

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：63905

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13163

研究課題名(和文) 知覚・認知に関わる脳領域間結合の解析法の網羅的比較

研究課題名(英文) Comparison of MEG/EEG inter-regional connectivity metrics

研究代表者

木田 哲夫 (Kida, Tetsuo)

生理学研究所・システム脳科学研究領域・特任准教授

研究者番号：80419861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：知覚・認知の成立には脳活動だけでなく様々な神経回路間での信号の相互伝達が必要である。近年、様々な認知課題遂行中の脳領域間結合が検証されているが、結合解析法は多数提唱されており、統一的な見解は得られていない。本研究では、課題遂行中の脳磁場データから計算した様々なタイプの脳領域間結合指標を網羅的に検討することを目的とする。方向性を持たない機能結合の指標ならびに方向性を有する有効結合の指標を評価した。その結果、振幅相関法の再現性が他の指標より高く、かつ信号源漏れの影響が無いと考えられた。この知見は脳領域間結合を利用する際の判断基準のひとつになると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Magnetoencephalography (MEG) is an invaluable neuroscientific tool for unveiling human neural dynamics in three dimensions including time, frequency and space. Recently, brain connectivity has got much attention in MEG community, and a large number of connectivity estimation methods are available to researchers. These methods assess spectral coherence, phase delay consistency and the amplitude coupling. Some of these methods examine directionality or causal relation. However, there are several issues regarding spatial leakage such as field spread and source leakage, which can overestimate connectivity values. In the present study we compared several connectivity metrics computed from MEG data to provide guidance to the researchers who are interested in the MEG connectivity. The result indicates that a power correlation metric, which is insensitive to spatial leakage, shows the best reproducibility. The present study provides important criteria for inter-regional connectivity metrics.

研究分野：認知神経科学、生理心理学

キーワード：脳領域間結合 脳磁図 注意

1. 研究開始当初の背景

脳波 (Electroencephalography : EEG) および脳磁図 (Magnetoencephalography : MEG) は時間解像度、周波数解像度に優れ、脳活動の動態を検証する有効な手段として利用されている。EEG および MEG を含む、非侵襲的脳活動計測法では、課題遂行に伴う脳活動の増減や様々な疾患における脳活動の増減が古くから検証されてきた。

一方、知覚や認知の成立には、脳活動の変化だけでなく様々な神経回路間での信号の相互伝達が必要である。近年、安静時ならびに認知課題遂行中の脳領域間機能結合・有効結合の研究が盛んであるが、結合解析法は多数提唱されており、統一的な見解は得られていない。特に EEG や MEG では容積伝導の影響や基準電極、信号源漏れ等の問題が古くから指摘されており、どの結合解析法を選択すべきかは極めて重要な問題である。

2. 研究の目的

本研究は、課題遂行中の EEG や MEG データにおける脳領域間結合の指標を網羅的に解析し、評価することを目的とする。

3. 研究の方法

被験者は健康成人男女とする。脳磁場の計測には 306 チャンネル全頭型脳磁計を用いて、サンプリング周波数 1000 Hz、バンドパスフィルター 0.1 Hz ~ 200 Hz で計測する。電子機器等の環境ノイズによる影響を避けるため、脳磁場計測は磁気シールドルーム内で行う。脳磁場計測に先立ち、頭部位置計測コイル (Head position indicator coils: HPI コイル) を頭部に装着し、3次元デジタルイザナーを用いて頭部の基準となる3点 (nasion、左右の耳介前点) およびそれらに対する HPI コイルの位置をデジタル化する。脳磁計の磁場センサー (デューワー) 座標に対する HPI コイルの位置を計測し、頭部座標系と脳磁場センサー座標系との対応付けを行う。またこれらの座標と MRI 座標との間の対応付けはオフライン解析において行う。

シールドルーム外に設置したデジタル光処理 (DLP) プロジェクターからシールドルーム内に設置したスクリーンに視覚画像を投影することにより視覚刺激を提示する。刺激は時間的に間隔を設けたペアとして提示する。第1刺激 (手がかり刺激) として2種類の特徴のうちどちらの特徴に注意を向けるかを指示する文字を提示する。1.5秒後に第2刺激 (標的刺激) として2種類の特徴を有する視覚刺激を1.5秒間提示する。2種類の特徴のうちいずれかの特徴が変化するので、被験者はこの特徴の変化を識別し、標的としてボタン押し反応により検出する。脳磁場信号は課題遂行中、継続的に計測し、オフライン解析で各試行のデータを切り出す。第1刺激提示時点から第2刺激提示時間までの区間を注意制御区間とする。解析とし

