

令和 3 年 8 月 24 日現在

機関番号：33111

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19760

研究課題名（和文）バーチャルリアリティとロボティクスを応用した心拍駆動型身体認知変容システムの開発

研究課題名（英文）Application of virtual reality and robotics to change body size perception

研究代表者

大鶴 直史（Naofumi, Otsuru）

新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・教授

研究者番号：50586542

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：慢性疼痛患者において、身体サイズ認知異常が報告されている。この身体サイズ認知異常は、痛みと関連性があることが示唆されており、その異常を是正する手法が求められている。そこで、本研究ではバーチャルリアリティ（VR）を用いて、身体サイズ認知を変容するシステムの開発を行った。結果、このシステムを使用すると健常者においては、少なくとも一時的には身体認知変容が可能であることを示した。今後は本システムの臨床応用に向けて、基礎的な知見を蓄積していく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに、慢性疼痛患者の痛みを軽減するために、身体サイズ認知の変容を促す手法が検討されてきた。本研究は、バーチャルリアリティを使った新たな身体認知変容システムの可能性を示した。また、健常者への検討のみであり、至適な条件に関して検討しなければならない事項はあるが、今後基礎的な検証を進めて新たな介入方法に発展させたい。

研究成果の概要（英文）：A disturbance of body size perception has been reported in chronic pain patients. Previous studies suggested that the disturbance is associated with pain perception. Therefore, a method to correct the disturbance is needed. In the present study, we aimed to develop a method to change body perception using virtual reality. The system we developed might change body perception, at least temporarily.

研究分野：神経科学、リハビリテーション

キーワード：バーチャルリアリティー 身体認知

## 1. 研究開始当初の背景

慢性疼痛は難治性であり、現在まで有効な治療法が確立されていない。社会経済的観点からも、就業制限などにより年間 3700 億円の経済損失が試算されており (ACCJ 調べ、2012 年) 解決すべき喫緊の課題である。そのような中で、慢性疼痛の病態のひとつとして自己身体認知異常があることが報告された。自分のからだに対する認識 (自己身体認知) は、通常であれば実際の身体と大きく乖離することはない。しかし、慢性疼痛患者において、痛みがある手を実際の手よりも大きく認知するという自己身体認知異常が報告されている (Bailey et al., 2013)。この自己身体認知異常と痛みの間には因果関係がある可能性が示唆されており (Lewis et al., 2012) 身体認知異常を是正することが慢性疼痛治療につながる可能性がある。実際に、自己身体認知異常をターゲットとした介入方法も検証されている。Moseley らは、複合性局所疼痛症候群患者を対象に痛みのある手を縮小して見せることにより、痛みが減弱することを示した。一方で、手を拡大して見せると反対に痛みは増大した (Moseley et al., 2018)。このことは、身体サイズ認知の変容によって、痛み知覚が変化することを示唆している。よって、身体サイズ認知を系統的に制御できる手法があれば、新規治療法として有用となるかもしれない。しかしながら、研究開始当初においてそのような手法は確立されていなかった。

## 2. 研究の目的

上述の背景から、本研究課題では研究として、バーチャルリアリティ (VR) システムを用いて、身体サイズ認知の変容を促す機構を作ることを目的とした。さらに、身体サイズ認知変容を促すためには、自己の内受容感覚 (心拍) をフィードバックすることが有用であることが示されている。そこで、将来的な系統的研究のために、VR 上の手に心拍を点滅信号としてフィードバックする機構を製作した。さらに研究として、製作した VR 機構によって、身体サイズ認知が変容することが可能かを検証した。

## 3. 研究の方法

### (1) VR システムを用いた、身体サイズ認知変容を促す機構の製作

VR 上に、実際のサイズと異なる手を映し出す機構および、主観的身体サイズを評価するシステムの製作を実施した。さらに、その VR 上の手に自身の心拍情報を赤色の点滅信号としてフィードバックする機構を製作した (図 1)。ヘッドマウントディスプレイ (Oculus Rift) を用い VR 画像を呈示した。VR 空間上に提示する手のトラッキングには 3D モーションキャプチャ (Leap motion) を用いた。さらに内受容情報である心拍情報の検出には、指接触型の心拍センサー (SFE-SEN-11574、スイッチサイエンス) を使用した。これらの情報の実験的操作には、Unity を用いた。

