

瞑想と脳波の時間相関構造 ~経過報告~

齋木 潤

京都大学大学院人間・環境学研究科

アプローチ

- 脳機能計測: fMRI 空間的なネットワーク特性
- 脳機能計測: EEG (MEG) 時間的なネットワーク特性
- 狙い: 瞑想時に脳活動の時間的なネットワーク特性にいかなる変化が生じるのか。

瞑想の脳波実験

- 一貫した結果は得られていない
- EEGの周波数解析
 - α 、 β 、 θ
- 事象関連電位 (ERP)
 - P3a, P3b
- 研究によって異なる結果
 - 異なる瞑想手法
 - 脳波測定手法の違い

自己組織化臨界性

PHYSICAL REVIEW A

VOLUME 38, NUMBER 1

JULY 1, 1988

Self-organized criticality

Per Bak, Chao Tang, and Kurt Wiesenfeld

Department of Physics, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973

(Received 28 August 1987)

We show that certain extended dissipative dynamical systems naturally evolve into a critical state, with no characteristic time or length scales. The temporal “fingerprint” of the self-organized critical state is the presence of flicker noise or $1/f$ noise; its spatial signature is the emergence of scale-invariant (fractal) structure.

自己組織化臨界性

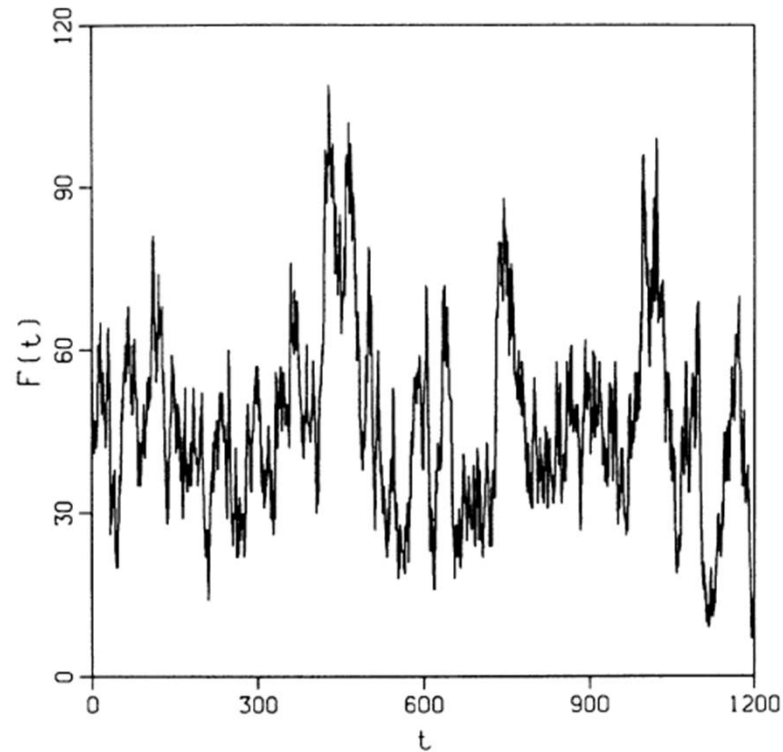


FIG. 6. $F(t)$ generated by superimposing randomly the response represented by the individual clusters for a $20 \times 20 \times 20$ array. Note the fluctuations on a wide range of time scales.

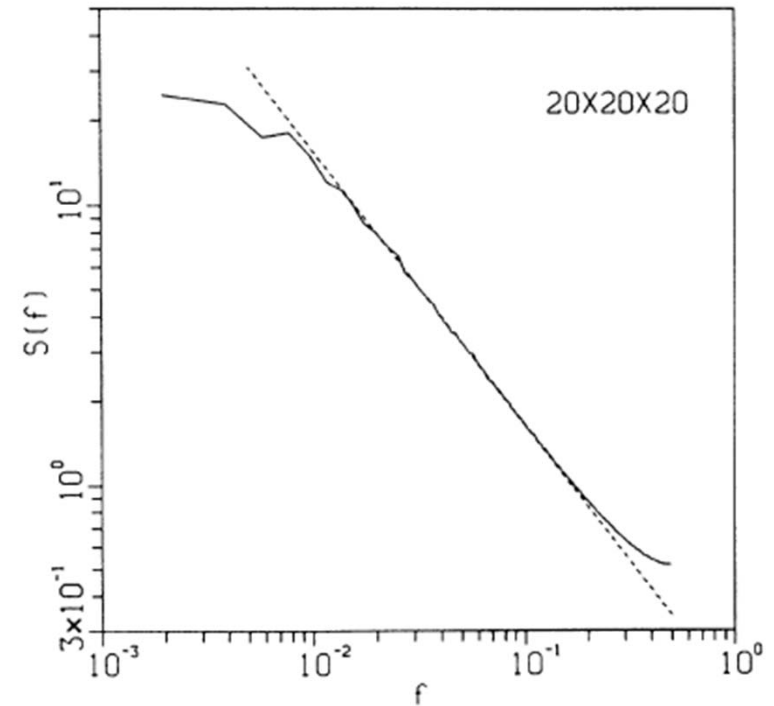
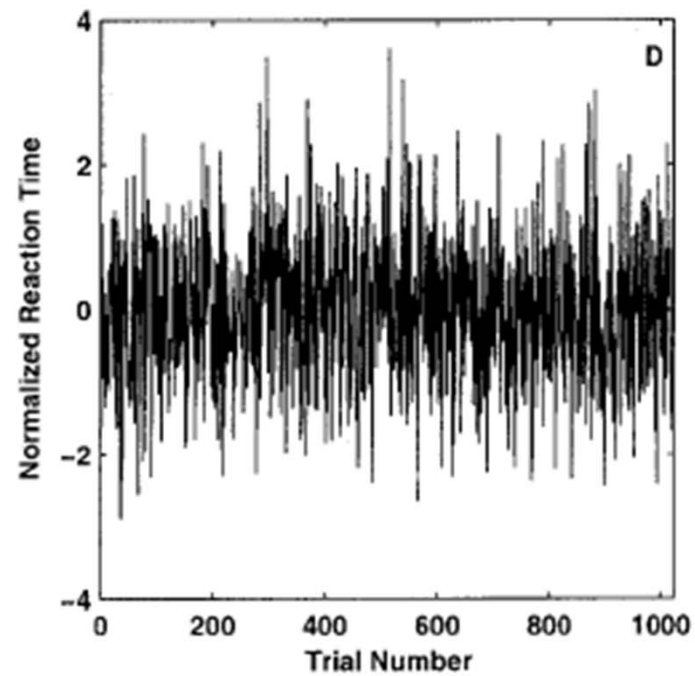
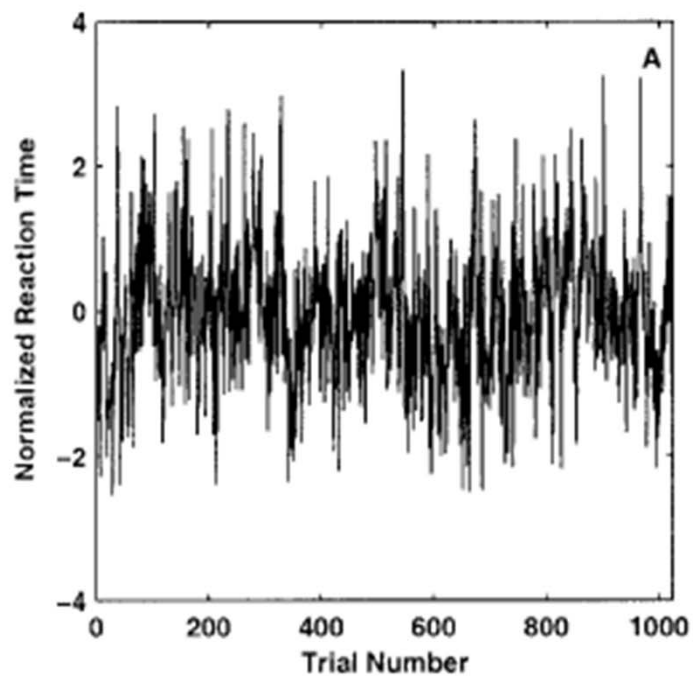


FIG. 7. Power spectrum of the function $F(t)$ depicted in Fig. 6. The spectrum is $1/f$, varying as $f^{-0.98}$. The crossover to white noise at very low frequencies is a finite-size effect.

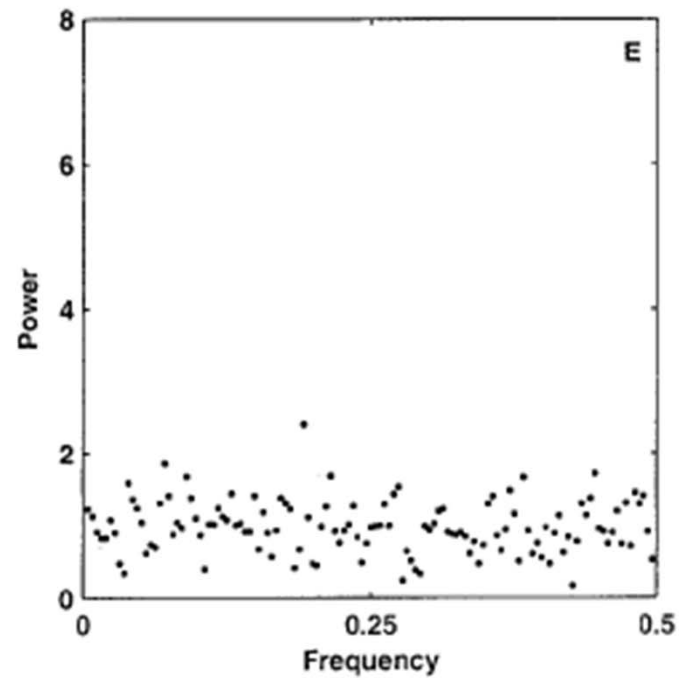
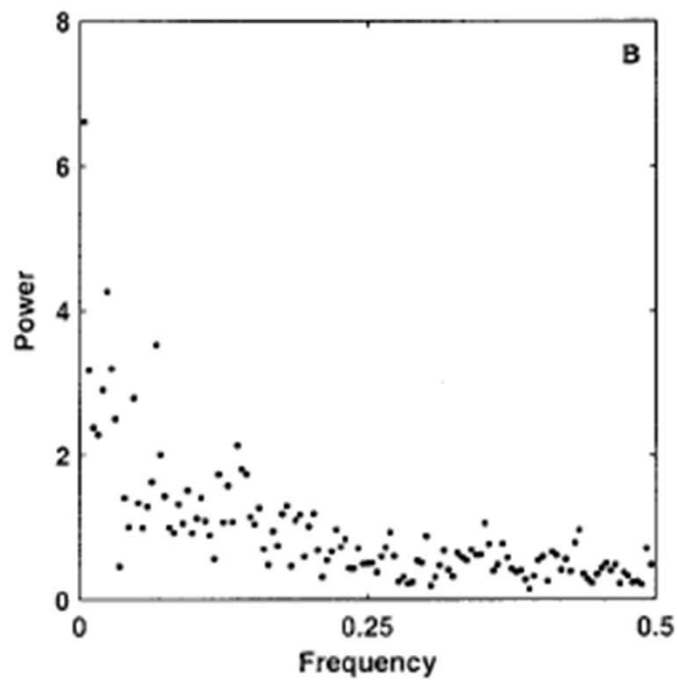
反応時間時系列における相関

- Component-dominant dynamics
- Interaction-dominant dynamics
- 自己組織化臨界性はinteraction-dominant dynamicsを要する
- IDDは自己相似的で正の相関を持つ背景ノイズを生成。

