

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11208

研究課題名(和文) VRによる視覚誘導性運動錯覚を用いた上肢機能訓練システムの開発と有用性の検討

研究課題名(英文) Development of a VR-based upper limb functional training system using visually guided motor illusions, and a study of its effectiveness

研究代表者

東 登志夫 (HIGASHI, TOSHIO)

長崎大学・医歯薬学総合研究科(保健学科)・教授

研究者番号：40244090

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はVRをミラーセラピー(MT)に応用した新しい上肢機能訓練システム(HTS-VR)を開発し、その有用性について検討することである。開発したHTS-VRは、従来型の鏡を使用したMTと同様に実動する手の動きに対して対側手が対称的に動くミラーモードと、一側手の動きに対し対側手が非対称に動く非ミラーモードの2つのモードを有している。HTS-VRのミラーモードと従来型のMTを用いた介入が皮質脊髄路興奮性に及ぼす影響を経頭蓋磁気刺激による運動誘発電位を指標として検討した結果、HTS-VRは、従来型のMTと同程度に皮質脊髄路興奮性を増大させた。また、質問紙による運動錯覚感も同程度の値を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで切断患者の幻肢痛や脳卒中患者の麻痺側上肢機能に対する介入方法として広く知られているミラーセラピーをVirtual Reality(VR)技術の応用により発展させようとするものである。VRを応用したミラーセラピーは従来の鏡を使用するミラーセラピーと比較して自由度が高く、より複雑な上肢機能訓練を可能とするものである。したがって今回の研究成果は、今後のミラーセラピーの介入方法を検討する上での一助となり、将来的には対象患者の上肢機能の改善に寄与するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to develop a new upper limb functional training system (HTS-VR) that uses immersive virtual reality for mirror therapy and to assess its effectiveness. The HTS-VR features two modes: a mirror mode where the contralateral hand (avatar's hand) moves symmetrically to the actual hand movement, and a non-mirror mode where the contralateral hand moves asymmetrically to the unilateral hand movement, similar to conventional mirror therapy. To evaluate the effectiveness of the HTS-VR's mirror mode and conventional mirror therapy interventions on corticospinal excitability, we used motor evoked potentials from transcranial magnetic stimulation as indicators. The results suggested that HTS-VR increased corticospinal excitability to the same extent as conventional mirror therapy. The questionnaire-based assessment of the illusion of movement also yielded similar results.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：ミラーセラピー パーチャルリアリティ 上肢機能訓練 運動錯覚

## 1. 研究開始当初の背景

脳卒中の上肢機能に対する介入方法の一つにミラーセラピー (Mirror Therapy; MT) がある。MT はミラーボックスの中に立てられた鏡に健常肢の動きを映し、その動きを観察することで患側肢の運動錯覚を生じさせる介入方法である。MT の効果機序については複数の機序があげられているが、視覚誘導性の運動錯覚が生じることがその中核であると考えられている。MT は、既に複数のメタアナリシスが報告されており、良好なエビデンスが示されている。しかしながら、MT では鏡像による視覚誘導を前提としているため、MT で使用される動作は、手指の屈伸運動(グーパー)や手関節の掌背屈運動等の単純且つ左右対称の動作に制限される問題を有している。この問題に関しては、リハビリテーションにも応用が進んでいる Virtual Reality (VR) の活用により改善できる可能性があると考えている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、没入型の Virtual Reality (VR) をミラーセラピーに応用した新しい上肢機能訓練システム (HTS-VR) を開発し、その有用性について検討することである。

## 3. 研究の方法

### (1) HTS-VR の開発

VR のヘッドマウントディスプレイには、Quest2 (Meta 社) を採用し、Unity (Unity technology) を用いてプログラミングした。上肢機能訓練のプログラム内容は、従来型の MT と同様に一側手の動きに対して対側手が対称的に動くミラーモードと、一側手の動きに対し対側手が非対称的に動く非ミラーモードとした。