製作した機構としては、事前に決められた任意のサイズを呈示する仕組みおよび心拍センサーの電位情報と同期して手に赤色の点滅信号を重畳させる仕組みとした。心拍に伴う点滅信号は、任意の遅延を発生させることができ、実際の心拍と非同期で点滅させることも可能である。これにより、身体サイズを自由に変調し、さらにその映像に内受容情報 (心拍) を重畳させることができる。



図1 VRによる身体認知変容システム

## (2)VR システムと tDCS の併用による身体サイズ認知変容効果の検証

研究 で製作した VR システムと tDCS を用いて身体サイズ認知変容が生じるかを検証した。被験者は、図 1 のように肘掛け台に非利き手前腕を立て掛けた安静座位をとった。この時、Leap motion の位置から手部までは 30cm の位置で統一した。VR 実験条件は、観察群、心拍同期群、運動同期群の 3 条件で実施した。観察群は、VR 空間上で提示される手を観察する条件とした。心拍

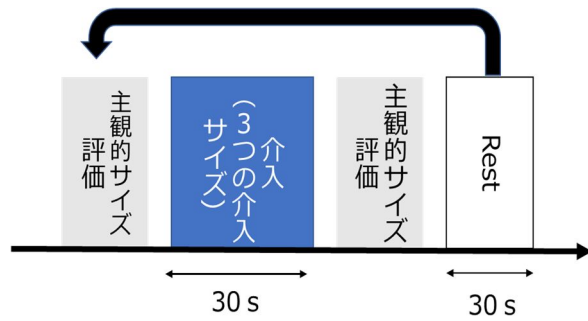


図2. 実験プロトコル

同期群では、VR 空間上において自己心拍と同期して赤く点滅する手を観察する条件、すなわち内受容情報フィードバックを付与する条件とした。運動同期群では、VR 空間上における手が自身の手の動きと同期して動く条件、すなわち運動主体感が付与される条件とした。被験者は、観察群 16 名、心拍同期群 16 名、運動同期群 10 名とし、各群で独立した被験者を用いた。実験プロトコルを図 2 に示す。まず被験者は VR 上に映し出された手の主観的サイズ評価を実施した。VR ディスプレイ上に Leap motion の初期値の 30% で手が表示され、被験者はマウスのホイールを使用して主観的に自身の手の大きさだと判断するところまで大きさを調整した(漸増サイズ)。その後、初期値の 200% の手が表示され同様に大きさを調整した(漸減サイズ)。漸増サイズと漸減サイズの平均値を、各個人の主観的身体認知サイズの指標とした。

主観的身体認知サイズ決定後、3 つの異なる介入サイズのうち(主観的身体認知サイズの 0.5 倍, 1 倍, 1.5 倍)いずれかのサイズで介入を実施した。介入を 30 秒間実施し、直後に主観的サイズ評価を再度実施した。その後 30 秒間の休憩 (Rest) を挟んで、再度同様のプロトコルで異なる介入サイズで実施した。被験者ごとに提示される介入サイズの順番はランダムとした。

## 4. 研究成果

図 3 に、各 VR 条件において、異なる 3 つの介入サイズが、主観的身体サイズ認知変容に及ぼす影響を示した。フリードマン検定の結果、観察群 ( $p=0.001$ )、心拍同期群 ( $p=0.002$ )、運動同期群 ( $p=0.006$ ) いずれにおいても介入サイズの主効果を認めた。Dunn テストを用いた事後検定の結果、観察群では 0.5 倍介入と 1.5 倍介入および 1 倍介入と 1.5 倍介入の間に有意な差を認めた(それぞれ  $p=0.002$ ,  $p=0.008$ )。心拍同期群においては、0.5 倍介入と 1.5 倍介入の間に有意な差を認めた ( $p=0.002$ )。運動同期群でも同様に 0.5 倍介入と 1.5 倍介入の間に有意な差を認めた( $p=0.005$ )。マン・ホイットニー検定の結果、いずれの介入サイズにおいても VR 条件間に有意な介入効果の差は認めなかった。

