



# 利き手交換における VR ミラーセラピーを用いた書字訓練に関する研究

藤江隆希<sup>1)</sup>, 中泉文孝<sup>2)</sup>

Ryuki Fujie and Fumitaka Nakaizumi

1) 大阪工業大学大学院 ロボティクス&デザイン工学研究科

(〒530-8568 大阪府大阪市北区茶屋町 1 番 4 5 号, m1m23r31@oit.ac.jp)

2) 大阪工業大学 ロボティクス&デザイン工学部

(〒530-8568 大阪府大阪市北区茶屋町 1 番 4 5 号, fumitaka.nakaizumi@oit.ac.jp)

**概要:** 事故や疾患により利き手に障害が発生した際, 利き手での書字を可能にするリハビリテーションが必要になる. しかしこれは多くの時間を必要とするためより効率的な手法が求められる. そこでミラーセラピーの要領で非利き手のイメージを VR で提示する手法を提案し, その効果を検証した. その結果, 書字における手の震えが減少し, 実空間で行うより高いモチベーションが維持できる効果が確認された.

**キーワード:** ミラーセラピー, 利き手交換, 書字訓練

## 1. はじめに

事故や疾患により利き手に障害が発生した際, 非利き手が有効になるように利き手交換の訓練を行う必要が起こりうる. その中でも書字行為は日常生活において重要であり, 臨床現場でも有効な治療手法の一つとして実施されている. しかし書字行為は高度な巧緻動作であり, 習得まで 8~28 週間程度が必要になる. 長期間の訓練は患者に対し精神的, 肉体的な負担となるため, 効率的かつ短期間の訓練法が求められている[1].

上肢の巧緻動作のリハビリテーションの一つに MT (以下 MT) がある. MT とは運動機能の回復を目的とする鏡を用いた作業療法である. 詳しい方法は鏡で仕切られた箱に両側の手を入れ, 患側を見えないように覆った状態で, 鏡を見ながら両側を動かす. これにより鏡に映った健側の動作を視覚的フィードバックで利用し, 患側の働きとして錯覚させることで改善させている. MT は幻肢痛の治療を目的として考案された[2]が, 現在は上肢機能の回復を目的とした治療法としても活用されている. また Lynne らの研究[3]では, 上肢機能の回復を目的とした HMD を活用した MT は実現可能性のある手法だと結論付けている.

岩坂らの研究[4]では MT を用いることによる書字動作に対する学習効果は認められると結論付けている. また MT を用いることで運動イメージの想起が容易になったと考察している. そのため書字動作において MT は有効な手法の一つであり, 効率的な訓練として有用といえる.

そこで MT の要領で非利き手の動作を利き手に転じたイメージを VR で提示する手法を提案した. 本手法はより患者に容易な運動イメージの想起を促し, 片麻痺患者が独力で手軽に訓練できると考えた. 本研究は提案した手法と実空間で行う手法の二つを, 学習効率と運動イメージの想起, 患者の訓練の継続性の項目から比較した.

## 2. 提案手法

使用者の骨格情報を左右反転した状態で HMD に表示させた. こうして表示された手は MT の鏡像表示された手と同様の働きをする. 骨格情報の取得はハンドトラッキングで行う. ハンドトラッキングは Meta Quest2 の外側カメラで行い, Unity 上で骨格情報の処理と, 提示内容を制作した (図 1). 表示されるオブジェクトは, 被験者の手の動きを表す手と, 利き手を反転させた赤色の手が主になる. 被験者は非利き手でペンを使い, 目の前にある三つの図を書字する. ペンは親指と人差し指でペンに向かってピンチ動作を行うと疑似的につかむことが出来る. これは使用者の本来持ち方で持っているわけではなく, あくまで所持の映像提示に過ぎない. 図は円形, 三角形, 四角形の比較的日常的に使われる形を採用した. 文字は短期間の習得は高度につき用いなかった. しかし実践的な習得を測るためには利用すべきと考えられる. 使用者はペンを握った状態ならばペンを移動させ, 書字できる. 図形とペン先が接触すると, 青色の線が描画される (図 2 : 左). 線が描画されているときは図形

に対応するタイマーがカウントされ、その図形の書字に要した時間が 1/100 秒単位で表示される（図 2：右）。これは使用者が書字に要した時間を、独力かつ定量的に把握させることを目的に設置している。描画した線を削除するには使用者自身がペンを一定の高さより低い座標まで移動させるとすべて削除される。ペンは自動的に落下することではなく、使用者本人の意思で削除できる。書字時間も同様の操作でリセットされる。

