

Neural Activation during the Shape Matching Task Measured by Near-Infrared Spectroscopy

| | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| メタデータ | 言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属: |
| URL | https://doi.org/10.24517/00000010 |

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



近赤外分光分析による形状マッチング課題遂行中の脳活動の計測

前原 吾朗[†] 田谷 修一郎[†] 小島 治幸[‡]

[†] 金沢大学人間社会環境研究科 〒920-1192 石川県金沢市角間町

[‡] 金沢大学文学部 〒920-1192 石川県金沢市角間町

E-mail: maehara@kenroku.kanazawa-u.ac.jp

あらまし 後側頭部における形状マッチング課題、位置マッチング課題遂行中のヘモグロビン濃度変化を計測した。形状マッチング課題では、実験参加者は最初に呈示された刺激の形状を記憶し、その後に呈示される刺激の形状が記憶したものと同一であるかを判断した。位置マッチング課題では、最初に呈示された刺激の位置を記憶し、その後に呈示される刺激の位置が記憶したものと同一であるかを判断した。後側頭部における酸化ヘモグロビン濃度は、位置マッチング課題よりも形状マッチング課題遂行中の方が高かった。このことから、後側頭部の領野において形状認識に関する脳活動が存在したことが示唆された。本研究の結果は、fMRI や PET を用いた研究の結果と一致しており、近赤外分光分析が認知機能の計測に有用であることを示している。

キーワード 近赤外分光分析, NIRS, ヘモグロビン, 形状認識

Neural Activation during the Shape Matching Task Measured by Near-Infrared Spectroscopy

Goro MAEHARA[†] Shuichiro TAYA[†] and Hatuyuki KOJIMA[‡]

[†] Graduate School of Human and Socio-Environment Studies, Kanazawa University,

Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-1192 Japan

[‡] Faculty of Letters, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-1192 Japan

E-mail: maehara@kenroku.kanazawa-u.ac.jp

Abstract We used near-infrared spectroscopy (NIRS) to measure the changes in hemoglobin concentration in the lateral occipital regions during the shape matching and position matching tasks. In the shape matching task, the participants were asked to judge whether successively presented stimuli were identical in shape to the remembered target. In the position matching task, the participants judged whether successively presented stimuli were identical in position to the remembered target. Concentration of oxygenated hemoglobin in the lateral occipital regions was higher for the shape matching task than for the position matching task. This suggests that pronounced activity was present in the lateral occipital regions during shape recognition. The present study, consistent with the former fMRI and PET studies, supports the usefulness of NIRS for monitoring cognitive brain functions.

Keyword Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), Hemoglobin, Shape Recognition

1. はじめに

近赤外分光分析 (Near-Infrared Spectroscopy, NIRS) は比較的新しい非侵襲的脳機能画像法である。近赤外光を頭部に投射したとき、頭蓋内を通過する近赤外光の量は、脳活動に伴って変化するヘモグロビン濃度を反映している。局所脳血流は活動している脳の活動によって増加するので[1]、活動部位の酸化ヘモグロビン濃度は増加し、脱酸化ヘモグロビン濃度は減少するこ

とが知られている。したがって、近赤外分光分析を用いてヘモグロビン濃度を計測することで、脳の活動を評価することができる。

他の脳機能画像法と比較すると、近赤外分光分析は空間解像度が低く(約3cm)、皮質表面しか計測できないという短所がある。一方、近赤外分光分析の長所としては、スキャナーの中に入る必要がないので自然な環境で実験を行うことができるという点があげられる。

しかし、近赤外分光分析の計測値はノイズが多く、その計測値の信頼性については議論の余地がある。そこで本研究では、近赤外分光分析で得られた結果がfMRIとPETを用いた研究の知見と一致するかを検討した。

fMRIやPETを用いた研究から、脳の後側頭部が形状の認識中に活動することはよく知られている。この部位は紡錘状回の側部に位置しており、The lateral occipital complexと呼ばれている[2][3][4]。

