

ラバーハンドイリュージョンに対する単純触刺激のプライミング効果 Priming Effect of Tactile Stimulation on Rubber Hand Illusion

上田 拓弥, 工藤 卓

Takuya Ueda, Suguru N. Kudoh

関西学院大学, 大学院,

School Sci. and Tec, Kwansei Gakuin University

dxn86389@kwansei.ac.jp

概要

身体的感覚を外界の物体へと寄託させるラバーハンドイリュージョンと呼ばれる現象は機械の遠隔操作への応用など近年注目されている。本研究では視覚と触覚の同時刺激による身体的感覚の延長を試み、内観報告書と脳波、筋電計測からその強度を評価した。これまでの実験から、RHIの誘導試行回数とRHIの強度に相関性がみられ、繰り返し誘導することでその効果が積算されるRHIの積算性が示唆された。そこで、本研究では、RHI誘導効果の積算性を確認し、積算効果によってより長い延長ラバーハンドにおいてもRHIが発現することを明らかにした。RHI誘導前に、自身の手のみに触刺激を与えた場合、通常のRHIに比べてRHIの発現が優位に増加する、RHIにおける事前刺激によるプライミング効果を発見した。

キーワード: ラバーハンドイリュージョン, 脳波, プライミング効果

1. はじめに

近年IoT技術の発展に伴い、人とシステムの相互作用を対象としたヒューマンマシン・インターフェースの研究に焦点が当たっている。医療の分野ではVR技術を応用

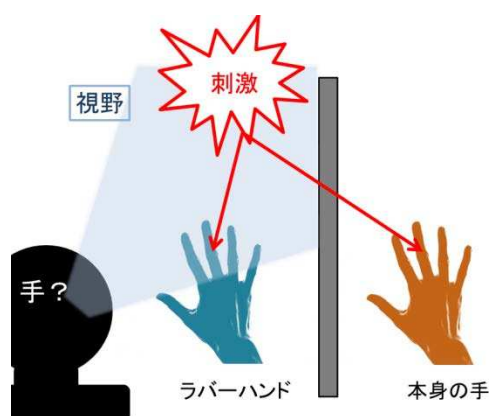


図1 ラバーハンドイリュージョンの概要。

した手術シミュレーションが注目されており、最近では脳卒中患者のリハビリもVR技術を用いて行われる例もある。一方、没入型VRを用いて身体的感覚を延長させる研究も試みられている[1]。身体感覚の延長は自己の身体感覚が自己以外のものに投影されて生じると考えられる。この投影はインターフェースや医学的治療に有用である。特に身体的感覚が外界の物体へ寄託されるというラバーハンドイリュージョン(Rubber hand illusion, RHI) [2]は機械の遠隔操作への応用や幻肢痛の軽減[3]などの応用が報告されている(図1)。没入型VRを用いた研究では、自身の腕の長さの4倍もの長さがあるラバーハンドも自身の手と感ずる現象が報告されている[4]。しかし、複数の感覚刺激の同期によるRHIの発現

