

利き手交換リハビリテーション法を用いた 運筆動作訓練システムの開発とその評価

Development and the evaluation of a training system for writing strokes using handedness exchange rehabilitation

亀沢 佑一^{*1}, 戸田 真志^{*2}, 國田 樹^{*1}

^{*1} 琉球大学大学院理工学研究科

^{*2} 熊本大学総合情報統括センター

Yuichi Kamezawa^{*1}, Masashi Toda^{*2}, Itsuki Kunita^{*1}

^{*1} Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus

^{*2} Center for Management of Information Technologies, Kumamoto University

あらまし: 脳血管障害により利き手側の運動麻痺を引き起こした片麻痺患者は, 書字や箸のような日常道具を操作することが難しくなる. 患者は, 日常道具の操作を利き手から非利き手に交換する利き手交換リハビリテーションに取り組む必要がある. しかし, 従来のフィードバックシステムでは, 細かな道具操作を必要とするため, 患者にとって精神的かつ肉体的に負担が大きく困難である. そこで本研究では, 片麻痺患者が容易に取り組める運筆訓練システムの開発を目指し, 文字の基本要素である縦横線の運筆訓練の波及効果を検証した. 具体的には, 被験者 1 名に対して, 縦横線訓練 (評価: 斜め線 → 訓練: 縦横線 → 評価: 斜め線) の波及効果を検証するために, 斜め線訓練 (評価: 斜め線 → 訓練: 斜め線 → 評価: 斜め線) を実施し, 斜め線訓練の結果と比較検討した. その結果, 縦横線という平易な運筆動作訓練のみで, その複合線の斜め線の運筆動作スキルが向上することがわかった. それは, 本研究の目的である患者にとって肉体的に負担が小さい訓練として縦横線訓練のみで運筆動作が上達できることを示唆している. また, 肉体的に負担が小さい運筆動作訓練かつ訓練効果が得られることは, 患者にとって安心感を持ちながらリハビリできるため, 精神的な負担も小さいと考えられる.

キーワード: 利き手交換リハビリテーション法, 運筆, 筋電位, 日常道具, 書字

1. はじめに

我が国において 65 歳以上の高齢者人口は, 3557 万人 (2018 年推計) と報告されている⁽¹⁾. 医療政策においても, 後期高齢者医療や介護保険などの対策が打ち出されており, 脳卒中患者の老老介護が大きな社会問題となっている⁽²⁾. 2017 年の脳卒中患者数は, 全国で約 112 万人と報告されている⁽³⁾. 脳卒中では, 障害部位によって, 片麻痺などの症状が現れる. 利き手側に片麻痺を生じた場合には, 書字や箸などの日常道具の操作が困難になり. その患者は日常道具の操作を利き手から非利き手に交換する利き手交換リハビリテーションに取り組む必要がある.

利き手交換リハビリテーション法の一つに, OCR 法を用いた文字の認識率による書字正確性の評価やペン型筆圧計を用いた筆圧波形の計測によるフィードバックシステムが考案されており, フィードバックシステ

ムの利用が訓練に有用であることが示されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

運筆動作は, 大きく分けて単一動作と複合動作の 2 つに分類される. 単一動作とは, 縦線と横線を書く動作である. 複合動作とは, 縦線と横線を組み合わせた斜め線や曲線などを書く動作であり, 平仮名を書くためには複合動作の上達が必要となる. 従来のシステムは, 複合動作の訓練システムであった. 辻らは, グリッド線を用いた書字訓練を行い, 書字正確性と書字時間に有意な向上を認めた⁽⁵⁾. 一方で, 患者が初歩から運筆するには難易度が高く, 患者にとって精神的かつ肉体的に負担が大きいという課題があった.

そこで本研究では, 片麻痺患者が容易に取り組める利き手交換リハビリテーションシステムの開発を目指し, 単一動作の縦横線訓練のみからその複合線である斜め線の複合動作を獲得できるか否かを実験的に検証した.

