

身体が表示位置が身体表象に与える影響の分析 ～四肢間での位置知覚の転移の検討～

Analysis of the Effect of Displayed Position of Body Parts on Body Representation

— Interlimb Transfer of Proprioceptive Recalibration

松下 彩夏^{†1}, 江波戸 傑^{†1}, 小林 晶^{†1†2}, 松室 美紀^{†3†4}, 柴田 史久^{†1}, 木村 朝子^{†1}
Ayaka Matsushita, Takeru Ebato, Hikari Kobayashi, Miki Matsumuro,
Fumihisa Shibata, Asako Kimura

^{†1}立命館大学大学院情報理工学研究科, ^{†2}現在, 凸版印刷株式会社,

^{†3}Penn State College of Information Sciences and Technology, ^{†4}立命館大学総合科学技術研究機構,

Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University, TOPPAN INC,

Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

matusita@rm2c.ise.ritsumei.ac.jp (松下)

概要

一部の身体部位の表示位置を視覚的に操作した状態で単純な動きを繰り返し行わせ、対象とした部位の位置の知覚の変化を検討する先行研究は比較的多く存在する。一方、そのようなトレーニング課題の対象でない部位および全身を対象とした位置の知覚への影響については未だ検討の必要がある。本研究では、いずれかの四肢を実際の位置よりも外側に表示した状態で課題を行い、全ての四肢を対象としたテストを行うことによって、視覚情報の操作が四肢の身体表象に与える影響について検討した。その結果、トレーニングの対象となる部位だけでなく他部位にも位置の知覚の変化を確認した。

キーワード: 身体表象, proprioceptive recalibration, 人工現実感, multimodality

1. はじめに

1.1. 身体表象

人間は自身の身体がどのようなものであるかという知識やイメージを保持している。これにより、我々は目を閉じていても自身の手足の位置、身体の重さや姿勢について推定が可能である。このような身体に関する全般的な知識やイメージは身体表象と呼ばれ、本研究では、特に腕や脚などの身体部位やその位置関係について着目した。

身体表象の形成では視覚や深部感覚などの様々な知覚情報が統合され、日常の体験や経験によってその維持や更新がなされる [1]。ラバーハンドイリュージョンなどの先行研究の結果から、視覚や触覚から得られる情報に基づいて身体表象が実際の身体と異なる表象へと変更可能であることが確認されている [2]。さらに、人間は身体表象に含まれている情報を利用して行動を決定する [3]。そのため、身体表象が変化したとき人間

の行動にも変化が生じる。

視覚情報を用いた、身体における一部の位置知覚の変化に関しては比較的多くの研究がなされている。一方、一部の生じた変化が他の部位、ひいては全身の位置の知覚へどのように影響するかに関しては未だ検討の必要がある。そこで、本研究では視覚情報を用い、四肢の一つにのみ位置を変化させる操作を行い、他の四肢の位置の知覚にどのような影響が生じるかを調べた。

1.2. 本研究の目的

松室ら [4] は対称的な部位である両腕の表象変化に着目した。右手の知覚される位置のみを操作した結果、視覚情報が与えられなかった左手も同様に位置の知覚が変化したことを示している。具体的には、実際の位置より上側に表示した右手のみを用いてトレーニング課題を行わせたところ、観察をしていない左手も右手と同様に実際よりも上へと知覚されていた。一方で、Mostafa ら [5] は、実際の位置から右側に 4cm ずらされた位置にカーソルが表示されたモニターを観察しながらトレーニング課題を行わせた後、各手の位置の知覚を測定するテストを行った。その結果、課題を行っていない手の位置の知覚に変化はなかった。

本研究では、VR 上の実験環境を用い、左右間における身体表象の変化の影響に加え、対象とする身体部位に脚も追加し、上下での影響も検討した。トレーニングにおいていずれかの四肢を横方向へずらして表示するため、同じ半身にある四肢への影響が強いのだろうと考えたためである。仮想の四肢のいずれかを用いたトレーニング課題を行い、その後に四肢全てでテストを行

うことにより、視覚情報の操作が四肢の身体表象に与える影響について検討した。実験 1 では右腕または右脚を実際の位置より右側に 10cm ずらした位置に表示した状態で、実験 2 では左腕または左脚を実際の位置より左側に 10cm ずらした位置に表示した状態でトレーニングを行った場合を検討した。

2. 実験 1, 2

トレーニングでは、実験 1 は右腕または右脚、実験 2 は左腕または左脚を用いた。トレーニング時に使用する部位以外は共通の手続きで行われたため、実験手続きについては併せて記述する。

