

身体拡張義肢による身体図式変化の評価

Evaluation of body representation change of extra robotic thumb

○ 式田寛（名大） 長谷川泰久（名大）

Hiroshi SHIKIDA, Nagoya University
Yasuhisa HASEGAWA, Nagoya University

Abstract: The purpose of our research is to clarify dominant factors and procedure to induce body representation change about a wearable robotic. This paper reports another evaluation method to evaluate change of the body representation about Extra Robotic Thumb (ERT), which is mounted on a left palm. The ERT is controlled by right thumb through an interface device mounted on right hand. The contact sense at tip of the robotic thumb is presented on tip of the right thumb by electrical stimulation as tactile feedback. In our previous works, handling performance and proprioceptive drift about right thumb position are used to evaluate embodiment of the ERT. This paper compares handling performances after embodiment with ones before embodiment. The performance decrement of the subject handling without the ERT is observed after the ERT embodiment as an aftereffect of the ERT.

Key Words: Embodiment, Body representation, Robotic Thumb, Electric Stimulation, Aftereffect

1. 諸言

近年、拡張指や拡張アームなどの身体拡張義肢は活発に研究されている⁽¹⁾⁽²⁾。身体拡張義肢は本来、身体図式に組み込まれていない装置であるため、自分自身の腕や脚と同様に随意的に操作することが難しい。この問題の解決のためには拡張義肢を使用者の身体図式の中へ組み込むこと、すなわち義肢の身体化が重要であると考えられる。傍嶋ら⁽³⁾は疑似体性感覚呈示に電気刺激に使用し、身体拡張拇指の操作性の向上を行った。また、視覚情報が義肢の操作性向上へ及ぼす実験においては、被験者が義肢の操作を習熟したのちに長期のインターバルを置いたところ、自己受容感覚ドリフトの大きな向上が計測された。この実験において身体化の評価として自己受容感覚ドリフト量を使用した。ドリフト量のみでは身体化の程度を説明するためには不十分であった。本研究では身体拡張義肢の使用前後における使用者のパフォーマンスの変化、つまりアフターエフェクトに着目し、身体図式の変化をする。

2. 身体図式の変化

人間は道具を使用するとき、道具を自らの身体の一部として認識することで器用な操作を可能にしていると考えられている。Ganesh ら⁽⁴⁾は道具の身体化は長時間の使用後に初めて見られるものであるにも関わらず、人間は短時間で道具を器用に扱えるようになるという矛盾に着目した。彼らは長期的身体化とは異なる即時的身体化が存在することを示した。身体拡張義肢も道具と同様に使用者の身体図式に組み込むことが可能であるため、身体化が行われた後に拡張義肢を外した場合、使用者の動作には何らかの影響が表れると考えられる。

3. 身体拡張義肢

本研究で使用する人工拇指を Fig.1 に示す。これは3つの駆動関節を有し、人間の親指とほぼ同じ大きさとなっている。左手のひらに取り付けられ、向きは親指以外の4本の指と対向している。人工拇指の指先には3軸力覚センサが搭載されている。装着者は右手に装着したインターフェースによって操作が可能であり、右親指の位置と対応している。インターフェースに搭載されたロータリエンコーダの出力に基づいた順運動学によって、右親指の位置は推定される。右親指の位置情報は人工拇指へ送られ、右親指と同様の動作をすることが可能となる。人工拇指の指先の力覚センサが取得した触覚情報は電気刺激装置を介して、電極を装着した右親指へフィードバックされる。これにより疑似的な触覚を発生させる。

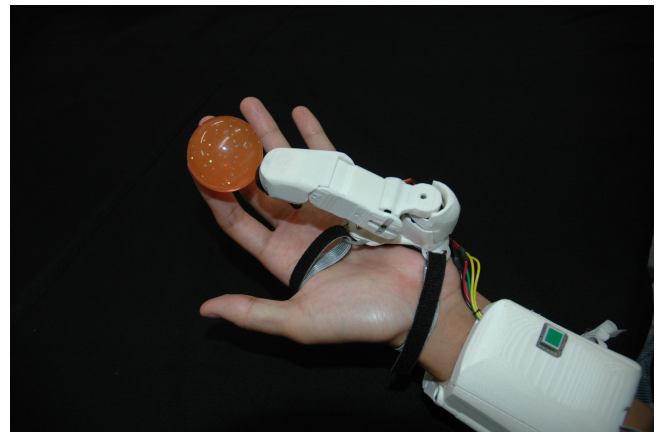


Fig.1 Extra Robotic Thumb(ERT)

4. 身体図式変化実験

4.1 実験目的

義肢操作の習熟後に長期のインターバルを置くとドリフト量が大きく向上すると述べた。⁽³⁾ このドリフト量増加の検証のために、身体拡張義肢 (ERT) を使用した物体運搬実験を実施した。

4.2 実験設定

1辺の長さが3cmの2つの立方体を1つずつ把持し、高さ20cmの敷居を越えて所定の位置へ置く実験を行った。敷居は被験者の正面の机の上に設置し、立方体を置く位置は敷居を挟み、15cmと20cmの位置に左右2つずつ計4箇所を設置した。立方体は始めに被験者から見て敷居の左側に2つとも置き、これを敷居越しに10往復、つまり計40回運搬を行う。実験は以下の手順とした。

1. ERTを装着せずに左手を使用して立方体を10往復運搬する。
2. ERTを装着し、ERTと親指以外のいずれか1本の指を使用して立方体を把持し10往復運搬する。10往復で1セットとし、これを5セット行う。セット間には1分間のインターバルを置いた。
3. ERTを装着せずに左手を使用して立方体を10往復運搬する。