本研究では、近赤外分光分析を用いて、後側頭部における形状認識中の活動を計測する実験を行った。実験参加者は、形状マッチング課題と位置マッチング課題とを行った。形状マッチング課題では、形の認識が必要なので、後側頭部の酸化ヘモグロビン濃度は増加し、脱酸化ヘモグロビン濃度は減少することが予測される。形状マッチング課題と位置マッチング課題を比較した場合、酸化ヘモグロビン濃度は形状マッチング課題の方が位置マッチング課題よりも高く、脱酸化ヘモグロビン濃度は逆に低くなるだろう。

2. 方法

2.1. 実験参加者

14名が実験に参加した。全員右利きで、裸眼もしくは矯正視力は正常であった。平均年齢は19.9歳(SD = 1.09)であった。

2.2. 実験装置

22インチのCRTディスプレイ(Dell P1230)とコンピュータ(Apple Power Macintosh G4)を用いて刺激を呈示した。実験参加者を両人差し指または両中指でボタンを押すことで反応した。実験参加者の反応はコンピュータによって記録された。24チャンネルの近赤外分光分析装置(ETG-4000 Optical Topography System; Hitachi Medical Co.)を使用して酸化、脱酸化ヘモグロビン濃度の変化を計測した。頭部の動きを固定するために、顎乗せ台を用いた。

2.3. 刺激

無意味な線画を刺激として用いた(図1)。刺激の大きさは視角約13度×13度であった。刺激は、12個のポイントをベジェ曲線で結ぶことによって作られた。

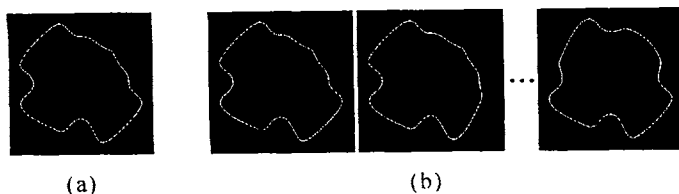


図1 無意味な線画の例
(a) ターゲット刺激 (b) テスト刺激

2.4. 手続き

2つの課題ブロックが、間に60秒の休憩期間を挟んで、交互に行われた。1回の実験は12の課題ブロックから成っており、そのうち4ブロックでは形状マッチング課題が、残りの4ブロックでは位置マッチング課題が行われた。

課題ブロックは以下の手順で行われた。まず、ブロックで行う課題を知らせるために、「形状」または「位置」という文字が2秒間呈示された。文字が呈示された後、4秒間ターゲット刺激が呈示された。実験参加者は、形状マッチング課題の場合はターゲット刺激の形状を、位置マッチング課題の場合はターゲット刺激の位置を記憶した。そして、4秒間のブランクを挟んで、20個のテスト刺激が2.5秒間隔でひとつずつ連続して呈示された。実験参加者はテスト刺激が呈示されるごとに、その形状もしくは位置が記憶したターゲット刺激と同一であるかを判断した。20個のテスト刺激のうち、ターゲット刺激と同一なものは4個であった。

2.5. 近赤外分光分析の計測

3×3の配列のプローブを左右の後側頭部に配置した(図2)。配列の下部の中心にあるプローブの位置は、10/20座標系のT3とO_zまたはT4とO_zの中間点に一致していた。プローブの間の領域における酸化ヘモグロビン濃度と脱酸化ヘモグロビン濃度を測定した。

2.6. データの補正

まず、各実験参加者の各チャンネルのデータから線形成分を除去し、0.1 Hzのローパスフィルタをかけた。その後、課題ブロックごとに、直前のレストの後半30秒の計測値の平均を計算し、その平均を課題ブロックのヘモグロビン濃度変化のベースラインとした。ベースライン補正を行ったデータは被験者内で課題ごとに平均された。この平均値を、それぞれの課題におけるヘモグロビン濃度変化とした。