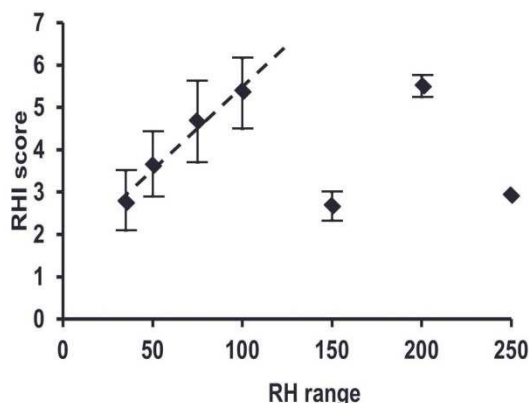


図 2 RHI スコアと RH 距離の相関。

によって身体的感覚を大きく延長させることについての報告はなく、脳活動との関係性も明らかではない。RHI においては、ラバーハンドの向きや見た目によって RHI の強度が変化するなど[5,6]、視覚刺激が自身の身体感覚が及ぶ距離を変化させることにとって重要な要素であると考えられる。これまでの研究から、アーム部を段階的に延長した場合、胸からラバーハンド先端までの距離（RH 距離）と RHI 強度が相関する傾向があった（図 2）。しかしながら、この実験誘導では段階的に腕を延長したために RHI の誘導を繰り返し行ったことになり、RHI 誘導効果の積算によって RHI スコアが増加したのか、長いアームをもつ RH の方が RHI 誘導効果が強いのか判断できなかった。そこで本研究では RHI 誘導を繰り返し行い、RHI 誘導に積算効果が認められるか確認した。

本来 RHI の評価には、内観報告書に加えて寄託後の位置を指し示すポイントタスクを行う場合が多く、これらは実験参加者の主観的な判断をとらえるのに適している[7]。他方で、RHI の発現を客観的に見積もる指標として、EEG の相関があげられる。国際式 10-20 法による電極配置で、頭頂付近の



図 3 装着時の延長ラバーハンド。

C3-C4 で計測される脳波の相関が RHI の発現中に同期することが報告されている[8]。本研究では RHI の強度を RHI に伴う身体感覚の延長を、脳波特徴を指標として定量し、身体感覚延長のための最適条件を探究した。

2. 実験手法

2.1 実験装置

RHI 誘導時、視覚効果による身体的感覚を延長するために延長ラバーハンドを作成した。延長ラバーハンドはアーム部を布で筒状とし、アーム部の先にラバーハンドを取り付けたもので、布を伸ばすことで特定の位置まで延長可能である（図 3）。また、本身から離れた位置にある延長ラバーハンドと実際の手の両方に同時に刺激を与えるために、MindstormNXT を用いて接触刺激装置を作成した。刺激周期は一定とし、0.5 Hz とした。RHI 発現強度の評価には、Cohen らが報告しているものを参考に作成した内観報告書を用い[2]、視覚的アナログ尺度による主観評価の RHI 強度を求めた。RHI 発現中、頭頂部の EEG γ 帯域において電極間の同期性が強くなることから[9]、

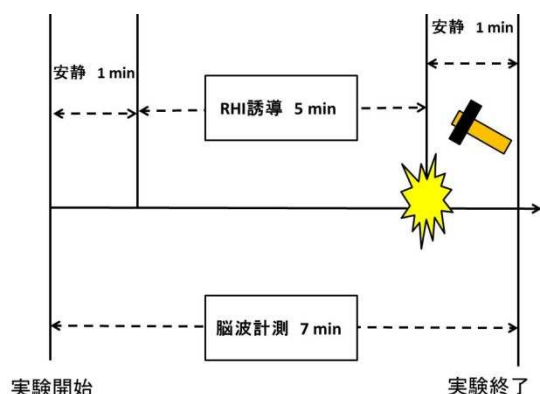


図 4 実験スキーム。

デジタル脳波計 (Active Two, Biosemi) を用いて、国際式 10-20 法により配置した電極 C3, C4 における RHI 誘導時の脳波を測定した。計測には、頭頂付近に配置した基準電極と脳波計測電極の電位差分を計測する単極誘導法を用いた。筋緊張の計測から RHI の客観的検証を行った報告があるので[10]、本研究においても、客観的評価として筋電計測を行った。電極は橈側手根屈筋上に配置し、頭頂部に配置した電極を脳波計測と共有の基準電極とした。

2.2 実験タスク

全ての実験は「関西学院大学「人を対象とする医学系研究」倫理規程に従い、委員会の承認の元に行った。実験参加者の腕の長さの計測を行ったあと、椅子に座ってもらい、延長ラバーハンドを装着した。ラバーハンドの位置は自身の胸の位置から計測した特定の位置に置いた。脳波計測と同時に、ラバーハンドを注視するよう指示し、刺激装置により自身の手とラバーハンドに同時に刺激を与えて RHI を誘導した。充分 RHI を知覚したことを確認した後、ラバーハンドにハンマーで打撃を与え、これによる回避行動に伴う筋電を計測した (図 4)。

