

時間知覚の脳活動を用いた BCI システムの提案

Proposal of BCI system using brain activity of time perception

1215046 早坂 涼佑 (SISoC 研究室)

(指導教員 星野 孝総 准教授)

1. はじめに

近年、BCI (Brain Computer Interface) の研究が盛んに行われている。BCI は、全身麻痺患者などのコミュニケーションツールになると期待されている。これまでの BCI では脳表面上に位置する運動野や言語野、視覚野、聴覚野を用いた研究が多い。今後の BCI の発展には、多数の領域を組み合わせたシステムやこれまで用いられていない脳表面上の部位 (新しい脳部位) の活動を利用していくことで BCI の機能が向上し、全身麻痺患者の生活の質をさらに向上させることが期待される。

運動や食事、睡眠など、人が生きるうえで関わるものが時間である。時間は、人の認識と行動の基本的特性である。これまでに脳計測機器を用い、さまざまな時間知覚に関する研究が行われており、その実態は少しずつ解明されつつある。時間知覚についての脳活動領域は、右下頭頂小葉 (rIPL) や右下前頭回 (rIFG) の機能について近年注目されている[1,2]。

本研究では BCI の新しい脳部位として rIPL と rIFG を利用することを旨とする。これまでの fMRI 計測による時間測定の実験では、実験設定の異なる 3 条件下において共通して rIPL と rIFG に有意な脳活動が得られた[3]。

本研究では、時間知覚 BCI の提案を目的としている。そのために、fMRI 実験から時間知覚に関与するとされている脳部位を BCI で用いられるかを検討する。そして実験結果を踏まえて考えられる BCI 案を述べる。

2. 実験課題

本実験では時間測定課題を用いた。時間測定課題とは、指定した秒数のタイミングでボタンを押すという課題である。課題条件は BCI を想定して設定した。条件の一つとして、指定する秒数の違い (5s counts と 10s counts) を設定した。また、以下の 3 種類のシチュエーションを設定した。

- ・眼：開眼，画面：表示なし (Open eyes)
- ・眼：閉眼，画面：表示なし (Close eyes)
- ・眼：開眼，画面：表示あり (Stopwatch)

シチュエーションは、眼の開閉、画面の表示有無による脳活動部位の違いを見るために設定した。被験者は各条件の課題を 9 試行ずつ行ったため、各被験者から 2 (秒数の違い) * 3 (シチュエーション) * 9 (試行数) = 54 データが得られた。

実験は、被験者 21 名 (平均：21.42 歳，標準偏差：1.99) に対して行った。被験者には注意事項として、課題遂行時に手や足など体でタイミングを取らない、声を出さないように教示した。実験のログとして、被験者によるボタン押下時間を記録した。

3. fMRI 解析結果

fMRI 画像については時間的、空間的な前処理を施したあと、各被験者の個人解析と全被験者による集団解析を行った。前処理、個人解析、集団解析には Matlab 上で動作する SPM12 を用いた。被験者 21 名のログを確認したところ、課題を遂行できていないデータが確認された。fMRI 解析において、被験者内のデータ数を揃える必要があるため、各被験者に対してシチュエーションごとにデータ数を揃える。よって、5s counts では 6/567 個、10s counts では 30/567 個のデータを除去した。脳領域は解剖学的に定義され、Anatomy toolbox に従って標識された。fMRI 解析をした結果、秒数の違いでの脳部位に差は見られなかった。以降は、5s counts と 10s counts のデータを合わせた解析結果について報告する。

各シチュエーション間の脳活動部位の違いの中から Open eyes と Close eyes の特異的な活動について述べる。Open eyes vs Close eyes では左舌状回で有意な活動が得られた ($p < 0.05$, FWE)。Close eyes vs Open eyes では右下側頭回に有意な活動が得られた ($p < 0.001$, uncorrected)。

次に、各条件時において rIPL と rIFG の相関関係を持つ部位を調べるために PPI (PsychoPhysiological Interaction) 解析を用いた。PPI 解析とは、ある神経集団が別の神経集団に与える影響を評価するための手法である。rIPL による Open eyes の PPI 解析の結果は、鳥距溝 (左舌状回を含む) に有意な脳活動が得られた ($p < 0.01$, uncorrected)。rIFG による Open eyes の PPI 解析の結果は、左舌状回に有意な脳活動が得られた ($p < 0.01$, uncorrected, 図 2)。Close eyes による rIPL の PPI 解析の結果は、右中心前回に有意な活動が得られた ($p < 0.01$, uncorrected) が、rIFG では有意な脳部位は得られなかった。

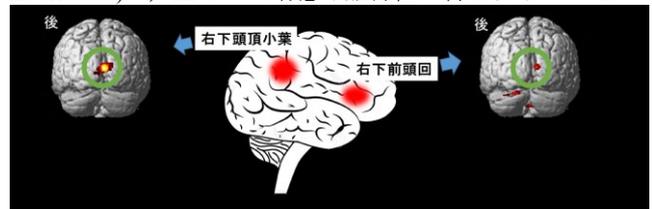


図 1 Open eyes 2 部位による PPI 解析結果

4. 時間知覚 BCI の提案

実験結果から得られたことは二つである。一つ目は、これまでの fMRI 計測による時間測定の実験結果では、3 シチュエーションにおいて共通して rIPL と rIFG に有意な脳活動が得られた[3]。二つ目は、右 IPL と右 IFG は眼の開閉による差や機能的結合関係が舌状回によって示唆されたことである。これらのことから次の時間知覚 BCI 案を提案する。オーディオ機器の音量の調節やリクライニングベットの上げ下げである。目を開けながら時間を数えること、目を閉じながら時間を数えることでテレビや携帯電話の音量の調節に用いることができる。また、同様にリクライニングベットの上下にも用いることができると考えている。時間と目の開閉を BCI として適用することで全身麻痺患者のサポートツールの一つとなる可能性を示唆する。

5. おわりに

本研究は時間知覚を用いた BCI システムを提案することを目的とした。rIPL と rIFG は眼の開閉による特異的な活動や機能的結合関係が舌状回で示唆された。このことから、オーディオ機器の音量の調節やリクライニングベットの上下動作を時間知覚 BCI として適用できるのではないかと考えられた。今後は BCI で用いられる計測機器を用いて実験を行う予定である。

参考文献

- [1] M. j. Hayashi, T. Ditye, T. Harada, M. Hashiguchi, N. Sadato, S. Carlson, V. Walsh, R. Kanai: Time Adaptation Shows Duration Selectivity in the Human Parietal Cortex, PLOS Biology (2015), pp. 1-27
- [2] Hironaga, N., Mitsudo, T., Hayamizu, M., Nakajima, Y., Takeichi, H., & Tobimatsu, S. Spatiotemporal brain dynamics of auditory temporal assimilation. Scientific Reports, 7, 11400. (2017).
- [3] R. Hayasaka, K. Mitani, Y. Hoshino "Basic Verification of the Brain Areas Related with the Time Measurement to Use BCI" IFSA-SCIS 2017, pp. 1-6