

リアルな義指装着への適応によって生じる身体拡張と知覚転移

Embodiment and perception transition caused by the adaptation of realistic prosthetic finger

○ 高橋智大 (芝浦工業大学) 河島則天 (国立障害者リハビリセンター研究所)

Tomohiro TAKAHASHI, Shibaura Institute of Tecnology
Noritaka KAWASHIMA, National Rehab Center for Persons with Disability

Abstract: In our daily life, we use various types of tools as part of a body. We can also feel and distinguish the property of manipulating object through the using tool. The purpose of this study was to elucidate the mechanisms of embodiment of the tool by observing adaptive process to attached realistic prosthetic finger. In order to distinguish different characteristics of embodiment, that is motor and sensory part, we here measured an motor error of goal oriented pointing task and skin conductance in response to haptic stimuli before/after adaptation and with/without prosthesis. The results indicated that real prosthetic finger certainly embodied as their own finger which is supported by not only motor part but translation of the sensory perception induced by haptic stimuli to prosthetic finger. This result is quite important to understand the neural mechanisms of embodiment phenomenon itself.

Key Words: Embodiment, Motion analysis, Skin Potential Reflex

1. 背景・目的

道具操作の習熟によって、道具を身体の一部であるかのように自在に扱えたり、道具を介して伝わってくる物理的的刺激によって物体の形状や特性を知覚/判別できる、というような経験が生じる⁽¹⁾。一般に、この現象は道具の身体化と呼ばれ、道具使用時の注意を道具本体や操作に向けるのではなく、周囲の環境や対象としているモノに注意を向けている状態をいう。適応による注意の方向性の変化は道具の習熟に加え、視覚や触覚などの道具を介して得られる情報を統合することで起こることが知られている⁽²⁾。そこで本研究では、実際の指の長さを10mm程度伸張させる、リアルな義指と指サックをそれぞれ装着することで生じる適応現象を、①身体の拡張、②知覚が転移、の観点から、動作計測、皮膚発汗反応計測より定量的に評価・比較することを目的とした。

2. 実験

2-1 実験方法

被験者11名(健康成人男性:9名, 女性:2名)を対象に道具の身体化の前後でリーチング運動の到達地点と、指先の触覚刺激に対する皮膚発汗反応を計測する実験を行った。Fig. 1に実験プロトコルと本実験で使用したリアルな義指(control条件)を示す。本研究では、道具の身体化現象が道具の習熟以外に、視覚情報も適応に影響を与えるものと考え、リアルな義指の他に日を変えて、指サック(Fig. 1C:fake条件)による適応現象についても調査した。

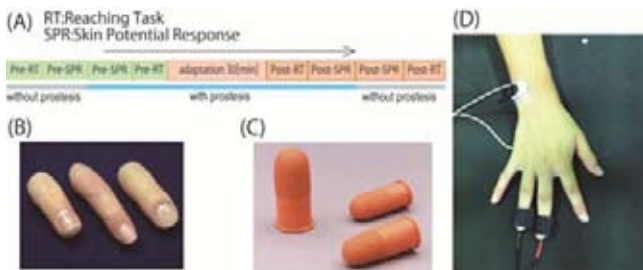


Fig. 1 A:Experiment protocol, B:Realistic prosthetic finger(control), C:Finger tip(fake), D:Skin Potential Response(SPR)

2-1-1 身体拡張の定量的把握

Fig. 3に実験システム及び実験条件を示す。被験者には、(a)到達点の情報がない場合、(b)到達点の情報がある場合の2条件のリーチング課題を5試行、適応の前後で行わせた。各条件とも課題中は閉眼状態を指示し、(a)条件では各試行前に到達点の位置を目視で確認させた。また、被験者の操作肢の人差し指に赤外線反射マーカを貼付し、マーカ座標データを3次元動作解析システム(Optitrack, Natural Point社製)を用いてサンプリング周波数100Hzで取得した。

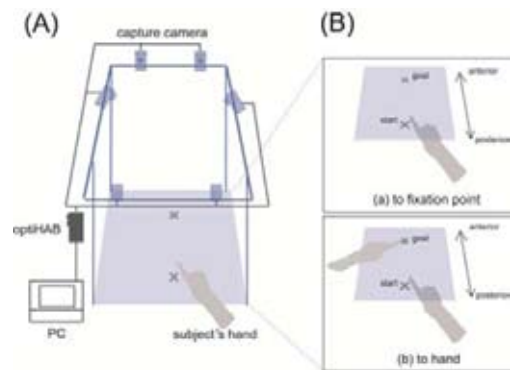


Fig. 2 A:Experiment setup B:Two experimental condition

2-1-2 感覚転移の定量的把握

触覚や痛覚を検査する際に使用されるモノフィラメント製のテスター (Semmes-Weinstein Von Frey Anesthesiometer) で示指側面に刺激をした際の反応を皮膚発汗計測装置(追坂電子製)を用いて計測した。計測条件は、義指装着なし、リアルな義肢装着、指サック装着の各条件における、適応の前後の計6条件であった(Fig. 1D)。刺激はモノフィラメントのたわみが一定となるように刺激した。被験者には常に刺激されている部位を注視するように指示した。

3. 解析方法

3-1 身体拡張計測

三次元動作解析システムにより計測された反射マーカの座標データをもとに、課題中の運動軌跡と到達点を解析した。Fig. 3に典型的な運動軌跡と到達点の定量方法を示す。本実験では、運動の目標点と到達点の差を前後方向、左右

