

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月13日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650318

研究課題名（和文） 視覚刺激同期型手指用 CPM の開発

研究課題名（英文） Development of CPM synchronized with visual information

研究代表者

大内田 裕 (OOUCHIDA YUTAKA)

東北大学・大学院医学系研究科・助教

研究者番号：80510578

研究成果の概要（和文）：

近年の医療技術の進歩により、脳卒中などによる死亡率は低下したが、一方運動機能になんらかの後遺症を有する人たちは増加した。そこで、効果的に運動学習効果を生じさせるリハビリテーションが重要となっている。研究代表者は、ヒトの運動学習で生得的に有していると考えられている模倣運動学習を利用した模倣運動課題中に視覚提示される他者運動に同期した受動運動を行わせる視覚刺激同期型手指用 CPM の開発、制作を行った。

研究成果の概要（英文）：

Due to the advance of the technology in medicine, the number of stroke survivors has increased gradually. On the other side, the number of the patients with impairment after stroke also has increased, because the incidence rate of stroke is not changed dramatically. For more effective rehabilitation for motor impairment after stroke, we have developed and produced a rehabilitation system utilizing imitation learning by requiring paralyzed limb of patients with motor impairment to be moved passively synchronizing with the movement, performed by another person, displayed on CRT monitor when the patients try to move the limb.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学

キーワード：リハビリテーション医学、模倣運動

1. 研究開始当初の背景

近年、上肢のリハビリテーションにおいて脳の可塑性を引き起こすいくつかの手法が報告され、効果が示されつつある。健側上肢に運動制限をかけることで強制的に麻痺側上肢を使用させる CI 療法 (Constraint Induced movement therapy) や、手指の腱反射を利用した川平法、手関節固定装具と共に麻痺側上

肢の筋活動に応じた電気刺激を与える HANDS 療法 (Hybrid Assistive Neuromuscular Dynamic Stimulation) などである。しかし、これらの療法は、最低でも筋活動が見られ、運動フィードバック情報を脳に伝える体性感覚に問題がないことが前提とされている。そのため、重度片麻痺で筋活動が見られず体性感覚障害が見られる場合には適応外とな

り、現在のところ適応できる療法が見当たらない。運動フィードバック情報は、運動を行った際に、自己の運動を脳へ伝え、脳が目的通りの運動が行えたかを知るために非常に重要な情報である。特に、運動指令とこの運動フィードバック情報を比較することにより、運動誤差を計算することが可能となり、この運動誤差を最小とするように運動プログラムの修正が行われる。主にこの運動フィードバック情報は、体性感覚を用いて脳へ伝えられるが、視覚も同様の働きをしている。

近年、ミラーニューロンシステム (Mirror Neuron System: MNS) と呼ばれる自己の運動のみならず他者運動の観察時にも活動を示すニューロン群がサル、ヒトの運動関連領域に存在することが報告されている。この MNS は、観察している他者運動を脳内でシミュレーションを自動的に行う処理に関与していると考えられている。このことは、つまり他者運動の視覚情報より自己の運動プログラムを作り出す機能を持ち、模倣運動の神経基盤と考えられている。研究申請者は、functional MRI を用いて、他者の手関節の屈曲伸展運動を観察している時と、他者手の静止画を観察している時の脳活動を計測し、両者の比較を行い、他者運動の視覚情報が観察者の脳内どのように処理されているかを調べた。その結果、高次体性感覚野のブロードマン2野と視覚の運動情報を処理する MT 野に統計的に有意な賦活が認められた。この高次体性感覚野である2野は、筋の伸展や収縮の状態を伝える腱からフィードバック情報を受取る領域であることが明らかになっている (Naito ら 2005 など)。このことより、他者運動の観察時に、このブロードマン2野が賦活したことは、他者運動の視覚情報が何らかの変換を経て、体性感覚情報として脳内で処理されていることを示す (Oouchida ら

2004)。このことにより、他者運動の模倣時には、他者運動という視覚情報から自己の運動フィードバック情報と同じモダリティである体性感覚情報を作り出していることが強く示唆される。そのため、体性感覚に障害が見られる場合でも、視覚を通して運動フィードバック情報を脳へ伝えることが出来ると考えられる。

運動機能においては、反復訓練により使用頻度依存性の可塑的变化が生じることにより、運動機能の改善が生じることが広く知られている。このような使用頻度依存性の可塑的变化は、感覚機能についても生じることが動物実験からも知られている。定藤ら (1996) は、fMRI を用いて盲患者が点字を指で読む時の脳活動を計測した。その結果、盲患者では、指による読字中に体性感覚野のみならず視覚野も活動していたことを報告した。このことは、視覚情報が入力されず、代わりに触覚情報が大量に入力されることにより、視覚情報処理を行う脳領域が、触覚情報処理を行うように変化したことを示す。また、Jenkins ら (1990) は、フクロウザルにおいて、指に高頻度の触覚刺激を与えることで、一次体性感覚野の体部位再現地図の刺激を与えた指の部分が拡張し、刺激を与えていない指の体性感覚地図は変化しないことを報告している。このように、運動機能のみならず感覚機能においても使用頻度依存性の可塑的变化を生じることが知られている。このことは、感覚障害を有する患者のリハビリテーションにおいても、感覚入力を大量に与えることにより感覚機能の向上を図ることが可能であることをしめしているだろう。

