

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：63905

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04024

研究課題名(和文) 経頭蓋磁気刺激-脳波計測による運動系と視覚系の情報統合能の比較

研究課題名(英文) Comparison of the capacity to integrate information in motor and visual systems by TMS-EEG concurrent recordings

研究代表者

北城 圭一 (Kitajo, Keiichi)

生理学研究所・システム脳科学研究領域・教授

研究者番号：70302601

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：視覚ターゲットの左右視野をまたぐトラッキング課題による半球間情報統合能力を調べ、脳波位相同期ネットワークによる機能結合との関連を定量化した。個人差の観点で脳波の左右半球間の位相同期様相と知覚の行動パフォーマンスとの関連をみた。左右のhMT+近辺の電極の脳波信号間のガンマ波帯域での半球間位相同期度と左右視野をまたぐトラッキングの各個人の課題成績との相関傾向がみられた。今後は運動系の半球間統合課題の実験も進め、さらに経頭蓋磁気刺激-脳波実験を組み合わせることにより、有効結合を定量化し、運動系と視覚系における左右半球間の同期ネットワークによる情報統合能の個人特性の統合的な理解を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳の位相同期ネットワーク結合の個人差を精度高く定量化する実験と解析手法開発が本研究によって進展した。脳卒中をはじめとする神経・精神疾患では脳波でみられる半球間を含む大域的なネットワーク結合が健常者と比べて、低下していることが明らかになっている。遠隔脳領域間の情報統合に関するネットワークの不全や変容を精度高く定量化する手法の確立により、神経・精神疾患の病態の理解やネットワークの評価、新規ニューロリハビリテーション手法への応用等の貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：We examined interhemispheric integration capacity through visual target tracking tasks spanning the visual hemifields and quantified functional connectivity via EEG phase synchronization networks. We examined the relationship between interhemispheric phase synchronization of EEG and the perceptual performance from the perspective of individual differences. A correlation tendency was observed between the degree of gamma-band interhemispheric phase synchronization between the EEG signals of electrodes near the left and right hMT+ and the individual task scores of tracking across the left and right visual fields. In the future, we will advance experiments of motor system interhemispheric integration tasks to evaluate effective connectivity, and aim for an integrated understanding of individual characteristics of information integration capacity through synchronous networks in the motor and visual systems by transcranial magnetic stimulation-EEG concurrent recordings experiments.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：脳波 位相同期ネットワーク 有効結合 機能結合 半球間情報統合 個人差

## 1. 研究開始当初の背景

我々は、知覚、認知、記憶等の柔軟な脳機能を実現するために脳の機構的な仕組みとして、脳波レベルでみられる神経活動の振動の位相同期ダイナミクスの機能的意義に注目して研究を行ってきた。複数の脳領域間の機能結合を脳波位相同期解析で定量化し、さまざまな脳機能における情報処理機構としての脳波位相同期ネットワークの役割を明らかにしてきた。また、経頭蓋磁気刺激-脳波計測手法を開発し、経頭蓋磁気刺激は脳波の位相リセットを引き起こすことができ、遠隔脳領域間の位相ダイナミクス上のネットワーク結合を方向に関する情報を含む有効結合として定量化できることをヒトの視覚系で示した。

これらのことから、脳波位相同期ネットワークの機能結合や有効結合を精度高く定量することで、脳機能や脳情報処理の個人特性を高精度で予測できるのではないだろうかという問いを得た。

## 2. 研究の目的

視覚系、運動系において自発脳波活動に経頭蓋磁気刺激を印加し、左右の大脳半球間の脳波位相ダイナミクスのネットワーク上の有効結合を位相リセットの伝搬様相の定量化によって、操作的に定量化する手法を確立する。また、脳梁や視床を介した半球間の情報統合能を要する行動課題を視覚系と運動系で行い、脳波位相同期ネットワークの有効結合や機能結合と脳情報処理特性の関連を検証する。特に、半球間の情報統合を必要とする視覚課題や運動課題のパフォーマンスの個人差に着目し、運動系と視覚系の半球間情報統合能の個人特性の統合的な理解を目指した。

## 3. 研究の方法

視覚系、運動系、それぞれのモダリティで左右半球間の脳機能上の情報統合能を認知、行動パフォーマンスで評価する脳波実験用の課題の構築を進めた。これらの実験課題では同時に脳波も計測し、脳波位相同期ネットワーク様相から左右半球の機能結合を定量化することも考慮に入れ、実験デザインを考案した。

