



TITLE:

Comparison of phase synchronization measures for identifying stimulus— induced functional connectivity in human magnetoencephalographic and simulated data(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Yoshinaga, Kenji

CITATION:

Yoshinaga, Kenji. Comparison of phase synchronization measures for identifying stimulus— induced functional connectivity in human magnetoencephalographic and simulated data. 京都大学, 2020, 博士(医学)

ISSUE DATE:

2020-11-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22828>

RIGHT:

Citation to the original source. Title: Comparison of Phase Synchronization Measures for Identifying Stimulus-Induced Functional Connectivity in Human Magnetoencephalographic and Simulated Data. Frontiers in Neuroscience, 19 June 2020. DOI: 10.3389/fnins.2020.00648

京都大学	博士 (医学)	氏 名	吉 永 健 二
論文題目	Comparison of phase synchronization measures for identifying stimulus-induced functional connectivity in human magnetoencephalographic and simulated data (位相同期解析に基づく機能的結合指標の検出能比較-脳磁図データおよびシミュレーションデータを用いた検討)		
(論文内容の要旨)			
<p>脳全体の機能統合という観点から、特に脳イメージングの分野では脳領域間結合の動態を明らかにすることが重要なアプローチと言える。とりわけ機能的結合に基づく脳領域間結合の解析は広く用いられている。機能的結合の代表的手法として位相同期を調べる方法がいくつか提唱されているが、これら手法間の検出能については十分な比較がなされていない。本研究では、過去に知見が得られている体性感覚関連機能的結合を対象に、代表的な位相同期解析法である Imaginary part of coherence (ImCoh)、Imaginary part of phase-locking value (ImPLV)、Phase lag index (PLI)、Weighted phase lag index (wPLI) を比較検討した。</p> <p>健常被験者を対象に体性感覚刺激(左右母指それぞれへの電気刺激)を行い、刺激中の脳磁図データを記録した。体性感覚誘発磁場から刺激対側の一次体性感覚野に相当するセンサーを選択し、次にこのセンサーを基準とした機能的結合と体性感覚誘発磁場から刺激同側の二次体性感覚野に相当するセンサーを選択した。次に試行数をパラメータとして実データから試行を取り出し、センサー間の機能的結合(FC)を4つの手法で求めた。刺激関連脳活動の比較データとして、対側刺激時の同センサーデータのランダムな時点から試行データを取り出すことで、安静時データと同じ特性をもつ試行データを作成した(代用データ)。この代用データを用いて同様に4つの手法を用いてFCを計算した。代用データを繰り返し作成して、各手法の安静時機能結合に相当するFC値の分布を求め、この分布をもとに実データのFC値を検定した。多重比較問題は、閾値上FC値をもつピクセルのクラスターサイズを統計量とすることで解決した。この際のクラスターサイズの統計分布も代用データを用いて求めた。この手順を繰り返し行い、得られた結果をもとに各手法のFC検出率・偽検出率を求めたところ、ImCoh、続いてwPLIが高い検出率を示した一方で、偽検出率には有意な違いはなかった。</p> <p>高い検出率を呈したImCohおよびwPLIはCross-periodogramの振幅に影響されるため、振幅がこれら違いに影響しているかを検討した。まず事象関連振幅同期の指標としてAmplitude coherence(AC)を計算したが、本データにおいては有意なACを認めなかった。次に振幅と位相角の関係性を調べたところ、FCにおける同期位相角に近いCross-periodogramでは振幅が大きくなる傾向があった。</p> <p>次にImCohとwPLIの違いの要因について、Bootstrap法を用いてFC値の要約統計量(平均、変動係数)を検討した。この結果FC値が大きくなると、ImCohでの平均はwPLIに比べて大きくなり、一方でImCohの変動係数もwPLIに比べて大きくなること分かった。</p> <p>最後に簡単なモデルでCross-periodogramをシミュレートし、上記の解析を行ったところ、シミュレーションデータにおいても同様の結果を再現できた。</p> <p>結論として、代表的4手法においてはImCohが最も高い検出率を示し、それにwPLIが続いた。これは事象関連振幅同期がなくてもみられる傾向であり、Cross-periodogramの同期位相角にかけて振幅が高くなることが要因と考えられた。またImCohとwPLIの違いは、これらより計算されるFC値の要約統計量の傾向が要因であった。シミュレーションの結果もふまえ、本研究の結果はある程度の汎用性をもって他データにも適用できるものと考えられる。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

機能的結合は脳領域間の動的な情報伝達を定量化するもので、神経ネットワーク解析において重要な概念である。信号同士の位相関連を定量化する位相同期指標はその代表的な手法であり、いくつかの指標が提案されているが、ヒト脳機能データにおけるこれら指標の優劣性について十分に検討されたものはない。

本研究では、体性感覚刺激による一次および二次体性感覚野間の誘発機能的結合を脳磁図で計測し、4つの代表的な位相同期指標の検出能について比較検討した。結果としてimaginary part of coherence、続いてweighted phase lag indexが高い検出能を呈した。次にこれら2指標の高い検出能の要因に、指標を計算する過程での振幅による適切な重み付けが関与していることを示した。また2指標間の検出能の違いとして、複数の時間・周波数領域にまたがる機能的結合を扱う場合にはimaginary part of coherenceの特性が有利に働くことを示した。以上から、ヒト脳機能データにおける時間・周波数領域での機能的結合の評価にはimaginary part of coherenceが有利であると考えられた。本研究はヒトから計測した実データを用いて位相同期指標の検出能を比較した初めての研究である。

以上の研究は、ヒト脳機能データにおける位相同期手法の応用に貢献し、脳機能ネットワーク解析研究に寄与するところが大きい。

したがって、本論文は博士(医学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、本学位授与申請者は、令和2年9月25日実施の論文内容とそれに関連した試問を受け、合格と認められたものである。

要旨公開可能日： 年 月 日以降