

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700578

研究課題名(和文) 知覚 運動ループの不一致が痛覚および変化検出機構に及ぼす影響

研究課題名(英文) Effects of sensory-motor incongruence on pain and change-detection processing

## 研究代表者

大鶴 直史(Otsuru, Naofumi)

広島大学・医歯薬保健学研究院・助教

研究者番号：50586542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：自分の体が自分自身のものであるという感覚は、自己身体所有感と呼ばれる。この自己身体所有感は、触覚、固有受容覚および視覚などの多感覚統合により成り立っていると考えられている。近年、慢性疼痛患者において自己身体所有感が破綻していることが数多く報告されている。本研究では、感覚情報の不一致による自己身体所有感の喪失状態が体性感覚情報処理に与える影響を脳磁図を用いて検討した。結果、自己身所有感の喪失により、一次体性感覚野の活動が増大することを示した。この活動は、多感覚統合における情報の不一致を検出する信号であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The sense that my body belongs to me is called body ownership. The body ownership is based on integration of multimodal information, including tactile, proprioceptive and visual information. Recently, it has been reported that patients with chronic pain have distorted body ownership. The purpose of the present study was to investigate whether sensory incongruence leading to body disownership modulates somatosensory cortical processing using magnetoencephalography. As a result, disownership condition enhanced the activity in the primary somatosensory cortex. This suggests that the activity reflects a cortical incongruence detection mechanism involving integration of multisensory inputs.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：自己身体所有感 脳磁場計測装置 多感覚統合

1. 研究開始当初の背景

上肢や下肢運動時には、運動指令のコピーである遠心性コピーと実際の運動に伴う体性感覚や視覚の感覚フィードバック情報を用いて、実際の運動とフィードバックされた感覚情報の間に乖離がないかをモニタリングしている。この感覚系と運動系のモニタリング（知覚運動ループ）が整合性を保っているからこそ、その身体部位を自己の一部として認識すること（自己身体認知）ができる。この知覚運動ループの破綻が慢性疼痛患者の痛みを増強する可能性が示唆されており、健常者においても痛みや手の喪失感などの異常感覚を生じさせることが報告されている。申請者は、このような現象は自身の運動を見ている視覚情報とその運動に伴うフィードバック情報の不一致が、生理的な警告信号として捉えられるためであると仮説を立て、脳活動計測によりその仮説を検証するという本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

自己身体認知が適切に行われるためには、視覚情報のフィードバックと実際の運動が一致している必要がある。現在までに、この知覚運動ループの破綻と痛みの関連が示唆されているが、この破綻が起こっている最中に外部から体性感覚刺激を与えた場合に脳内情報処理がどのような影響を受けるかは明らかにされていない。また、この破綻が警告システムと密接な関係があるかという点も実験的に明らかにされていない。そこで、本研究では鏡を用いて視覚情報のフィードバックを操作することにより、知覚運動ループの不一致状況が体性感覚情報処理に及ぼす影響を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

研究開始当初は、運動時の視覚情報と感覚フィードバックの不一致条件下での検討を目的としていたが、運動による計測機器へのノイズの影響等の理由で一部変更して行った。

身体に関する視覚情報のフィードバックを操作し、自分自身の体が自分自身のものであるという感覚（自己身体所有感）の喪失条件を作り出し、その時の体性感覚情報処理過程を脳磁場計測装置を用いて検討した。被験者に両手を mirror box に挿入させ、mirror 条件では、中央にある鏡で右手の鏡像をあたかも左手であるかのように錯覚させた状態で実験を行った。

実験条件は以下の4条件で行った（図1）。

- 1) 左手と右手の位置が鏡に対し左右対称で、鏡に隠れている左手の位置と右手の鏡像位置が一致している条件（mirror 対称条件）
- 2) 左手と右手の位置が鏡に対し左右非対称で、鏡に隠れている左手の位置と右手の鏡像位置が一致していない条件（mirror 非対称条件）

3) mirror 対称条件において、視覚情報を遮断するために、鏡をプラスチックボードで覆った条件（cover 対称条件）

4) mirror 非対称条件において、視覚情報を遮断するために、鏡をプラスチックボードで覆った条件（cover 非対称条件）

mirror 非対称条件のみ、視覚情報と固有受容覚の情報に不一致が生じ、自己身体所有感の喪失状態（自身の手ではなく、鏡の中の手が自分の手だと感じる）を作り出すことを確認し、実験を行った。