具体的には、視覚系課題について、先行研究を参考に、ディスプレイ上の固視点を注視しながら、左右視野をまたいで複数のターゲットが移動するのを周辺視野でトラッキングする左右半球間統合条件と、左右視野それぞれの中でターゲットが移動するのをトラッキングする左右半球間分離条件の2条件があるトラッキング課題の実装に成功した。この課題の左右半球統合条件では、運動視を処理する脳領域である左右のhMT+が脳波ガンマ波で位相同期ネットワークの同期度の向上が予想される。この実験課題を用いて、高密度脳波計測を行い、解析を進めた。まず、独立成分分析により、脳波に混入するアーチファクトを除去する前処理、さらには電流源密度信号に変換した脳波信号から瞬時位相をウェーブレット変換で抽出した。瞬時位相時系列から位相同期度をphase synchronization index (PSI)で位相同期度を定量化した。個人差の観点で、トラッキングのパフォーマンスとhMT+近辺の電極に着目し、ガンマ波帯域の半球間電極ペアのPSIとの関連を解析した。

また、運動系課題については複数の先行研究を参考に、左右半球間統合条件と分離条件を含む両手協調タッピング課題の脳波実験デザインの検討を進めた。

## 4. 研究成果

視覚系課題において、半球間統合、分離のそれぞれの条件時の半球間の脳波位相同期ネットワークによる機能結合を位相同期指標で精度高く定量化し、個人差の観点で脳波の左右半球間の位相同期様相と知覚の行動パフォーマンスとの関連をみた。

まず、半球間統合条件、分離条件ともに、トラッキングのパフォーマンスには個人間かなりの差がみられた。左右のhMT+近辺の電極の脳波信号間のガンマ波帯域での位相同期度と左右視野をまたぐ半球間統合条件でのトラッキングでの各個人の課題成績との相関傾向がみられた。左右半球の機能結合の個人差が半球間情報統合能と関連していることが示唆された。これらのデータを用いて統計的検定力分析を行い、別途行う本実験に必要なN数を明らかにした。

また、計測に関するノイズ、アーチファクト要因を検証し、眼球運動をEyeLinkシステムで光学的に計測し、固視点から視線がずれて眼球運動が起きた試行を排除することにより、より精度の高い脳波計測解析結果を得るための実験系の構築も行った。

経頭蓋磁気刺激(TMS) - 脳波同時計測実験については、防音シールドルーム実験室の計測環境の整備を進めた。さらに、過去の視覚系実験でのデータ解析手法の詳細の検討を進め、自発活動ネットワークに単発TMSで干渉することで、ターゲットとする大域的な位相同期ネットワークの有効結合をプローブし、可視化する方法論の構築を行った。COVID-19パンデミックの大きな影響があり、運動系の実験やTMS - 脳波実験を思うように進めることができなかったが、今後は視覚課題の本実験に加えて運動系の半球間統合課題の実験も進める。

さらに TMS - 脳波実験を組み合わせることにより、運動系と視覚系における左右半球間の脳波位相同期ネットワークの有効結合も定量化し、情報統合能の個人特性の統合的な理解を目指す。

脳卒中をはじめとする神経・精神疾患では脳波でみられる半球間を含む大域的なネットワーク結合が健常者と比べて、低下していることがこれまでの我々のグループのものをはじめとする先行研究によって明らかになっている。本研究で行った遠隔脳領域間の情報統合に関するネットワークの不全や変容を精度高く定量化する手法の確立により、神経・精神疾患の病態の理解やネットワークの評価、新規ニューロリハビリテーション手法への応用等の貢献が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 北城圭一
2. 発表標題 rTMS-EEG同時計測による非線形神経ダイナミクスへの摂動的アプローチ
3. 学会等名 第117回日本精神神経学会学術総会, シンポジウム11, rTMSの生物学的基盤, TMSを用いた神経生理学的研究と精神科領域への臨床応用（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩原淳, 上原一将, 北城圭一
2. 発表標題 半球間視覚情報統合能力の個人差に関連する脳波位相同期ダイナミクス
3. 学会等名 生理研研究会 第3回 力学系の視点からの脳・神経回路の理解
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Hagihara, Kazumasa Uehara, Keiichi Kitajo
2. 発表標題 The role of gamma-band neural synchronization in the integration of visual information between cerebral hemispheres
3. 学会等名 第11回 生理研-霊長研-新潟脳研 合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萩原淳, 上原一将, 北城圭一
2. 発表標題 半球間視覚情報統合の個人差に関するメカニズムの解明
3. 学会等名 Neuro2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北城圭一
2. 発表標題 TMS-EEG同時計測による脳律動研究
3. 学会等名 第52回日本臨床神経生理学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Makoto Hagihara, Kazumasa Uehara, Yuka Okazaki, Keiichi Kitajo
2. 発表標題 Gamma-band phase synchronization mediating visual information integration between the cerebral hemispheres
3. 学会等名 KUCM-YUCM-YUCD-NIPS joint symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北城圭一
2. 発表標題 TMS-EEG計測による脳ダイナミクスのプロープ手法の提案
3. 学会等名 日本臨床神経生理学会学術大会第50回記念大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	岡崎 由香	生理学研究所・システム脳科学研究領域・助教	
	(Okazaki Yuka)		
	(10718547)	(63905)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	上原 一将  (Uehara Kazumasa)  (90746661)	生理学研究所・システム脳科学研究領域・助教     (63905)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関