2. 研究の目的

麻痺肢の感覚障害を有する重度片麻痺患者に対し模倣運動中に観察運動と同期した運

動を受動的に与えることにより、運動機能と感覚機能のリハビリテーションが同時に与えられるシステムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

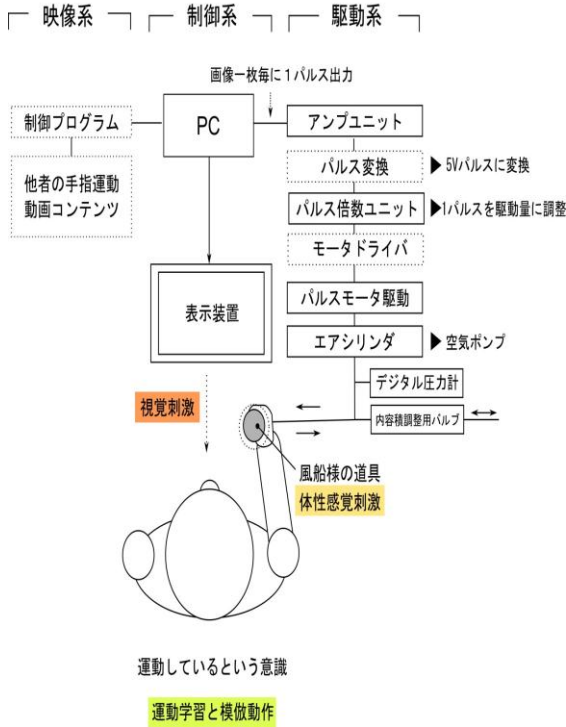


図1 システム図

システム構成は、主に映像系、制御系、駆動系の3つの系からなっている。映像系は、ノート型PCを用いて、左右の指運動を提示する。提示される視覚コンテンツは、予めスポンジ状の物体を手で把握する運動を高速度カメラで1秒間に300枚の高速度で撮影し編集を行った。この視覚コンテンツの提示



図2 視覚提示映像

は、psychtoolbox を使い matlab ソフトウェアを自作し作成した。視覚提示方法は、スポンジ状の物体の把握速度を個人事で変化させることが可能にするために、1枚の写真提

示時間を制御し、連続して写真を被験者のヘッドマウントディスプレイ上に提示した。

次に、駆動部は、制御系から伝えられる映像部から運動の切り替わり、つまり屈曲相から伸展相のきりかわり時に出力されるパルス信号を元にモーターの駆動回転を変える。動力は、空気ポンプを利用した(図3参照)。被験者の指の開閉運動として伝える部分は、空気の圧力を利用して風船様の伸縮ゴムであり、被験者は、このゴム風船を取り付けられた手袋に手を通し、ゴム風船の膨張と収縮に合わせて受動的に指開閉の力が加えられる。機能の実装を確認するために、以下の健常者でシステム稼働時にどの程度指が他動的に動くかを検証した。