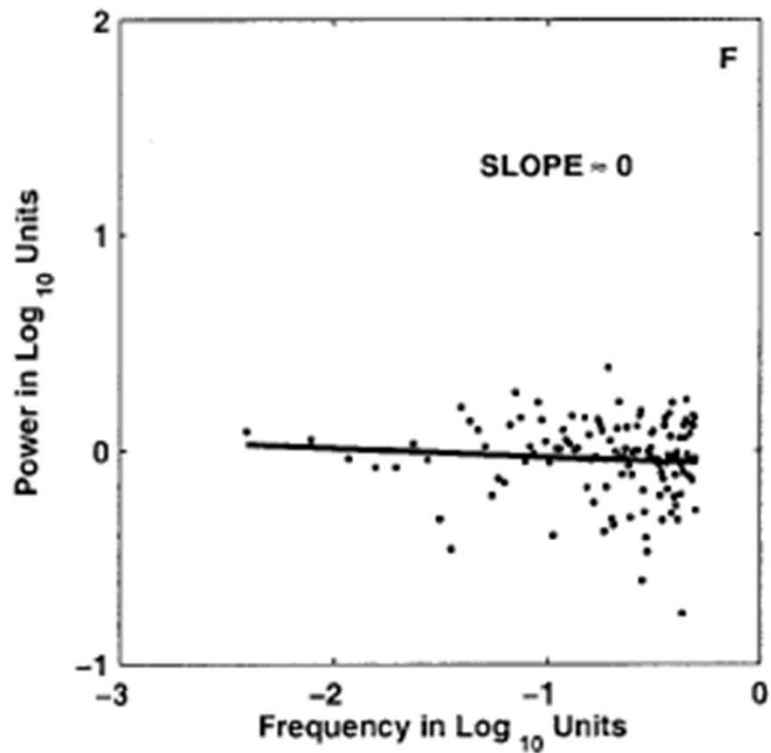
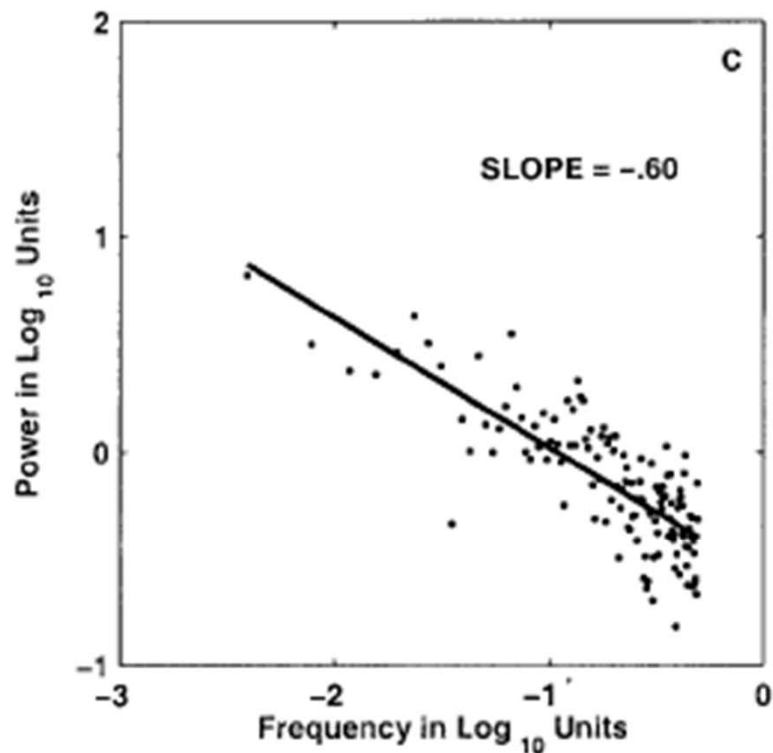
反応時間時系列における相関



反応時間時系列における相関



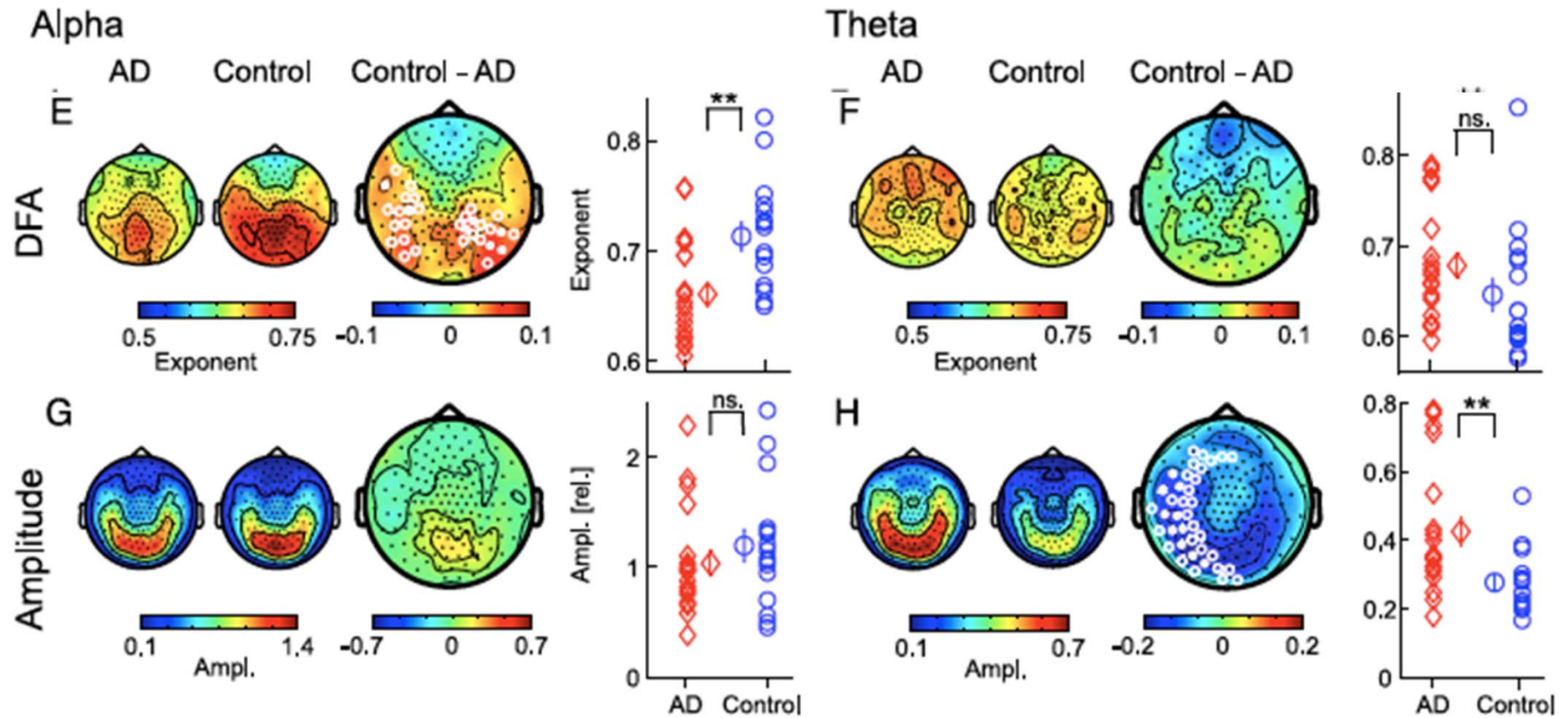
反応時間時系列における相関



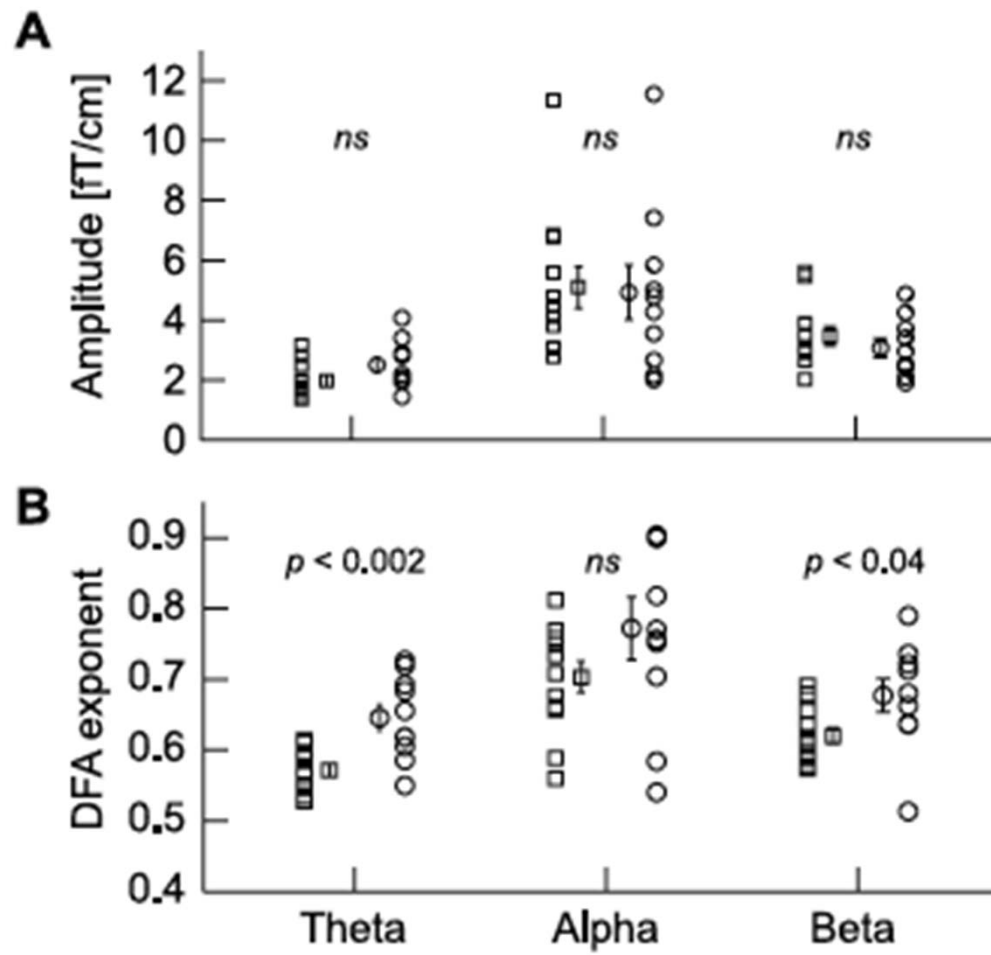
Long-range temporal correlation (LRTC)

- Linkenkaer-Hansen et al. (2001)
 - EEG, MEGにおけるLRTCがスケールフリー性を持つ
- LRTCは個人特性と関連
 - アルツハイマー型認知症で減弱 (Montez et al. 2009)
 - うつ病で消失 (Linkenkaer-Hansen et al. 2005)
 - 統合失調症で減弱 (Nikuline et al. 2012)
- 自己組織化臨界性 (self-organized criticality, SOC): システムの適応的柔軟性を反映

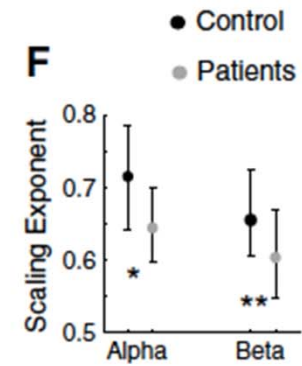
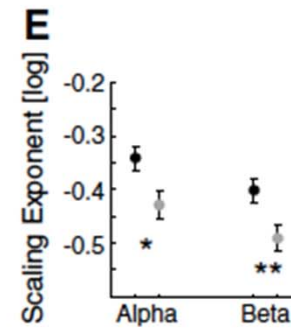
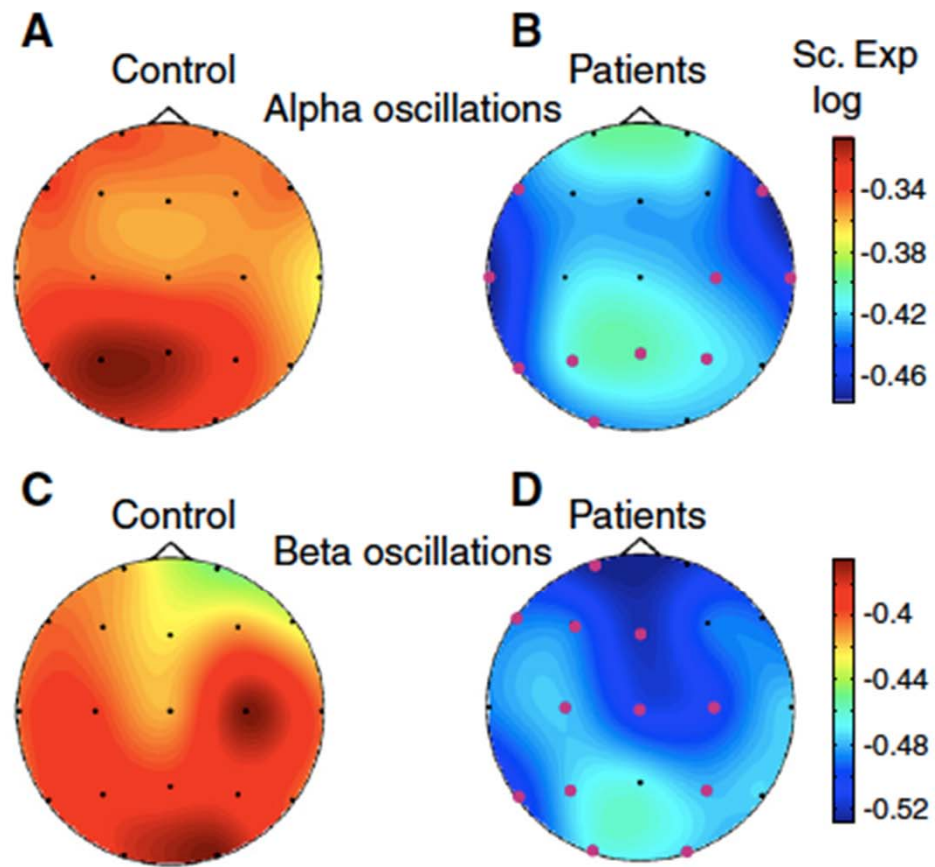
Montez et al. (2009)



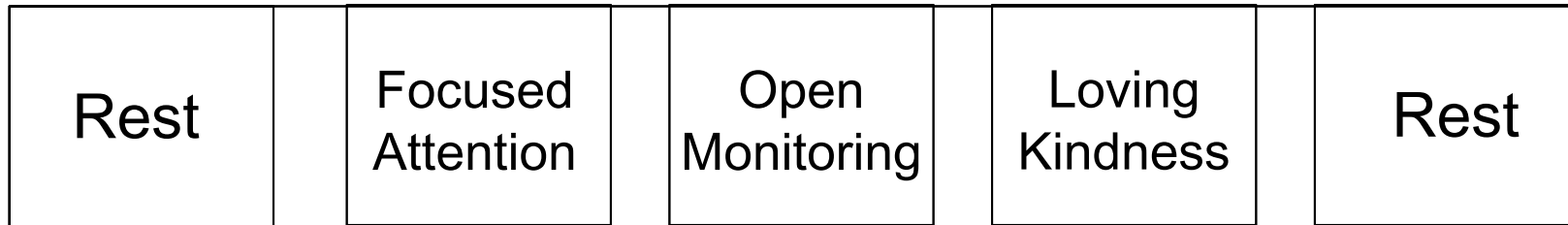
Linkenkaer-Hansen et al. (2005)