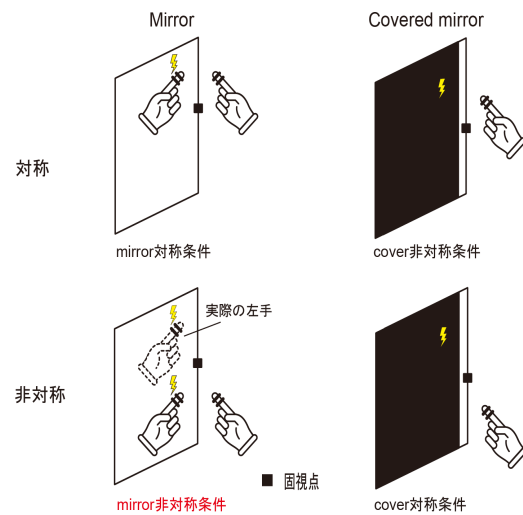


図1. 実験条件

体性感覚刺激には、リング電極を用い、左示指に電気刺激を与えたときの皮質活動を、306チャンネル全頭型脳磁場計測装置を用いて計測した。

4. 研究成果

全条件において、刺激対側の頭頂領域に明瞭な活動が記録された。この頭頂領域の活動は約50ミリ秒にピークをもつ活動（M50）であった（図2）。

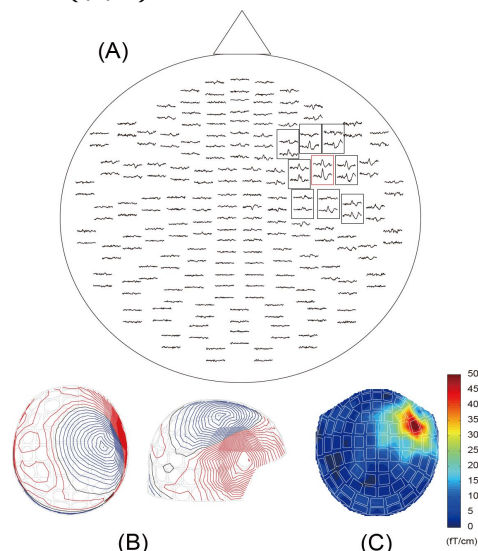


図2. 左示指電気刺激による誘発脳磁場反応  
 (A) 代表的被験者の脳磁場反応  
 (B) 刺激後約50ミリ秒における等磁場線図  
 (C) 刺激後約50ミリ秒におけるトポグラフィー

M50 の最大振幅が得られたセンサーとその周囲 8 か所のセンサーを用いた解析（センサーレベルの解析）の結果，身体所有感の喪失条件（mirror 非対称条件）において，有意な振幅の増大を認めた（図 3）。

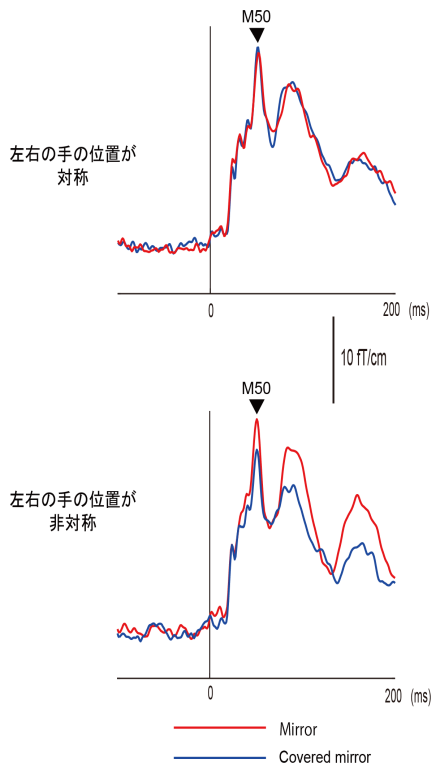


図 3. センサーレベルによる解析結果（全被験者平均）

等価電流双極子法により，M50 の活動源推定を行った結果，活動源は刺激対側の一次体性感覚野に推定された（図 4）．活動源レベルの解析においても，M50 の活動振幅は，身体所有感の喪失条件（mirror 非対称条件）において，有意な振幅の増大を認めた（図 5）．

