

片麻痺のための仮想手指によるミラーボックス療法システムの一検討 A Study of a Mirror Box Therapy System with Virtual Hand for Hemiplegia

白谷 茉里奈[†]
Marina Shiroya

宮崎 陽平[†]
Yohei Miyazaki

藤村 誠[†]
Makoto Fujimura

東 登志夫[†]
Toshio Higashi

1. はじめに

脳卒中や脳梗塞などの後遺症の一つに、片麻痺障害がある。片麻痺障害とは左右一方の半身または、腕や脚、手指などに麻痺が生じる一側性の運動障害のことである。

手指の片麻痺障害に対するリハビリテーション（以下、リハビリと称する）の一つにミラーボックス療法[1][2]がある。この療法では、箱の内側中央に垂直に設置した鏡に映った非麻痺側手指の鏡像を患者に提示することで、視覚的フィードバックにより錯覚が生じ、運動機能の回復が期待される[3]。しかし、鏡像では対称的な動きしか提示できず、単調動作に限定されるという問題がある。

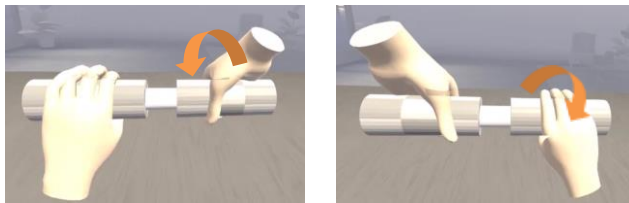
そこで、我々はバーチャルリアリティー（以下、VR と称する）空間において、仮想手指による 3DCG の道具（以下、VR 道具と称する）の把持および操作を行うことで、没入感があり効果的な視覚的フィードバックが期待できる VR リハビリシステムを提案する。このシステムを導入することで、鏡像では表現できなかった非対称的な動きを患者に提示することが可能である。また、VR 道具の操作を行うことで、患者はリアリティーのある動作を体験可能となり、より効果的な錯覚によるリハビリが実現可能である。

評価実験では、提案した VR リハビリシステムにおいて、両手の仮想手指の身体所有感や協調動作の行為主体感について検証した[4][5]。

2. 提案手法

2.1 システムの概要

VR リハビリシステムでは、VR 空間において左右の手指に対応する 3DCG モデルである仮想手指で VR 道具を用いた両手の非対称的な協調動作を提示する。図 1 に示すように、両手で筒状のグリップを把持し、非麻痺側の手関節部を掌側に曲げる掌屈および手の甲側に曲げる背屈を交互に行い、麻痺側の手は掌屈・背屈が逆となるように動く。ただし、非麻痺側の手はハンドトラッキングでリアルタイムに表示する。



(a) 掌屈 (b) 背屈
図 1 VR 道具を用いた掌屈・背屈 (右手)

[†]長崎大学 Nagasaki University

図 2 は本 VR リハビリシステムの構成である。ハンドトラッキング機能を持つヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD と称する）Meta Quest 2 および運動補助器、パーソナルコンピュータ（以下、PC と称する）から成る。また、実世界において運動補助器を把持して掌屈・背屈を行うことで、ハンドトラッキングを安定させ、実際の手の動きと VR 空間の仮想手指の動きの整合性を実現する。なお、運動補助器は動力およびセンサーを持たず、単に筒状のグリップを手で回転させるものであり、掌屈・背屈動作時の手の位置を固定するために用いる。

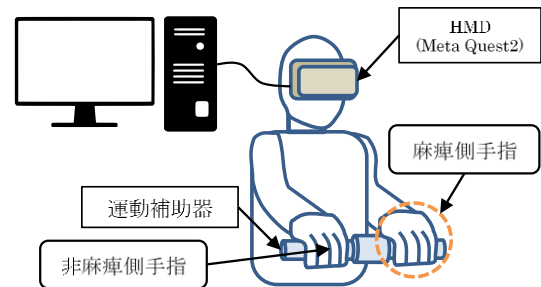


図 2 VR リハビリシステム構成

2.1.1 両手仮想手指の協調動作

実際に運動補助器を非麻痺側の手で把持した時、VR 空間において非麻痺側の仮想手指も VR 道具を把持し、麻痺側の仮想手指も表示される。図 3 に VR 道具を把持した際の初期状態を示す。非麻痺側の仮想手指が掌屈を行うと麻痺側の仮想手指は背屈を、非麻痺側が背屈を行うと麻痺側は掌屈をそれぞれ行う。

この非対称動作は、VR 道具に麻痺側の仮想手指を固定し、VR 道具の左右のグリップをそれぞれ逆向きの回転にすることで実現している。すなわち、非麻痺側のグリップが掌屈方向に回転したときは麻痺側のグリップは背屈方向に回転し、非麻痺側のグリップが背屈方向に回転したときは麻痺側のグリップは掌屈方向に回転する。図 4 に VR 道具のグリップの回転方向とそれぞれの向きの最大角度を示す。

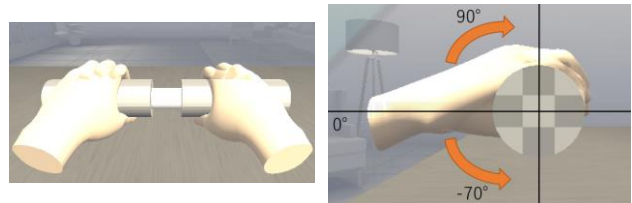


図 3 把持の初期状態

図 4 VR 道具の回転

3. 評価実験

3.1 実験の目的

提案した VR リハビリシステムにおける両手の仮想手指の身体所有感や非対称的な協調動作の行為主体感について検証した。現実において運動補助器を把持および操作した際の VR 空間上で再現した仮想手指の動きや両手の協調動作に対する違和感、左右での操作性の違いについて質問紙法による主観評価を行った。また、具体的な改善点についても併せて意見を収集した。