被験者：平均年齢 27.1 歳 ± 2.8 の健常被験者 6 名。

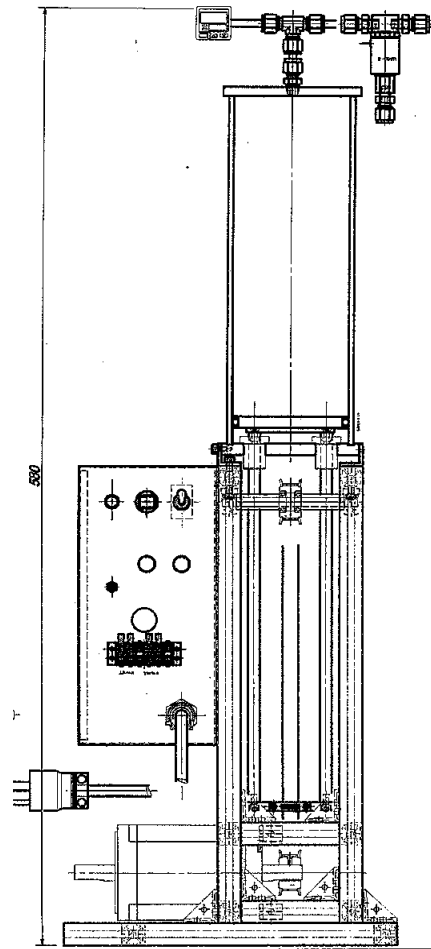


図3 駆動部

計測部位：左第3指中手指関節をまたぐように電子ゴニオ計を装着し関節の運動を計測

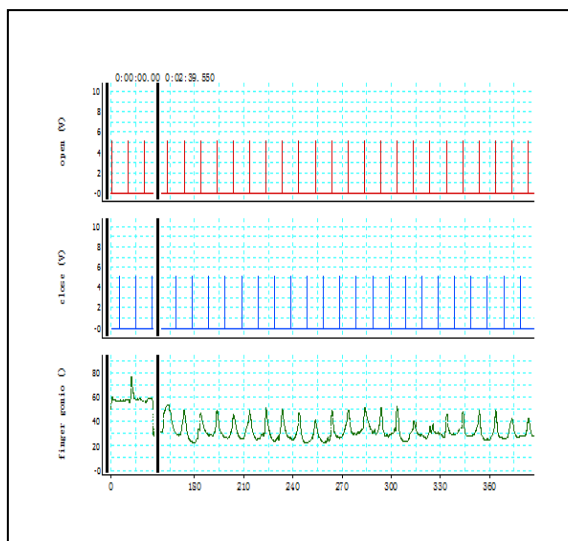


図4 計測波形

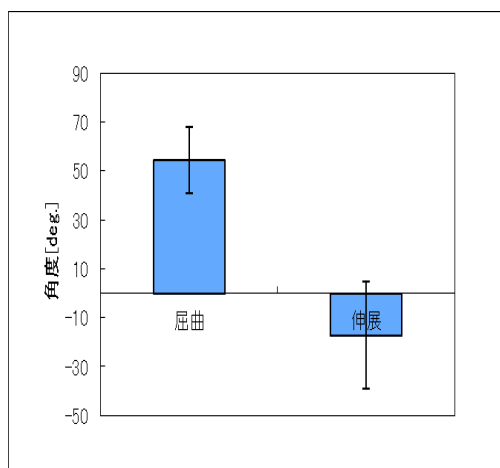


図5 指角度変化

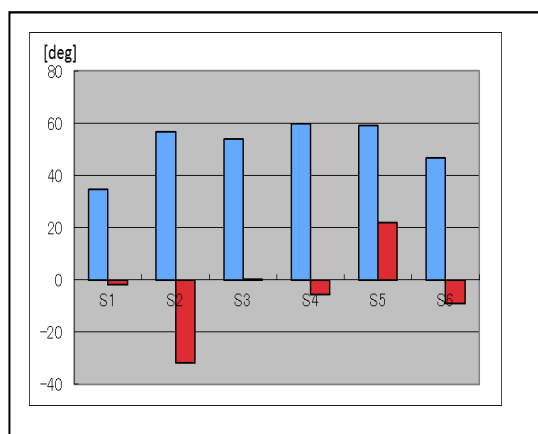


図6 各個人指角度変化

した。全被験者の平均能動的運動範囲は、-16～89度であった。

4. 研究成果

上記のシステムを開発し、実装した機能を電子指ゴニオメーターと Powerlab 計測 (ADInstruments 社) システムで計測を行った。図4では、上段が制御系から入力される伸展パルスを示し、中段は屈曲パルス、下段が被験者の指の動きを示す。全被験者の第三指 MP 関節の平均伸展角度は $-17.24^{\circ} \pm 21.90^{\circ}$ 、屈曲角度は $54.43^{\circ} \pm 13.35^{\circ}$ であった (図5参照)。また、図6の個人ごとでみると屈曲角度において比較的個人間分散は小さかったが、伸展角度は、分散が大きかった (青色棒は屈曲、赤色棒は伸展を示す)。このことは、おそらく、ゴム風船を膨張させる力は指に伝わりやすいが、収縮時の力は、指に伝わりにくいことを示している。この駆動系から指に加える力を如何に伝えるかは、今後の課題である。

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)

[雑誌論文] (計2件)

1, Takeuchi N, Oouchida Y, Izumi S., Motor control and neural plasticity through interhemispheric interactions., Neural Plast. Volume 2012 (2012), Article ID 823285, 13 pages
doi:10.1155/2012/823285.

2, Takeuchi N, Izumi S. Rehabilitation with poststroke motor recovery: a review with a focus on neural plasticity. Stroke Res Treat. Volume 2013 (2013), Article ID 128641, 13 pages
<http://dx.doi.org/10.1155/2013/128641>.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大内田 裕 (OOUCHIDA YUTAKA)
東北大学・大学院医学系研究科・助教
研究者番号：80510578

(2) 研究分担者

出江 紳一 (IZUMI SHIN-ICHI)
東北大学・大学院医工学研究科・教授
研究者番号：80176239