

間接的な視覚情報による体幹の固有受容感覚の変化 Proprioceptive Recalibration by Indirect Positional Information of Torso

松室 美紀^{†*}, 松下 彩夏[†], 森田 磨里絵[†], 柴田 史久[†], 木村 朝子[†]
Miki Matsumuro, Ayaka Matsushita, Marie M. Morita, Fumihisa Shibata, Asako Kimura

[†] 立命館大学

Ritsumeikan University

miki.matsumuro@gmail.com (松室)

概要

視覚情報が操作された状態で身体を動かすことにより、固有受容感覚の調整が生じ、身体を実際の位置とは異なる場所に知覚する現象が生じる。先行研究では参加者は操作された身体部位を直接的に観察していた。本研究では、視点の位置を操作することにより、体幹位置を間接的に操作した。直接的な視覚情報が与えられた腕との比較から、直接的な視覚情報がない体幹の固有受容感覚の調整は、腕よりも弱いことが示唆された。

キーワード：固有受容感覚, 間接的位置情報, Virtual Reality

1. はじめに

視覚的に知覚される身体部位の位置を変更することは、視覚情報に合わせた身体固有受容感覚の再調整につながることで、多くの先行研究により示されている (Barkley, Salomonczyk, Cressman, & Henriques, 2014; Mostafa, Kamran-Disfani, Bahari-Kashani, Cressman, & Henriques, 2015; Matsumuro et al., 2023)。これらの研究では、特に手を中心とする身体の周辺的な部位の位置を、直接的に視覚で与える、つまり、実際と異なる位置に映し出すことにより検討が行われている。そこで、本研究では操作する身体部位と、身体位置情報の確実性に着目し、以下の2点を検討した。

1.1 体幹部の固有受容感覚は間接的な視覚情報により再調整されるか？

前述の通り、表示位置が操作される身体部位は主に手、または、それに付随するポインタ等であった。これらの四肢は可動域が広く、身体表象が体幹を中心に構築されているならば、比較的操作用がしやすいと考えられる。では、体幹部の操作は可能なのだろうか。幽体離脱的な操作は報告されているが (Ehrsson, 2007; Hänsel, Lenggenhager, von Kanel, Curatolo, &

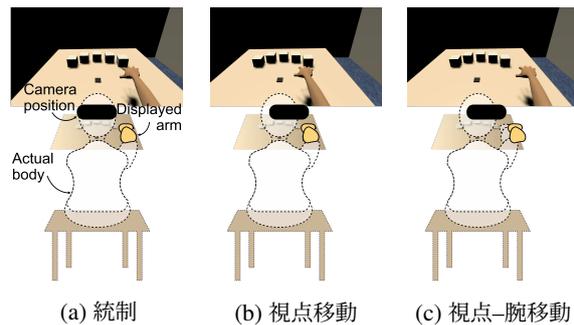


図 1: 各条件における視覚情報の操作。(a) 統制条件: カメラと腕の位置は現実の HMD と腕の位置と一致する。(b) 視点移動条件: VR 内でのカメラ位置が現実の HMD から 10 cm 右にずらされ、腕は現実と一致する。(c) 視点-腕移動条件: カメラと腕が現実の HMD と腕の位置から 10 cm 右にずらされる。

Blanke, 2011), 物理的な身体的位置知覚に関しては知見はない。

そこで本実験では、図 1b のように、仮想空間における視点位置を操作した。図 2 に示す 3 つの可能性が考えられる。

全身移動 (図 2a) 視点位置の変更に伴い体幹の位置知覚がずれ、その影響が手の視覚情報よりも強い

体幹移動 (図 2b) 視点位置の変更に伴い体幹の位置知覚がずれるが、手の位置知覚は視覚情報に基づく

頭のみ移動 (図 2c) 視点位置の変更があっても体幹の位置知覚は変化しない

1.2 直接的/間接的な位置情報の影響に違いはあるか？

身体表象、身体的位置は様々な知覚情報が組み合わされることにより構築される (Tsakiris, 2010)。その際、より確実性の高い情報に重きが置かれることが示されている (Ernst & Banks, 2002; Körding & Wolpert, 2004)。本実験において、参加者は体幹 (胴体) を直接観察することがなく、頭と胴体の関係性は頭や首の動

* 現在の主な所属は株式会社ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン (miki.matsumuro@jp.honda-ri.com)

