

VR空間上の裂けた手に対する触覚フィードバックが自己身体感覚に及ぼす影響

1235058 貝塚 涼 【知覚認知脳情報研究室】

Effects of haptic feedback with the virtual split hand on self-body sensation

1235058 KAIZUKA Ryo 【Perceptual and Cognitive Brain Information Processing Lab.】

1 はじめに

ロボティクスの発展にともない、ロボットアームなどの人工的な身体部位を、拡張した自己の身体として操作することを目指す研究が数多く行われてきている。拡張身体の方法として理想的な条件は、拡張身体に対して自己所有感及び自己主体感を生じていること、自己身体の動作とは独立して拡張身体が操作が行えることである。自己所有感に関しては、ラバーハンドイリュージョン (RHI) の研究に関する知見から [1], 視覚と同期した触覚フィードバックを与えることで、拡張身体に対して自己所有感が生じると考えられる。自己主体感の生起に関しては、拡張身体の方法と視覚フィードバックの時間的一致が必要と考えられる。

拡張身体の方法に関する先行研究では、拡張身体を他の身体部位で操作する方法や脳波などの脳活動情報を用いて操作する方法などが提案されている。しかし過去の提案手法では、拡張身体の方法が困難なことや、技術的な制約による時間的精度および空間的精度の問題があることなどから、理想的な拡張身体の方法の実現は困難である。そこで、本研究では身体部位の一部の身体感覚を移動させ、拡張身体に対応付けるといった新たな手法を提案する。この手法では、既存の身体部位の一部を変化させることで新たな身体部位を獲得し、その部分を独立して動作させることで、身体部位の一部の機能をそのまま拡張身体に利用することができる可能性がある。また、RHIに関する知見から、視覚と同期した触覚フィードバックが拡張身体の方法を向上させる可能性があるため、触覚の有無による自己身体感覚への影響についても検討を行う。

以上より、本研究では身体部位の一部を移動させ拡張身体の方法に利用するという操作手法が実現可能であるかを検討する基礎的な研究として、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて手の視覚フィードバックを裂けた手に変化させ、手の自己受容感覚が裂けた手の形態に変化するかを検討した。また、視覚と同期した触覚

フィードバックの有無が、裂けた手に生じる自己身体感覚にどのような影響を及ぼすかについても検討した。

2 実験方法

2.1 装置及び参加者

視覚刺激の作成には Unity 2019.4.9f1 及び Blender 2.90 を使用した。視覚刺激の提示には HTC 社の VIVE HMD を使用した。バーチャルな手と実際の手の同期には Manus Prime II Haptic 及び VIVE Tracker を使用した。VR空間上の刺激の操作や選択には VIVE Controller を使用した。実験参加者は 19-24 歳の右利きの学生 36 名であった。

2.2 呈示刺激

VR空間上の手の視覚フィードバックとして、図1左で示すような正常な左手と裂けた左手を用いた。裂けた手は示指側が実際の位置より約 12.0 cm 右方向に移動しており、肘における裂けた角度は 15 deg であった。バーチャルな手の操作を要求する課題として、図1右で示すようなバーチャルなボタンを使用し、上に表示される指の種類でボタン中心の赤い点を押下する課題を行った。また触覚あり条件ではボタンの押下時、Manus Prime II Haptic が振動し、ボタンに接触した指に触覚フィードバックを呈示した。

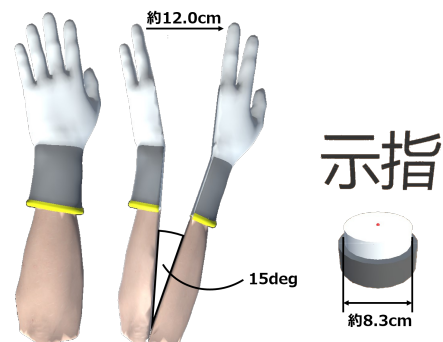


図1 正常な手/裂けた手及び押下課題のボタン

2.3 実験手続き

参加者は各装置を装着し、椅子に着席した状態で実験を開始した。実験開始後、一様な黒色の空間に白色の小球が1つ出現した。参加者はこの小球の位置を操作し、自己受容感覚から判断した自己の左手の示指及び小指の位置を順に回答した。回答終了後、バーチャルな左手及びボタンが出現し、ボタン上部の文字で指定された指を用いて、なるべく早く正確にボタン中心の赤い点を押す課題を行った。ボタンは同時に2つまで出現し、ボタン押しの回数は親指を除く指の4種類に対し、各指毎に20回の合計80回であった。ボタン押しの後、自己受容感覚による示指及び小指の位置をもう一度回答した。参加者は以上の手続きを正常な手及び裂けた手の両条件で行った。条件の順序はカウンターバランスをとった。また、学習効果による影響を避けるため、触覚の有無条件(触覚あり/触覚なし)は参加者をそれぞれ18人に分けて参加者間計画として実験を行った。実験条件は触覚の有無条件及び手の違い条件(正常な手/裂けた手)の2要因とした。