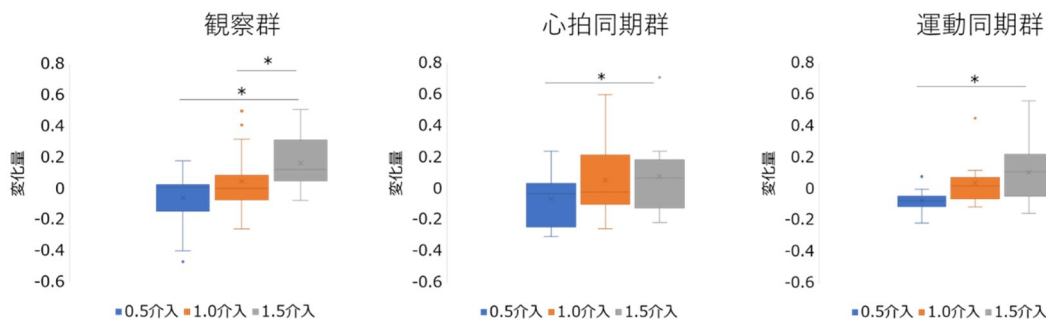


図3. 各群における介入効果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Otsuru Naofumi, Miyaguchi Shota, Kojima Sho, Yamashiro Koya, Sato Daisuke, Yokota Hirotake, Saito Kei, Inukai Yasuto, Onishi Hideaki  | 4. 巻<br>433                   |
| 2. 論文標題<br>Timing of Modulation of Corticospinal Excitability by Heartbeat Differs with Interoceptive Accuracy  | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Neuroscience  | 6. 最初と最後の頁<br>156 ~ 162       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.neuroscience.2020.03.014  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Yamazaki Yudai, Yamashiro Koya, Onishi Hideaki, Otsuru Naofumi, Kojima Sho, Saito Kei, Sato Daisuke   | 4. 巻<br>377                   |
| 2. 論文標題<br>Modulation of inhibitory function in the primary somatosensory cortex and temporal discrimination threshold induced by acute aerobic exercise  | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Behavioural Brain Research  | 6. 最初と最後の頁<br>112253 ~ 112253 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.bbr.2019.112253   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Yokota Hirotake, Otsuru Naofumi, Kikuchi Rie, Suzuki Rinako, Kojima Sho, Saito Kei, Miyaguchi Shota, Inukai Yasuto, Onishi Hideaki  | 4. 巻<br>714                   |
| 2. 論文標題<br>Establishment of optimal two-point discrimination test method and consideration of reproducibility   | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Neuroscience Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>134525 ~ 134525 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.neulet.2019.134525  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Saito Kei, Otsuru Naofumi, Inukai Yasuto, Miyaguchi Shota, Yokota Hirotake, Kojima Sho, Sasaki Ryoki, Onishi Hideaki  | 4. 巻<br>375                   |
| 2. 論文標題<br>Comparison of transcranial electrical stimulation regimens for effects on inhibitory circuit activity in primary somatosensory cortex and tactile spatial discrimination performance | 5. 発行年<br>2019年               |
| 3. 雑誌名<br>Behavioural Brain Research  | 6. 最初と最後の頁<br>112168 ~ 112168 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.bbr.2019.112168   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Kojima Sho, Miyaguchi Shota, Sasaki Ryoki, Tsuiki Shota, Saito Kei, Inukai Yasuto, Otsuru Naofumi, Onishi Hideaki                 | 4. 巻<br>9           |
| 2. 論文標題<br>The effects of mechanical tactile stimulation on corticospinal excitability and motor function depend on pin protrusion patterns | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports  | 6. 最初と最後の頁<br>16677 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-019-53275-2  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Otsuru Naofumi, Kamiyo Kaito, Otsuki Tomofumi, Kojima Sho, Miyaguchi Shota, Saito Kei, Inukai Yasuto, Onishi Hideaki           | 4. 巻<br>368                   |
| 2. 論文標題<br>10 Hz transcranial alternating current stimulation over posterior parietal cortex facilitates tactile temporal order judgment | 5. 発行年<br>2019年               |
| 3. 雑誌名<br>Behavioural Brain Research   | 6. 最初と最後の頁<br>111899 ~ 111899 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.bbr.2019.111899  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-                     |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Otsuru Naofumi, Kamiyo Kaito, Otsuki Tomofumi, Kojima Sho, Miyaguchi Shota, Saito Kei, Inukai Yasuto, Onishi Hideaki           | 4. 巻<br>368          |
| 2. 論文標題<br>10?Hz transcranial alternating current stimulation over posterior parietal cortex facilitates tactile temporal order judgment | 5. 発行年<br>2019年      |
| 3. 雑誌名<br>Behavioural Brain Research   | 6. 最初と最後の頁<br>111899 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.bbr.2019.111899  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-            |