2.1. 方法

2.1.1. 参加者

参加者は実験 1 では、平均年齢 22.60 歳の成人 22 名（男性 19 名、女性 3 名）であった。各参加者の利き腕は右腕 17 名、左腕 3 名、両腕 2 名、利き脚は右脚 18 名、左脚は 4 名、利き眼目は右眼 14 名、左眼 8 名であった。実験 2 には、平均年齢 21.59 歳の成人 22 名（男性 7 名、女性 15 名）参加した。各参加者の利き腕は右腕 21 名、両腕 1 名、利き脚は右脚 21 名、左脚は 1 名、利き眼目は右眼 17 名、左眼 5 名であった。実験 1、実験 2 ともに利き脚はチャップマンによる利き足テスト [6] を、利き眼は北澤ら [7] や鈴木ら [8] の用いているローゼンバッハ法を用いて調査した。両実験ともに、矯正を含め全実験参加者が正常視力を有した。また、実験参加者の Head Mounted Display (HMD) の経験の有無を調査した結果、実験 1 では経験ありが 11 名、経験なしが 11 名、実験 2 では経験ありが 5 名、経験なしが 17 名であった。

2.1.2. 視覚刺激

腕や脚の仮想モデルを実際の腕や脚の位置に表示する条件（以下、ずれなし条件）実際の位置から外側に 10cm 離れた位置に表示する条件（以下、ずれあり条件）を用意した。つまり、実験 1 では図 1 上部のように右腕や右足を右側に 10cm ずらした位置に表示された。また、実験 2 では、図 1 下部のように左腕や左脚が左側に 10cm ずらした位置に表示された。図中の薄い色の手足が実際の手足の位置を示す。

2.1.3. 手続き

実験参加者は各条件を開始する前に事前準備を行い、その後トレーニングとポストテストを行った。事前準備では自身の腕や脚とその位置を確認しながら動かす課題を行い、直前の条件の影響を消去した。

その後実験参加者は HMD を装着し、トレーニングを行った。図 1 のように実験参加者の前には 5 つの立方体と初期位置を表す黒い四角が配置されている。トレーニングでは白い 5 つの立方体のうち、赤く変化した 1 つの立方体に手または足で触れ、初期位置に戻ることが求められた。この動作を 30 回繰り返し、最後に手または足を初期位置に戻したとき「Finish」という文字が目の前に表示され、終了とした。トレーニング中に映し出される腕や脚の位置がずれていることがあることは、実験参加者に伝えなかった。

続いて、トレーニングによる身体表象の変化を確認するためにポストテストを行った。ポストテストでは、HMD を装着したまま目を閉じ、あらかじめ教示した基本姿勢の状態から指定された部位を身体の正中線の前まで向けて移動させ、机や床に置くように求めた。移動の開始位置はトレーニングの初期位置から離れた位置とし、肘や膝を伸ばした状態で移動を行わせた。実験参加者が指定部位を机や床に置いた後、手の中指または足の親指が正中線から右にずれた場合を正の値、左にずれた場合を負の値として測定した。これを右腕・左腕・右脚・左脚に対して実施した。

トレーニング部位およびずれ条件の順番は参加者間でカウンターバランスが取られ、ポストテストで動かす部位の順番は無作為に決定された。ただし、各ポストテストの準備時間が長くなることを防ぐために右腕と左腕、右脚と左脚のポストテストは連続で行った。