2. 訓練方法

2.1 対象と実験機材

被験者は、年齢 22 歳の右利き男性 1 名とした。利き手判定には、「チャップマン利き手判定テスト」を採用した。

運筆の計測装置は、図.1 に示すように、タブレット端末 (Surface Go, Microsoft 社製)、タッチペン (Surface ペン, Microsoft 社製)、自作した筋電位計測回路 (筋電計)、A/D 変換器 (PicoLog 1216, Pico Technology 社製) を使用した。タブレットのディスプレイ表面には、ペーパーライクフィルム (エレコム社製) を取り付けた。運筆動作は、Windows10 のデスクトップキャプチャ (Game DVR) により記録された。運筆時の姿勢は、図.1 に示すように、書き手はタッチペンを持ち、もう一方の手は机の上に置いた状態とした。

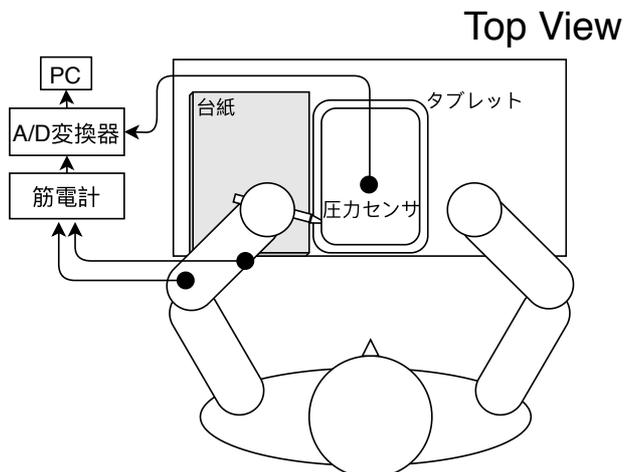


図.1 対象と実験機材

2.2 電極の装着部位

筋電位計測における電極装着部位は、人が文字を書く際の指動作と関係のある浅指屈筋と総指伸筋とした。

2.3 運筆課題と訓練スケジュール

運筆課題は、図.2 に示されるように、2つの直線と平行な直線を2つの直線の中央に書くこととした。

被験者の訓練スケジュールは、図.2 に示すように、評価用課題 (訓練前と訓練後に実施) と訓練用課題に分け、合計 86 回実施された。具体的には、文字要素のうち縦線と横線の複合線である斜め線の運筆動作に着目し、縦横線訓練 (図.2 図上部) と斜め線訓練 (図.2 図下部) の2つの訓練課題を与えた。

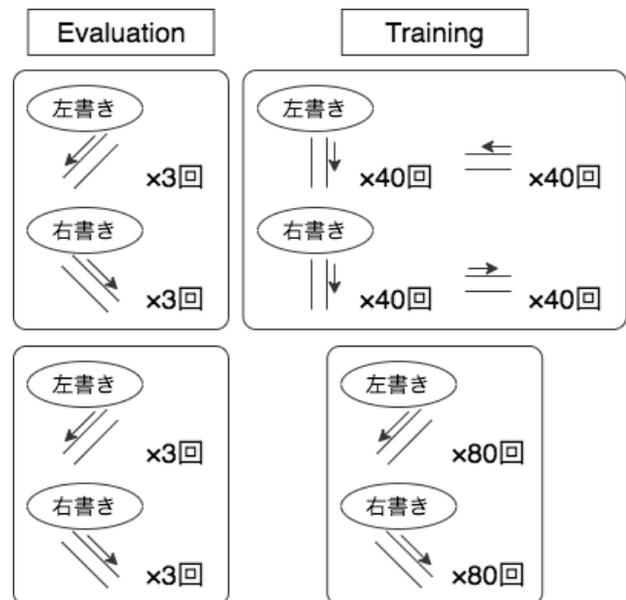


図.2 訓練スケジュールと運筆課題

2.4 評価方法

本研究における非利き手の運筆動作の上達とは、利き手で運筆した動作と同様の動作傾向を示すことと定義した。そのために、評価項目は、運筆線の正確性と安定性、運筆に伴う筋活動の力の大きさとした。

運筆線の正確性の評価指標は、中央線と運筆線の変位とした (図.3, 青網領域)。中央線は、訓練課題として表示した2つの直線と等距離にある平行な直線とした。運筆線は、デスクトップキャプチャ動画から最終フレーム画像を取り出して得た。

