

夜間睡眠ステージと固有神経時間スケールの時空間的変動との関係： 128ch-EEG による解析

1240330 瀬川 大智

【 認知神経科学研究室 】

1 はじめに

固有神経時間スケール (Intrinsic neural timescales, INT) とは神経集団の活動の持続性を表す指標である。先行研究 [1] によって INT は睡眠ステージが深くなる程長くなることが報告されたが、昨年の研究 [2] では前頭部や側頭部において睡眠ステージの変化により INT の長さが変化しない可能性が示唆された。本研究ではより細かな脳領域間での INT 分布の違いを検証するために 128 電極の脳波計を用いて夜間睡眠データの計測を行い、脳表レベルでの解析を行った。

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の男子学生 6 名 (平均年齢 20.5 歳) が参加した。

2.2 実験手順

本研究では参加者にシールドルーム内にて約 8 時間の夜間睡眠を 2 夜続けて取ってもらった。また、睡眠前後には三次元電極位置計測装置 (Polhemus 社製 PATRIOT) を用いて電極位置情報を記録した。1 日目のみ脳波計装着前に、3T MRI (SIEMENS 社製 Prisma) による脳構造画像の撮像を行った。

2.3 解析

本研究では 128 電極の脳波計システム (Brain Products 社製 BrainCap) を用いて睡眠中の脳波の計測を行った。得られた脳波データを 30 秒毎に分割し、CRNNeeg[3] を用いて覚醒 (Wake), N1, N2, N3, 急速眼球運動 (REM) の 5 段階に分類した。前処理後、beamformer 法を用いて脳表上の候補地点 (vertex) 約 7,500ヶ所における活動波形の推定を行った。その後 Welch 法によってパワースペクトル密度 (PSD) を算出し、これに対し FOOOF[4] を適用することで INT の推定を行った。

2.4 統計検定

Human Connectome Project の脳領域ラベル [5] を使用し、脳領域毎に検定を行った。統計検定には線形混合モデルを採用した。従属変数には INT, 固定効果に睡眠ステージ, ランダム効果に参加者 ID と vertex 番号を設定した。まず 5 つの睡眠ステージ間に有意差があるかを確認するために 1 要因分散分析を実施した。その後、睡眠ステージ間で有意差を検証するために事後検定を行った。また、どちらの検定に対しても多重比較の補正 (False discovery rate の調整 [6]) を行った。

3 実験結果

各睡眠ステージの平均 INT を図 1 に示す。図は右半球の外側を表す。1 要因分散分析の結果、頭頂葉や前頭葉内側の一部を除く脳領域で有意差が認められた ($F=5.07 \sim 998.59, p<0.05$)。事後検定の結果、前頭葉では睡眠ステージが深くなる程 INT が短くなることが示された。REM に関して N2, N3 との比較では前頭葉と側頭葉の一部において N2, N3 の INT の方が有意に短かった。また N2 との比較では他の領域には有意差が認められなかったが、N3 との比較では後頭葉の INT は N3 で有意に長かった。REM と N1 の比較では前頭葉や側頭葉の一部でのみ有意差が認められた。

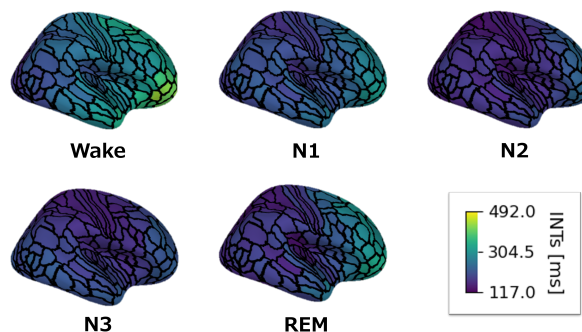


図 1 各睡眠ステージの平均 INT

4 まとめ

本研究では睡眠段階間の INT 分布の違いを脳表レベルで検証した。その結果前頭葉では睡眠ステージが深くなる程 INT が短くなることが示され、先行研究とは異なる結果が得られた。また REM と N1 の比較では、頭頂葉や側頭葉の一部を除いた広い領域で有意差が認められなかった。このことから REM と N1 の脳活動の状態が似ている可能性が示唆された。

参考文献

- [1] F.Zilio et al., 2021, NeuroImage
- [2] 松田 郁人, “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”, 令和 4 年度高知工科大学修士学位論文
- [3] M.A. Jaoude et al., 2020, SLEEPJ
- [4] T. Donoghue et al., 2020, Nat. Neurosci.
- [5] M.F. Glasser et al., 2016, Nature
- [6] Y. Benjamini and Y. Hochberg, 1995, J. Royal Statistical Soc. Ser. B Methodol.