Nikuline et al. (2009)



実験手続き

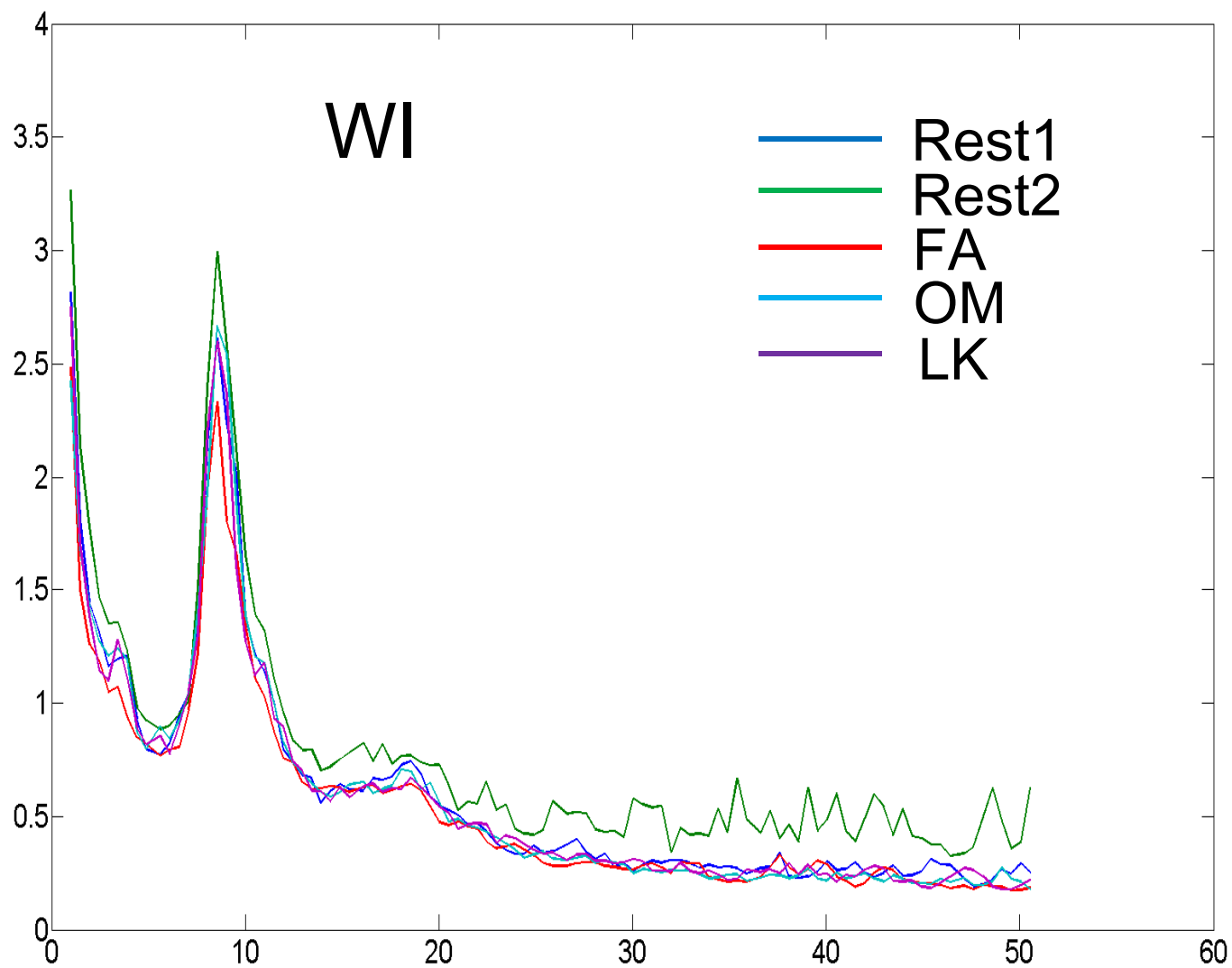


15 min

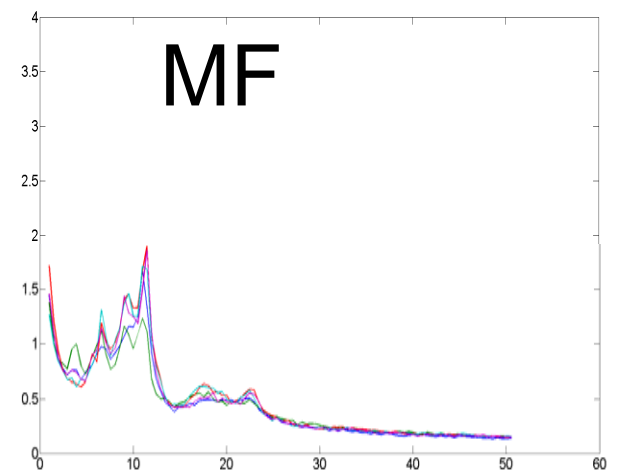
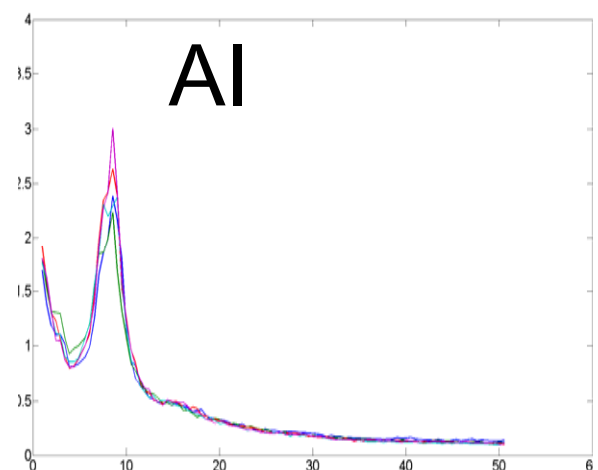
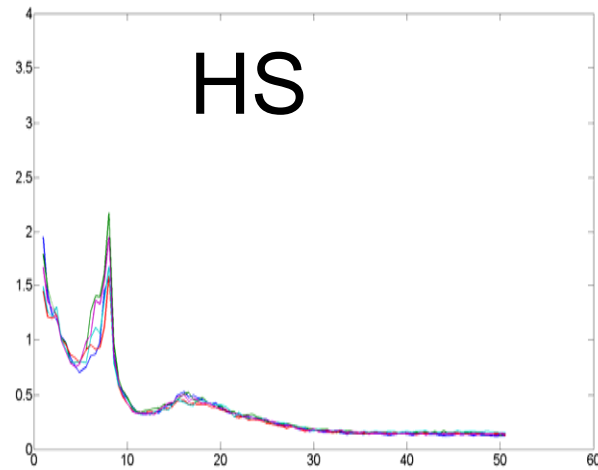
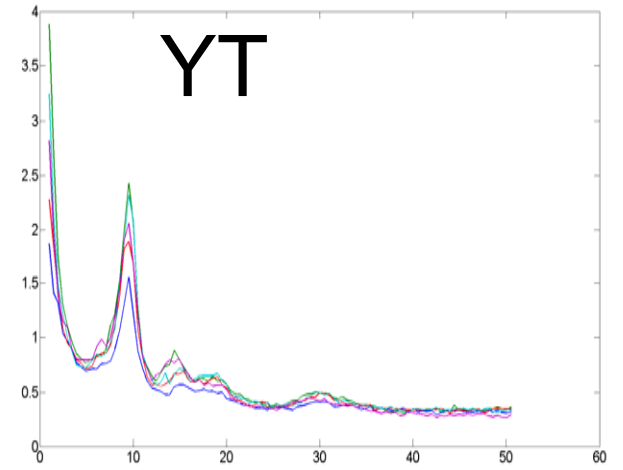
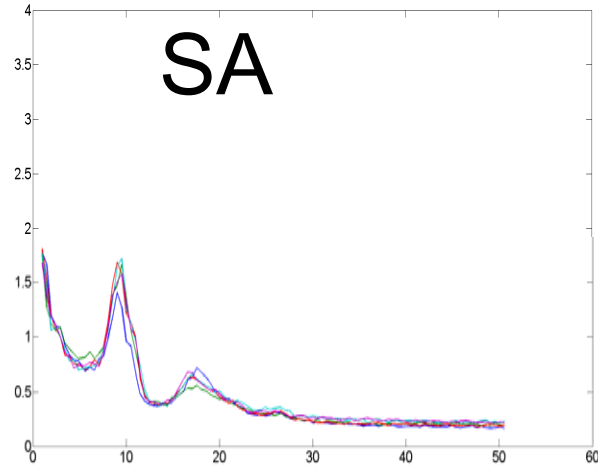
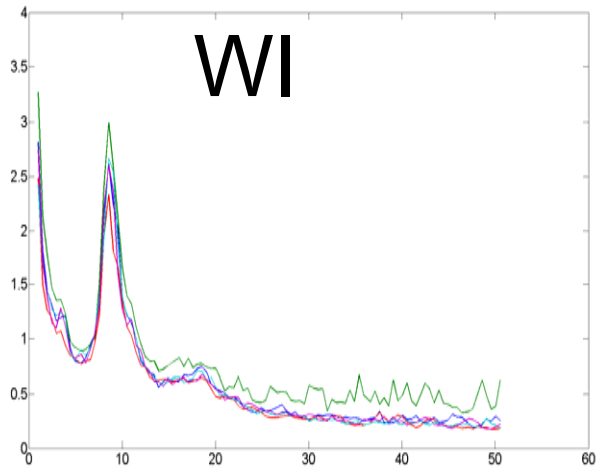
- 閉眼
- 拡張10－20法に基づき29チャンネルで脳波計測
- 眼球運動のモニタのためにEOGを計測
- 畳と座布団を使用

- 指標: DFA
 - 0.5の時時間相関なし、値が1に近いほど強い時間相関
- 協力者: 6名

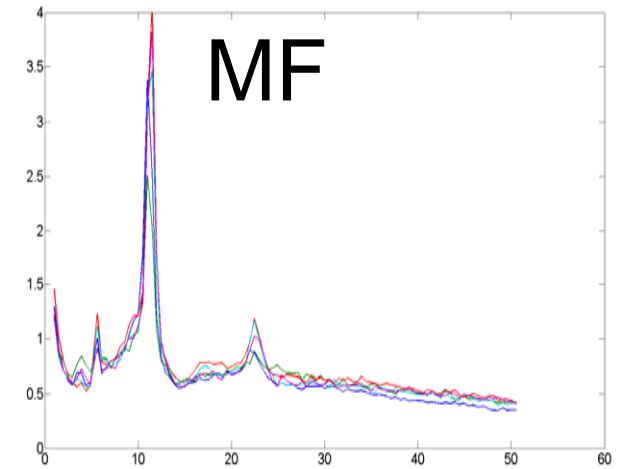
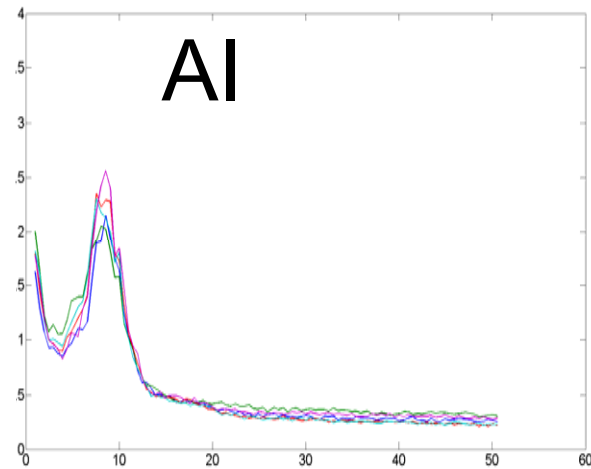
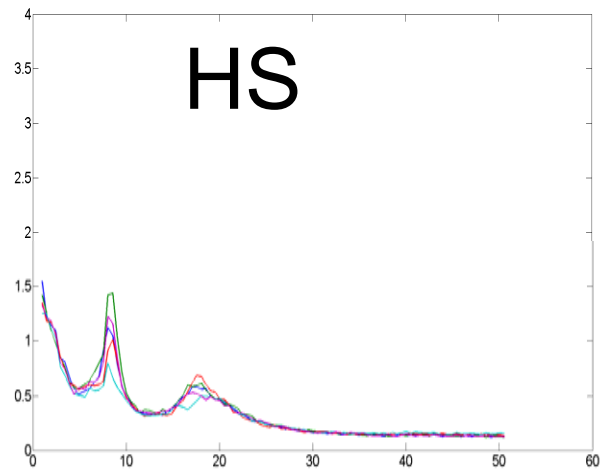
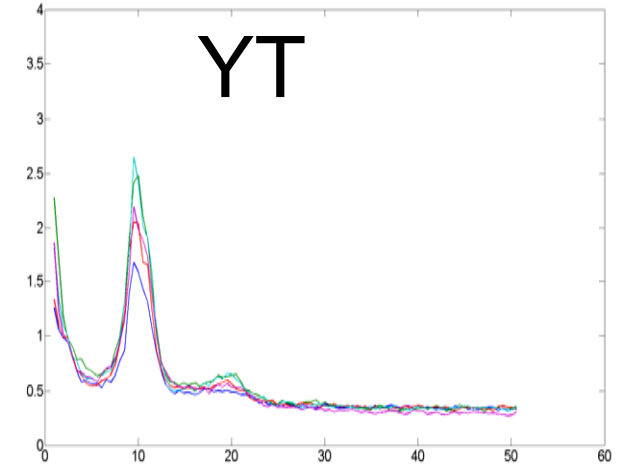
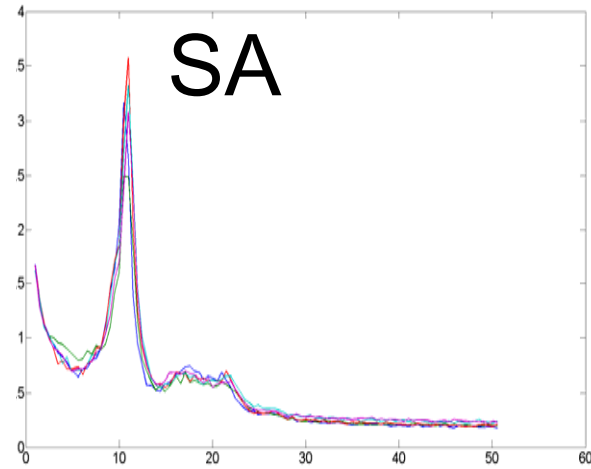
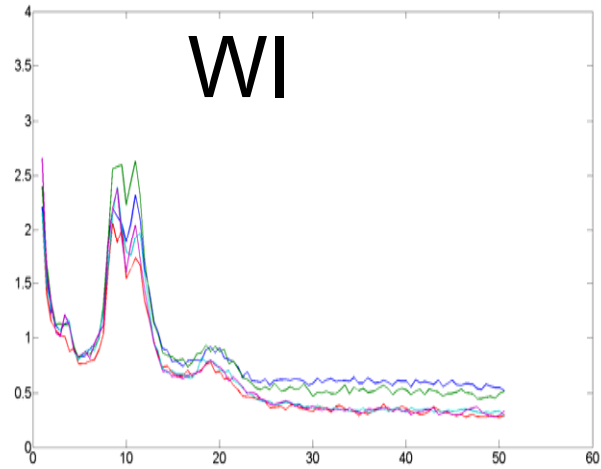
Power spectrum