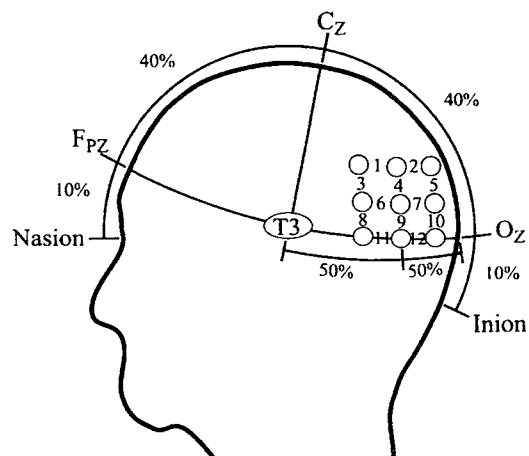


図2 プローブの配置

3. 結果

図3は、課題遂行中の酸化ヘモグロビン濃度変化を示している。

課題ブロックの後半30秒の計測値の平均に対して、 $2 \times 2 \times 12$ (課題×半球×チャンネル)の3要因分散分析を行った。酸化ヘモグロビン濃度は形状マッチング課題(32.6 micromol × mm)の方が位置マッチング課題(2.2 micromol × mm)よりも高かった($F(1,13) = 5.21, p < .05$)。

このことは、形状マッチング課題遂行中に酸化ヘモグロビン濃度が増加したことを示唆している。半球の主効果は有意ではなかったが、チャンネル間では有意差があった($F(5.1, 66.1) = 7.28, p < .05$)。課題とチャンネルの交互作用には有意傾向があり ($F(7.5, 97.2) = 1.80, p < .10$)、図3からも形状マッチング課題遂行中に酸化ヘモグロビン濃度が大きく増加するチャンネルとあまり変化しないチャンネルがあることが見てとれる。