て、信号源解析および脳領域間結合解析を行う。解析には、主に数値解析プログラミング言語 Matlab を用いる。個人解析は標準脳から非線形ワープした個々人の脳で行い、グループデータ解析の結果を標準脳上に表示する。脳領域間結合の指標として、コヒーレンス、コヒーレンシー虚数部、位相同期、位相差、重み付き位相差、振幅相関、位相勾配、部分有向コヒーレンスを求めた。注意課題遂行中の注意制御区間における MEG データについて、試行をランダムに選択し、被験者毎に同一の実験条件から2種類のデータを得た。各々のデータについて結合指標を全脳網羅的に計算した後、2データ間の相関係数を求め、各々の結合指標の再現性の指標とした。

4. 研究成果

再現性は、コヒーレンス、位相同期で極めて高かった。しかし、これは信号源漏れによる疑似結合と推測される。また、振幅相関、位相差、重み付き位相差でも再現性は高かった。これらの指標は、コヒーレンスや位相同期と異なり、信号源漏れの影響を受けない。これらの中では、わずかではあるが、振幅相関の再現性が最も高かった。これら機能結合の指標各々から計算したネットワーク特性 (中心性) とパワー値の分布を比較したところ、疑似結合をもたらず可能性のあるコヒーレンスではパワー値と類似の分布が認められた。これに対し、振幅相関、位相差、重み付き位相差ではパワー値とは異なる分布が認められた。

機能結合 (無向結合) の指標と比較すると、有効結合 (有向結合) の指標では全体的に再現性が低かった。部分有向コヒーレンスのほうが位相勾配よりも再現性は高かったが、部分有向コヒーレンスは信号源漏れの影響を完全に排除できない点に留意する必要がある。位相勾配は信号源漏れの影響を受けず、かつ有効結合を検証できる数少ない指標のひとつであるが、再現性は最も低かった。ただし、機能結合と有効結合は質的に大きな相違があるため、単純に比較することはできない。

本研究結果は MEG データや EEG データに対して脳領域間結合解析を行う際の重要な基準を与える知見と考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

Tanaka E, Kida T, Kakigi R, Hoshiyama M. Neuroscientific evidence for multisensory convergence and interaction. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 6(5), 2017,

301-310. doi: 10.7600/jpfsm.6.301.
(査読無)

Wasaka T, Kida T, Kakigi R. Facilitation of information processing in the primary somatosensory area in the ball rotation task. *Scientific Reports*, Nov 14;7(1):2017, 15507. doi: 10.1038/s41598-017-15775-x. (査読有)

Kida T, Tanaka E, Kakigi R. Attention as a determinant of task performance: From basics to applications. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 6(2), 2017, 59-64. doi: 10.7600/jpfsm.6.59. (査読無)

Kida T, Tanaka E, Kakigi R. Multi-dimensional dynamics of human electromagnetic brain activity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 2016, 713. doi: 10.3389/fnhum.2015.00713 (査読有)

Kida T and Kakigi R. Neural mechanisms of attention involved in perception and action: From neuronal activity to network. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 4(2), 2015, 161-169. doi: 10.7600/jpfsm.4.161 (査読有)

[学会発表](計 22件)

Kida T, Tanaka E, Kakigi R. Selectivity of tactile attention: an MEG study. 31th International Congress of Clinical Neurophysiology (ICCN2018), Washington DC, USA, 2018.5.1-6

Kida T, Tanaka E, Kakigi R. Selectivity of tactile attention: an MEG study. 7th CIN-NIPS joint symposium. National Institute for Physiological Sciences, Okazaki, Japan, 2017.11.28-29.