Power spectrum Fz



Power spectrum POz



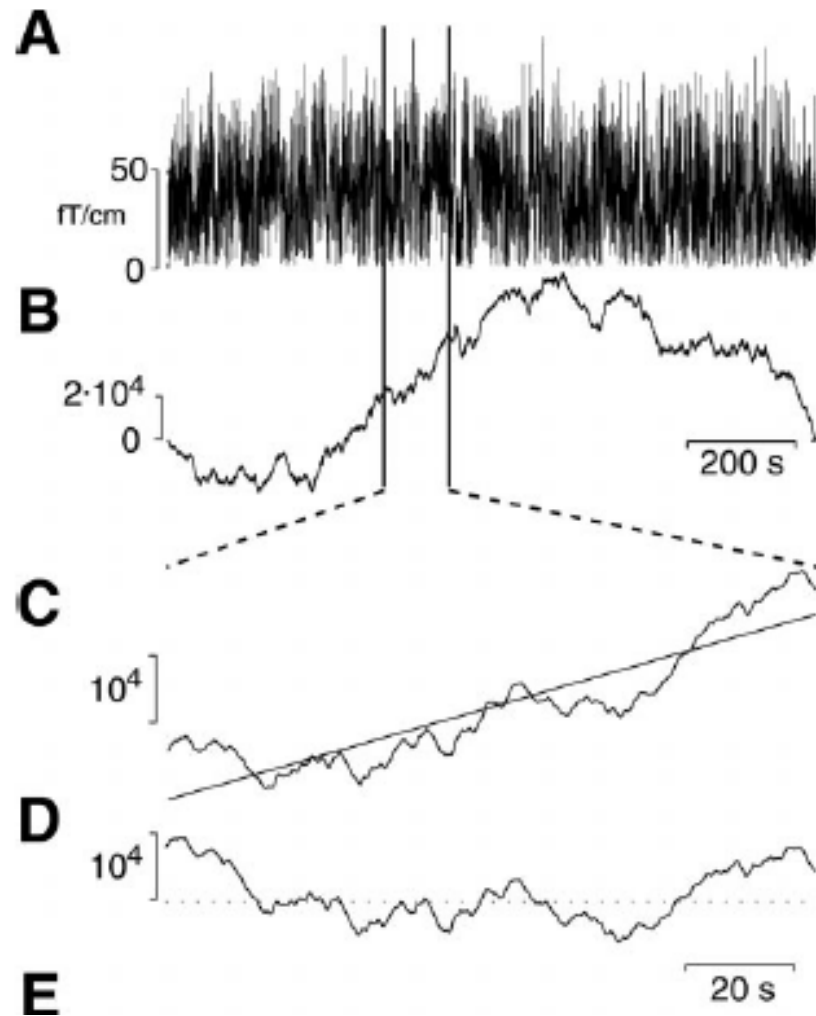
Power spectrum

- α 波 : Rest条件と瞑想条件で有意な差は見られない
 - 協力者によっては瞑想 $>$ Restのパターンを示す人もいるが、全体の平均では差はなし。
- β, θ 波 : 同様に条件間の有意差はなし
 - 個人差が大きい
- パワースペクトラムで瞑想の効果は示せず
 - サンプルサイズが小さい
 - いずれにせよ、効果は不安定で一貫性が弱い

LRTC の推定法

- 自己相関
- Detrended Fluctuation Analysis (DFA)
- パワースペクトラム

Detrended Fluctuation Analysis(DFA)



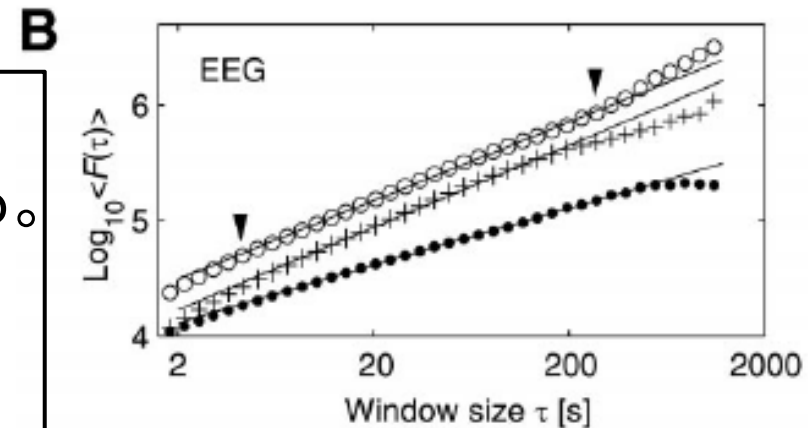
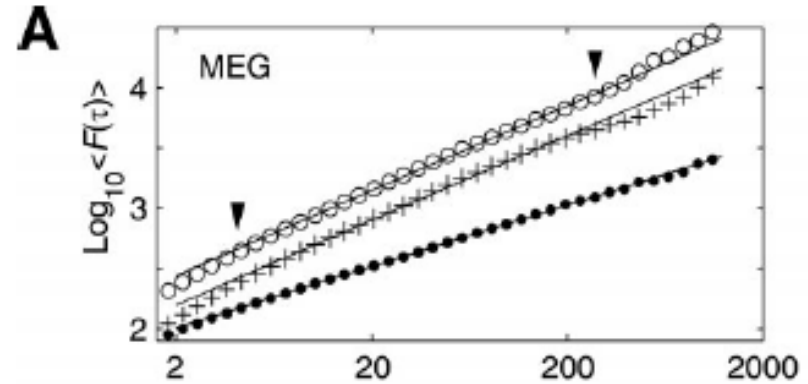
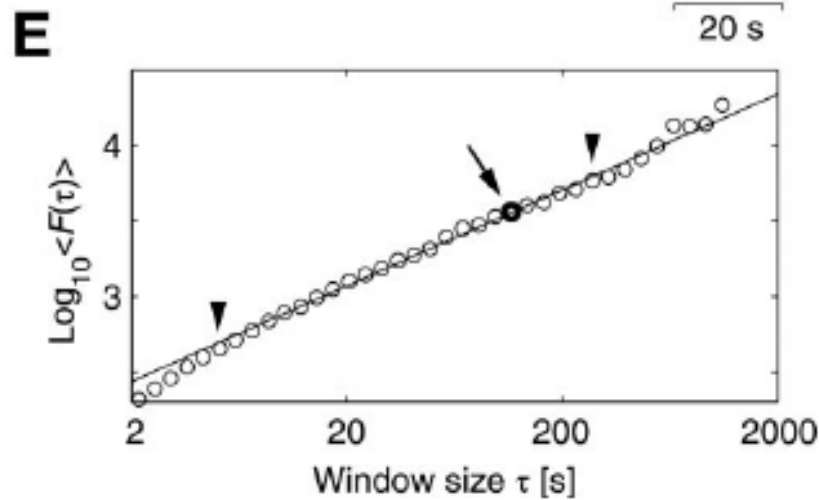
周波数成分の振幅の時系列
(例: アルファ波)

振幅の累積時系列からある
時間窓を切り出す

線形トレンドを計算し除去

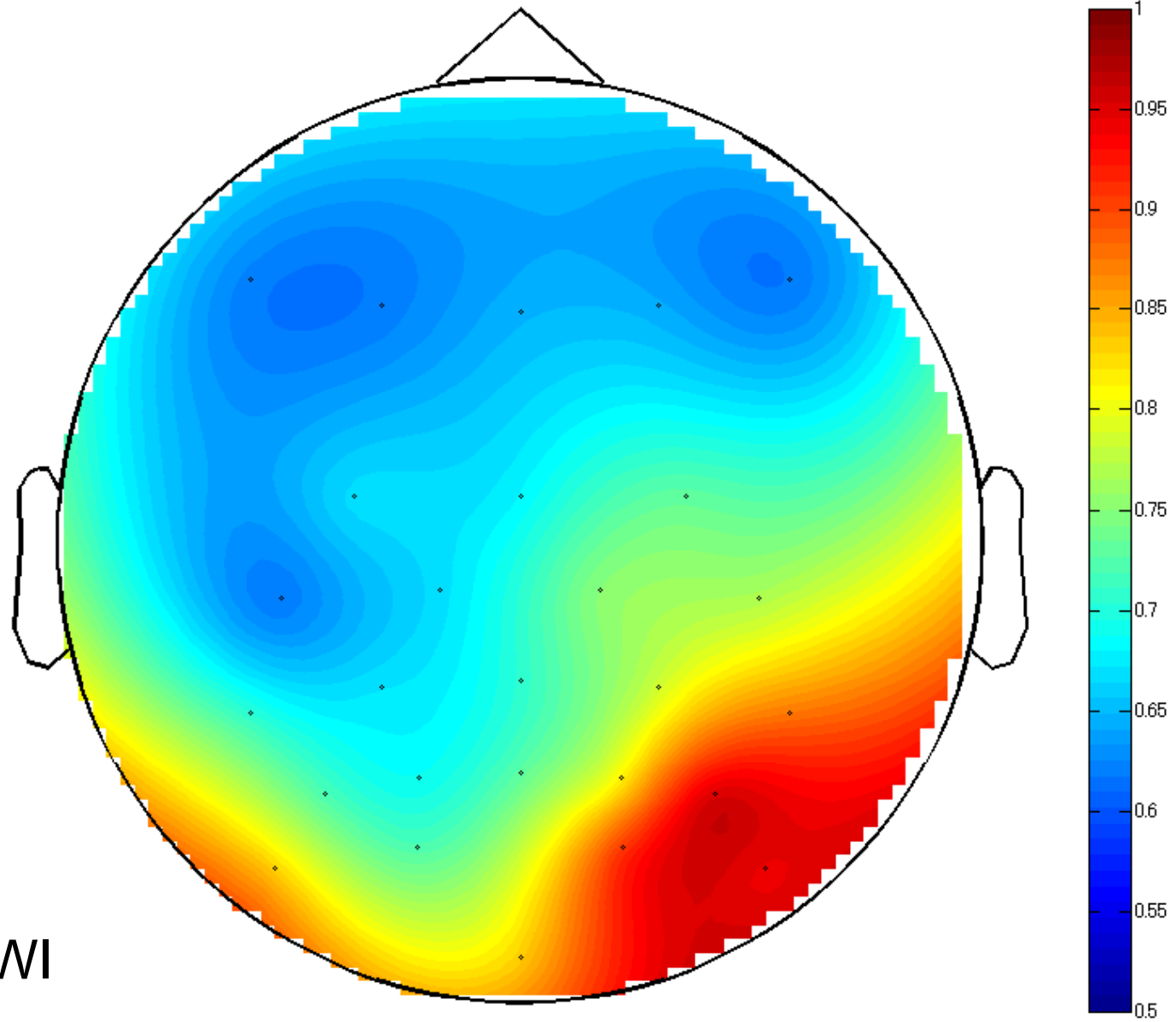
RMSを計算: 信号の変動

Detrended Fluctuation Analysis(DFA)



- 時間窓の大きさと変動の大きさの間にはベキ関数の関係がある。
- 指数の値(両対数グラフの傾き)がLRTCの強さを表す。
- $p(f) \sim f^{-\beta}$, $\langle F(\tau) \rangle \propto \tau^\alpha$ の時
$$\alpha = \frac{1+\beta}{2}$$