運筆線の安定性の評価指標は運筆ベクトルとした。運筆ベクトルは、運筆線を0.2秒を時間区間とする運筆線に分割し、各時間区間のうち最初の0.1秒間に書かれた運筆線とした。

筋活動の力の大きさの評価指標は、筋電位 (図.4, 黒線) の振幅値の二乗平均平方根 (図.4, 赤線, 100 ms 毎) とした。解析対象区間は、運筆線の書き始めである 0~2999 ms 区間とした。

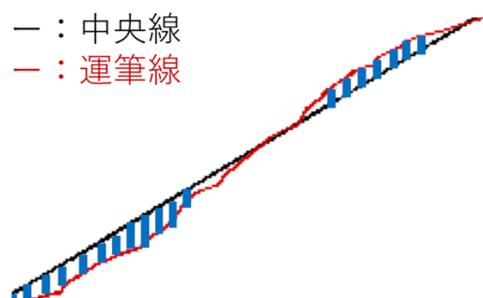


図.3 運筆線の正確性

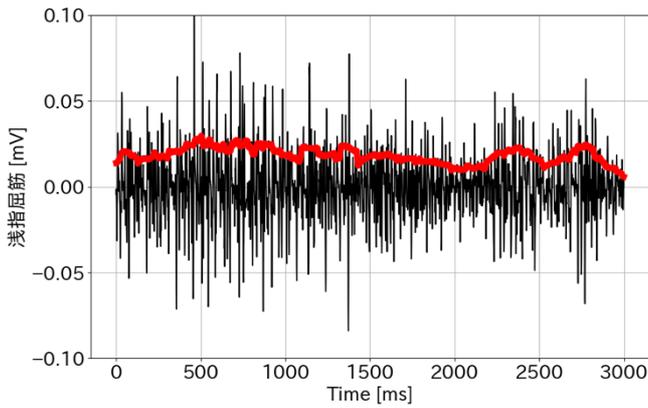


図. 4 運筆時の筋電位

3. 訓練結果と考察

3.1 運筆線の正確性および安定性の評価

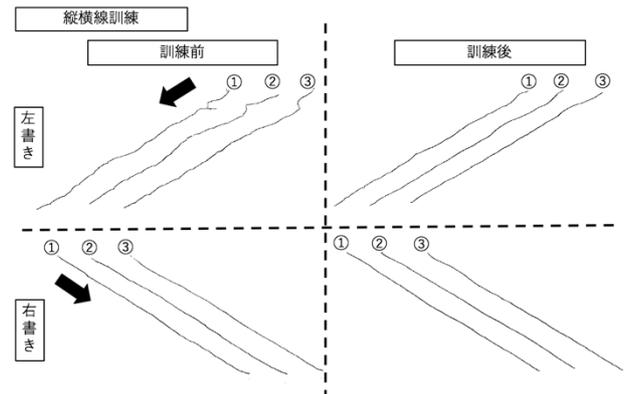
図. 5 (a),(b)は、それぞれ縦横線訓練と斜め線訓練の評価用課題で書かれた運筆線を示している。図. 5 (a)の左書きの訓練前の運筆線には、運筆動作開始時に運筆線が中央線から大きくズレる傾向が見られたが、訓練後の運筆線には見られなかった。右書きにおいても、訓練前と訓練後ともに中央線から大きくズレる傾向は見られなかった。図. 5 (b)の左書きの訓練前の運筆線(③のみ)には、運筆動作開始時に運筆線が中央線から大きくズレる傾向が見られたが、訓練後の運筆線には見られなかった。右書きにおいても、訓練前と訓練後ともに中央線から大きくズレる傾向は見られなかった。一方で、図.5(a),(b)における左書きの運筆線が中央線から大きくズレる傾向は、運筆動作開始時に多く見られ、運筆動作開始時以降は見られなかった。

図. 6 は、縦横線訓練の左書き訓練前の運筆線 (③)と中央線との変位を示している(横軸: X 座標[px], 縦軸: 変位[px])。変位が 0 px の場合には、運筆線と中央線が重なっており正確な線、変位の絶対値が大きくなるほど運筆線が中央線からズレた線といえる。図. 6 では、X 座標の 0 px から 450 px の方向に運筆されており、図. 6 の赤枠領域に示されるように、運筆動作開始時にあたる X 座標の 0 px から 150 px 付近にかけて変位が大きく運筆線が中央線からズレていた。