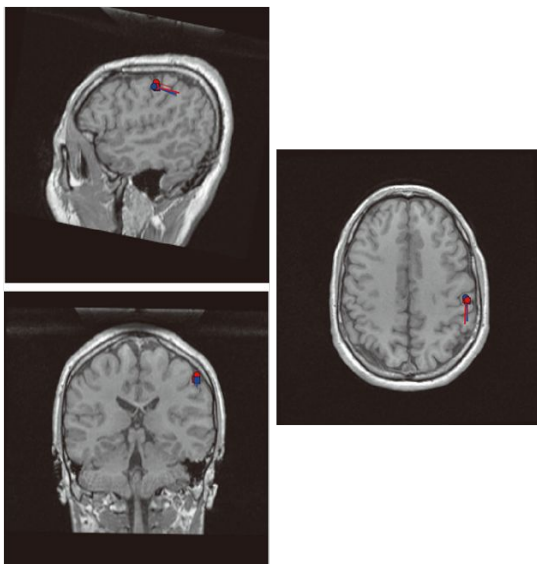


図 4. M50の活動源（代表的被験者）

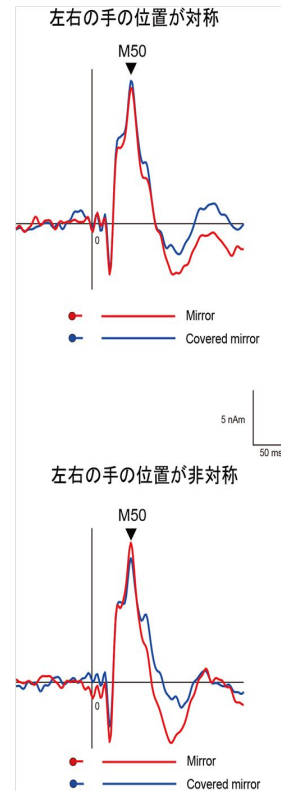


図 5. 一次体性感覚野における活動強度の経時変化（全被験者平均）

身体部位に関する視覚情報と固有受容覚の情報に不一致が生じる条件において，一次体性感覚野を活動源とする M50 は有意な増大を示した．これらの結果より，一次体性感覚野を活動源とする M50 成分は，視覚と固有受容覚情報から影響を受ける成分であることが示された．このことは，M50 が末梢からの入力を単純に反映した活動ではなく，多感覚情報を統合した後の成分であることを示唆している．後部頭頂葉などの多感覚統合領域で処理を受けた後のフィードバック成分であると考えられる．

先行研究より，M50 は生体警告信号に関する変化検出システムを反映した活動である事が報告されている．つまり，M50 は身体にとって注意を向けるべき刺激が提示されたときに振幅を増大させる活動である．さらに，複合性局所疼痛症候群や線維筋痛症などの慢性疼痛患者において，この M50 成分の興奮性が増大していることも報告されている．これらの先行研究を統合的に解釈すると，本研究で認められた M50 の増大は，視覚と固有受容覚の情報不一致による身体所有感の異常が，生体警告システムを駆動したためであると考えられる．

今後さらなる研究により，感覚情報の不一致が生体警告システムに与える影響の詳細な検討や，慢性疼痛患者における自己身体所有感と M50 成分の関連の検討をしていく必要がある．

5. 主な発表論文等  
(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Nishihara M, Inui K, Morita T, Kodaira M, Mochizuki H, Otsuru N, Motomura E, Ushida T, Kakigi R. Echoic memory: investigation of its temporal resolution by auditory offset cortical responses. PLoS One, 9: e106553, 2015. 査読あり  
doi: 10.1371/journal.pone.0106553.

Otsuru N, Hashizume A, Nakamura D, Endo Y, Inui K, Kakigi R, Yuge L. Sensory incongruence leading to hand disownership modulates somatosensory cortical processing. Cortex, 58: 1-8, 2014. 査読あり  
doi: 10.1016/j.cortex.2014.05.005.

Nakagawa K, Otsuru N, Inui K, Kakigi R. Change-related auditory P50: A MEG study. Neuroimage, 86: 131-137, 2014. 査読あり  
doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.07.082.

Omori S, Iosea S, Otsuru N, Nishihara M, Kuwabara S, Inui K, Kakigi R. Somatotopic representation of pain in the primary somatosensory cortex (S1) in humans. Clin Neurophysiol, 124: 1422-1430, 2013. 査読あり  
doi: 10.1016/j.clinph.2013.01.006.

〔学会発表〕(計 3 件)

大鶴直史, 橋詰 顕, 仲村大地, 遠藤勇輝, 乾 幸二, 柿木隆介, 弓削 類: 感覚不一致による hand disownership が体性感覚皮質情報処理に及ぼす影響. 第 44 回日本臨床神経生理学会学術大会, 2014 年 11 月 19 日, 福岡

大鶴直史, 橋詰 顕, 仲村大地, 遠藤勇輝, 乾 幸二, 柿木隆介, 弓削 類: 視覚的身体位置と実際の身体位置の不一致が体性感覚情報処理に与える影響. 第 49 回日本理学療法学術大会, 2014 年 5 月 30 日, 横浜

大鶴直史: 体性感覚における変化検出機構. 第 28 回生体磁気学会, 2013 年 6 月 7 日, 新潟

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大鶴 直史 (NAOFUMI OTSURU)

広島大学・医歯薬保健学研究院・助教

研究者番号: 50586542