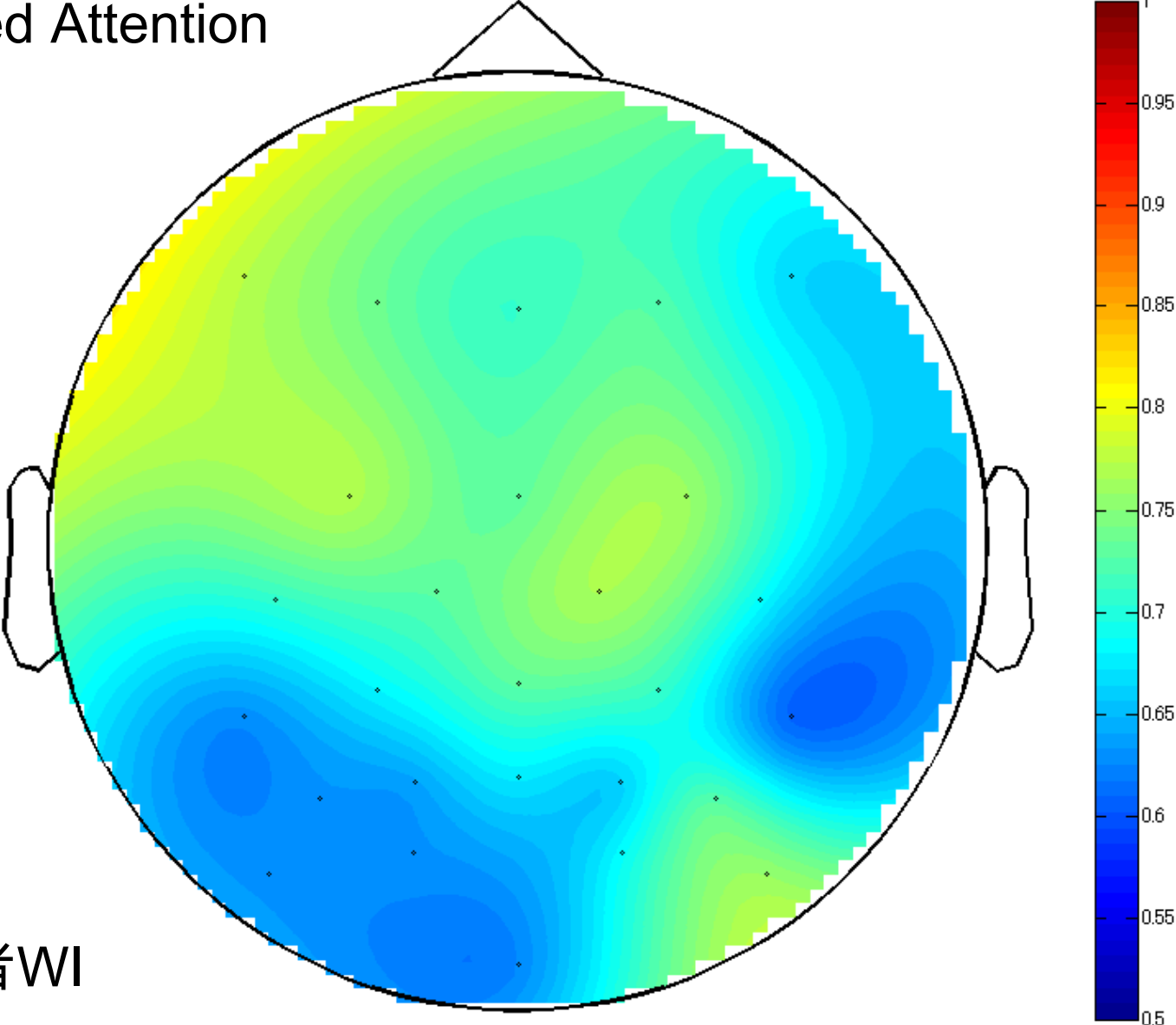
Rest 1



協力者WI

14-Feb-2014
freq=[9 11]
powspectrm=[0.5 1]

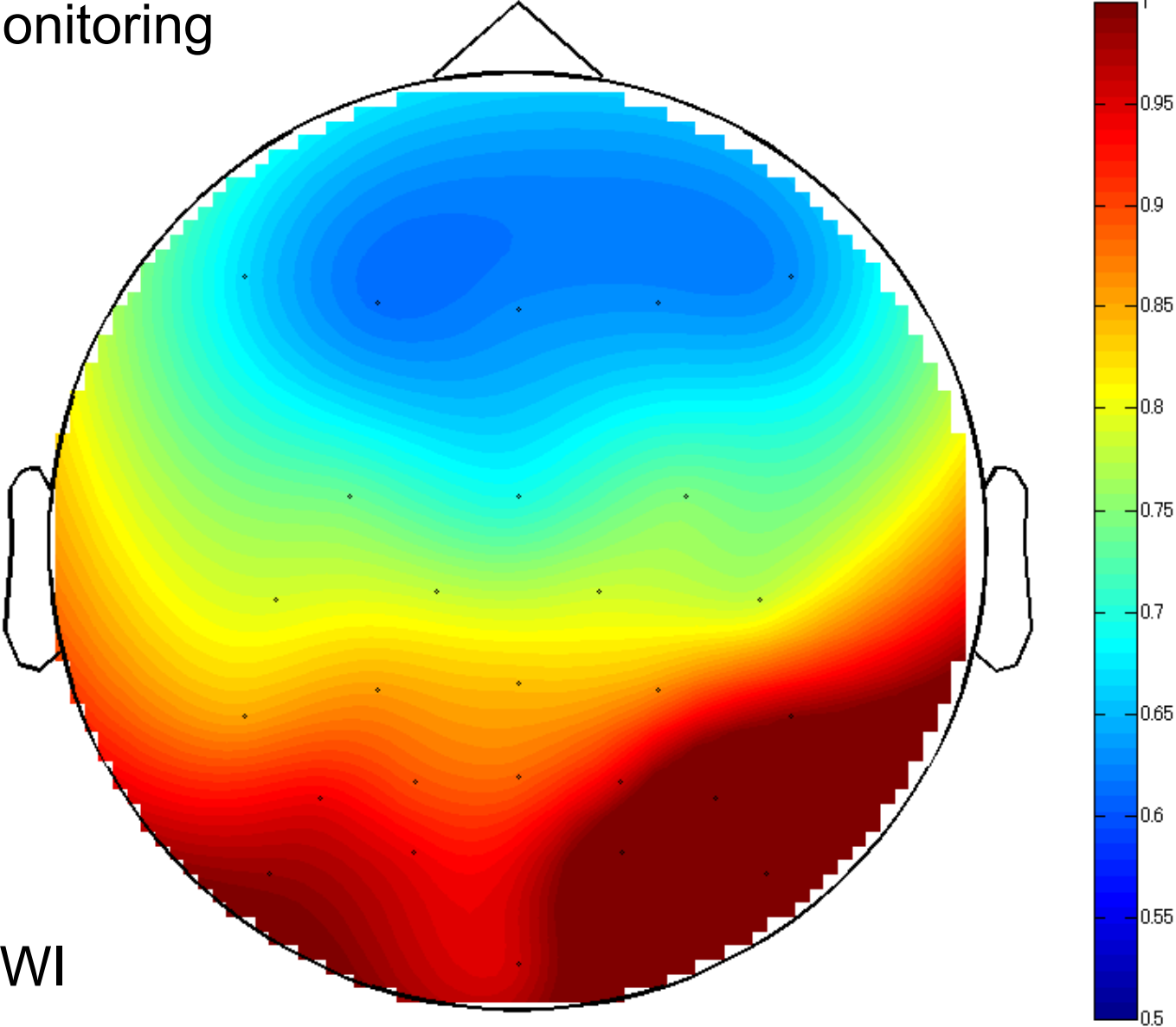
Focused Attention



協力者WI

14-Feb-2014
freq=[9 11]
powspectrm=[0.5 1]

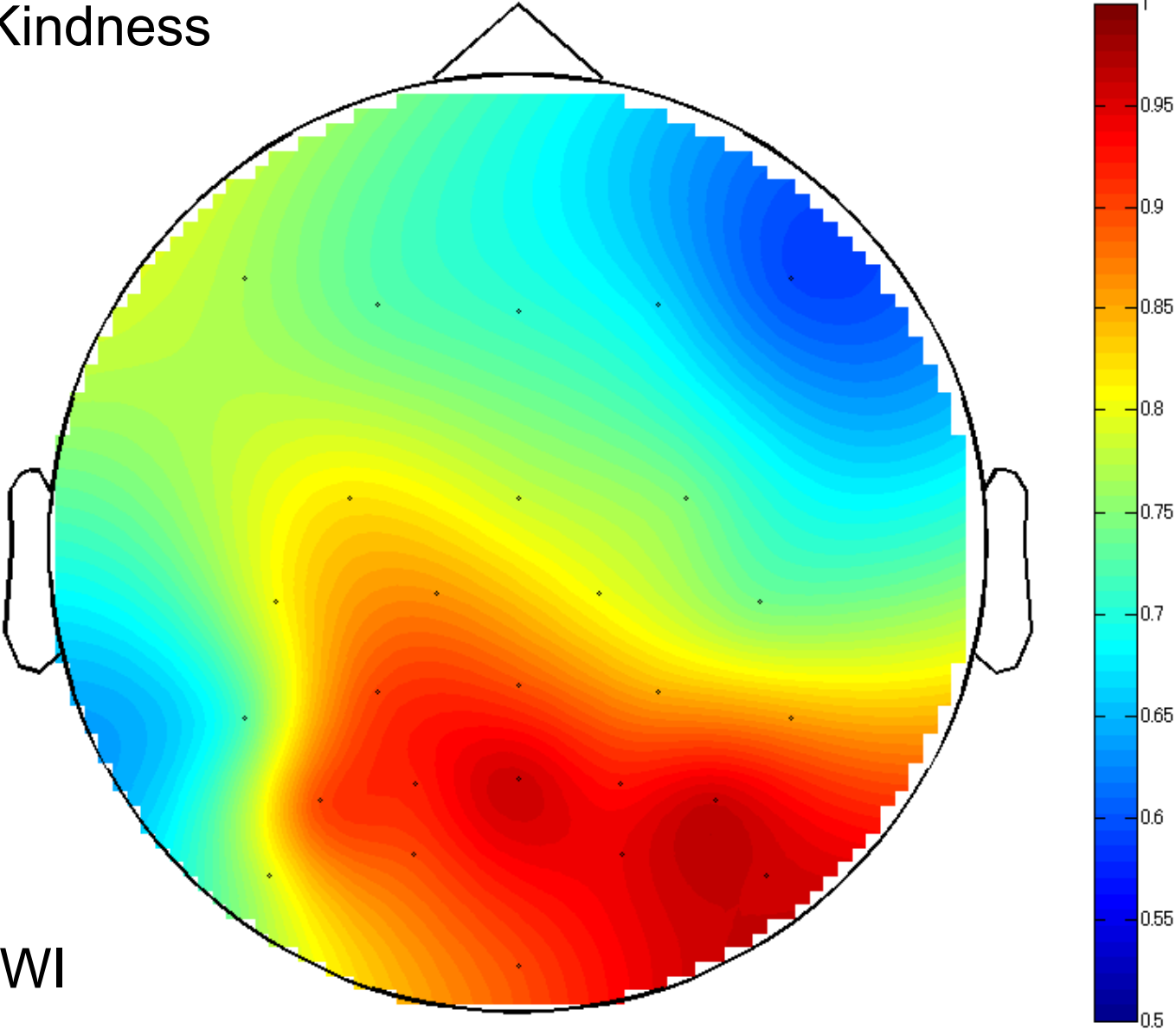
Open Monitoring



協力者WI

14-Feb-2014
freq=[9 11]
powspctrm=[0.5 1]

