

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750183

研究課題名(和文)体性感覚イメージ遂行中の作業記憶(WM)関与の解明

研究課題名(英文)The effect of working memory on the performance of somatosensory imagery

研究代表者

上村 純一(Uemura, Jun-ichi)

名古屋大学・医学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70467322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では体性感覚イメージ遂行に関わる脳内基盤について、脳磁計を用いて局所的脳活動ではなく、関連する脳領域間の機能的つながりの解析から明らかにすることを目的とした。体性感覚情報処理に関する解析対象脳領域を特定するとともに、機能的つながりを検討するための妥当な解析方法を決定できた。加えて、体性感覚イメージ遂行時の脳内ネットワークについて、左右半球で異なるネットワークを形成していることを明らかにした。本研究結果は関連学会において報告を行った。体性感覚イメージは顕在化しない脳内情報処理であるが、本研究課題の遂行により、離れた脳領域間の神経活動同期の変化として検討可能であることを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：I studied the cognitive information processes corresponding to the somatosensory imagery, which is the imagination of sense without real stimulation. I recorded the human brain activity using the magnetoencephalography (MEG), and evaluated the functional connectivity among somatosensory related areas, not the local brain activity itself. From the first result, I identified the region of interests (ROIs) corresponding to somatosensory information processes and found the analysis method to evaluate the functional connectivity, i.e. the Phase-locking value (PLV). The second result revealed that there was a difference in the functional connectivity during somatosensory imagery between right and left hemispheres. To execute the somatosensory imagery needed the functional connectivity between spatially separated brain regions. I considered this results showed that some kind of cognitive processes worked to execute the somatosensory imagery. This result was reported at domestic meeting.

研究分野：ニューロリハビリテーション

キーワード：体性感覚 認知情報処理 脳磁計 機能連関 1次体性感覚野 2次体性感覚野 前頭葉

1. 研究開始当初の背景

作業療法では運動障害や体性感覚障害の回復を促す訓練として、動作の反復や作業課題の繰り返しを含むプログラムが組まれる。反復課題の訓練効果を得るためには、直前の課題内容を脳内に保持し次の課題遂行に供するための認知プロセスが必須となる。

運動障害については、作業記憶に代表される認知機能の改善とともに、訓練を行う重要性が指摘され、各疾患での作業記憶機能の賦活を期待する訓練が検討されている。一方、体性感覚障害については、まだ介入方法自体の開発が研究対象であり、作業記憶機能を含めた訓練方法を考慮するまでには至っていない。しかし、これまでに臨床において検討されつつある体性感覚障害に対する機能回復訓練法では、患者は先に知覚された体性感覚刺激の内容を一時的に記憶し、次に知覚した刺激との異同を判断するなど、作業記憶機能を介した訓練法を取り入れ効果を示そうとしている。

近年、体性感覚情報処理過程における作業記憶機能の関与が報告されつつあり、体性感覚障害においても作業記憶機能の回復や増強を訓練の中心的課題として考慮することは極めて重要であると考えられる。

本研究はこれまでの体性感覚障害に対する機能回復訓練で用いられる複数刺激の異同を判断するためには刺激内容を脳内表象 (representation) として一時的に形成・保持する必要があり、これは体性感覚イメージを形成することと同様のプロセスを含んでいると仮説立てている。体性感覚イメージ形成時に活動する脳活動領域は、実際の触覚刺激を知覚・認知する際の活動領域と類似すると報告されており、体性感覚イメージ遂行と体性感覚情報処理過程は強く関係していると推測できる。

体性感覚イメージ課題遂行時の脳内基盤については未だ不明な点は多く、体性感覚イメージ遂行時の作業記憶を含めた認知機能の関与を明らかにすることは、特定の認知機能の賦活を含めた体性感覚機能訓練の開発に繋がることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究計画では、実際に体性感覚を知覚・認知しているかのようにイメージを行う体性感覚イメージ遂行時の脳活動領域について脳磁図 (MEG) を用いて検討を行った。今回は局所的脳活動ではなく、関連する脳領域間の機能的つながりに着目し、体性感覚イメージ遂行時の脳内基盤を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究計画遂行のため、2つの実験を行った。

はじめに、体性感覚イメージ遂行に関連する脳領域の特定と、その関連する脳領域間の

機能的なつながりを検出するための解析手法の検討を行った。続いて、体性感覚イメージ遂行時の関連脳領域間の機能的なつながりについて記録解析を行った。

(1) 体性感覚情報処理に関連する脳領域の特定と、機能的なつながりの解析手法の検討

健常成人 20 名 (男性 2 名、女性 10 名) (平均年齢: 21.0 歳 (20-22 歳)) を対象に測定を行った。被験者は脳磁計室内のベッドで仰臥位になり、脳活動の記録を行った。