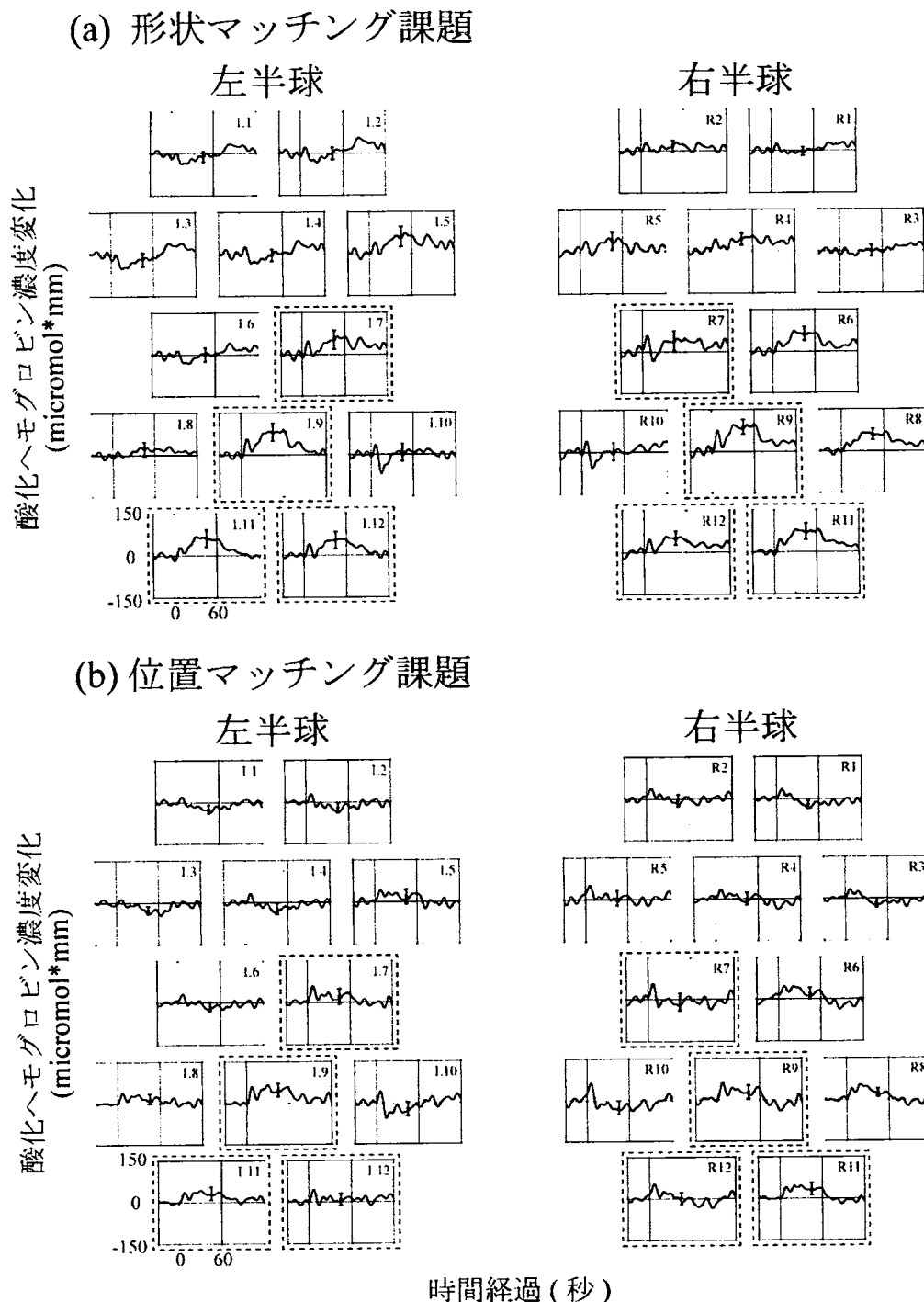


図3 課題遂行中の酸化ヘモグロビン濃度の変化。図中のデータは全被験者の平均を示している。破線囲みは課題間で有意差のあったチャンネル。(a) 形状マッチング課題。(b) 位置マッチング課題。

半球とチャンネルの交互作用は有意であり ($F(6.6, 85.8) = 2.61, p < .05$)、チャンネルの効果が半球間で異なることが示唆された。

課題間で差のあったチャンネルを特定するために、 2×2 (課題×半球)の2要因分散分析をチャンネルごとに行った。酸化ヘモグロビン濃度は Ch. 7 ($F(1, 13) = 5.06, p < .05$)、Ch. 9 ($F(1, 13) = 5.70, p < .05$)、Ch. 11 ($F(1, 13) = 6.18, p < .05$)、Ch. 12 ($F(1, 13) = 11.2, p < .05$)において形状マッチング課題の方が位置マッチング課題よりも高かった(図3破線囲み)。

脱酸化ヘモグロビン濃度についても酸化ヘモグロビン濃度と同様に $2 \times 2 \times 12$ (課題×半球×チャンネル)の3要因分散分析を行った。脱酸化ヘモグロビン濃度はチャンネル間で有意な差があった ($F(3.7, 48.5) = 6.20, p < .05$)。しかし、その他の主効果と全ての交互作用は有意ではなかった。

課題成績に関しては、各課題における d' に対して1要因の分散分析を行った。形状マッチング課題(2.41)と位置マッチング課題(3.07)の間に有意な差はなく、課題間で難易度が異なることが示唆された。

4. 考察

本実験の目的は、近赤外分光分析を用いて形状認識に伴う脳内のヘモグロビン濃度変化を計測することであった。Ch. 7, 9, 11, 12において、酸化ヘモグロビン濃度は形状マッチング課題の方が位置マッチング課題よりも高かった。このことは、実験参加者が形状マッチング課題を行っているとき、酸化ヘモグロビン濃度が後側頭部において増加したことを示唆している。課題の成績に有意な差はなかったので、課題の難易度の違いは酸化ヘモグロビンの増加の主要因ではないと言える。したがって、遂行する課題の性質の違いによって課題間のヘモグロビン濃度差が生じたと考えられる。