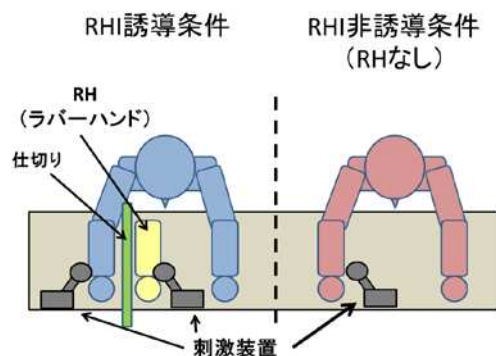


図 5 RH なしの RHI 非誘導条件 (右)。

実験終了後に内観報告書に回答してもらい、RHI 発現の確認を行った。これまでの研究では、短い距離での RHI 発現が確認された後、アーム部を順次延長して繰り返し RHI 誘導を行っていたが、この実験スキームでは RH 距離を 30, 50, 75 cm と徐々に長くしたため、RHI は RH 距離に比例して強度を増したのか RHI 誘導刺激の積算効果によって強度が増したか不明であった。そこで、アーム部の長さを無作為順序に変更することで RHI の誘導効果積算性を検討した。さらに、RH なしで接触刺激のみ加える、RHI を実際に誘導しない条件を導入し (図 5)、この RHI 非誘導条件適用後に通常 RHI 誘導を行った場合の RHI の積算効果を計測した。

3. 結果・考察

これまでの研究で RH 距離を連続的に変化させて繰り返し RHI を誘導した場合、RH 距離が 100 cm 以下の場合には RH 距離が大きいほど RHI スコアが大きくなった。この現象は脳波相関においても確かめられた (図 6) しかしながら、RH 距離を無作為順序で変化させた場合は、RH 距離を連続的に変化させた場合と異なり、RH 距離と

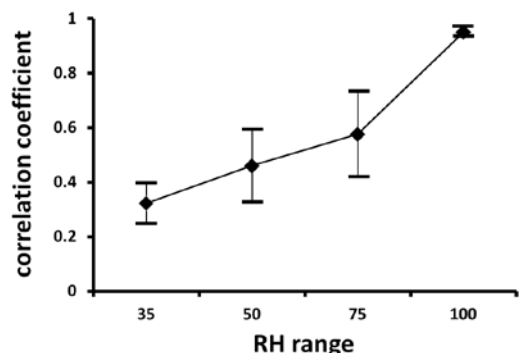


図 6 RH 距離連続変更条件における C3-C4 脳波の相関値 (平均±標準誤差, N=15).

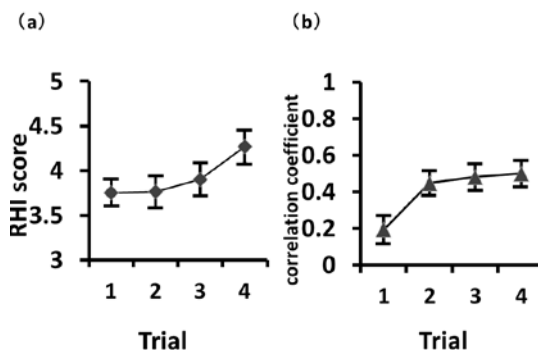


図 8 RHI 誘導効果の積算性. (a) 試行回数と RHI スコアの相関 (b) 試行回数と C3-C4 脳波相関の相関 (平均±標準誤差, N=15).