被験者の右手手首の正中神経に体性感覚刺激として、電気刺激装置 (S-2727B, 日本光電、日本) を用いて、電気刺激 (持続時間: 0.5ms) を呈示した。刺激強度は運動閾値の 20% に設定し ($43.4 \pm 6.6V$)、刺激間隔 (ISI) は 2s とした。被験者には電気刺激には注意を向けず、目前のモニターに映し出された動画に集中するように教示を行った。

脳活動の記録には全頭型脳磁計システム (PQ1160C, 横河電機、日本) を使用した。記録条件はバンドパスフィルター: 0.3-500Hz、サンプリング数: 2000Hz、として、同時にアーチファクト除去のための心電図 (ECG)、眼電図 (EOG) の記録を行った。

はじめに刺激を行わない安静時の脳活動記録を 3 分間行い、その後、体性感覚刺激を行った際の脳活動の記録 (SEF) を行った。体性感覚刺激は 200 回呈示し、その間脳活動の記録を行った。

データ解析は Brainstorm (オープンソースソフトウェア) (<http://neuroimage.usc.edu/brainstorm/>) を用いた。安静時、体性感覚刺激時、双方の脳反応波形から、ECG、EOG のデータを用いてアーチファクトを除去した。安静時脳活動は 1 秒間のエポックに分割した。体性感覚刺激時のデータは刺激呈示を起点に 2 秒間のエポックに分割し前半 1 秒間、後半 1 秒間をそれぞれ Seg. 1 および 2 として、その後の解析を行った。各被験者の SEF の波形を脳表上に投影することで、そのデータから 1 次体性感覚野 (S1)、2 次体性感覚野 (R-S2、L-S2) を特定し、関心領域 (ROI) とした (図 1)。

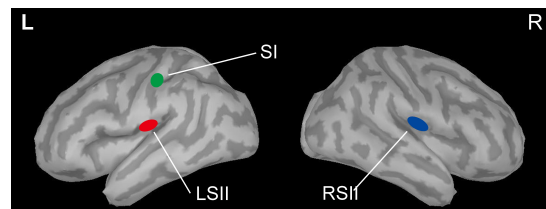


図 1. 関心領域の特定

1 次体性感覚野 (S1)、2 次体性感覚野 (RS2、LS2) を特定し、関心領域 (ROI) とした。各領域のサイズは 3.5 cm^2 とした。

各 ROI 間の機能的なつながりの検討には、2 つの信号の位相情報に着目し、繋がり具体を

数値化する Phase-locking value (PLV) を算出することとした。PLV は、 θ 、 α 、 β 、 γ 、 δ 、 θ 、 α 、 β 、 γ 、 δ の各周波数帯で算出した。

統計処理には SPSS (ver. 22) を用いて、安静時、Seg. 1 および Seg. 2 について反復測定分散分析を行った。

(2) 体性感覚イメージ遂行時の脳内基盤について

健常成人 8 名 (男性 4 名、女性 4 名) (平均年齢: 21.0 歳 (20-22 歳)) を対象に測定を行った。

体性感覚イメージ課題は実際の刺激がない条件下で感覚をイメージする課題である。本研究では、イメージのガイドのため、右手をブラシで擦っている無音の動画を作成し、動画に合わせて被験者自身の右手首をブラシで擦られた感覚をイメージする課題を作成した。対照条件はイメージを行わず、動画だけを見ている条件とした。

MEG を用いて方法 (1) と同様の記録条件で脳活動の記録を行った。2 条件ともに連続 1 分間の記録を交互に 3 回実施し、計 3 分間のデータを解析対象とした。ROI は 2 次体性感覚野 (R-S2、L-S2) に定めた。感覚イメージ遂行における S2 と他の脳領域間の神経活動同期について、PLV を算出し条件間で比較を行った。

4. 研究成果

(1) 体性感覚情報処理に関連する脳領域の特定と、機能的つながりの解析手法の検討

200 回の体性感覚刺激の脳活動を加算平均した結果、明瞭な体性感覚誘発脳磁場 (SEF) を記録した (図 2)。Seg. 1 には刺激呈示後 0-100ms の間でピークとなる SEF の成分を認め、400ms までに減衰していることが確認できた。また、Seg. 2 には体性感覚刺激に起因する誘発脳磁場は確認できなかった。