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>Miyaguchi Shota, Otsuru Naofumi, Kojima Sho, Saito Kei, Inukai Yasuto, Masaki Mitsuhiro, Onishi Hideaki   | 4. 巻<br>12        |
| 2. 論文標題<br>Transcranial Alternating Current Stimulation With Gamma Oscillations Over the Primary Motor Cortex and Cerebellar Hemisphere Improved Visuomotor Performance | 5. 発行年<br>2018年   |
| 3. 雑誌名<br>Frontiers in Behavioral Neuroscience  | 6. 最初と最後の頁<br>132 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3389/fnbeh.2018.00132  | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>Tsuiki Shota, Sasaki Ryoki, Miyaguchi Shota, Kojima Sho, Saito Kei, Inukai Yasuto, Masaki Mitsuhiro, Otsuru Naofumi, Onishi Hideaki       | 4. 巻<br>14             |
| 2. 論文標題<br>The effect of combined transcranial direct current stimulation and peripheral nerve electrical stimulation on corticospinal excitability | 5. 発行年<br>2019年        |
| 3. 雑誌名<br>PLOS ONE  | 6. 最初と最後の頁<br>e0214592 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1371/journal.pone.0214592  | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Miyaguchi Shota, Otsuru Naofumi, Kojima Sho, Yokota Hirotake, Saito Kei, Inukai Yasuto, Onishi Hideaki | 4. 巻<br>694           |
| 2. 論文標題<br>Gamma tACS over M1 and cerebellar hemisphere improves motor performance in a phase-specific manner    | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Neuroscience Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>64 ~ 68 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.neulet.2018.11.015   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-             |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>Miyaguchi Shota, Otsuru Naofumi, Kojima Sho, Yokota Hirotake, Saito Kei, Inukai Yasuto, Onishi Hideaki      | 4. 巻<br>-              |
| 2. 論文標題<br>The effect of gamma tACS over the M1 region and cerebellar hemisphere does not depend on current intensity | 5. 発行年<br>2019年        |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Clinical Neuroscience  | 6. 最初と最後の頁<br>in press |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jocn.2019.03.045  | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-              |

〔学会発表〕 計2件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>大鶴直史、宮口翔太、小島翔、横田裕丈、齊藤慧、犬飼康人、大西秀明 |
| 2. 発表標題<br>内受容感覚と皮質脊髄路興奮性の関係                |
| 3. 学会等名<br>第23回日本基礎理学療法学会                   |
| 4. 発表年<br>2018年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>大鶴直史、小島翔、宮口翔太、犬飼康人、齊藤慧、横田裕丈、佐々木亮樹、大西秀明 |
| 2. 発表標題<br>一次体性感覚野における二連発抑制と脳律動の関連                |
| 3. 学会等名<br>第48回日本臨床神経生理学会                         |
| 4. 発表年<br>2018年                                   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|           | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                         | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                              | 備考 |
|-----------|---|--|----|
| 研究<br>分担者 | 原 正之<br><br>(Hara Masayuki)<br><br>(00596497)     | 埼玉大学・理工学研究科・准教授<br><br><br>(12401)                 |    |
| 研究<br>分担者 | 金山 範明<br><br>(Kanayama Noriaki)<br><br>(90719543) | 国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員<br><br><br>(82626) |    |

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 |
|---------|---------|