

脳波位相同期を用いたネット ワーク解析

社会医療法人 大道会 森之宮病院
神経リハビリテーション研究部
服部 憲明

兵庫医科大学 2016年度第1回インテンシブコースセミナー 2016.4.13

兵庫医科大学

2016 年度第 1 回インテンシブコースセミナー 2016.4.13

脳波位相同期を用いたネットワーク解析

大道会森之宮病院

神経リハビリテーション研究部

服部憲明

成人の脳においても、脳卒中などによる損傷後に、遺伝子、分子レベルから大域的なネットワークまで様々な段階で可塑的な変化が生じ、機能回復に重要な役割を果たしていることが明らかになってきた。そして、神経系のリハビリテーションの分野では、望ましい方向への可塑的な変化をいかに促進させることができるかが大きな研究テーマとなっている。そのためには、どのように損傷脳の可塑的な状態をとらえるか、ということも重要な研究課題である。脳機能については、単一部位の機能ではなく、多くの部位からなるネットワークの機能としてとらえようとするようになってきており、脳の可塑性もネットワークの機能の可塑性という立場からの検討が試みられている。比較的容易に臨床で実施できるネットワークの機能の評価法としては、脳波や機能的 MRI が挙げられる。

本セミナーでは、まず、日常の様々な場面で見られる位相同期現象について、例を挙げて解説し、次いで、我々が現在取り組んでいる、ヒトの脳活動位相同期ダイナミクス仮説に基づいたリハビリテーションに関する研究について紹介する。この仮説では、振動位相同期が脳部位間のネットワークを形成し、機能的な情報統合の役割を果たすと考えており、脳卒中により様々な症状が出現した場合、その背景にある神経ネットワークの障害を安静時脳波の位相解析で検出できると考えている。

回復期リハビリテーション病棟の脳梗塞患者を対象とし、安静時脳波の電極間位相同期度から大域的ネットワークの指標である半球間位相同期を求めたところ、半球間位相同期は NIH Stroke Scale や日常生活動作の指標である Functional Independence Measure と有意に相関していた。また、位相解析がより限局したネットワークの機能の評価できるかを検討するために、運動ネットワークを例として、片麻痺の重症度の指標である Fugl-Meyer Motor Assessment と、左右の大腦半球の中心溝付近に位置する電極である C3、C4 電極間の位相同期の関連を調べたところ、これらも有意に相関していた。以上の結果から、安静時脳波の位相解析はネットワークの機能の指標として有用であると考えられた。

損傷脳の可塑的变化

- 成人の脳においても、脳卒中などによる損傷後に、機能回復に伴い、遺伝子、分子レベルから形態学的レベルに至るまで様々な段階で可塑的变化が起こることが明らかになってきた。
- 現在は、この可塑的な変化をいかに促進させることができるかが大きな研究テーマとなっている。
 - 十分な量のリハビリテーション
 - 新しい介入方法
 - Constraint induced therapy (CI療法)
 - Neuro-modulation
 - 薬剤
 - 脳刺激(反復磁気刺激、電気刺激)
 - ニューロフィードバック
- 臨床的に、どのように損傷脳の可塑的な状態をとらえるか？