以上の手続きを各条件 3 回ずつ行わせた。直前の条件の影響、および、身体の違和感や疲労感をなくすため

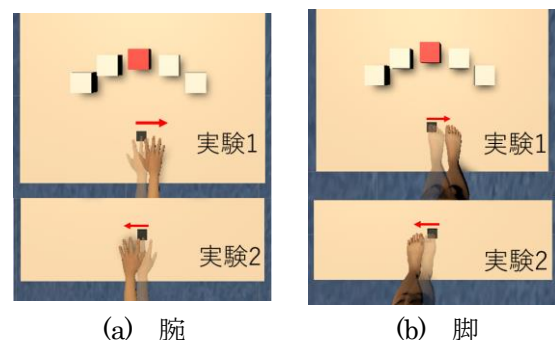


図 1 実験で使用したずれ条件の様子
上：実験 1 下：実験 2

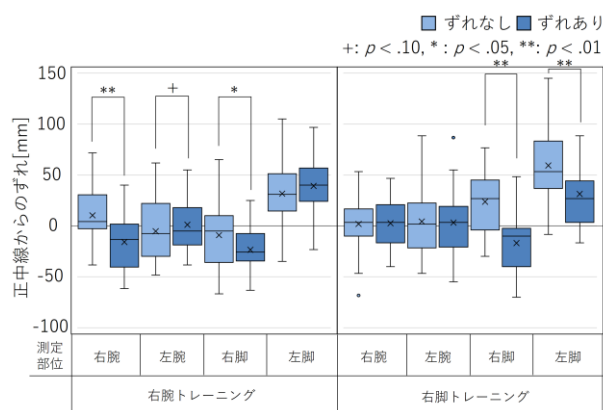


図2 実験1におけるずれ条件間での行動比較

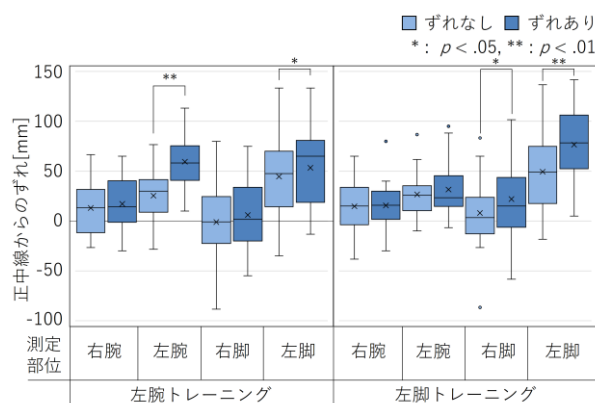


図3 実験2におけるずれ条件間での行動比較

に、条件間で3分間の休憩を取った。実験終了時には、ポストテストの際に腕や脚を身体の中心に持ってくる事ができたかの自信度や腕、脚の位置のずれに気が付いたかなどのコメントを聴取した。

2.1.4. 指標

本実験では、条件ごとに3回ずつ行われるポストテストの各部位の正中線からのずれ量の平均をずれの値とした。そして、トレーニング部位ごとにずれ条件間での各身体部位のずれの値を比較することで、一部位の身体表象変化による他部位への影響を確認した。仮想モデルの位置の操作は横方向にのみであり、ポストテストでは実験参加者に肘と膝を伸ばして、移動させたため、前後方向の位置に関しては分析の対象としない。

トレーニングにより身体表象が右方向に変化した場合、実験参加者の行動は左に、身体表象が左に変化した場合、行動は右に変化する。例えば、実験1のずれあり条件における右腕は実際の位置より右にずらして表示されている。視覚情報に従って、右腕の身体表象が実際の右腕の位置より右の位置へ対応付けられたとすると、実際の右腕が正中線位置に到達したとき、実験参加者は正中線よりも右腕が右にあると知覚してしまう。そのため、右腕をさらに左へ動かすこととなる。したがって、正中線からのずれは、ずれなし条件よりも、ずれあり条件においてより小さい負の値を取る。他の四肢や実験2においても、身体表象における四肢の位置とポストテストにおけるずれが同様の対応を取る。

2.2. 結果

2.2.1. 実験1

各条件における正中線からのずれの値を図2に示す。Shapiro-Wilk検定より全ての条件で正規分布することを確認した ($p > .17$)。Smirnov-Grubbs検定を用いて外れ値を検出し、1名の参加者が分析対象から除外された。対応のある t 検定を用いて、各身体部位におけるずれ条件間の差を比較した。その結果、右腕でトレーニングを行った場合、右腕・右足において、ずれなし条件よりずれあり条件においてずれの値は有意に小さく、より左へと手足を置いていた (右腕: $p < .01$, 右脚: $p < .05$)。左腕においては有意傾向を確認し、ずれなし条件よりずれあり条件において手をより右に置いていた ($p < .10$)。左脚での条件間の差は有意ではなかった。まとめると、右半身は行動が左側にずれ、左腕は行動が右側にずれていた。また、右脚でトレーニングを行った場合は、右脚・左脚において、ずれなし条件よりずれあり条件において有意に手足を左に置いていたことが示された (右脚: $p < .01$, 左脚: $p < .01$)。

以上の結果から、右腕が実際の位置より右側に表示された状態でトレーニングを行った場合、他部位の身体表象は左右対称に変化する可能性が示唆された。また、右脚が実際の位置より右側に表示された状態でトレーニングを行った場合、両脚の身体表象が右脚と同じ方向に変化した。

2.2.2. 実験2

各条件における正中線からのずれの値を図3に示す。Shapiro-Wilk検定にて一部の条件でずれの値が正規分

布していないことを確認した ($ps < .05$). そのため, Wilcoxon の符号順位和検定を用いて, 各身体部位におけるずれ条件間の差を比較した. その結果, 左腕でトレーニングを行った場合, 左腕・左脚において, ずれなし条件よりずれあり条件においてずれの値は有意に大きく, より右へと手足を置いていた (左腕: $p < .01$, 左脚: $p < .05$). 他の部位での条件間の差は有意ではなかった ($ps > .10$). 以上のことから, 左半身の行動が右側にずれたことが示された. また, 左脚でトレーニングを行った場合, 右脚・左脚においてずれ条件間での有意差を確認し, ずれなし条件よりずれあり条件において手足を置いた位置が右側にずれたことが示された (右脚: $p < .05$, 左脚: $p < .01$).