近赤外分光分析からは脳の構造に関する情報を得ることができないが、活性したチャンネルの計測部位について推測することはできる。図2に示したように、Ch. 11はT3とO_z、またはT4とO_zの1.5 cm前方に位置している。この位置はT5とT6にほぼ対応する。Okamoto et al. (2004)によれば、T5とT6は中側頭回か下側頭回に位置するという[5]。また、彼らはT5とT6は後頭葉と側頭葉の境界に位置していると論じている。したがって、Ch. 11は後頭葉と下側頭回、中側頭回の境界付近に対応していると考えられる。Ch. 7は1.5 cm、Ch. 9は3 cm、Ch. 11の上後方に位置しており、中側頭回付近の後頭葉前部を計測していると言えるだろう。この領域はThe lateral occipital complexのThe dorsal caudal subdivisionを含んでいると思われる。

The dorsal caudal subdivisionは、エッジ検出よりは

後だが物体認識よりは前の中間的な処理(刺激の輪郭の表象など)を行っていると言われている[6]。こうした中間的な処理が位置マッチング課題よりも形状マッチング課題において必要であったために、Ch.7, 9付近では形状マッチング課題遂行中に酸化ヘモグロビン濃度がより増加したと考えられる。

脱酸化ヘモグロビン濃度に関しては、課題間で有意な差は見られなかった。なぜ、脱酸化ヘモグロビン濃度に差がなかったのかは明らかではない。しかし、この結果はfMRIやPETを用いた先行研究と矛盾するものではない。なぜなら、fMRIやPETは脱酸化ヘモグロビンではなく酸化ヘモグロビンの濃度を計測しているからである。

5. まとめ

本研究から、近赤外分光分析は酸化ヘモグロビン濃度の変化として形状認識に伴う後側頭部の脳活動を計測できることが示唆された。活動した部位の一部は、中側頭回近傍の後頭葉前部に対応しており、The lateral occipital complexのThe dorsal caudal subdivisionを含んでいると考えられる。本実験の結果は、fMRIやPETを用いた先行研究の知見と一致しており、近赤外分光分析の信頼性を支持している。

文 献

- [1] P. T. Fox, and M. E. Raichle, Focal physiological uncoupling of cerebral blood flow and oxidative metabolism during somatosensory stimulation in human subjects. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 83, pp. 1140-1144, 1986.
- [2] K. Grill-Spector, T. Kushnir, T. Hendler, and R. Malach, The dynamics of object-selective activation correlate with recognition performance in humans. *Nat. Neurosci.*, Vol. 3, pp. 837-843, 2000.
- [3] N. Kanwisher, M. M. Chun, J. McDermott, and P. J. Ledden, Functional imaging of human visual recognition. *Cognitive Brain Res.*, Vol. 5, pp. 55-67, 1996.
- [4] R. Malach, J. B. Reppas, R. R. Benson, K. K. Kwong, H. Jiang, W. A. Kennedy, P. J. Ledden, T. J. Brady, B. R. Rosen, and R. B. H. Tootell, Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 92, pp. 8135-8139, 1995.
- [5] M. Okamoto, H. Dan, K. Sakamoto, K. Takeo, K. Shimizu, S. Kohno, I. Oda, S. Isobe, T. Suzuki, K. Kohyama, and I. Dan, Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage*, Vol. 21, pp. 99-111, 2004.
- [6] J. D. Mendola, A. M. Dale, B. Fischl, A. K. Liu, and R. B. H. Tootell, The representation of illusory and real contours in human cortical visual areas revealed by functional magnetic resonance imaging. *J. Neurosci.*, Vol. 19, pp. 8560-8572, 1999.