本実験では3時間から1日のインターバルを置いて3回実験を行い、その後インターバルを5日置き更に3回実験を実施した。タ

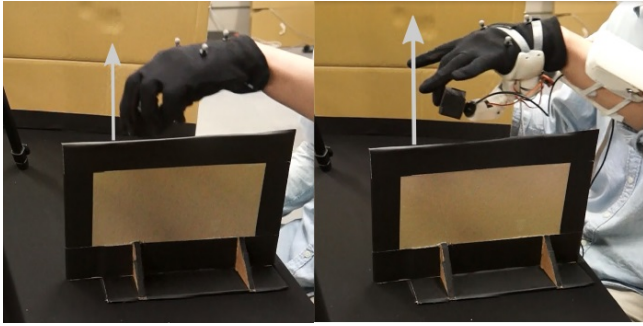


Fig.2 Comparison of height ERT Barehand

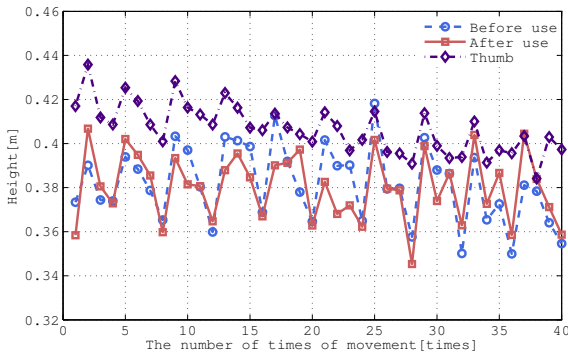


Fig.3 Performances before long rest

スク実行中は被験者の左手の甲にマーカを貼り，この位置をモーションキャプチャーにより計測する．身体化の評価は左手による運搬時の ERT 使用前後の最高位置の差と自己受容感覚ドリフトによって行ふ．Fig.2 に示すように敷居を越えて運搬するためには，ERT 使用時は左手のみによる運搬と比較して高い位置を通過する必要がある．ERT が装着者の身体図式に加えられている場合，ERT を外した直後の運搬の動作に影響が生じると考えられる．つまり外しても高い位置を通過すると予測される．動作の習熟の評価は ERT 使用時の 10 往復に要する時間とする．実験は電気刺激による触覚フィードバックを使用し，ERT 使用中は被験者から右手を見ることができないようにブラインドを設置した．被験者には 21-24 歳の健康な男女 3 人に協力してもらった．

4.3 実験結果

Fig3, 4 に 1 人の被験者の長期インターバル前後の 3 回の実験における腕の最高到達点を表すグラフを示す．ERT を使用したときの運搬動作がほとんどの場合において素手の運搬時の最高到達点より高い位置を通過した．また，インターバル前においては ERT 使用前後の腕の動きには有意な差は見られなかったが，インターバル後の ERT 使用直後の 3 往復の動作，1 往復に要する運搬回数は 4 回であるため，12 回の運搬において使用前と比較して有意に最高到達点の位置が高くなった．また，インターバル前後でドリフト量に変化は 0.5 cm 程度であり大きな差は見られなかった．

5. 考察

ERT 使用後の腕の到達位置が有意に高くなったことは，被験者へ ERT がより効果的に身体化されたことを示唆していると考えられる．また，有意な差が生じたのはタスクの初期段階においてのみであり，素手の動作を続けていくと ERT 使用前と同程度の到達位置へ収束していることから，ERT 使用によって書き換えられた被験者の身体図式が元に戻されていることが分かる．

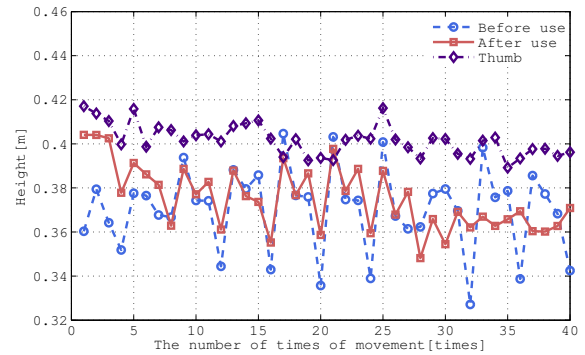


Fig.4 Performances after long rest

6. まとめと今後の課題

本論文ではアフターエフェクトという新たな身体化評価方法を提案した．今回実施した物体運搬実験において身体拡張義肢の使用前後のパフォーマンスに注目し，また，以前の実験で見られた長期インターバルを置いた後に自己受容感覚ドリフト量の大きな向上の原因を追究した．長期インターバルを置いた後の拡張義肢を使用した直後の腕の動作に，拡張義肢使用前と比較して有意に異なる動作が見られた．これより長期インターバルは身体拡張義肢の身体化の因子の 1 つと考えられる．今後は今回実施した実験を継続し，インターバルと拡張義肢の身体化の関係性を検討する．

参考文献

- (1) F.Y. Wu and H.H. Asada: "“Hold-and-Manipulate” with a Single Hand Being Assisted by Wearable Extra Fingers” ,IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2015), pp.6205-6212,2015.
- (2) F. Parietti, K.C. Chan, B. Hunter, and H.H. Asada: "Design and Control of Supernumerary Robotic Limbs for Balance Augmentation” , IEEE International Conference on Robotics and Automation,pp. 5010-5017,2015.
- (3) Sobajima, Masafumi, et al. "Improvement of operability of extra robotic thumb using tactile feedback by electrical stimulation." 2015 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS). IEEE, 2015.
- (4) Ganesh, et al. "Immediate tool incorporation processes determine human motor planning with tools” ,Nat.Commun.,5(2014),p.4524 <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms5524>