図. 7 は、縦横線訓練の訓練前と訓練後の運筆ベクトルを示している。この図に示されるように、運筆動作開始時と運筆動作開始時以降の運筆ベクトルを見ると、訓練前①の運筆動作開始時の運筆ベクトルの向きも大

きさも一定ではなかった。つまり、運筆動作開始時に運筆線が中央線から大きくズレる傾向の場合には、運筆ベクトルも一定ではないことが見られ、運筆線が安定していなかったといえる。一方、運筆動作開始時に運筆線が中央線から大きくズレる傾向がない場合には、運筆ベクトルの向きと大きさが一定であることが見られ、運筆線が安定していたといえる。

(a) 縦横線訓練



(b) 斜め線訓練

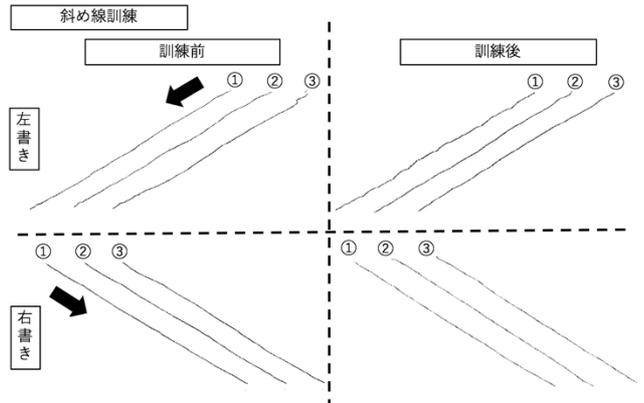


図. 5 評価用課題の運筆結果

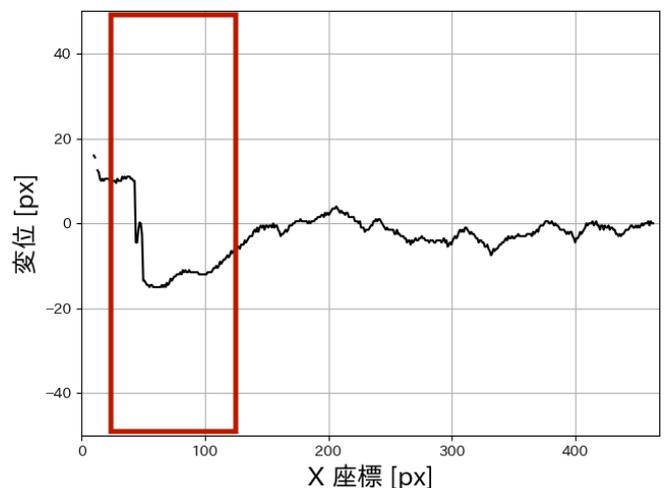


図. 6 縦横線訓練時の運筆線と中央線の変位

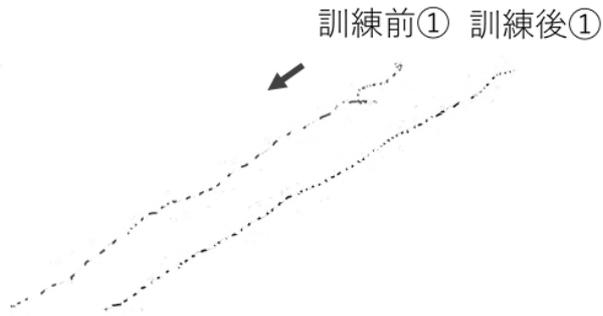


図.7 縦横線訓練の訓練前後の運筆ベクトル

運筆線が中央線からズレる要因について考察する。まず、左下方向への滑らかな線は、その線を左方向と下方向のベクトルに分解した場合、それぞれのベクトルが運筆中に一定に保たれている必要がある。一方で、左方向もしくは下方向のうち、どちらか一方のベクトルの向きや大きさに変化が生じると、左方向と下方向の合成ベクトルの向きや大きさが変わる。それにより、左下方向の線が曲がる。したがって、左下方向に運筆する場合において運筆線が中央線からズレる要因は、左方向および下方向への運筆速度や運筆方向が一定に保たれなかったことにあると考えられる。

