

# 後帯状皮質への超音波刺激が誘発する神経調節効果：EEG Microstate による検証

福岡 滯 【システム神経科学研究室】

## 1 はじめに

近年、経頭蓋収束超音波刺激 (tFUS) によって脳活動が変化する、いわゆる神経調節効果が報告されている。デフォルトモードネットワーク (DMN) を標的とした tFUS 研究は、これまで主に安静時 fMRI を用いて行われており、ネットワークの結合性変化などが報告されている [1]。一方、神経活動の電気的な側面を評価した tFUS 研究は調べた限り行われていない。そこで本研究では、脳波計測 (EEG) を用い、tFUS が安静時の電気的脳活動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## 2 実験方法

### 2.1 概要

高知工科大学の学生 20 名が構造画像 MRI 計測に参加し、うち 17 名 (平均年齢: 20 歳, 全員右利き) が EEG 計測に参加した (図 1)。脳波計測は Brain Products 社の actiCAP (32 電極) を使用した。MRI 構造画像を用いて、DMN の構成領域である腹側後帯状皮質 (vPCC) を同定し、Sonic Concepts 社製 NeuroFUS を用いて 80 秒間 tFUS 刺激を実施した。

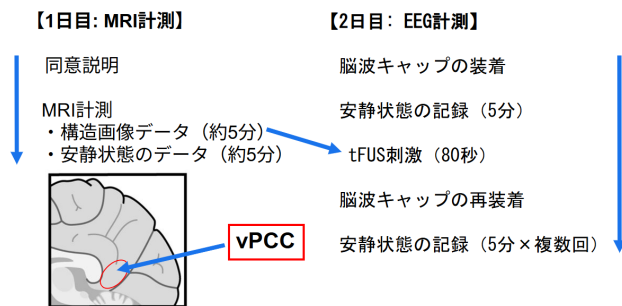


図 1 各計測の流れ

### 2.2 脳波前処理

解析には EEGLAB [2] を用いた。まず、2~20 Hz のバンドパスフィルタを適用し、独立成分分析により眼球運動等のアーチファクトを除去した。その後、平均リファレンスへの再リファレンスを行い、2 秒ごとにエポックに分割した。

### 2.3 Microstate 解析

次に、MicrostateLab [3] を用いて Microstate 解析を行った。クラスタ数の決定にあたっては、先行研究で定義されている代表的なテンプレートマップとの類似度を参照し、DMN の活動を反映する Microstate Class C を解析対象とした。刺激前 (pre) に比べて刺激後 46 分頃 (post) で以下の評価指標が有意に変化するか検証した

(有意水準  $p < 0.05$ ): ① IndExpVar: ある Microstate クラスによって説明される全分散の割合, ② Mean Duration: 各 Microstate が活性化する平均期間, ③ Mean Occurrence: 各 Microstate の活性化率が平均的であるか, ④ Coverage: Microstate クラスが存在する総時間の割合, ⑤ Mean GFP: Microstate クラス X に割り当てられた全期間の平均グローバルフィールドパワー, ⑥ OrgTM X → Y: Microstate 間の遷移のうち、Microstate クラス X から Microstate クラス Y への遷移がある回数の割合。

## 3 実験結果

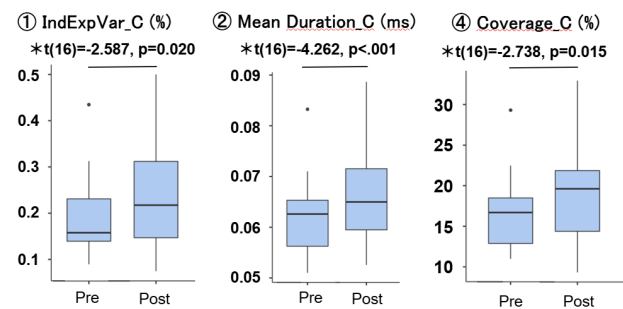


図 2 実験結果

クラスタ数 7 においてテンプレートマップとの平均類似度が最大 (87.567 %) となったため、クラスタ数が 7 個の場合の各評価指標を解析対象とした。例として図 2 に、①, ②, ④の結果を示す。①, ②, ④, ⑤, ⑥の評価指標については、いずれも post で有意に値が大きくなった。③の評価指標については  $p = 0.155$  であり、統計的な有意差は見られなかった。

## 4 考察

DMN の活動を反映すると考えられる microstate が tFUS 刺激によって出現回数 (③) には変化が無かった一方で、説明分散 (①), 占有率 (②), および平均持続時間 (④) は有意に増加した。本研究結果の一つの解釈は、tFUS が DMN への『入り口』を増やしたのではなく、一度優位になった DMN の活動を『維持・安定化』させる方向に作用したというものである。今後は刺激後 30 分や 60 分といった他の時間帯の活動も検証し、神経調節効果の持続する時間を解明したい。

## 参考文献

- [1] Yaakub et al., 2023, Nat. Commun.
- [2] Delorme & Makeig, 2004, J. Neurosci. Methods.
- [3] Kalburgi et al., 2024, Brain Topogr.