### (2) HTS-VR と従来型の MT (CMT) を用いた介入による皮質脊髄路興奮性に対する効果の比較

HTS-VR が鏡を使用する従来型のミラーセラピー (CMT) と同様に運動錯覚感を惹起させ、皮質脊髄路興奮性に影響を及ぼすかどうかについて検討した(図1)。HTS-VR は、CMT との比較のためミラーモードを採用した。皮質脊髄路興奮性の指標には、経頭蓋磁気刺激 (TMS) による運動誘発電位 (MEP) を指標とした。MEP は被験筋を右短母指外転筋とし、課題時の外転相で左 M1 上に TMS を与えることで導出した。実験条件は HTS-VR 条件と CMT 条件の 2 条件とし、クロスオーバーデザインとした。課題はメトロノームのリズムに合わせた左母指内外転反復運動 (1Hz) とした。MEP は被験筋を右短母指外転筋とし、課題時の外転相で左 M1 上に TMS を与えることで導出した。また、各条件における身体所有感、運動主体感、運動錯覚感を Visual analog scale (VAS) を用いて評価した。



図1 実験風景

### (3) VR を応用した MT のシステムティックレビュー&メタアナリシス

新型コロナウイルスの影響により、HTS-VR のプログラムの開発及び、TMS を用いた神経生理学的検討が大幅に遅延したことで、計画当初予定していた脳卒中患者を対象とした臨床試験まで進むことができなかった。その代替として、現時点における脳卒中患者の上肢機能障害に対する VR を活用とした MT の効果を検証するために、PRISMA ガイドラインに則ってシステムティックレビュー&メタアナリシスを実施した。対象論文は 2010 年 1 月から 2022 年 7 月までに PubMed, Scopus, Medline, Cochrane Central Register of Controlled Trials で発表されたものとした。適格基準は、VRMT 群と対照群を比較したランダム化比較試験 (RCT) とした。主要アウトカムは、Fugl-Meyer Assessment (FM-UE), Box and Block Test (BBT), Manual Functional Test (MFT) とした。RCT の方法論的質の評価には、Cochrane risk-of-bias tool 2.0 を用いた。メタアナリシスは、標準化平均差 (SMD) と 95% 信頼区間 (95%CI) を算出し、ランダム効果モデルを用いて行った。

## 4. 研究成果

### (1) HTS-VR

本研究における HTS-VR のプログラムは、従来型ミラーセラピーと同様に一側手(実動する手)の動きに対して対側手(アバターの手)が対称的に動くミラーモード(図2)と、一側手の動きに対し対側手が非対称に動く非ミラーモード(図3)を作成した。非ミラーモードについては、タオルを絞る動作を想定し、疑似動作的にグリップを反対方向にねじる動作に最終的に決定した。開発にあたっては特に非ミラーモードで苦勞し、開発当初は、一側手の動きをあらかじめ録画し、その動画を反転させて再生させることで対側手が動いているように見える仕様としていた。

しかしながらプレ実験においてプログラムが不安定であること、被験者に運動錯覚が生じにくかったことから、動作を限定することで一側手の動き（実動する手）と連動して対側手（アバターの手）が非対称的に動く仕様に最終的に変更することとした。