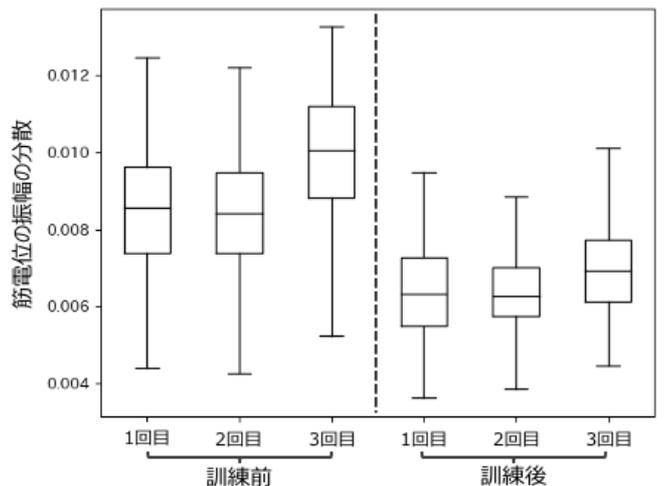
運筆線が運筆動作開始時に中央線から大きくズレる傾向にあったことは、滑らかな運筆線を描くために運筆動作開始時が重要であることを示している。また、実際に文字を書く場合を想定すると、平仮名や漢字を書く際には、一画あたりの線の長さが短いことから、運筆動作開始時の動作獲得が重要であるといえる。本研究では、訓練前の運筆動作開始時に中央線から大きくズレることが多くあった。運筆動作開始時は、静止状態から運筆線を書き始めているため、運筆動作開始時と運筆動作開始時以降とは静止摩擦力が異なる。したがって、運筆速度や運筆方向を一定に保つ動作に対して静止摩擦力も関係していると考えられる。

本実験では、左書きの訓練前に運筆線が中央線から大きくズレる傾向が見られたが、それは縦横線訓練と斜め線訓練の訓練後には見られなかった。すなわち、縦横線という平易な運筆動作訓練のみでも斜め線訓練と同様に、その複合線の斜め線の運動動作スキルが向上することがわかった。それは、本研究の目的である、片麻痺患者にとって肉体的に負担が小さい運筆動作訓練として、縦横線訓練のみで運筆動作の上達が可能であることを示唆する。

3.2 運筆時の筋電位の特徴

図.8は、運筆時の筋活動の力の大きさを評価するために、筋電位の振幅の分散を箱ひげ図にしたものである。図.8(a)と(b)の訓練前③は、いずれも左書き訓練前のデータで、運筆動作開始時に運筆線が中央線から大きくズレる傾向があった。これらのデータに着目すると、運筆が滑らかな訓練回と比べて筋電位の振幅の分散に違いが見られた。具体的には、図.8(a)では、訓練前は0.008~0.010 mV 付近に中央値がある一方で、訓練後は0.006~0.007 mV 付近に中央値があり、訓練後の方が0.002 mV 程度小さかった。図.8(b)では、訓練前（運筆線が中央線から大きくズレた③のみ）は0.010 mV 付近に中央値がある一方で、訓練後は0.015 mV 付近に中央値があり、訓練後の方が0.005 mV 程度大きかった。