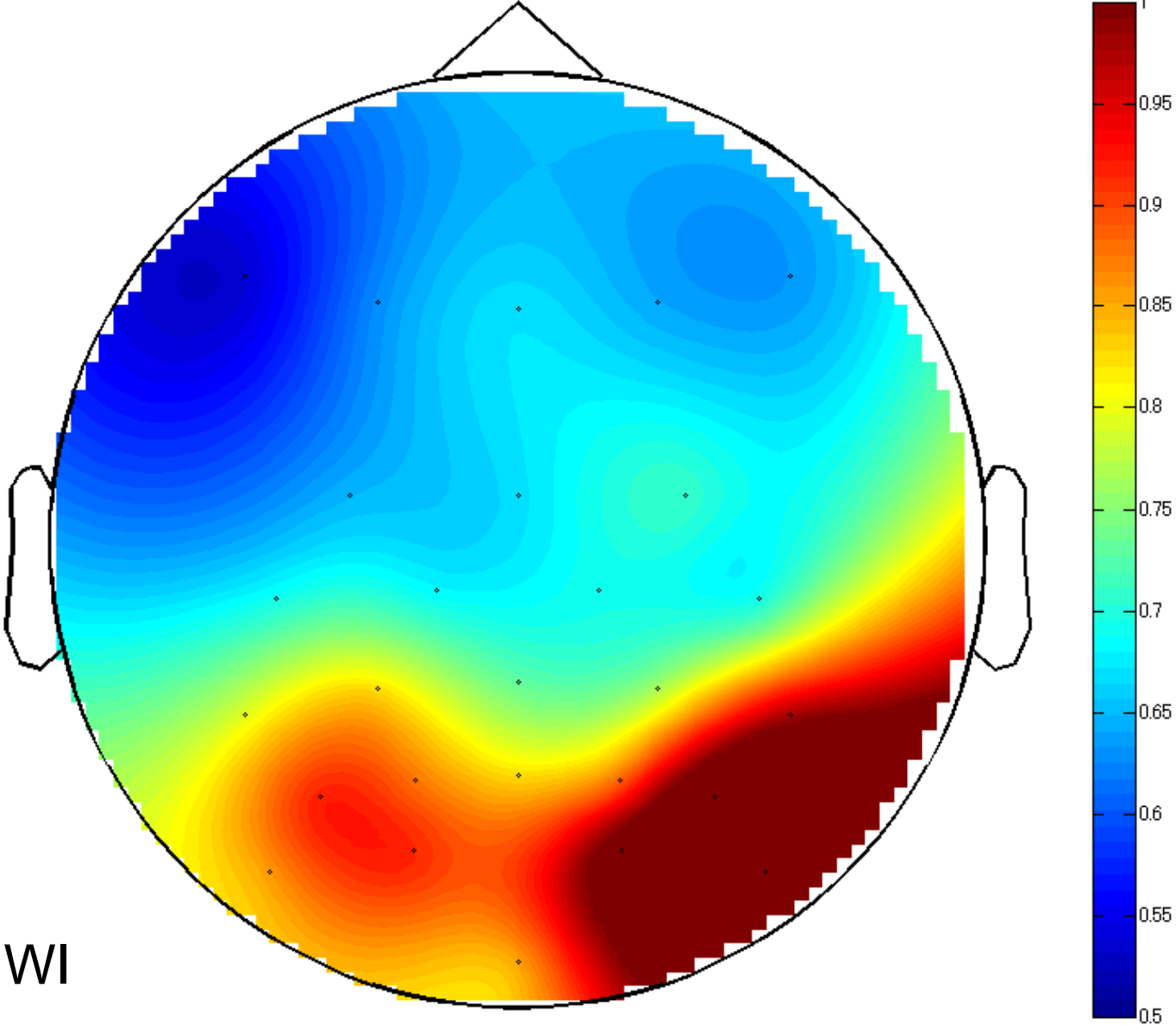
Loving Kindness



協力者WI

14-Feb-2014
freq=[9 11]
powspctrm=[0.5 1]

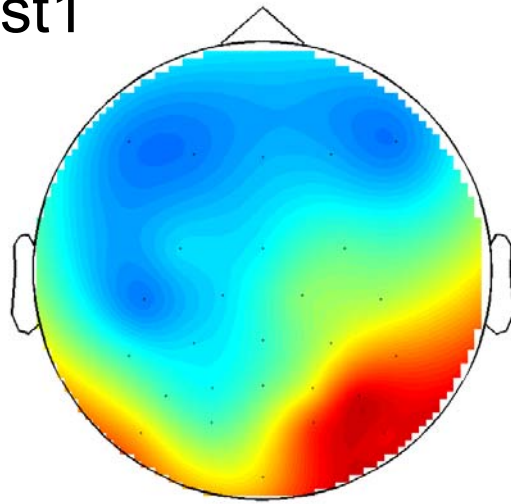
Rest 2



協力者WI

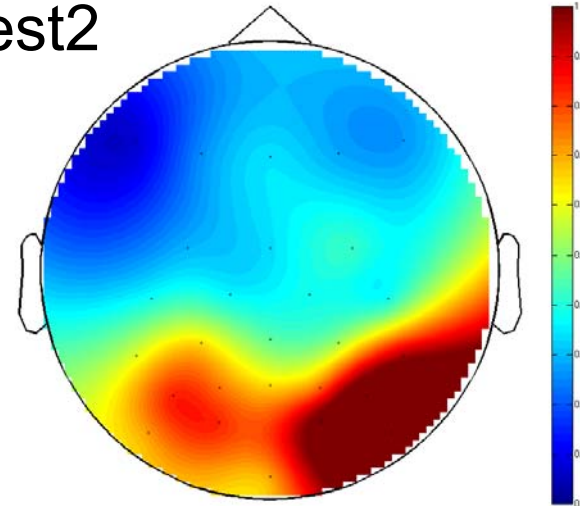
14-Feb-2014
freq=[9 11]
powspctrm=[0.5 1]

Rest1



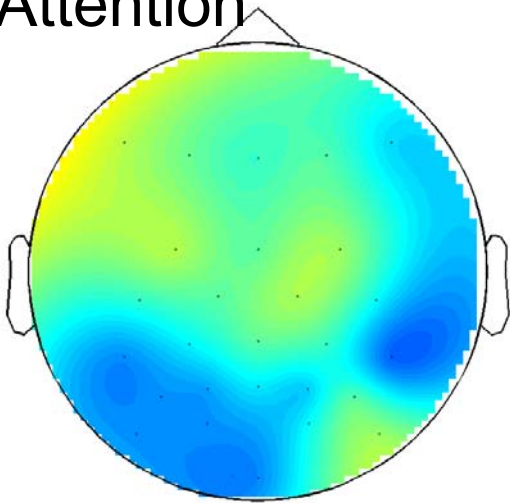
14-Feb-2014
Page(11)
powerpsd(0.6 1)

Rest2



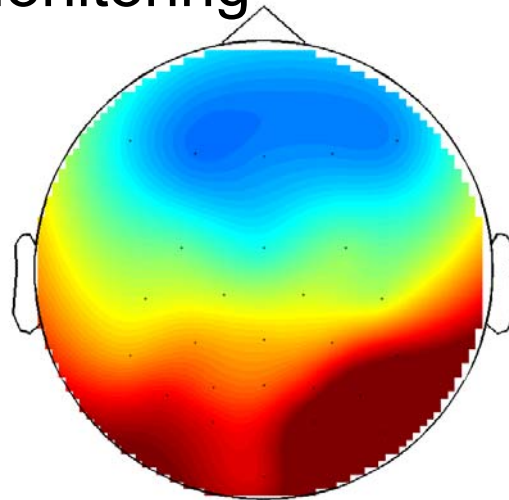
14-Feb-2014
Page(11)
powerpsd(0.6 1)

Focused
Attention



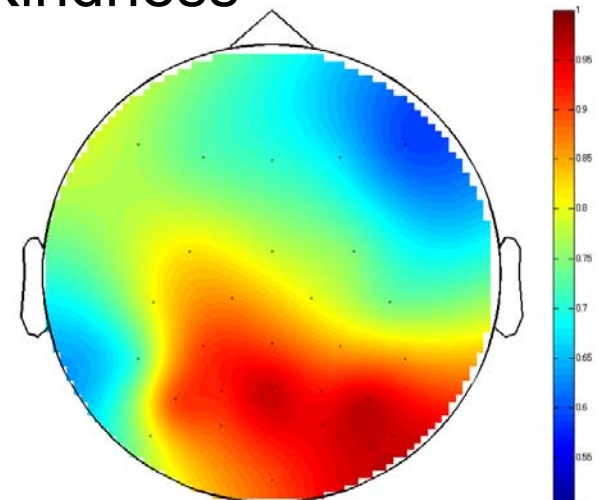
14-Feb-2014
Page(11)
powerpsd(0.6 1)

Open
Monitoring



14-Feb-2014
Page(11)
powerpsd(0.6 1)

Loving
Kindness



14-Feb-2014
Page(11)
powerpsd(0.6 1)

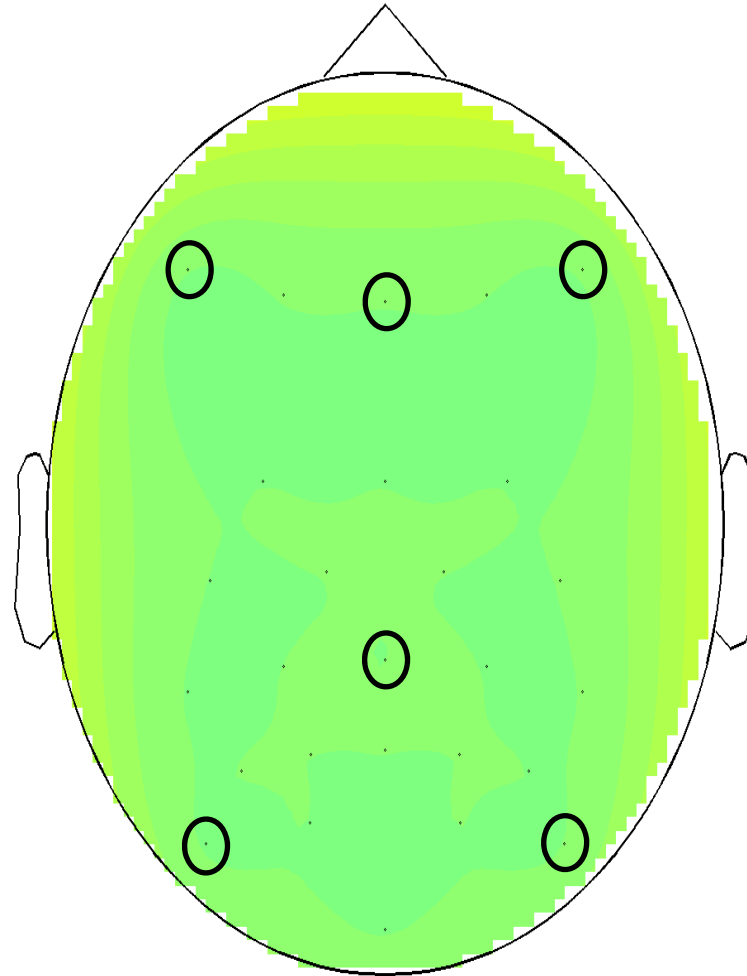
Preliminary Results

- 安静時と瞑想時でLRTCに違いがある。
- Focused attention瞑想とOpen monitoring瞑想との間でも違いがある
- アーチファクトの除去、結果の信頼性のチェック、他の協力者への一般化可能性が今後の課題

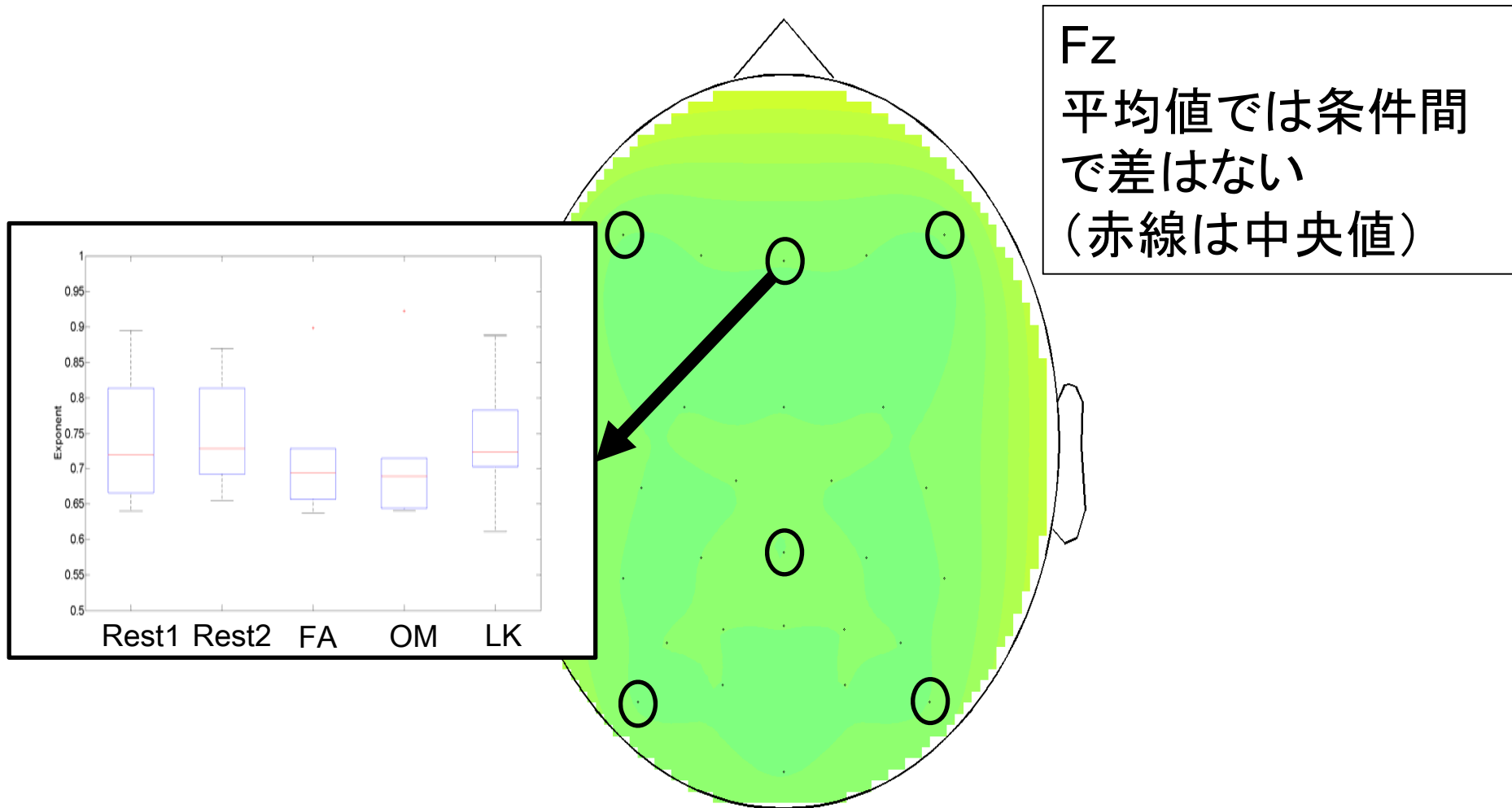
しかし...