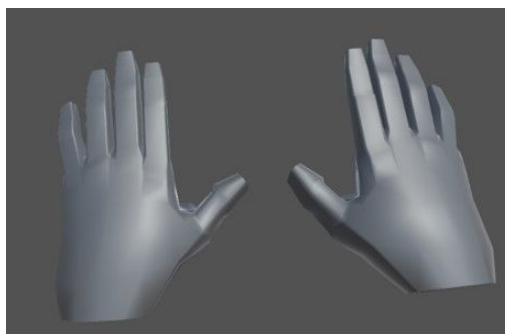


図2 ミラーモード

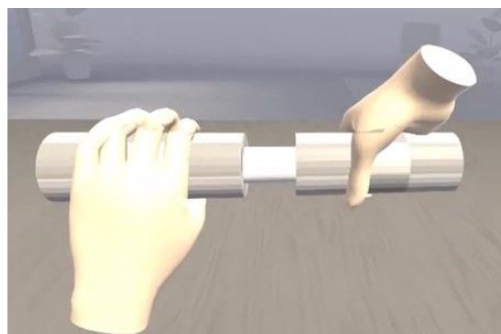


図3 非ミラーモード

## (2) HTS-VR と従来型の MT (CMT) の比較

HTS-VR と CMT の比較において、MEP 振幅は、図4に示すようにどちらにおいても Non-Mirror 条件と比較して Mirror 条件で MEP の増大が確認された。また、図5に示すように、両者は同等の運動錯覚感を示した。この結果より、HTS-VR は、CMT と同程度の運動錯覚感を惹起させ、実動作を行う手と同側の皮質脊髄路興奮性を増大させることが示唆された。ただし、身体所有感と運動主体感の惹起は VRMT と CMT との間に異なる傾向が見られた。これらの結果より、VRMT では、没入感や臨場感が運動主体感の惹起を強化する一方で、バーチャルハンドの外見が現実の手の肌感や肉感に乏しく身体所有感の惹起に影響するのではないかと推察された。

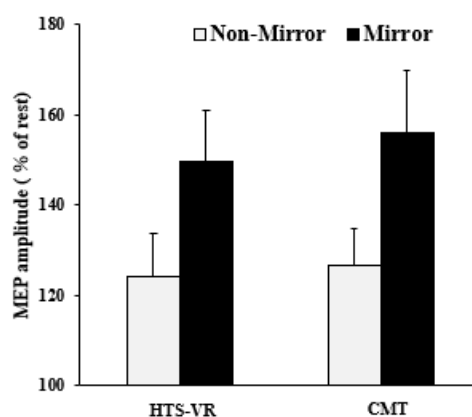


図4 MEP 振幅の比較

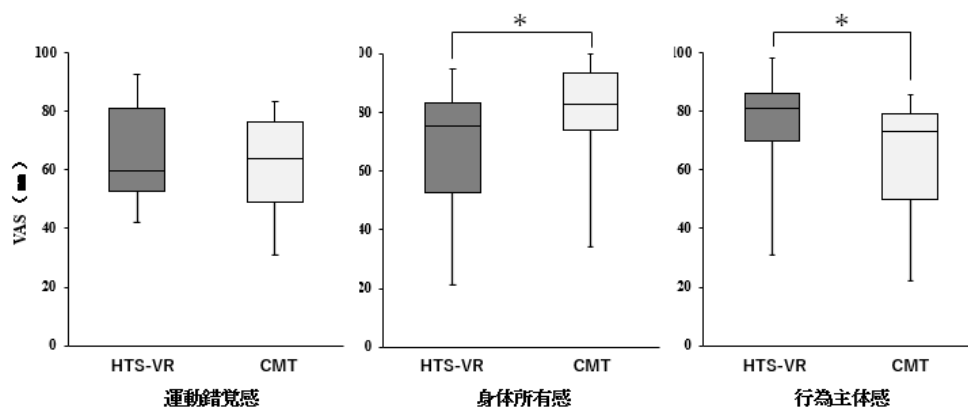


図5 運動錯覚感，身体所有感，行為主体感の比較

## (3) VR を応用した MT のシステマティックレビュー&メタアナリシス

検索された 236 件の論文のうち、適格基準を満たす 5 件の RCT における 172 症例を対象とした。メタアナリシスの結果、VR を応用した MT 群は対照群と比較して FM-UE, BBT, MFT において有意な改善を示した。しかしながら、5 件の研究では、VR を応用した MT の種類、脳卒中発症からの期間、上肢機能の重症度が異なるため、本研究の結果をすべての脳卒中患者に一般化することはできず、今後さらなる検討が必要であることが示唆された。