方向のエラーに着目して解析を行った。

3-2 皮膚発汗計測

発汗反応のうち、刺激に対する瞬時の応答として記録される skin potential response (SPR)のピーク値により、触覚刺激への反応性を評価した。発汗反応は、刺激の繰り返しによって徐々に減衰 (habituation) することが良く知られている。そこで、約3秒の感覚を開けて5回連続で実施した際の反応を記録し、その変化を計測することとした。本研究で得る SPR は、刺激に対する応答そのものに加えて、刺激されるといふ文脈に対して予測する刺激と実際の刺激の違和感も含むものと考えられる。

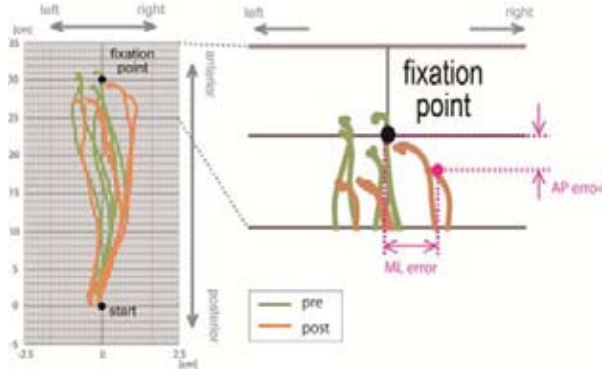


Fig. 3 A: Typical reaching trajectory before/after adaptation, B: Analysis method

4. 結果

4-1 身体拡張計測

Fig. 4 は運動の目標点からの各被験者の到達点の方向と長さを表している。本実験では、被験者の右手の人差し指に道具の装着を指示した。よって、身体が拡張が起これば、適応後の到達点は右下方にシフトするはずである。

結果より、適応の前後で有意な差は見られなかったものの適応前と比較して、control 条件では固定点からのエラーが右下方にシフトしている傾向が確認できた。一方、fake 条件では固定点からのエラーが左下方にシフトしている傾向が確認できた。

4-2 皮膚発汗計測

Fig. 5 に刺激回数に応じた発汗反応の変化を各条件間で比較した結果を示す。各条件とも刺激回数を重ねることで発汗反応が小さくなる傾向を示した。リアルな義指、指サックの双方とも、適応前には発汗反応に変化が認められなかったが、義指への適応によって、発汗反応が増加する結果が認められた。

5. 考察

身体拡張計測の結果より、fake 条件では確認されなかった身体が拡張現象が、control 条件では確認された。また、指サック装着条件よりリアルな義指装着条件で適応後に大きな皮膚発汗反応が認められたことを含めて考えると、リアルな義指装着条件では、指の位置と運動のキャリブレーション (運動エラーの修正) に加えて、知覚の転移が生じた可能性がある。先行研究では、身体拡張現象は道具を介して伝わる触覚情報に視覚情報を統合すると、より鮮明な運動錯覚 (運動実効感) が生じることが明らかにされている⁽³⁾。本研究の発汗反応計測で道具装着時に行った刺激は、閉眼状態ではほとんど認知できないほどの刺激であるにも

関わらず、義指装着条件で発汗反応が確認された。したがって、道具の身体化現象が単に道具の習熟 (継続的な運動指令や触覚刺激) に依存するのではなく、リアリティのある外観により道具を身体の一部として認識する情報を与えることでも、身体化が促進される可能性が示された。

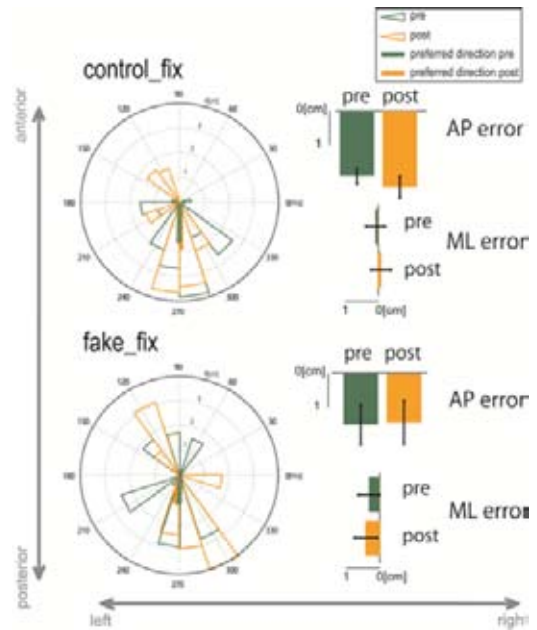


Fig. 4 The ensemble averaged direction coding and AP/ML error from each subject

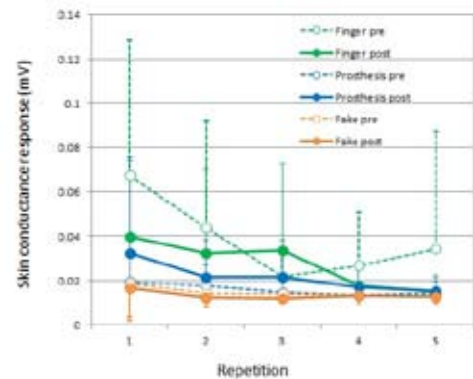


Fig. 5 The ensemble averaged skin conductance response

6. まとめ

日常的に経験している道具の身体化現象について、①身体が拡張、②知覚が転移の観点から実験を行った。その結果、リアリティのある外観を備えた義指の装着によって、身体が拡張現象とともに、知覚の転移が生じる可能性が示唆された。この結果は道具の身体化現象が、リアリティのある外観を備えることで促進され、さらに認知的側面に働きかけることで知覚の転移をも生じる可能性を示唆している。

参考文献

- (1) H.Head et al. Sensory disturbances from cerebral lesions, Brain. :34 ,102-245, 1911
- (2) 入来篤史:道具を使うサル。医学書院, 2004
- (3) A.Maravita et al. Tools for the body(schema), Cognitive science. :8, 2004