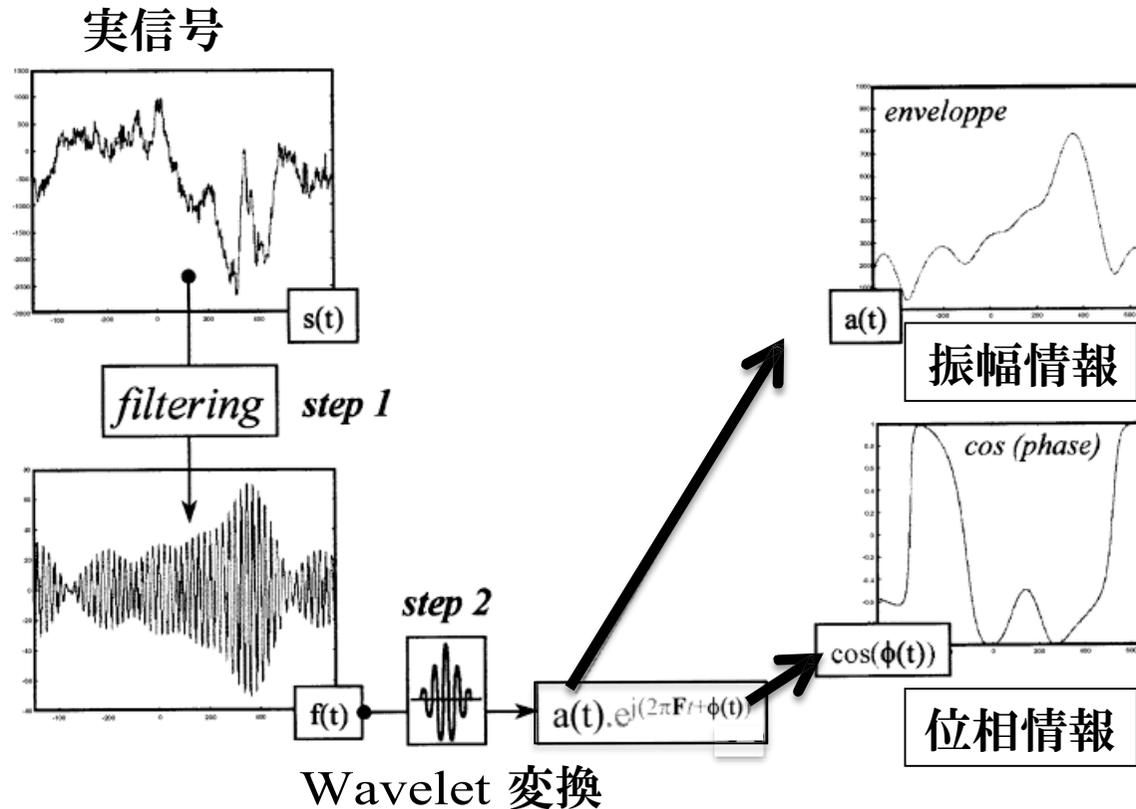
安静時自発脳活動の計測

- 測定方法
 - 脳波、MEG
 - MRI (安静時機能的MRI)
 - 機能的近赤外線スペクトロスコピー (fNIRS)
 - 電気活動と機能画像の同時計測
- リハ医療にとって安静時自発脳活動研究の目指すもの
 - 病態の評価
 - 診察、検査をしなくても障害を把握できるか？
 - 自発活動の揺らぎと症状の関連
 - タスクを与えるfMRIを施行しなくても、賦活パターンが予測できるか？
 - 機能回復の予測
 - 自然回復、リハビリ介入効果を予測できるか
 - 安静時の脳活動、connectivityを操作し、機能回復、症状改善を得られるか？ (ニューロフィードバック)

位相同期

- 同期現象
- 位相同期
- 同期振動仮説

位相同期 (Phase synchrony) 解析



Lachaux et al., Human Brain Mapping 1999

- 実信号から位相情報のみを抽出

位相同期度の指標: PSI

Wavelet あるいは Hilbert 変換で周波数別の脳波信号の瞬時位相を取り出したあとに2つの脳波瞬時位相時系列から位相同期度を計算。

PSI (Phase Synchronization Index) : synchrony measure

$$PSI(f, t, \hat{\phi}_{ch1, ch2}) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T e^{i\phi(f, t, n)} \right|$$