以上の結果から, 左腕が実際の位置より左側に表示された状態でトレーニングを行った場合, 左半身の身体表象のみが, ずらした方向と同じ方向に変化した. また, 左脚が実際の位置より左側に表示された状態でトレーニングを行った場合, 実験 1 と同様に両脚の身体表象が左脚と同じ方向に変化した.

3. 考察

本研究では, 一部の身体部位の表示位置を変更した場合, 他の部位の身体表象にどのような影響を及ぼすのかについて検討するために 2 つの実験を行った.

一部の部位の表示位置を変更した状態でトレーニングを行うと, トレーニングの対象とした部位だけでなく, 他の部位でもその後のテストにおける行動が変化した. 腕のトレーニングに関しては, 右腕の表示位置を変更した実験 1 では他の部位の身体表象が左右対称に変化し, 左腕の表示位置を変更した実験 2 では, 左半身の身体表象のみが左方向に変化した. また, 脚のトレーニングに関しては, 片脚を実際の位置より外側に表示した場合, 両脚の身体表象が変更した脚と同じ方向に変化した.

腕のトレーニングにおいて, 実験 1 ではトレーニングを行っていない左腕にも身体表象に変化があったが, 実験 2 ではトレーニングを行っていない右腕に変化が現れないという結果となった. Mostafa ら [5] の実験では, 視覚運動協応の適応 (visuomotor adaptation) について, 課題を行い訓練した右手から未訓練の左手への伝達は確認したが, その逆は確認されなかった. そして, 固有受容感覚の調整については左右関係なく訓練した手にしか生じないことが示さ

れている. また, Kannape ら [9] によると, 身体所有感に関する感覚が右脳と関連づけられていることから, 左手の方が身体所有感の変化が起こりやすいとされている. これらのことから, 左腕でのトレーニングは右腕の身体表象を変化させるまでには至らなかったと考えられる. 今後は実験参加者の利き腕を考慮した分析も必要である.

4. 結論

本研究では, 身体部位の一部の表示位置を変更した際に, 他の部位の身体表象に与える影響について検討した. 実際の位置より, 四肢のいずれかをより外側に表示した状態でトレーニング課題を行い, その後, その部位を含めた四肢の位置の知覚のテストを行った. それぞれの身体表象は, トレーニングの部位が右腕では右半身と左腕が左右対称に, 左腕では左半身が操作と同方向へ, 脚では左右どちらの場合もトレーニングを通して, 両足が操作と同方向へ変化することを確認した.

文献

- [1] Carruthers, G., (2008) "Types of body representation and the sense of embodiment", *Consciousness and Cognition*, Vol. 17, pp. 1302-1316.
- [2] Botvinick, M., & Cohen, J., (1998) "Rubber hands 'feel' touch that eyes see", *Nature*, Vol. 391, No. 6669, p. 756.
- [3] Warren, W. H., (1984) "Perceiving affordance: Visual guidance of stair climbing", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 10, No. 5, pp. 683-703.
- [4] 松室美紀, 小林晶, 江波戸傑, 柴田史久, 木村朝子, (2022) "身体表象における対称的な身体部位の表象形成", *日本認知科学会*, Vol.29, No.4, pp. 575-586.
- [5] Mostafa, A. A., Salomonczyk, D., Cressman, E. K., & Henriques, D. Y., (2014). "Intermanual transfer and proprioceptive recalibration following training with translated visual feedback of the hand", *Experimental Brain Research*, Vol. 232, pp.1639-1651.
- [6] Chapman, L. J., & Chapman, J. P., (1987) "The measurement of handedness", *Brain and Cognition*, Vol. 6, pp. 175-183.
- [7] 北澤一樹, 勝山しおり, 新井美紀, 大瀧瑞徳, 長谷川拓実, 下田佳央莉, 外里富佐江, (2015) "メンタルローテーション課題遂行時の眼球運動の特性と利き眼との関係・アイマークレコーダーを用いた検討", *北関東医学*, Vol. 65, No. 3, pp. 221 - 227.
- [8] 鈴木真, 矢野澄男, (2014) "両眼眼球運動測定による奥行き距離検出", *映像情報メディア学会冬季大会*, 11-18.
- [9] Kannape, O. A., Smith, E. J. T., Moseley, P., Roy, M. P. & Lenggenger, B., (2019). "Experimentally induced limb-disownership in mixed reality", *Neuropsychologia*, Vol. 124, pp. 161-170.