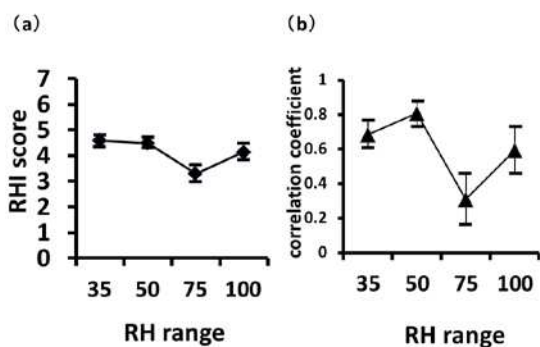


図 7 (a) RH 距離無作為順序変更条件での RHI スコアと RH 距離の相関 (b) RH 距離無作為順序変更条件における脳波の相関値と RH 距離の相関 (平均±標準誤差, N=7).

内観報告書スコアによる RHI 強度との相関は観察されなかった。また、C3-C4 脳波相関を指標としても、RH 距離と RHI に伴う脳波相関現象との相関は確認されなかった (図 7)。

これらの結果から RH 距離と RHI 強度との間に明確な相関は無く、繰り返し RHI を誘導することによる RHI 強度の増加が確認されたと考えられる。そこで RH 距離を 35 cm に固定し、RHI 誘導を繰り返した場合、RHI スコアは試行回数に依存して大きくなり、RHI 誘導の積算効果が観察された

(図 8) この結果は RHI 誘導を繰り返し行うことで RHI を増強できることを示しており、RHI 強度の制御に有効である。

RHI 増強は入力刺激の積算効果によるものか、実験参加者の集中力上昇による内因性のものであるかを検討するために自身への繰り返し刺激が脳波へ与える効果を確認する必要がある。そのため RH なしで自身の手のみに触刺激を加える、RHI 非誘導条件を設定した。RH なしの RHI 非誘導条件の場合の C3-C4 脳波相関値は RHI 誘導時に比べ非常に小さく、通常の RHI 誘導条件と有意差が見られた (図 9)。

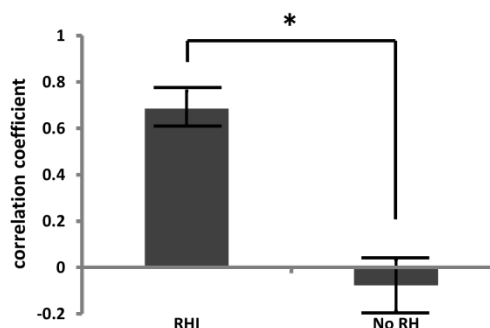


図 9 RHI 誘導時と RH なしの RHI 非誘導条件時の C3-C4 脳波相関値の比較。

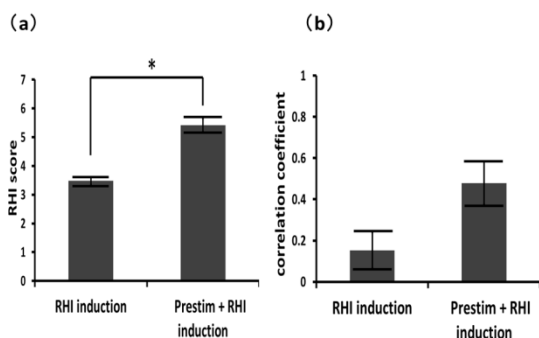


図 10 事前に RHI 非誘導条件で刺激を行ったことによるプライミング効果。(a) RHI スコアの差異。(b) C3-C4 脳波相関値の差異。

従って、RH なしの RHI 非誘導条件では脳波相関を指標としても RHI が発現しないことが確認された。しかしながら、RH 非誘導条件で刺激を行い、RHI が誘導されないことを確認した場合でも、その直後に RH 有り通常条件で RHI を誘導すると、RHI スコア、C3-C4 脳波相関のどちらの指標においても RHI 強度は事前誘導なしの条件と比較して値が大きく、RHI スコアにおいては有意差が見られた (図 10)。

これは事前に触刺激を行うことでその効果が蓄積され、その直後に行われた視覚と触覚連合による RHI 誘導が増強されることを示唆しており、RHI のプライミングによる増強である可能性がある。プライミング効果により、意識されないうちに誘導の効果が蓄積され、RHI 誘導が増強されるならば、RHI を利用した医学的治療やインターフェースに有用である。しかしながら、この誘導は実験参加者が RHI を強く意識することによって発現した可能性も否定できないので、RHI の誘導を強く意識すること