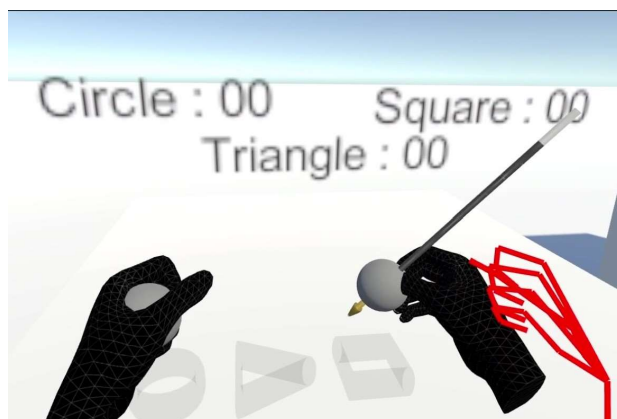


図 1. VR 空間で MT を行う様子

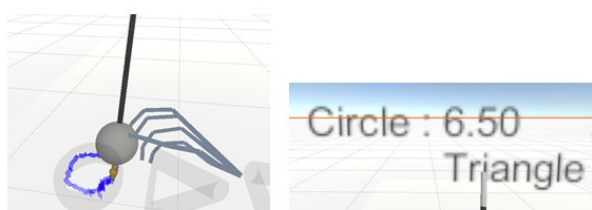


図 2. 書字動作の様子

### 3. 実験方法と評価方法

#### 3.1 実験目的

本実験の目的は、提案する手法の利き手交換における書字訓練にて、利き手の動作イメージ想起を促すものか検証することである。また訓練として効果的なものであるか定量的に計測し、効果量を評価する。

#### 3.2 実験方法

実験参加者 10 人をランダムな 5 人ずつに振り分け、それぞれをバーチャル空間群と現実空間群とした。それぞれの群で同様な書字訓練を行った。訓練の内容は共通して、訓練前に被験者の書字技能を計測し、過去の矯正経験を訊ねた。その後、被験者には群ごとに書字訓練を行ってもらった。訓練の期間は 5 日間で一日 10 分の介入とした。5 日目の訓練後、被験者には非利き手のみ書字技能を計測し、アンケートに回答してもらった。

現実空間群の介入では三種の図形が書かれた基準線を非利き手で繰り返しなぞらせた（図 3, 図 4）。実験にはスタイラスペンとタブレットパソコンを用いた。被験者は鏡を手と手の間に置き、鏡像表示される手を参考に実験を行う。実験中、被験者には必要があれば適宜アドバイスを行っ

た。

バーチャル空間群の介入は提案手法のシステムを用いて、現実空間群同様に行った。現実空間群と違い、被験者は HMD のみを使用して実験をおこなった。こちらも必要とあれば適宜被験者にアドバイスをおこなった。

書字技能の計測は現実空間群の介入で用いた基準線を用いて計測した（図 3）。計測はスタイラスペンとタブレットパソコンを用いて、被験者に基準線をなぞってもらった。評価の項目は次項に記す。

なお本実験は大阪工業大学倫理審査委員会の承認を得ている（承認番号：2022-77）。

#### 3.3 評価方法

評価方法は精度と速度から書字技能を評価した。書字動作は統一的な評価基準が存在していないため独自で定めた評価基準を用いる。精度は三種類の図形が書かれた基準線をなぞらせ、そこから逸脱した pixel 数をスコアとした。基準線の大きさは 15pixel で、ペンの太さは 3pixel である。速度は基準線をなぞるのに要した秒数をスコアとした。始点はペンを紙面に接着した瞬間とし、終点は観測者が書き終了と判断した時とした。どちらのスコアも値が小さいほど優れた結果とした。これらは被験者の書字の正確性と速度のバランスを測ることを目的としている。文字ならば書き順や字間のバランスを考慮する必要があるが、記号のみの計測につき、書字の基本的な正確性のみの計測とした。

また被験者には実験後に 5 段階のリッカート尺度のアンケートを行った。アンケートの内容は効果の実感と練習の行いやすさ、動作イメージの想起の三つを中心に設問した。本実験は HMD の利用によるイメージ想起の促進と、手軽な訓練手法の提案が目的のため設問とした。また訓練の効果の実感は使用者の訓練に対するモチベーションの促進になり、訓練の継続性に関わる[5]。そのためこちらも設問項目の一つに加えた。



