

脳波計測を用いた神経の固有時間スケールの睡眠ステージ間の変動の検証

1230372 松田 郁人 【 認知神経科学研究室 】

1 はじめに

神経の固有時間スケール (Intrinsic neural timescales, INT) は神経集団の活動がどの程度持続的かを反映する指標であり、睡眠が深くなるほど長くなることが報告されている [1]。しかし、この先行研究では電極数が 11 個と少ない脳波計を使用しており、領域間の違いが明らかでない。そこで本研究では 32 電極の脳波計で得られた睡眠時のデータを解析し、睡眠ステージの推移に伴う INT の変化の空間的な分布の違いを明らかにする。

2 実験方法

2.1 実験参加者

実験参加の同意を得られた高知工科大学学生 28 名 (男性 23 名, 女性 5 名, 平均年齢 19.14 歳) が参加した。

2.2 解析

本研究では 32 電極の脳波計システム (Brain Products 社製 BrainCap) を用いて睡眠中に計測された脳波を解析した。脳波データに対して DeepSleepNet [2] を適用し、30 秒ごとに覚醒 (Wake), N1, N2, N3, 急速眼球運動 (REM) 睡眠の 5 つの睡眠ステージに分類した。前処理の後、分類したデータを 2 秒間のエポックに分割した。このエポックに対してフーリエ変換を行い、パワースペクトル密度 (Power spectral density, PSD) を算出した。この PSD に対して Spectral parameterization [3] を適用し INT を推定した。

2.3 統計検定

本研究では統計検定に線形混合モデルを用いた。

$$y = X\beta + Zu + \epsilon$$

ここで、 y は従属変数、 X, Z はデザイン行列、 β は固定効果、 u は変量効果、 ϵ は誤差である。本研究では INT を従属変数 y に、睡眠ステージを固定効果 β に、実験参加者を変量効果 u に設定した。このモデルを電極ごとにあてはめた後、睡眠ステージ間で差があるか検証するため一要因分散分析を行った。次いで事後検定を行い、どの睡眠ステージ間で差があるかを検証した。電極間・比較ペア間の多重比較については False discovery rate の補正 [4] を適用した。

3 実験結果

INT の平均値の分布を図 1 に示す。図中の白色の点は脳波の電極位置を表す。一要因分散分析の結果すべての電極で睡眠ステージ間の有意な差が見られた ($F=67.717\sim 431.353$, $p<0.001$)。事後検定により睡眠ステージが深くなるほど INT が長くなることが再現された。N3 では他の睡眠ステージよりもすべての電極で INT が長くなったが、他の 4 つの睡眠ステージ間では多くの場合側頭部や前頭部の電極において有意差が認められなかった。また、REM と N2 の INT の比較ではすべての電極で有意差は認められなかった ($Z=-1.037\sim 1.048$, $p=0.343\sim 0.990$)。

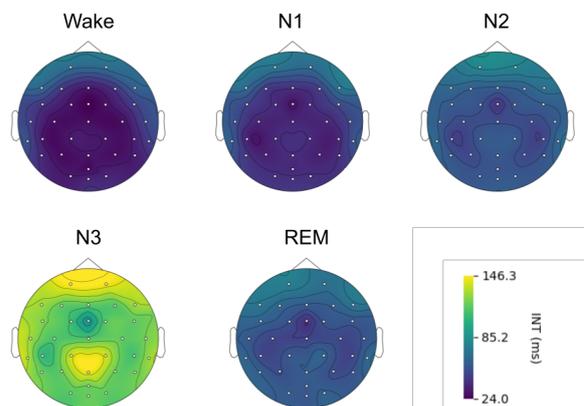


図 1 INT の分布

4 まとめ

本研究では睡眠ステージの推移に伴う INT の変化の空間的な分布の違いについて検証した。その結果、N3 との比較を除き、ほぼすべての睡眠ステージ間において側頭部や前頭部の電極では有意差が認められなかった。このことから側頭葉や腹側前頭葉では睡眠ステージの変化によって活動の持続性が変化しない可能性が示唆された。

参考文献

- [1] F. Zilio et al., 2021, NeuroImage, 226:117579.
- [2] A. Supratak et al., 2017, IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., 25(11):1998-2008.
- [3] T. Donoghue et al., 2020, Nat. Neurosci., 23(12):1655-1665.
- [4] Y. Benjamini and Y. Hochberg, 1995, J. Royal Statistical Soc. Ser. B Methodol., 57:289-300.