Kida T, Tanaka E, Kakigi R. Selectivity of tactile attention: an MEG study. 6th Asian-Oceanian Congress of Clinical Neurophysiology (AOCCN2017), Bengaluru, India, 2017.11.9-12 (学会賞受賞)

木田哲夫. 脳磁図におけるネットワーク解析. 名古屋大学脳とこころの研究センターサマースクール 良く分かる脳イメージングセミナー. 2017.08.19 (愛知、名古屋、名古屋大学)

Kida T, Tanaka E, Kakigi R. Selectivity of somatic-motor interaction: an MEG study. Biomagnetic Sendai 2017, Sendai, Japan, 2017.5.22-24

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 (2017.11.29-12.1) 体性感覚系と運動系の相互干渉作用における選択性: 脳磁図による検証. 第47回日本臨床神経生理学学会学術大会(横浜)

和坂俊昭、木田哲夫、柿木隆介 (2017.11.29-12.1) 手掌ボール回し課題時における体性感覚誘発磁場の変動. 第47回日本臨床神経生理学学会学術大会(横浜)

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 (2017.9.9) 触覚性注意の分布様式: 脳磁図による研究. 名古屋大学一生理学研究所合同シンポジウム(愛知、岡崎、生理学研究所)

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 (2016.11.4-5) 触覚性注意における指選択性: 脳磁図による検証. 第63回中部日本生理学学会

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 (2016.10.27-29) 触覚性注意効果の分布様式: 脳磁図による検証. 第46回日本臨床神経生理学学会学術大会

Kida T, Tanaka E, Kakigi R. Selectivity of tactile attention: an MEG study. *The 20th international conference on biomagnetism (Biomag2016)*, Seoul, South Korea, 2016.10.1-6

Kida T. MEG analysis of attentional modulation and control. 6th CIN-NIPS joint symposium. University of Tuebingen, Tuebingen, German, 2016.10.10-11.

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 (2016.9.23-25) 手指動作における感覚運動調節機構の空間的勾配. 第71回日本体力医学大会(岩手)

和坂俊昭、木田哲夫、柿木隆介 (2016.7.23-24) 手指ボール回し課題時の感覚運動領域の活動特性. 第24回日本運動生理学学会大会(熊本)

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 (2016.6.9-10) 触覚性注意の指選択性. 第31回日本生体磁気学会大会(金沢).

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介. 注意制御に関わる脳内ネットワーク特性の時空周波数動態. 自然科学研究機構プロジェクト「自然科学研究における国際的学術拠点の形成」「脳神経情報の階層的研究」「機能生命科学における揺らぎと決定」生理学研究所概算要求プロジェクト「ヒトとモデル動物」3プロジェクト合同終了シンポジウム「次ステージ機能生命科学の展望」(愛知県、岡崎市、岡崎カンファレンスセンター). 2016.3.10

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介. 注意制御に関わる脳内ネットワーク特性の時空周波数動態. 新潟脳研 - 生理研合同シンポジウム(愛知県、岡崎市、岡崎カン

ファレンスセンター) . 2016.3.1-3
木田哲夫 . 注意のメカニズムを脳波と脳磁図で探る : 振幅からネットワークへ . 第 45 回日本臨床神経生理学会学術大会奨励賞受賞講演 (大阪府、大阪市、大阪国際会議場) . 2015.11.05

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 . 注意課題遂行に伴う脳内ネットワーク機能的特性の時空周波数動態 . 第 45 回日本臨床神経生理学会 (大阪府、大阪市、大阪国際会議場) . 2015.11.5-7

木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 . 注意制御を司る脳の機能的ネットワーク特性のダイナミクス . 第 70 回日本体力医学会大会 (和歌山県、和歌山市、和歌山県民文化会館) . 2015.9.18-20

- 21 木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 . 注意制御を司る脳ネットワーク特性のダイナミクス . 第 2 回感性脳工学研究会 (若手口頭発表) (静岡県、浜松市、静岡大学浜松キャンパス光創起イノベーション研究拠点) . 2015.9.10-11

- 22 木田哲夫、田中絵実、柿木隆介 . 注意制御に関わる脳内ネットワーク機能的特性のダイナミクス . 第 30 回日本生体磁気学会 (北海道、旭川市、旭川市大雪クリスタルホール) . 2015.6.4-5

〔図書〕(計 2 件)

木田哲夫 . 体性感覚・多感覚 . 生理心理学と精神生理学 第 2 巻第 2 部「認知」 . 鈴木直人、片山順一 (編) . 北大路書房 2017, p.69-74

木田哲夫 . 神経筋系と運動 . 第 11 章 . 運動生理学大辞典 . 田中喜代次、西平賀昭、他 (監訳) . 西村書店 . The Neuromuscular System and Exercise. Essentials of Exercise Physiology. McArdle W.D. 2017, p.301-335

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

木田 哲夫 (Kida, Tetsuo)

生理学研究所・システム脳科学研究領域・
特任准教授

研究者番号 : 8 0 4 1 9 8 6 1