

身体化した偽の手の運動観察に伴う脳活動の変化： 遅延視覚フィードバックの影響

Brain activations during the observation of illusory embodied fake hand movement: An EEG study

渋谷 賢¹, 畝中 智志², 座間 拓郎³, 嶋田 総太郎³, 大木 紫¹
Satoshi Shibuya, Satoshi Unenaka, Takuro Zama, Sotaro Shimada, Yukari Ohki

¹杏林大学・医, ²北翔大学・生涯スポーツ, ³明治大学・理工
Kyorin University, Hokusyo University, Meiji University
shibuyas@ks.kyorin.ac.jp

要旨

我々は、ラバーハンド錯覚誘発中の偽の手の運動観察が、感覚運動野を活性化させる現象を発見した。本研究は、脳波独立成分クラスタリングにより、この現象の妥当性をさらに検討した。錯覚は、運動観察時の感覚運動野活性を高めたのに対し、後頭葉の活性化には影響を与えなかった。頭頂葉の活動は、逆に錯覚が無い場合により活性化した。本結果は、感覚運動野と頭頂葉の活性化が自己と他者の身体運動認知と関連する可能性を示唆する。

キーワード：身体所有感, ラバーハンド錯覚, 脳波, 運動観察, 事象関連脱同, 独立成分分析

研究目的

“この身体が私のものである”という身体所有感は、自己認識の基本要素の一つと言える。身体錯覚の一つであるラバーハンド錯覚 (RHI)[1] は、我々の直感に反して身体所有感が自己以外の対象物に投射可能ことを示す。RHI は、被験者の眼前に置いた人工手 (視覚) と視覚遮断した本人の手 (触覚) を同時に刺激すると、人工手を自らの手のように感じる錯覚であり、非同期な視触覚刺激では誘発しない。最近、著者らは RHI によって身体所有感が投射された他者 (モデル) の手の運動を観察している際の観察者の脳波を計測し、主に C3, C4 電極で記録される感覚運動野由来の μ 波 (8~13 Hz) がモデルの手を自己に帰属した場合により強く、持続的に抑制される現象を報告した[2]。しかし、電極レベルで観察される μ 波は、注意量を反映しやすい後頭葉由来の α 波 (8~13 Hz) の影響を受けやすいことが指摘されている[3]。本研究は、視触覚刺激のタイミングを遅延視覚フィードバックにより系統的に操作すると共に、脳波の独立成分分析 (ICA) クラスタリングを用いて、身体所有感を投射したモデルの手の運動観察に伴う感覚運動野と後頭葉の活動の独立性・依存性を検証した。

方法

健常被験者 33 名 (女性 25 名) が実験に参加した。被験者の眼前にモニターが上向きに置かれ、左手が視覚遮断された。被験者の左側に座った実験者の一人 (モデル) は、被験者の左手の隣に右手を置いた (Fig. 1)。モデルの手のビデオ映像 (左右反転) がモニターに表示され、遅延装置によって映像には 80ms, 280ms, 480ms のいずれかの視覚遅延が挿入された (3 条件)。RHI 誘発のため、実験者は被験者とモデルの手をブラシで 16~32 秒間同時に撫でた (錯覚誘発期)。錯覚誘発期後、実験者は刺激を止め、その直後にモデルは右手の開閉動作を 1 回行った (運動観察期)。同一条件下で錯覚誘発期と運動観察期のペアが 20 試行繰り返され (1 ブロック)、各条件は 2 ブロックずつ実施された (計 40 試行)。

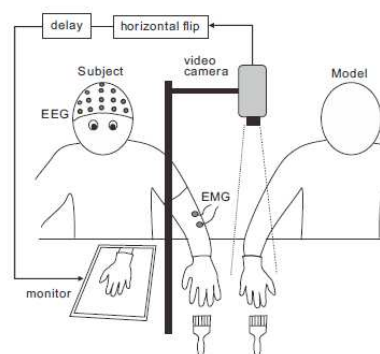


Fig.1 実験装置

RHI の指標として、被験者は各ブロック前後に固有感覚に基づく左手の位置判断 (固有感覚ドリフト) と、モデルの手に対する身体所有感の主観的評定 (7 件法) を実施した。被験者の脳活動は、32ch の脳波計により計測された (Eego Sports, ANT-Neuro)。EEGLAB により、前処理した脳波データに独立成分分析 (ICA) が適用され、各被験者 30 個の独立成分が得られた (計 990 個)。次に、各独立成分の等価電流双極子 (ダイポ

ール)の位置が推定され、その残差分散から最終的に523個の独立成分がICAクラスタリングに適用された。生成されたクラスタのうち、全被験者の75%以上($n > 25$)がそのクラスタに寄与し、かつスペクトラムで10Hz前後にピークを有するクラスタを標的とした。各標的クラスタの事象関連スペクトラム擾動(ERSP)が条件間で比較検討された。