図 3. 訓練及び計測で用いた基準線

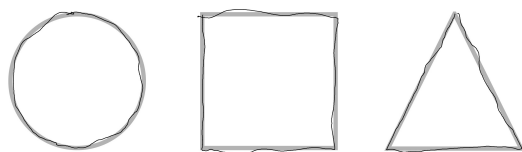


図4. 現実空間群での書字の様子

4. 結果と考察

計測で得られた値から,群ごとに t 検定で比較した.比較内容は訓練前後の精度および速度,利き手と訓練後の非利き手の精度および速度の二つだ.まず精度について,現実空間群では訓練前後の非利き手は  $p < 0.05$  と訓練の有意差が確認できた(図5).一方バーチャル空間群における訓練前後の非利き手は  $p > 0.05$  と訓練の有意差は確認できなかった(図6).しかし平均値で比較して 13.5%の向上が見られた.このことから提案手法の訓練による精度向上は見られたが,十分な効果があったとは言えない.また非利き手と利き手について,現実空間群は平均して約 5000pixel 小さかったが,バーチャル空間群は 3500pixel 大きいと,二つの群で大きく差が出る結果となった.非利き手同士の比較からも読み取れる通り,既存手法は書字精度の獲得において提案手法より優れた結果となった.この理由に現実での書字感覚との差異が上げられる.仮想現実は三次元空間での書字となり,通常文字には存在しない高さの概念があった.それに加え,被験者はペンを握らず,掴んだ体で仮想空間上のペンを動かすことになっていた.これらの要素が現実での書字感覚と大きなギャップを生み,十分な効果が得られなかったと考える.また現実空間群は計測で使われる基準線と,訓練で使われる基準線が同じもので,現実空間群にとって有利な計測であったことも要因の一つと考えられる.

次に速度について,両群とも速度の平均値が訓練後の利き手,非利き手に限らず3秒以上大きくなった(表1).これは被験者の精度が向上したことにより,速度より精度を重視した慎重な動作を取るようになり,結果として書字時間が大きくなったと考えた.そのことに関連して,被験者の手の動作は訓練以前には震えが見られたが,訓練後は手の震えがみられず,書字された線も,比較的真っすぐな線になっていた.これは目視による観察に過ぎないが,速度の低下の理由を裏付ける一つの要因になると思われる.そのため非利き手の書字に単なる速度劣化があったとは言えないと考えた.そのため速度の計測は手先の巧緻動作のみに注目した計測方法が必要だと考えた.

訓練の使用感の評価について,バーチャル空間群は MT の効果の実感と動作イメージの簡略化の二つの項目が現実空間群より平均値が 1 ポイント大きい結果となっ

た(表2).仮説通り仮想空間での提示は空間に表示が可能であり,使用者にイメージの想起が行いやすいと言えた.一方で上達の実感に関しては精度の結果と照らし合わせるように,現実空間群が大きくなった.加えて両群とも練習に容易さは同様に感じておらず,仮説の手軽な訓練形式とは言えない結果となった.