- 協力者WIの結果は一般性があるのか？
- 他の協力者との平均を取ると...

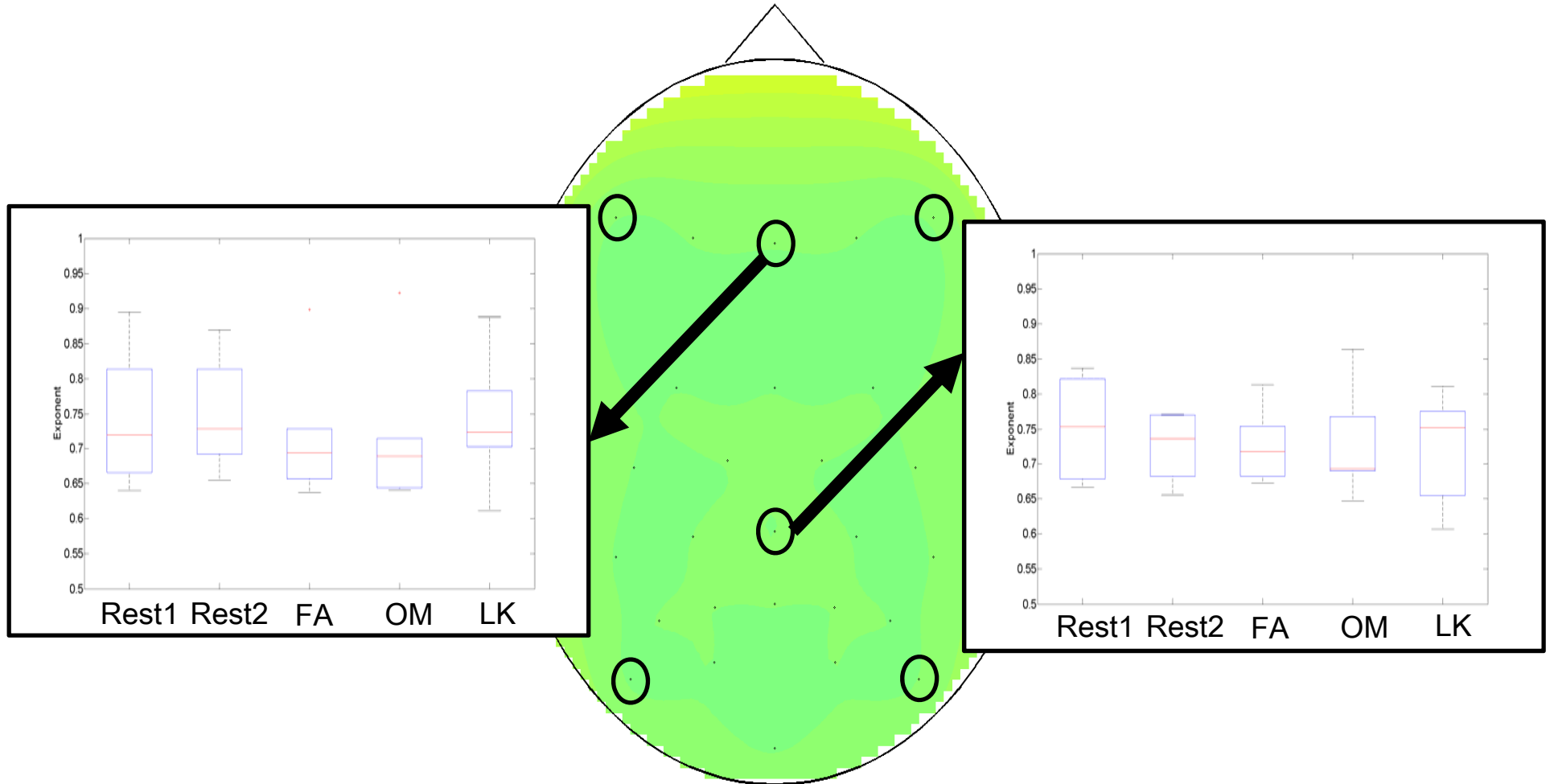
Average Exponent data

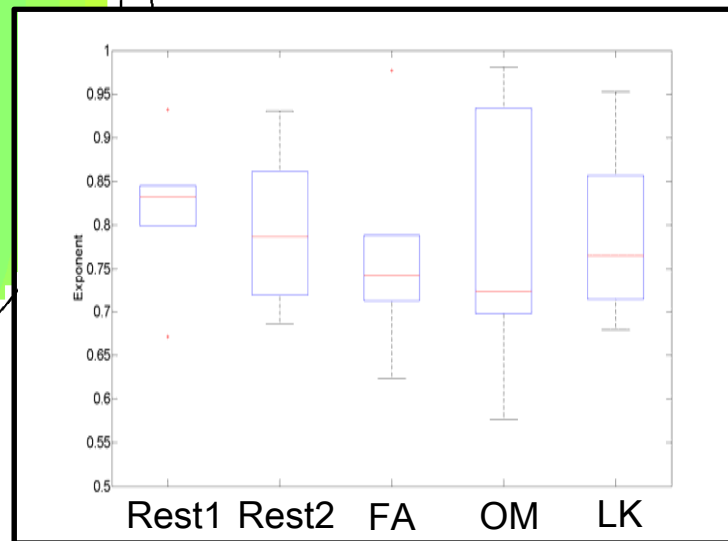
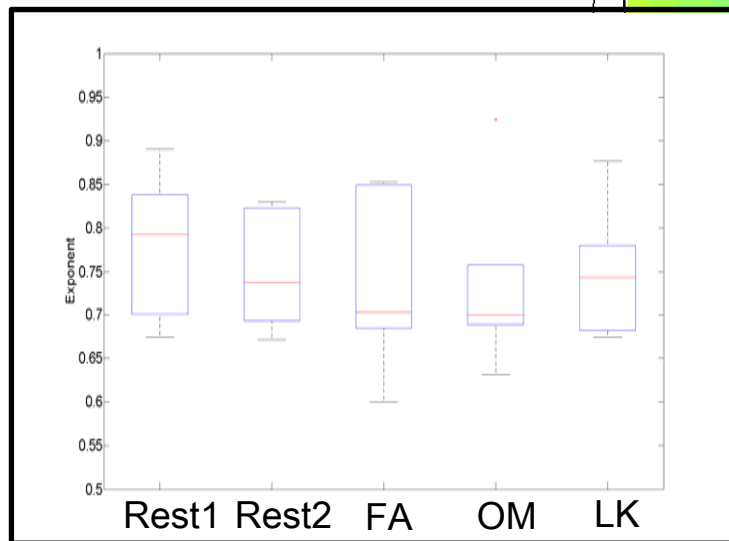
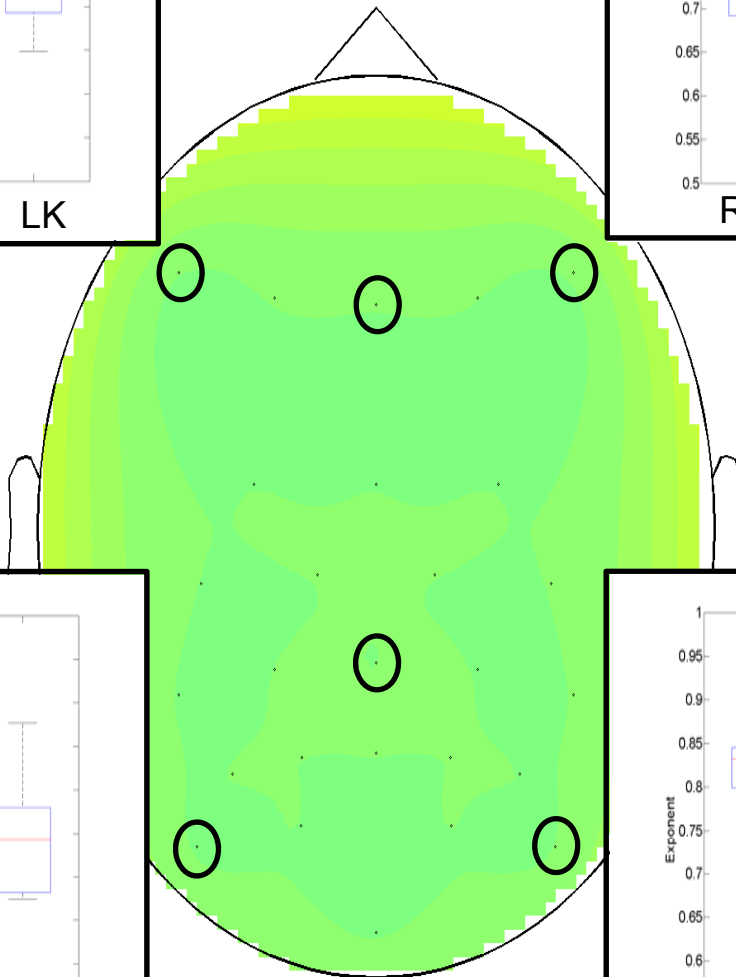
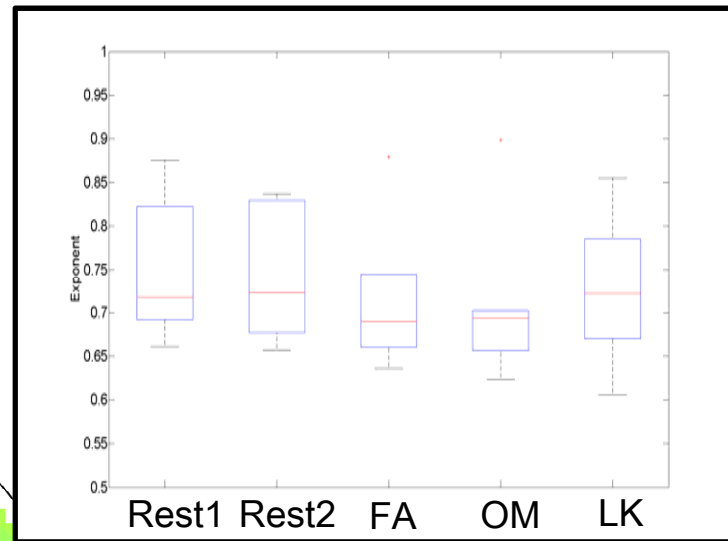
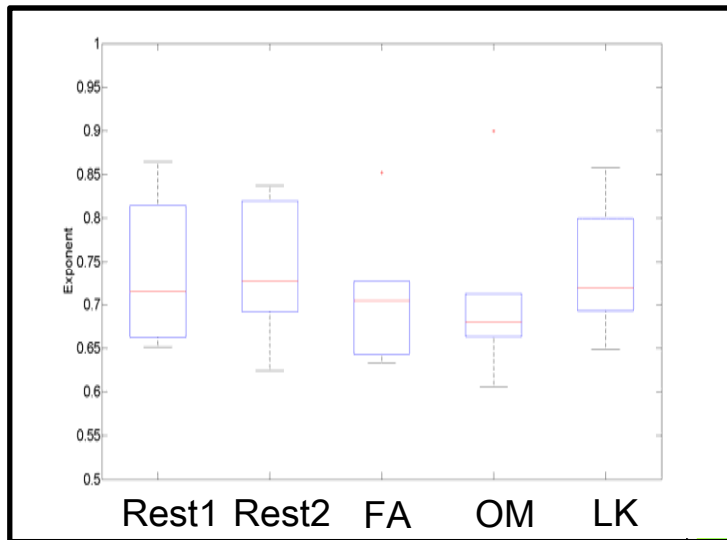


Average Exponent data



Average Exponent data





LRTCの瞑想条件間差

- 定常LRTCの推定値において瞑想条件間の差異は認められなかった。
 - 条件間差のパターンは協力者間でバラバラ
- 瞑想経験量との関連は？
 - 一見すると関連はなさそう
 - 超達人のWIのみが特殊なパターンというわけではなく、人によってバラバラな感じ
- 「瞑想をするとLRTCの値が上昇する」という仮説は支持されず。

LRTCの時間変動

- LRTCの時間変動の推定法
- LRTCの時間変動の条件間差異
- LRTCの時間変動の電極間相関



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Journal of Neuroscience Methods