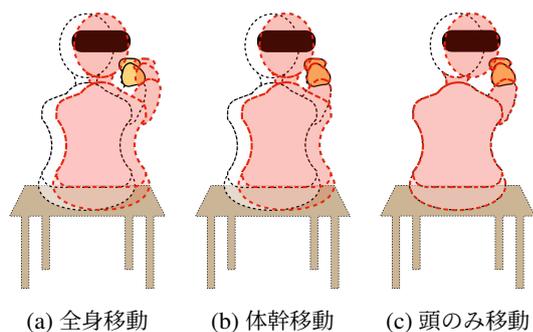


図 2: 視点移動条件における予測. 赤い部分が調整された固有受容感覚を示す. (a) 頭 (視点) の位置に合わせて全身の固有受容感覚が調整される. (b) 体幹の固有受容感覚が頭に合わせて調整される. (c) 体幹の固有受容感覚は調整されない.

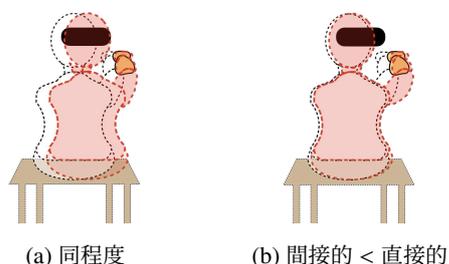


図 3: 視点-腕移動条件における予測. (a) 間接的, 直接的な位置情報の影響が同程度. (b) 腕の直接的な位置情報の方が影響が強い.

きにより常に一定ではないため, 視点位置は体幹の位置に対しては間接的な情報であると言える. つまり, 直接的に位置を観察している手と比べると, 視点位置から推定される体幹位置は不確実性が高い. そこで視点と手の表示位置を両方操作する視点-腕移動条件 (図 1c) における視覚情報の操作後の変化の大きさから, それらの位置情報の不確実性の影響を検討する. 図 3 に 2 つの可能性を上げる.

同程度 (図 3a) どちらの情報も固有受容感覚の調整に同程度に影響している

間接的 < 直接的 (図 3b) 直接的な位置情報がある腕において調整への影響が強い

2. 実験

2.1 参加者

学部生, 大学院生, 25 名が参加した ($M = 21.780$, $SD = 1.488$). 男性が 17 名, 女性が 8 名, うち 22 名が右利き, 2 名が左利き, 2 名が両利きであった.

2.2 手続き

参加者はヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着し, 仮想空間内で課題を行った. 実験は視覚情報を操作した状態でリーチング課題を行うトレーニング

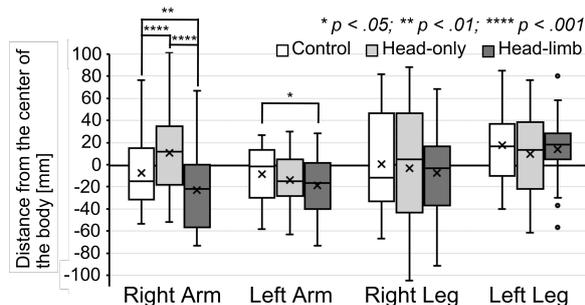


図 4: ポストテストにおける知覚される正中線と実際の正中線の距離. 正の値は実際の正中線より右に, 負の値は左においたことを示す.

と, 固有受容感覚の変化を測定するポストテストからなる. トレーニングでは図 1 のように, 仮想の右腕だけが表示された状態で行う. スタート位置から腕を伸ばし, 複数の仮想の箱のうち赤く示された一つに触り, 元の位置に腕を戻すことを繰り返した.

視覚情報の操作は以下の 3 種類であった. 現実の HMD の位置に視点, 腕の位置に仮想腕を配置した統制条件, 視点位置を現実の HMD の位置から 10 cm 右にずらし, 現実の腕の位置に仮想腕を配置した視点移動条件, 視点位置, 仮想腕共に現実の HMD, 腕の位置から 10 cm 右に移動させた視点-腕移動条件である. それぞれの条件における, トレーニング中の視覚情報は図 1 の通りである.

ポストテストでは, 視覚情報がない状態で, 参加者に四肢のいずれかを順に身体の正中線 (へそ) の前に置くことを求めた. 体幹や腕の固有受容感覚の変化が実際の正中線の位置からの差異で検出できる.

3. 結果

統制条件にて極端な正中線からのずれを示した 3 名の参加者を分析から除外した. 図 4 にポストテストにおける, 正中線からのずれを示す. 四肢の各部位ごとに 1 要因の参加者内分散分析を用い条件間での比較を行った.