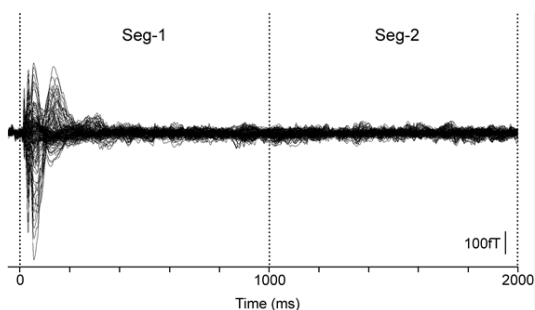


図 2、被験者 A の体性感覚誘発脳磁場 (SEF)

Seg. 1 の時間帯において、刺激呈示後から 100ms 間にピークとなる誘発脳磁場を記録した。また、SEF は 400ms 程度までにほぼ特定ができないレベルまで減衰している。一方、Seg. 2 では明らかに誘発脳磁場を記録されなかった。

チャンネルレベルのデータを脳表上に投影したところ、SEF に時間的に対応する活動を S1 と両側の S2 で確認した (図 3)。

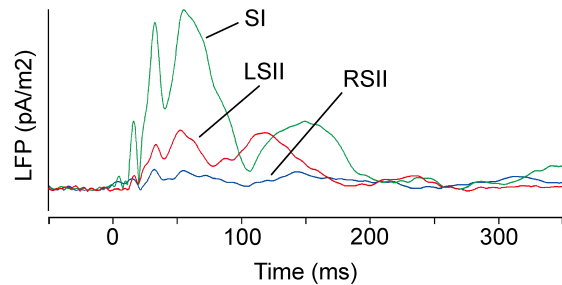


図 3、各関心領域の脳表上での活動の記録
体性感覚誘発脳磁場 (SEF) (図 1) に関連する時間帯において、S1、LS2、RS2 それぞれにおける脳活動を記録した。

S1 と各 S2 間の PLV 値について解析した結果、S1 - LS2 間では、 θ 、 α 、 β 、 γ 、 δ 帯域において、安静時と比較して有意な差を認めた (図 4)。また、S1 - RS2 間では α 帯域において安静時との差を認めた (図 4)。加えて、Seg. 1 と 2 を含めた検討では、S1-LS2 間において θ 帯域で有意差を認めた (図 4)。

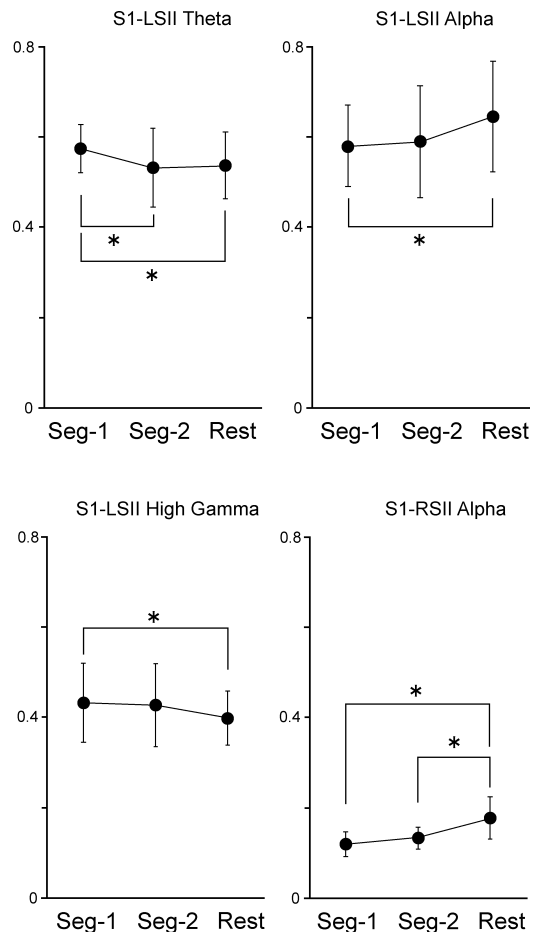


図 4、S1 と LS2、RS2 間の PLV 値

S1 - LS2 間では、 θ 、 α 、 β 、 γ 、 δ 帯域において、安静時と比較して有意な差を認めた。また、S1 - RS2 間では α 帯域において安静時との差を認めた。

以上のことから、今回設定した ROI を起点に、各 ROI 間の PLV の算出を行うことで、体性感覚刺激に起因する関連脳領域間の神経活動同期の変化を捉えることができたと考えられる。

(2) 体性感覚イメージ遂行時の脳内基盤について

感覚イメージ遂行における、S2 と他の脳領域間の神経活動同期は左右半球で異なる結果となった。イメージを行った右手の対側の半球（左半球）では、S1 および前頭前野領域間の神経活動同期が増加すること、下前頭回では低下することを見出した。一方、同側半球（右半球）では S2 とこれらの脳領域間の神経活動同期は減弱または、変化が小さいことを明らかにした（図5）。右手が刺激された場合の感覚をイメージする課題であったため、PLV 値の変化に大きな差が生じたと考えた。