以上の結果から、本研究において開発した HTS-VR のミラーモードは、CMT と同様に運動錯覚感を惹起させ、介入中の大脳皮質運動野興奮性の促通効果に関しても同等の効果があることが示唆された。今後は、HTS-VR の特徴である非ミラーモードによる介入が大脳皮質運動野興奮性に及ぼす影響や、脳卒中患者を対象とした臨床試験を継続して行っていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Naoki Iso, Takefumi Moriuchi, Kengo Fujiwara, Moemi Matsuo, Wataru Mitsunaga, Takashi Hasegawa, Fumiko Iso, Kilchoon Cho, Makoto Suzuki, Toshio Higashi	4. 巻 15
2. 論文標題 Hemodynamic Signal Changes During Motor Imagery Task Performance Are Associated With the Degree of Motor Task Learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kengo Fujiwara, Masakazu Shibata, Yoshinaga Awano, Koji Shibayama, Naoki Iso, Moemi Matsuo, Akira Nakashima, Takefumi Moriuchi, Wataru Mitsunaga, Toshio Higashi	4. 巻 16
2. 論文標題 A method for using video presentation to increase the vividness and the activity of cortical regions during motor imagery tasks.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Regeneration Research	6. 最初と最後の頁 2431-2437
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4103/1673-5374.313058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Daiki Matsuda, Takefumi Moriuchi, Yuta Ikio, Wataru Mitsunaga, Kengo Fujiwara, Moemi Matsuo, Jiro Nakamura, Tomotaka Suzuki, Kenichi Sugawara, Toshio Higashi	4. 巻 12
2. 論文標題 A Study on the Effect of Mental Practice Using Motor Evoked Potential-Based Neurofeedback	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2021.637401. eCollection 2021.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Akira Nakashima, Takefumi Moriuchi, Daiki Matsuda, Jirou Nakamura, Kengo Fujiwara, Yuta Ikio, Takashi Hasegawa, Wataru Mitunaga, Toshio Higashi	4. 巻 12
2. 論文標題 Continuous Repetition Motor Imagery Training and Physical Practice Training Exert the Growth of Fatigue and Its Effect on Performance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Brain Science	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/brainsci12081087.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ryohei Okamura, Akira Nakashima, Takefumi Moriuchi, Kengo Fujiwara, Kanta Ohno, Toshio Higashi, Kounosuke Tomori	4. 巻 14
2. 論文標題 Effects of a virtual reality-based mirror therapy system on upper extremity rehabilitation after stroke: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurology	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fneur.2023.1298291.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Keita Nishi, Takefumi Moriuchi, Ryohei Okamura, Takashi Hasegawa, Xiaoqian Chang, Shinichi Matsumoto, Hironobu Koseki, Toshio Higashi	4. 巻 14
2. 論文標題 Mirror Therapy Reduces Pain and Preserves Corticomotor Excitability in Human Experimental Skeletal Muscle Pain	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Brain Science	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/brainsci14030206.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 岡村諒平, 森内剛史, 張宗相, 藤村誠, 東登志夫
2. 発表標題 没入型仮想現実によるミラーセラピーの妥当性について
3. 学会等名 第57回日本作業療法学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡村諒平, 中島輝, 森内剛史, 藤原謙吾, 大野勘太, 東登志夫, 友利幸之介
2. 発表標題 脳卒中後の上肢機能障害に対するVirtual Reality-based Mirror Therapyの効果 - システムティックレビュー&メタアナリシスによる検討 -
3. 学会等名 第17回日本作業療法研究学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森内剛史, 西啓太, 岡村諒平, 小関弘展, 東登志夫
2. 発表標題 骨格筋痛による皮質脊髄路の興奮性低下に対するミラーセラピーの効果
3. 学会等名 第17回日本作業療法研究学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

長崎大学神経障害リハビリテーション学研究室 <a href="http://www2.am.nagasaki-u.ac.jp/higashi-lab/index.html">http://www2.am.nagasaki-u.ac.jp/higashi-lab/index.html</a>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤村 誠  (FUJIMURA MAKOTO)  (30229041)	長崎大学・情報データ科学部・准教授   (17301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------