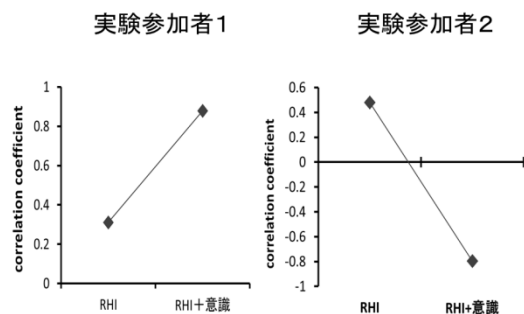


図 11 意識的 RHI 誘導における脳波相関の例。

をインストラクションで求めながら RHI を誘導することの効果を実験しているが、これまでのところ、個人差が多く、明確な結論に至っていない (図 11)。これはインストラクションの文言が「強く意識する」というあいまいなものになっており、人によってイメージが異なるところに問題があると考えている。

4. 結論

RH の長さを無作為順序に変更して、RHI を誘導した場合、脳波 (C3-C4) の相関値、内観報告書のスコアともに RH 距離と RHI 発現強度との相関がみられなかった。RHI 誘導を繰り返すと脳波の相関値、内観報告書スコアともに RHI の強度は上昇を示し、刺激による RHI の誘導効果の積算性が明らかになった。RH なしの RHI 非誘導条件の後に通常の RHI 誘導を行った場合、内観報告書スコア、C3-C4 脳波相関ともに RHI 強度の上昇を示し、RHI に対する事前刺激のプライミング効果が示唆された。これらの RHI 強度を増強する条件は、RHI を利用した身体感覚を投影するインターフェースや医療に有効であると考えられる。

参考文献

- [1] S.Shibuya, S.Unenaka, Y.Ohki, (2017) "Body ownership and agency: task-dependent effects of the virtual hand illusion on proprioceptive drift" *Experimental Brain Research*, Vol. 235, pp. 121-134.
- [2] M.Botvinick, J.Cohen, (1998) "Rubber hands 'feel' touch that eyes see", *Nature*, Vol. 391, No. 6669, pp. 756.
- [3] D.Romano, C.Pfeiffer, A.Maravita, (2014) "Illusory self-identification with an avatar reduces arousal responses to painful stimuli", *Behavioural Brain Research*, Vol. 261, No. 15, pp. 275-281.
- [4] K.Konstantina, J.Normand, V.Maria, (2012) "Extending Body Space in Immersive Virtual Reality: A Very Long Arm Illusion" *PLoSone*, Vol. 7, No. 7, pp. e40867.
- [5] H.Ehrsson, H.Spence, C.Passingham, (2004) "The role of gamma band oscillations and synchrony on rubber hand illusion and crossmodal integration", *Science*, Vol. 305, No. 5685, pp. 876-877.
- [6] M.Osumi, R.Imai, K.Ueta, (2014) "Negative body image associated with changes in the visual body appearance increases pain perception", *PLoSone*, Vol. 9, No. e107376,
- [7] M.Llobera, V.Vives, M.Slater, (2013) "The relationship between virtual body ownership and temperature sensitivity", *Journal Of The Royal Society Interface*, Vol. 270, No. 300,
- [8] M.Tsakiris, P.Haggard, (2005) "The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuotactile Integration and Self-Attribution", *Journal of Experimental Psychology*, No. 1, pp. 80-91.
- [9] N.Kanayama, A.Sato, H.Ohira, (2009) "That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb", *Brain and Cognition*, No. 169, pp. 19-29.
- [10] T.Tsuji, S.Hamasaki, (2015) "Analysis of Electromyography and Skin Conductance Response during Rubber Hand Illusion", *J-STAGE*, Vol. 51, No. 6, pp. 440-447.