N : the number of trials

T : the number of time points in a PSI window

ϕ_{ch1}, ϕ_{ch2} : instantaneous phase difference between two channels

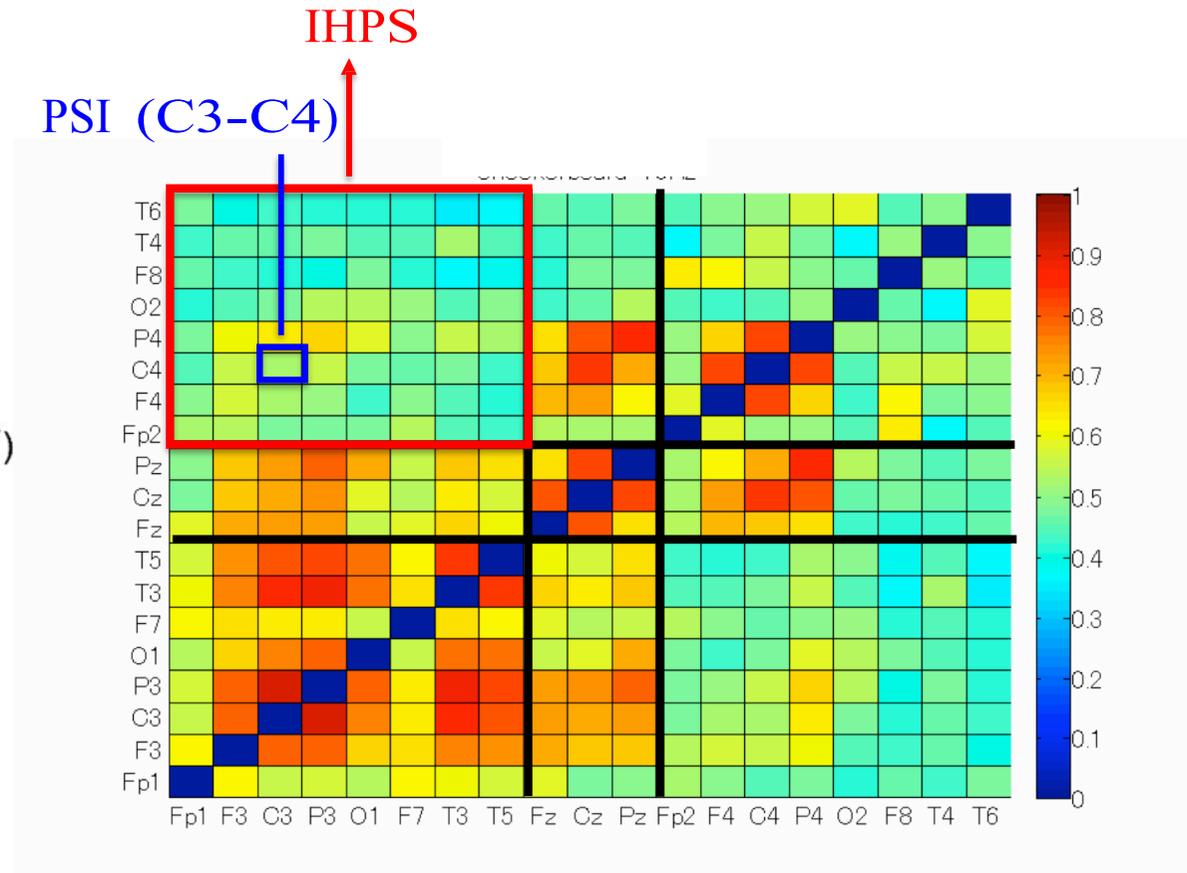
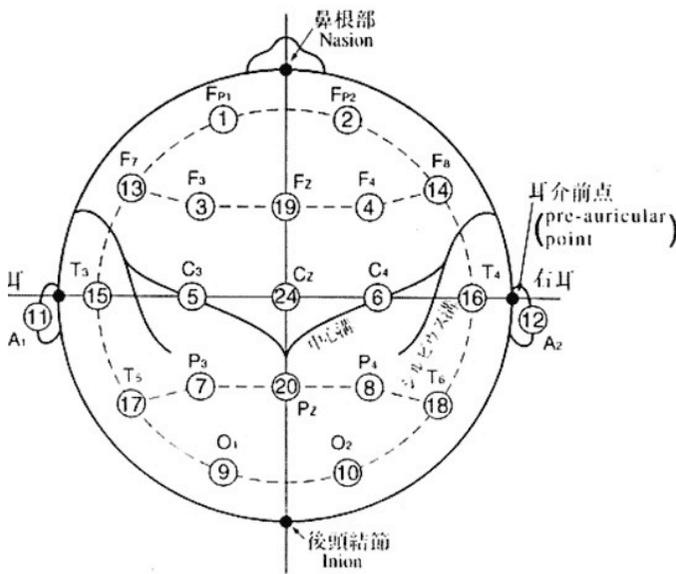
f : frequency

自発活動の脳波信号ペアの位相同期度を定量化

$$0 \leq PSI \leq 1$$

位相同期指標

- PSI (Phase synchrony index)
 - 特定の電極間
 - 例: C3-C4
- IHPS (Interhemispheric phase synchrony index)
 - 左右半球間のPSIの平均



脳梗塞患者における脳波位相同期と 臨床指標の関係の検討

- 日常生活動作 (ADL) と大域的な位相同期の関係
 - ADL と半球間位相同期
- 臨床症状と特定の電極対の位相同期との関係
 - 片麻痺と両側運動野

臨床評価スケール

臨床評価スケール	内容	スコア
NIHSS (NIH Stroke Scale)	幅広い神経症状	0~42
FIM (Functional Independence Measure)	ADL (Activity in Daily Living) 運動(13項目) 認知(5項目) サブスコアを合計	運動:13~91 認知: 5~35 合計:18~126
Fugl-Meyer motor Assessment (FMA)	標準的脳卒中上下肢麻痺スケール 随意運動、協調性、スピード、反射を評価	上肢(UL): 0-66 下肢(LL): 0-34

脳梗塞 脳波位相同期研究

- 日常生活動作指標のFIMと半球間の位相同期指標（IHPS）は有意に相関。
- 片麻痺の重症度の指標であるFMAとC3-C4電極間位相同期（PSI）は有意に相関。
- 10-20法での（約5分間の）臨床脳波データから得られる局所PSIの変化は簡便なネットワークの障害の指標と考えられた。