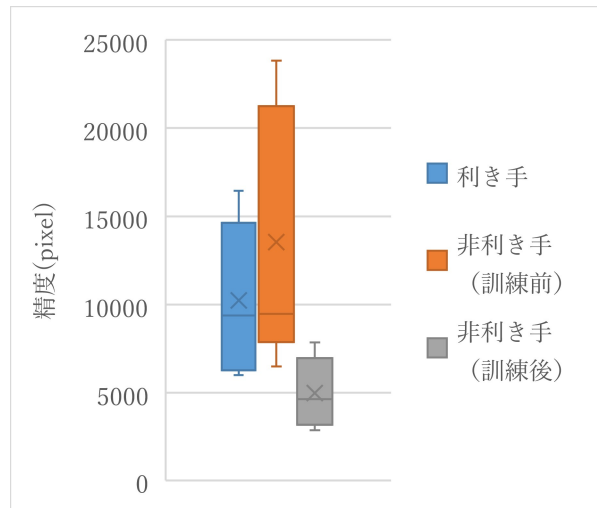


図5. 現実空間群の書字技能精度の比較

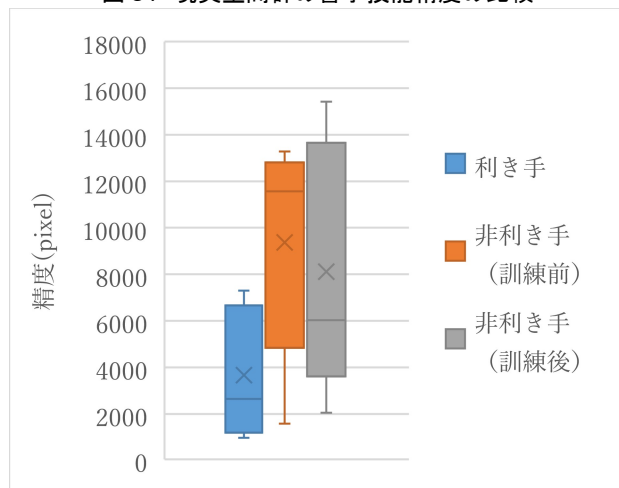


図6. バーチャル空間群の書字技能精度の比較

表 1: 各群における書字速度の平均値

No.	バーチャル空間群(秒)	現実空間群(秒)
利き手	23.88	18.11
非利き手(訓練前)	26.53	17.48
非利き手(訓練後)	29.81	23.22

表 2: 各群における設問ごとのアンケート結果の平均値

No.	バーチャル空間群(点)	現実空間群(点)
書字の上達の実感	3.8	4.6
MT の効果の実感	4.2	2.6
練習の容易さ	2.8	2.8

継続性	3.4	3.8
動作イメージの簡略化	3.4	2.4

## 5. まとめ

本研究では HMD を用いた映像表示によって利き手動作のイメージを想起させ、より効率的に非利き手の書字訓練を行う手法を提案し、その効果を測定した。

結果は精度と速度において効率の向上は見られなかった。精度はより現実での書字に近い、没入感のあるシステムであるほど、一定の技能まで向上させられると考えられる。実際にペンを握り、書字の摩擦を感じる事が出来れば、より没入感のあるものになると考える。また速度は今回とはまた違う計測方法を新たに追加し、多角的に計測することが望ましいと考える。本研究での速度計測は速度と精度の両立が難しい方法であり、一方的に速度を計測するには相応しいと言えない。そのため速記など速度が如実に表れる計測法を用意することが望ましい。他にも精度と速度それぞれにある値で重み付けし、一定の方程式で表せるようにし、総合的なスコアで測る形式であれば、異なる手法との比較を行いやすくなるだろう。しかし現実空間群より効果の実感やイメージの想起は向上していた。仮説通り HMD を用いた手法はイメージを実物で観測できることが有用であった。イメージの定着や効果の実感はモチベーションに繋がるため、継続には欠かせない要素であり、提案手法は実空間の手法よりモチベーションが維持しやすい手法と言えた。

本実験ではサンプル数や実験期間が十分とは言えず、正

確な効果を測るには大規模かつ長期間の実験が必要だと考える。そのため訓練での期間を二週間以上確保し、更なるサンプル数での実験を今後の展望としたい。また仮想空間における MT の有効性や最適なパラメータは未知な点が多く、巧緻動作によらずさらなる研究が必要である。

## 参考文献

- [1] 明崎禎輝, 川上佳久, 平賀康嗣, 野村卓生, & 佐藤厚. (2009). 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, 24(5), 689-692.
- [2] Ramachandran, V. S., & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 263(1369), 377-386.
- [3] Weber LM, Nilsen DM, Gillen G, Yoon J, Stein J. Immersive Virtual Reality Mirror Therapy for Upper Limb Recovery After Stroke: A Pilot Study. *Am J Phys Med Rehabil*. 2019 Sep;98(9):783-788. doi: 10.1097/PHM.0000000000001190. PMID: 30964752; PMCID: PMC6697203.
- [4] 岩坂憂児, & 三友紀男. (2011). ミラーセラピーおよびミラーセラピー中の上肢の位置の効果. 研究紀要青葉 Seiyo, 3(1)
- [5] Levack WM, Taylor K, Siegert RJ, Dean SG, McPherson KM, Weatherall M. Is goal planning in rehabilitation effective? A systematic review. *Clinical Rehabilitation*. 2006;20(9):739-755. doi:10.1177/0269215506070791