(a) 縦横線訓練 浅指屈筋 左書き



(b) 斜め線訓練 浅指屈筋 左書き

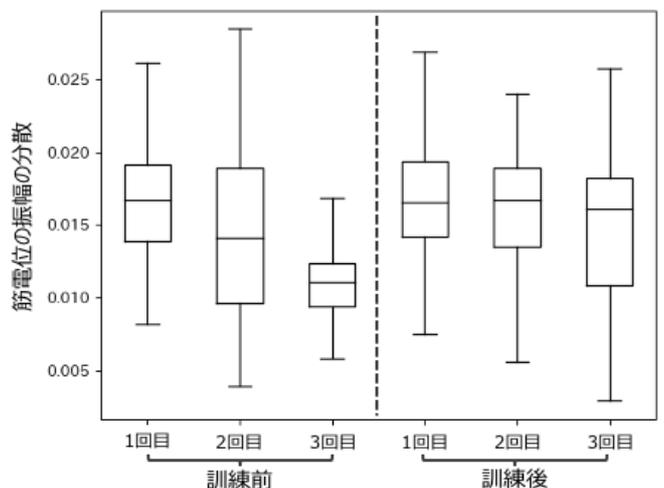


図.8 筋電位の振幅の分散

参 考 文 献

この運筆動作開始時に中央線から大きくズレるときに筋電位の振幅に違いが見られる要因の一つに、ペンの握り方が影響を与えている可能性が考えられる。先行研究においては、異なる形状を持つ際に、筋収縮の度合いが変化していることが示されている⁶⁾。本研究では、訓練毎にペンをおいて休憩を挟んでいるため、ペンを持ち慣れていない左書きの訓練前は、訓練毎のペンの持ち方や把持力が一定でなかったと推測できる。一方で、訓練を複数回に分けたことによる電極装着位置の貼り直しにより、筋電位の振幅に影響を与えている可能性も考えられる。

4. おわりに

本研究では、片麻痺患者にとって容易に取り組める利き手交換リハビリテーションシステムの開発を目指し、運筆動作が簡単な縦横線訓練による複合動作の上達の波及効果を検証した。訓練の結果、縦横線訓練と斜め線訓練ともに、同様の運筆動作の上達を示した。すなわち、縦横線訓練という平易な運筆動作訓練のみで、その複合線である斜め線の運筆動作が向上することがわかった。それは、片麻痺患者にとって肉体的に負担が小さい運筆動作訓練として、縦横線訓練のみで運筆動作の上達が可能であると考えられる。また、肉体的に負担が小さい運筆動作訓練かつ訓練効果が得られることは、患者にとって安心感を持ちながらリハビリできるため、精神的な負担も小さいと考えられる。

一方で、本研究の被験者は1名であるため、他の被験者で本システムを用いて同様の訓練を実施した際に、このような結果が得られない可能性がある。被験者10名以上を確保し、リハビリ効果の妥当性ならびに信頼性を獲得するとともに、被験者の主観的評価も視野に入れた計測システムの構築と改善が必要である。

今後は、評価用課題で書かれた運筆線の情報から筋電位情報を推測し、それを患者に提示するシステムを構築したい。それが構築できると、筋電計測を必要とせずにタブレットのみで過剰な筋収縮を抑制できるので、筋電計測に違和感のある片麻痺患者にとっても抵抗感のないリハビリが実施できるであろう。

- (1) 総務省統計局, 高齢者の人口,
<https://www.stat.go.jp/data/topics/topi1131.html>
(2020年7月1日確認)
- (2) 豊田章宏: “勤労者世代における脳卒中の実態: 全国労災病院患者統計から”, 日本職業・災害医学会会誌, Vol.58, No.2, pp.89-93 (2010)
- (3) 厚生労働省, 平成30年版 厚生労働白書 脳血管疾患患者数の状況,
<https://www.mhlw.go.jp/stf/wp/hakusyo/kousei/18/backdata/01-01-02-04.html> (2020年7月1日確認)
- (4) 明崎禎輝, 川上佳久, 平賀康嗣, 野村卓生, 佐藤厚: “非利き手の書字正確性を向上させる練習方法—なぞり書練習の有用性—”, 理学療法科学, Vol.24, No.5, pp.689-692 (2009)
- (5) 辻陽子, 明崎禎輝, 出田めぐみ, 荒牧礼子: “非利き手による書字練習方法の検討—グリッド線を用いた模写練習方法の有効性—”, 日本職業・災害医学会会誌, Vol.64, No.2, pp.84-87 (2016)
- (6) 新藤恵一郎, 辻哲也, 正門由久, 長谷公隆, 木村彰夫, 千野直一: “書癩患者の書字評価—簡易な筆圧計による筆圧分析の有用性の検討”, リハビリテーション医学, Vol.41, No.5, pp.296-301 (2004)
- (7) LOREN J. CHAPMAN, JEAN P. CHAPMAN: “The Measurement of Handedness”, BRAIN AND COGNITION, Vol.6, pp.175-183 (1987)
- (8) 井出英人: “筋電位時系列処理による手指動作の推定”, 計測自動制御学会論文集, Vol.20, No.11, pp.78-83 (1984)