3 実験結果

自己受容感覚ドリフト量の評価方法として、ボタン押下の課題前と課題後に回答した示指及び小指の自己受容感覚位置の、それぞれの差分を自己受容感覚ドリフトの指標とした。また、参加者から見て右方向への移動を正とした。

触覚の有無条件について、手の違い条件の示指及び小指の自己受容感覚ドリフト量の平均値を図2に示す。触覚の有無条件ごとに、自己受容感覚ドリフト量に対して正常な手/裂けた手及び示指/小指の2要因参加者内分散分析を行った。その結果、触覚あり条件では、手の違いの主効果が有意であったが($p = .01$)、指の違い(示指/小指)の主効果及び交互作用は見られなかった($p = .95$; $p = .32$)。触覚なし条件では、手の違いの主効果及び交互作用が有意であったが($p = .00$; $p = .00$)、指の違いの主効果は見られなかった($p = .11$)。また、単純主効果検定の結果、手の違いの主効果は示指においてのみ有意であり($p = .00$; $p = .21$)、指の違いの主効果は裂けた手においてのみ有意であった($p = .02$; $p = .80$)。

4 考察

触覚あり条件では正常な手よりも裂けた手の自己受容感覚ドリフト量が大きかったが、裂けた手条件の示指及び小指のドリフト量に差がないことから、実際の手が全体的に裂けた手の方向へ移動していた。これは触覚フィードバックが視覚フィードバックの効果に影響を与えるのではなく、自己受容感覚による指の状態に影響を及ぼし、正常な手としての指の状態を正しく知覚させ、

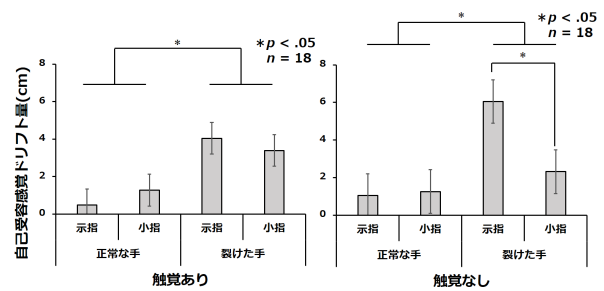


図2 触覚あり/触覚なしの条件についての正常な手/裂けた手の自己受容感覚ドリフト量

手が裂けた感覚が生じにくくなったためと考えられる。一方で、触覚なし条件では正常な手よりも裂けた手のドリフト量が大きく、かつ裂けた手条件の小指よりも示指のドリフト量が大きかったことから、示指のみが裂けた手の方向に移動しており、裂けた手が知覚されていることが示唆された。

以上の結果から、身体部位の一部の身体感覚を移動させ拡張身体に対応付けするという操作手法において、触覚フィードバックは視覚フィードバックによる自己受容感覚の変化を促進するわけではないことが示された。一方で、視覚フィードバックのみによる身体感覚の変化は可能であり、移動した自己受容感覚位置に拡張身体に対応付けすることができれば、裂けた手としての形態を獲得することが可能であると考えられる。

5 おわりに

本研究では、自己の手の一部を移動させて拡張身体に用いる方法を実現するために、HMDを用いて自己の手の視覚フィードバックを裂けた手に変化させることで、手の一部の自己受容感覚を裂けた手の位置に知覚させることが可能であるか検討する実験を行った。実験の結果、触覚フィードバックは裂けた手への自己受容感覚の変化を促進させるわけではないが、視覚フィードバックのみによって自己受容感覚を裂けた手の形態へ変化させることは可能であることが示された。以上の結果から、裂けた手の視覚フィードバックによってドリフトした自己受容感覚位置にロボットアームなどの拡張身体に対応付けすることで、裂けた手としての新たな機能を獲得することができる可能性が示された。

参考文献

- [1] Rohde, M., Luca, M., Ernst, M. O., "The Rubber Hand Illusion: Feeling of Ownership and Proprioceptive Drift Do Not Go Hand in Hand", PLoS ONE, Vol. 6, No. 6, e21659, 2011.