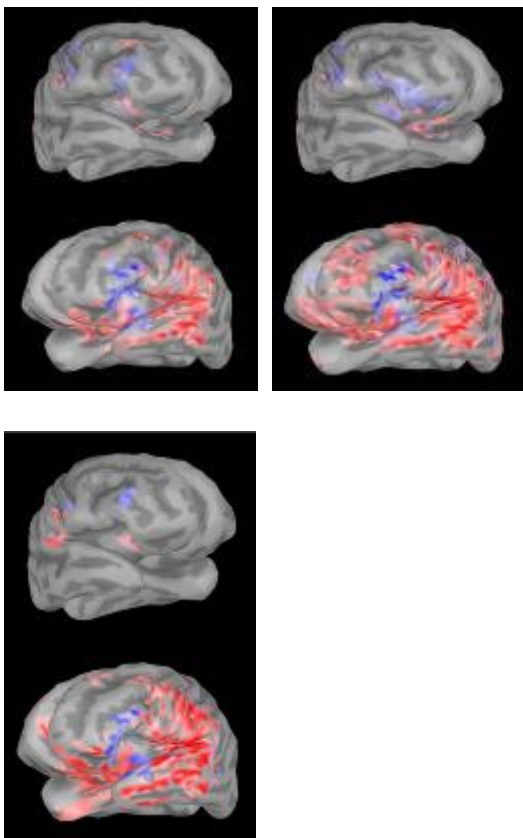


図5、条件間の PLV 値の差（3つの高周波数帯域、左上：60-90Hz、右上：100-150、左下：160-200Hz）赤色は対照条件に比べて、体性感覚イメージ遂行条件で PLV 値が高くなった領域。青色は PLV 値が低くなった領域。（ROI は上段が右 S2、下段が左 S2）

以上のことから、感覚イメージ遂行により、複数の離れた脳領域間の神経活動同期に変化が生じており、複数のネットワークがイメ

ージ遂行に参与していることが示唆された。特に、S2 は体性感覚情報の認知情報処理に関わっており、これらの領域と離れた脳領域間の神経活動同期が変化したことは、作業記憶を含めた認知プロセスが関与していることが示唆された。

(3) まとめ

本研究の結果は、体性感覚刺激によって惹起する神経活動同期の変化は、S1 および S2 を関心領域においた PLV 値を算出することで検出できる。体性感覚イメージ遂行により、S2 と他の脳領域間の神経活動同期は変化する。その変化は左右の半球で異なっている。を明らかにした。

体性感覚イメージは顕在化しない脳内情報処理であるが、本研究課題の遂行により、離れた脳領域間の神経活動同期の変化として検討可能であることを示すことができた。また、その神経活動同期の変化は、離れた脳領域間で構成される認知情報処理のプロセスが関与していることを示唆しており、本研究課題の目的に合う成果が得られたと考える。

今後、本研究成果を国際専門雑誌に投稿するため、論文作成を進めて行く。また、国内関連学会において学会報告を行うことができた。

<引用文献>

- Ohbayashi M, Ohki K, Miyashita Y. Conversion of working memory to motor sequence in the monkey premotor cortex. *Science*. 2003; 11;301(5630):233-236.
- Vogt A, Kappos L, Calabrese P, Stöcklin M, Gschwind L, Opwis K, Penner IK. Working memory training in patients with multiple sclerosis - comparison of two different training schedules. *Restor Neurol Neurosci*. 2009;27(3):225-235.
- Carey L, Macdonell R, Matyas TA. SENSE: Study of the Effectiveness of Neurorehabilitation on Sensation: a randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2011;25(4):304-313.
- Smania N, Montagnana B, Faccioli S, Fiaschi A, Aglioti SM. Rehabilitation of somatic sensation and related deficit of motor control in patients with pure sensory stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84(11):1692-1702.
- Kaas AL, van Mier H, Visser M, Goebel R. The neural substrate for working memory of tactile surface texture. *Hum Brain Mapp*. 2013;34(5):1148-1162.
- Yoo SS, Freeman DK, McCarthy JJ 3rd, Jolesz FA. Neural substrates of tactile imagery: a functional MRI study.

Neuroreport. 2003;24;14(4):581-585.

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 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

上村 純一、運動イメージ遂行における運動観察の影響、第49回日本作業療法学会、神戸、2015.6.19-21.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等：なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

上村 純一(UEMURA Junichi)

名古屋大学・医学系研究科・助教

研究者番号：70467322

(2)研究分担者：なし

(3)連携研究者：なし