3.2 実験条件

被験者は健常な 20 代前半の 8 名である。まず、動画を用いて実験課題および手の動かし方について説明した。次に、被験者に HMD を装着させ、運動補助器の位置に合わせて VR 道具の位置を調整した。次いで、右手を非麻痺側の手として掌屈と背屈を 5 回繰り返して行ってもらった。最後に、左手を非麻痺側の手として同じ動作を行ってもらった。このとき、麻痺側とした手は運動補助器上に固定し、動かさないように指示した。

体験課題終了後、以下の 5 項目の設問に回答させた。

1. VR 空間上の仮想手指が自分の手であると認識できる
2. 非麻痺側とした手指は VR 空間上で違和感なく動かせた
3. 左右で操作性の違いはない
4. 両手の協調動作に違和感はない
5. 自由記載欄

設問番号 1~4 は 5 段階評価とし、スコアが大きい程、良い結果とした。なお、設問 5 に関しては被験者からの改善点などを収集するために自由に回答してもらった。

3.3 実験結果

図 5 に設問番号 1~4 の回答結果の平均値と標準偏差を示す。設問 1 および 2 に関しては、スコア平均がそれぞれ 4.75 および 4.38 であり、高い身体所有感が得られていた。これは、運動補助器を用いることにより実際の手の動きと仮想手指の動きの整合性が保たれ行為主体感も高くなっているものと考えられる。

設問 3 に関しては、スコア平均 3.75 と低く、標準偏差は 1.84 と他の設問項目より高くなった。このとき、左手の操作が右手に比べて難しいと回答する被験者が多かった。左手が非麻痺側の手指となった場合に違和感を覚える被験者が多く、左右の手で身体所有感が異なることがわかった。

設問 4 に関しては、麻痺側の仮想手指が非麻痺側の仮想手指と反対方向に正確に動いていたため、両手の協調動作評価が高いものと考えられる。

また、以下に設問 5 の回答をまとめた。

- 手首を最大限動かしたときに少し違和感があった
- 仮想手指が固まっているように感じる時がある
- 左手の操作が少し難しい

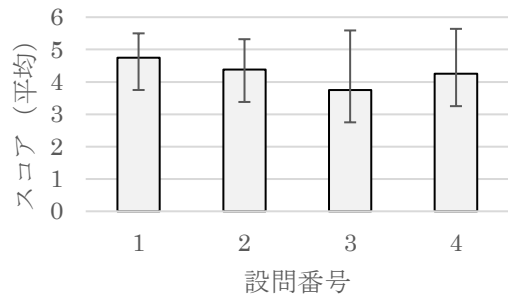


図 5 設問 1~4 の回答結果

4. 考察

実験結果の設問 3 より、非麻痺側の手指を右手とした場合には問題なく VR 道具を操作できるが、左手とした場合は VR 道具の操作が難しいということがわかった。これは、利き手ではない手では操作に慣れないためであると考えられる。今回の被験者は、全員利き手が右手であったため、今後は原因調査のために利き手が左手である被験者も対象に含めて実験を行う必要がある。

また、設問 5 の「手首を最大限動かしたときに少し違和感があった」、「仮想手指が固まっているように感じる時がある」という意見に関しては、VR 道具の回転の最大角度が原因であると考えられる。手首の掌屈・背屈を行う際に、最大角度に達するとそれ以上は動かないため、固まったと認識する被験者がいた。今回は、一般的な人間の手首の掌屈と背屈の最大角度としたが、再検討が必要である。

5. おわりに

本稿では、片麻痺のための仮想手指によるミラーボックス療法システムについて検討した。従来のミラーボックス療法では、両手指が対称的な単調動作になるが、提案した VR リハビリシステムでは、VR 空間において非対称的な動きを提示することが可能である。そのため、より効果的な視覚的フィードバックが期待できる。今後の課題は、左右の手で身体所有感が異なることに関して、原因の特定および改善方法の検討などである。また、医療現場での評価も必要である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 基盤研究 (C) 23K10428 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D, Cobb S, "Touching the phantom limb", *Nature*, 377, 489-490 (1995).
- [2] Ramachandran VS, EL Altschuler, L Stone, M AI-Aboudi, E Schwartz, N Siva, "Can mirrors alleviate visual hemineglect?", *Medical Hypotheses*, 52, 303-305 (1999).
- [3] 平上 尚吾, 井上 優, 佐藤 ゆかり, 原田 和宏, 香川 幸次郎, "脳卒中片麻痺患者の手指運動機能障害に対するミラーセラピーの効果", *理学療法学*, 第 39 巻第 5 号, 330-337 (2012).
- [4] Maria V. Sanchez-Vives, Bernhard Spanlang, Antonio Frisoli, Massimo Bergamasco, Mel Slater, "Virtual Hand Illusion Induced by Visuomotor Correlations", *PLoS ONE*, 5, 4: e10381 (2010).
- [5] 小川 奈美, "VR 空間における身体化感覚", *心理学ワールド*, 94 号, 17-20 (2021)