結果

RHIの主観的評定(Fig. 2左)と固有感覚ドリフト(Fig. 2右)のいずれも、遅延間隔の延長と共に有意に減少した。

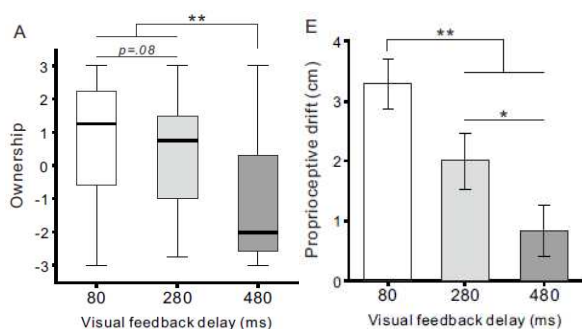


Fig.2 RHIの主観的評定(左)と固有感覚ドリフト(右)

ICAクラスタリングにより、6つの標的クラスタが同定された(Fig. 3)。ダイポールの推定位置から、左感覚運動クラスタ(A)、右感覚運動クラスタ(B)、頭頂クラスタ(C)、後帯状クラスタ(D)、左後頭クラスタ(E)および右後頭クラスタ(F)と命名した。

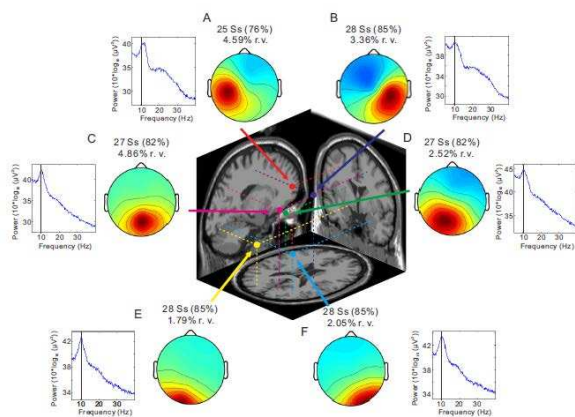


Fig.3 抽出されたクラスタ

右感覚運動クラスタのERSPは、80ms条件で強く、持続的な μ 波抑制を示した(Fig. 4)。しかし、このような μ 波抑制は、280ms, 480ms条件で有意に小さくな

った。左感覚運動クラスタ、後帯状クラスタ、左右後頭クラスタのERSPでは、 α 波抑制に条件差を認めなかった。これに対し、頭頂クラスタのERSPでは、480ms条件の方が80ms条件と280ms条件よりも大きな α 波抑制を示した。

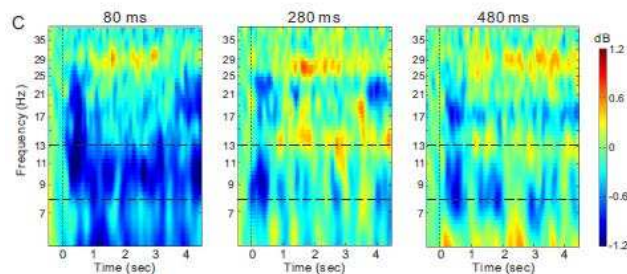


Fig.4 右感覚運動クラスタにおける各条件のERSP

考察

モデルの手に対する身体所有感(RHI)が視覚フィードバックの遅延増大に伴って有意に低下した結果と、右感覚運動クラスタの80ms条件で観察された持続的かつ強力な μ 波抑制が他の2条件では消失していた結果から、身体化した偽の手の運動観察が感覚運動システムを活性化する可能性が支持された。その一方、身体所有感と μ 波抑制の相違点も認められた。すなわち、身体所有感の指標(主観的評定・固有感覚ドリフト)は280ms条件から480ms条件にかけて有意に低下したのに対し、 μ 波抑制はそれらの条件差を認めなかった。この結果は、運動観察に伴う感覚運動野の活性化とRHIの出現に要する視覚刺激の時間差(時間窓)が異なることを意味しているかもしれない。後頭クラスタの α 波抑制に条件差を認めなかった結果は、右感覚運動クラスタにおける遅延依存の変調がモデルの手に対する注意から生じた可能性を否定する。右感覚運動クラスタとは対照的に、頭頂クラスタの α 波抑制は480ms条件が他の2条件よりも大きい傾向を示した。頭頂クラスタのダイポールの重心位置は、内側脳回の楔前部であった。この楔前部は自他弁別に関与している可能性があり、自己帰属よりも他者帰属でより活性化することが報告されている[4]。本結果は、それらの先行研究と基本的に一致する。まとめると、本研究は、身体化および非身体化したモデルの手の運動観察が、感覚運動野と頭頂葉(楔前部)の活動を活性化することを示唆した。

文献

- [1] Botvinick, M. & Cohen, J (1998) “Rubber hands 'feel' touch that eyes see”, *Nature*, Vol. 391, p.756.
- [2] Shibuya, S., Unenaka, S., Zama, T., Shimada, S. & Ohki, Y (2018) “Spontaneous imitative movements induced by an illusory embodied fake hand”, *Neuropsychologia*, Vol. 111, pp.77-84.
- [3] Hobson, H. M. & Bishop, D. V (2017) “The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future”, *R Soc Open Sci*, Vol. 4: 160662.
- [4] Ruby, P. & Decety, J (2001) “Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency”, *Nat Neurosci*, Vol.4 (5), pp.546-550.