右手の分析では球面性の仮定が破られたため ($W = 0.723$, $p = .039$), Greenhouse-Geisser 法を用い調整を行った. トレーニングに用いられた右手では, 視覚情報の操作の影響が有意であった ($F(1.57, 32.89) = 29.067$, $p < .001$, $\eta_G^2 = 0.181$). ホルム法を用いた一対比較の結果, 全ての条件間でその差が有意であった: 統制 vs. 視点移動 $p < .001$, 統制 vs. 視点-腕移動 $p = .004$, 視点移動 vs. 視点-腕移動 $p < .001$. 視点移動条件では右手をより右へ, 視点-腕移動条件では右手をより左へと置いていた.

左腕では、視覚情報の操作の影響があり ($F(2, 42) = 4.654, p = .015, \eta_G^2 = 0.034$), 視点-腕移動条件では手をより左へと置いていた ($p = .030$, その他の対 $ps > .116$). 足では視覚情報の操作の影響は有意ではなかった (右 $F(2, 42) = 2.014, p = .146, \eta_G^2 = 0.009$; 左 $F(2, 42) = 1.096, p = .344, \eta_G^2 = 0.013$).

4. 考察

体幹移動条件で統制条件よりも正中線が右に知覚されていたことより、視点位置に基づき、体幹の固有受容感覚が調整されることが示される (図 2b). この結果から、身体の中心部である体幹の固有受容感覚も視覚情報の操作により調整されることがわかる. さらに、直接的に視覚情報が提示されていなくても、他の身体部位とのつながりや身体の構造から身体全体の固有受容感覚が調整されると考えられる. これが、人間のスムーズな動きや運動の学習につながるのだろう. 特に、視点位置 (頭部) と体幹は直接繋がっているため、へそを目標に手を動かしたポストテストで、強い影響が観察された可能性が高い.

視点と腕の位置を共に操作した条件では、ポストテストでは右手は実際の正中線より左に置かれていた. これは、腕の固有受容感覚の調整により、実際の腕よりも右にあるように知覚されていたためである. 一方で、体幹はトレーニングで視点の位置が操作されたほど調整されなかった、または、再調整により実際の位置に近づいたと考えられる. その結果、参加者はポストテストで右手を左へと動かすすぎてしまった (図 3b). もし、体幹にも同程度の調整が生じていたならば、ポストテストでは統制条件との差異は生じないはずである. この結果は、様々な知覚のメカニズムと同様に、固有受容感覚の再調整においても不確実性の高い間接的な情報への重み付けが小さかったことを示す (Ernst & Banks, 2002; Kording & Wolpert, 2004).

また、腕に関してはトレーニングで動かしていたことも調整に貢献していると考えられる. 身体の動きは身体所有感や行動主体感を増加させ (Proske & Gandevia, 2012), より強い調整が行われた可能性がある. ただし、本実験ではトレーニング後の知覚しか測定していないため、トレーニング中の調整の差異か、トレーニング後のポストテストでさらに再調整が起こったのかは今後の検討が必要である.

文 献

- Barkley, V., Salomonczyk, D., Cressman, E. K., & Henriques, D. Y. P. (2014). Reach adaptation and proprioceptive recalibration following terminal visual feedback of the hand. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 705.
- Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology*, 104(3), 268–294. <http://doi.org/10.1037/0096-3445.104.3.268>
- Ehrsson, H. H. (2007). The experimental induction of out-of-body experiences. *Science*, 317, 1048.
- Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415, 429–433.
- Hässel, A., Lenggenhager, B., von Kanel, R., Curatolo, M., & Blanke, O. (2011). Seeing and identifying with a virtual body decreases pain perception. *European journal of pain*, 15(8), 874–879.
- Kording, K. P., & Wolpert, D. M. (2004). Bayesian integration in sensorimotor learning. *Nature*, 427, 244–247. doi: 10.1038/nature02169
- Matsumuro, M., Kobayashi, H., Ebato, T., Matsushita, A., Shibata, F., & Kimura, A. (2023). Interlimb transfer of proprioceptive recalibration and effect of body posture. In *Proceedings of the annual meeting of the cognitive science society* (Vol. 45).
- Mostafa, A. A., Kamran-Disfani, R., Bahari-Kashani, G., Cressman, E. K., & Henriques, D. Y. P. (2015). Generalization of reach adaptation and proprioceptive recalibration at different distances in the workspace. *Experimental Brain Research*, 233, 817–827.
- Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012, 10). The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*, 92, 1651–1697. doi: 10.1152/physrev.00048.2011
- Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: a neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia*, 48, 703–712.