 50 回日本作業療法学会. 平成 28 年 9 月. 札幌
- ②. 安倍あき子, 酒井弘美. 上肢訓練機器”PARTS”による PC ゲーム機器を用いたリーチ動作の特性. 第 50 回日本作業療法学会. 平成 28 年 9 月. 札幌
- ③. 酒井弘美, 安倍あき子, 橋野賢. 脳卒中片麻痺上肢に対するポータブル簡易上肢訓練機器の開発. 題 9 回日本作業療法学会. 平成 27 年 6 月. 神戸

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

酒井 弘美 (SAKAI, Hiromi)  
東京工科大学・医療保健学部・教授  
研究者番号：40624945

### (2) 研究協力者

安倍 あき子 (ABE, Akiko)  
東京工科大学・医療保健学部・教授  
研究者番号：70314747

橋野 賢 (HASINO, Satoshi)  
東京工科大学・工学部・名誉教授