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jneumeth



Basic Neuroscience

Adaptive time-varying detrended fluctuation analysis

Luc Berthouze^{a,b,*}, Simon F. Farmer^c

^a Centre for Computational Neuroscience and Robotics, University of Sussex, UK

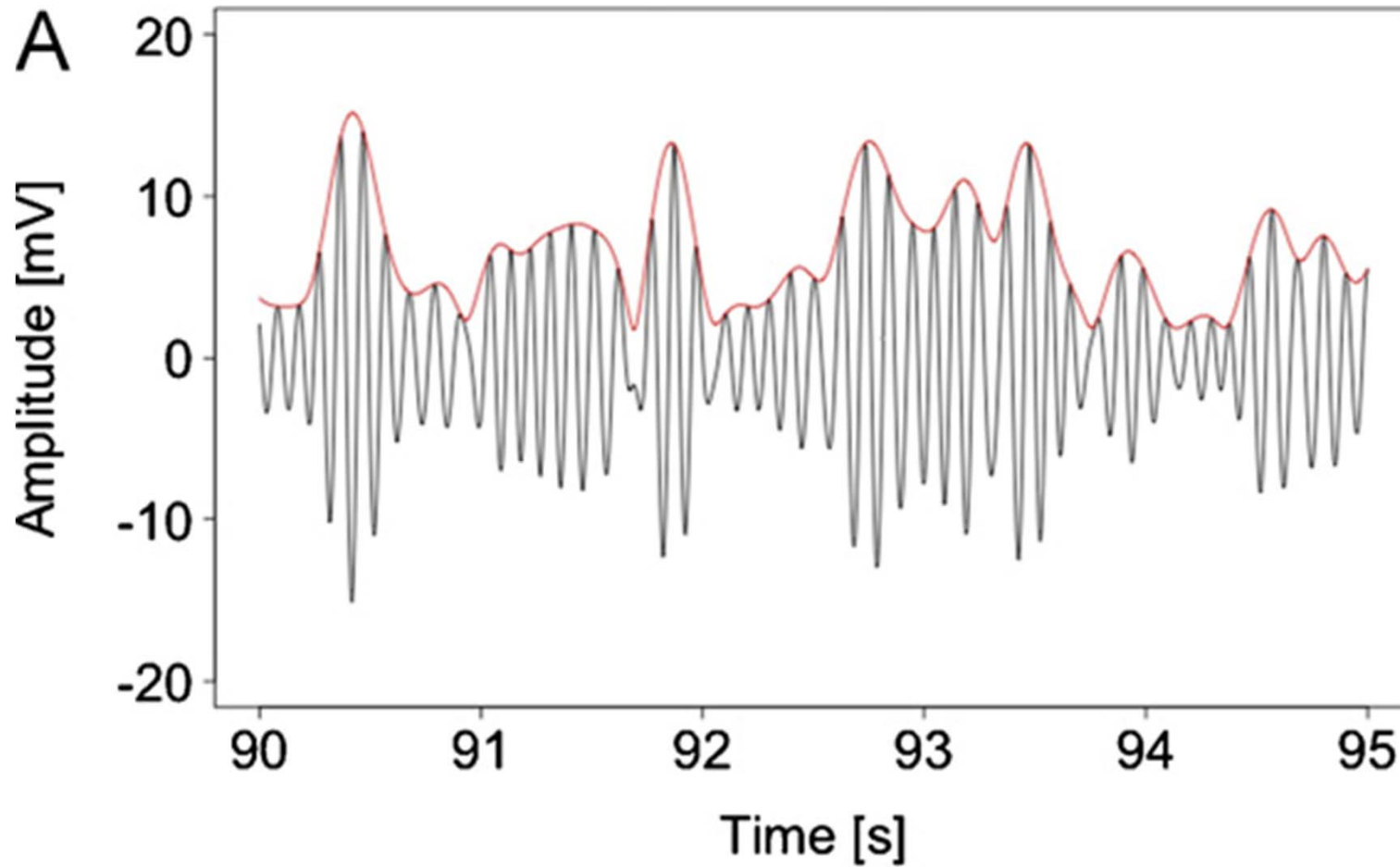
^b Institute of Child Health, UCL, UK

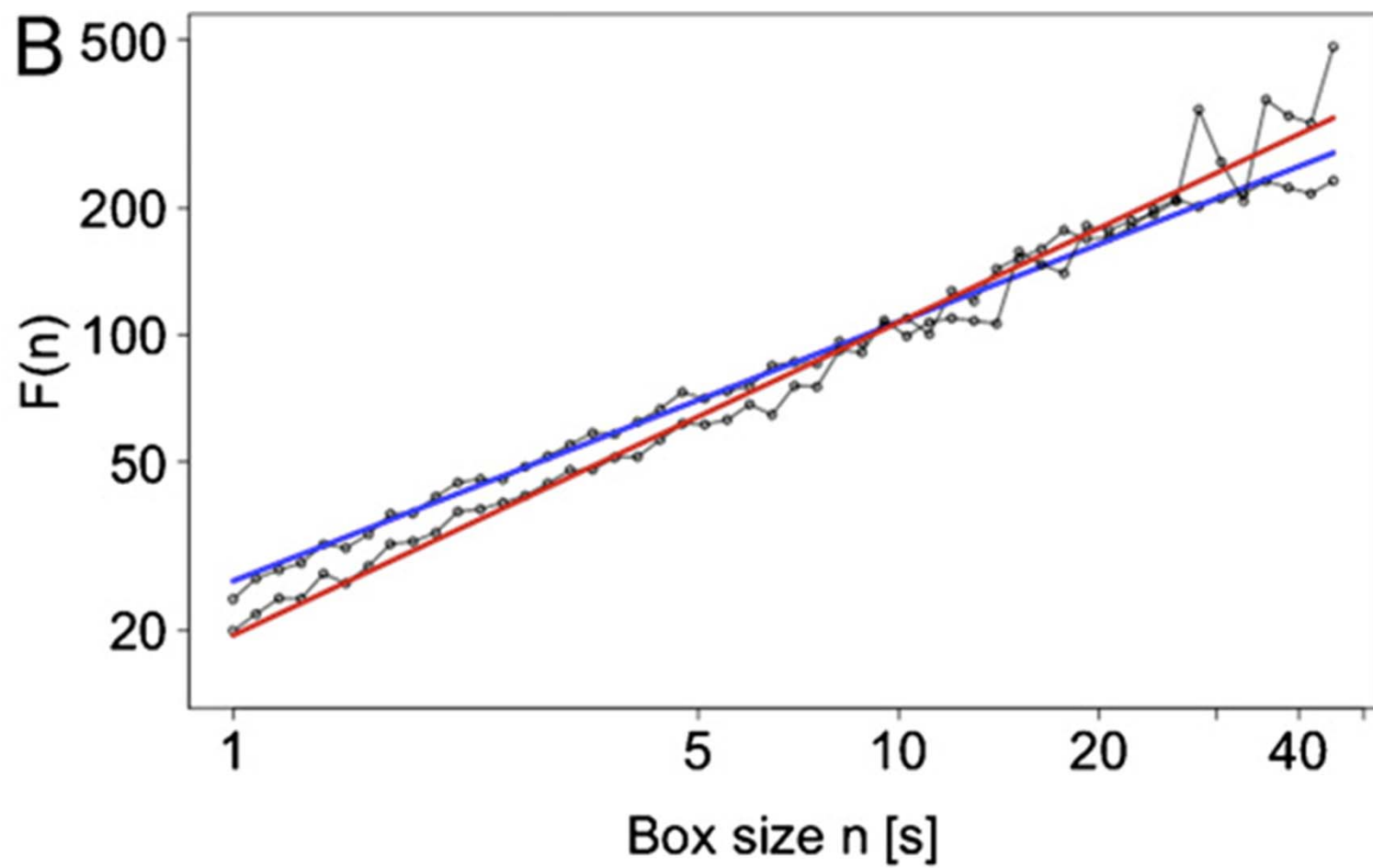
^c Institute of Neurology, UCL, UK

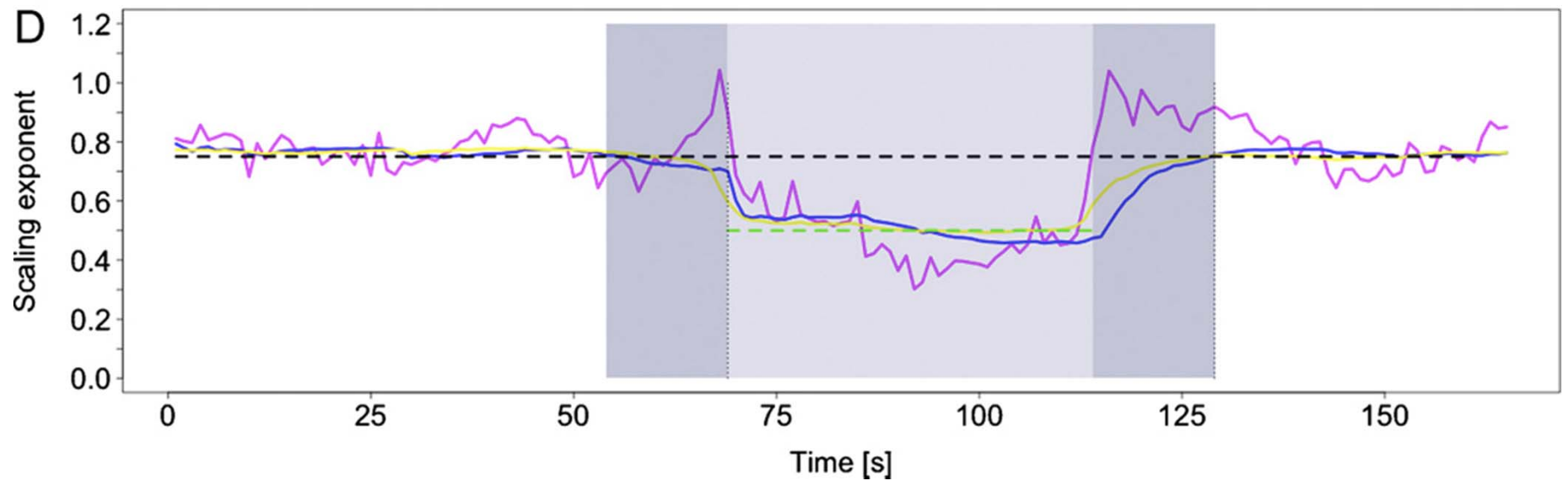
H I G H L I G H T S

- ▶ DFA is often used to estimate the scaling exponent of neurophysiological signals.
- ▶ We extend DFA to characterise potentially changing scaling exponents.
- ▶ We validate the method using surrogate data with time-varying scaling exponents.
- ▶ We systematically examine the dependence of the method on its free parameters.
- ▶ We demonstrate the applicability of the method to neurophysiological signals.

Adaptive time-varying Detrended Fluctuation Analysis (ATvDFA)



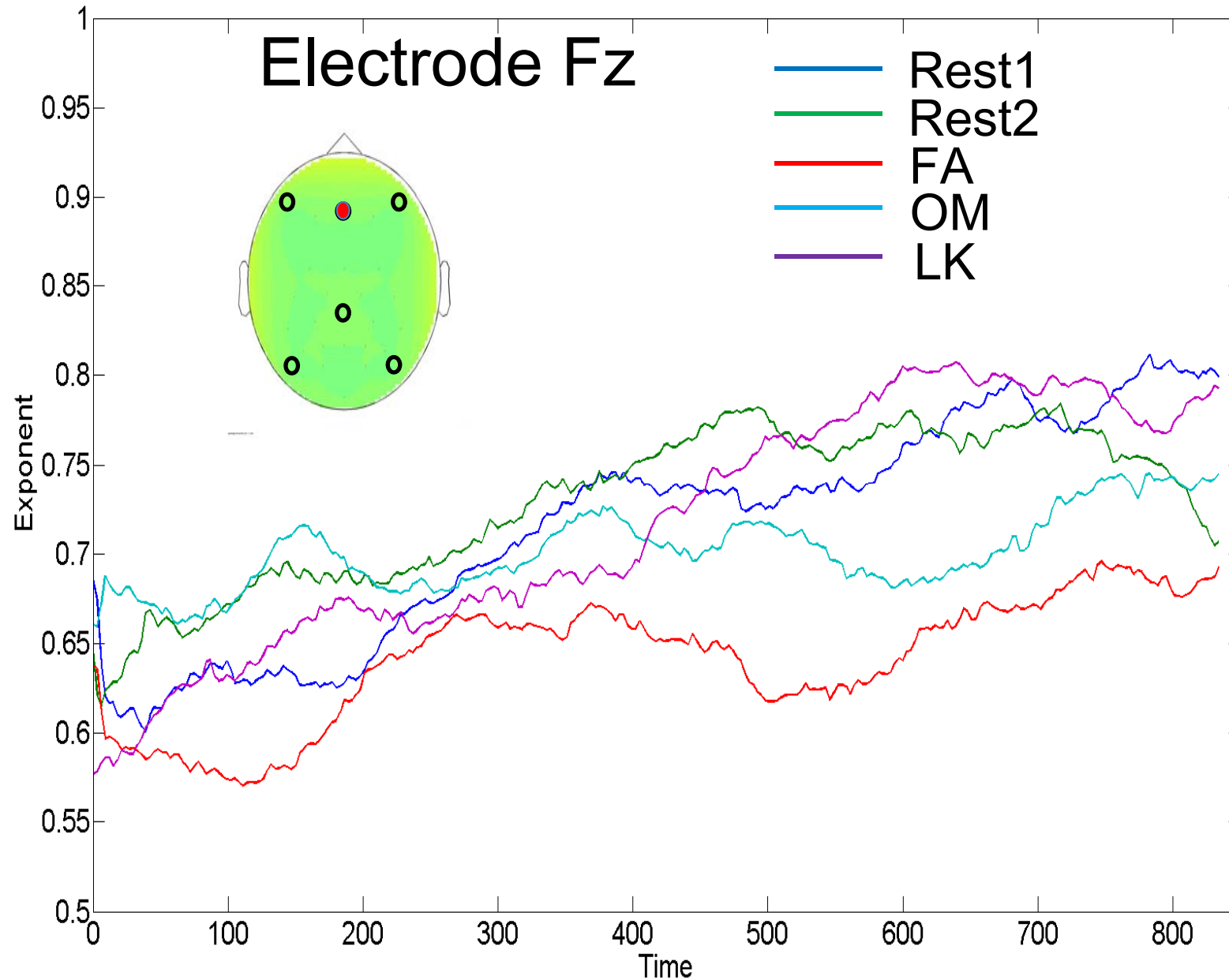




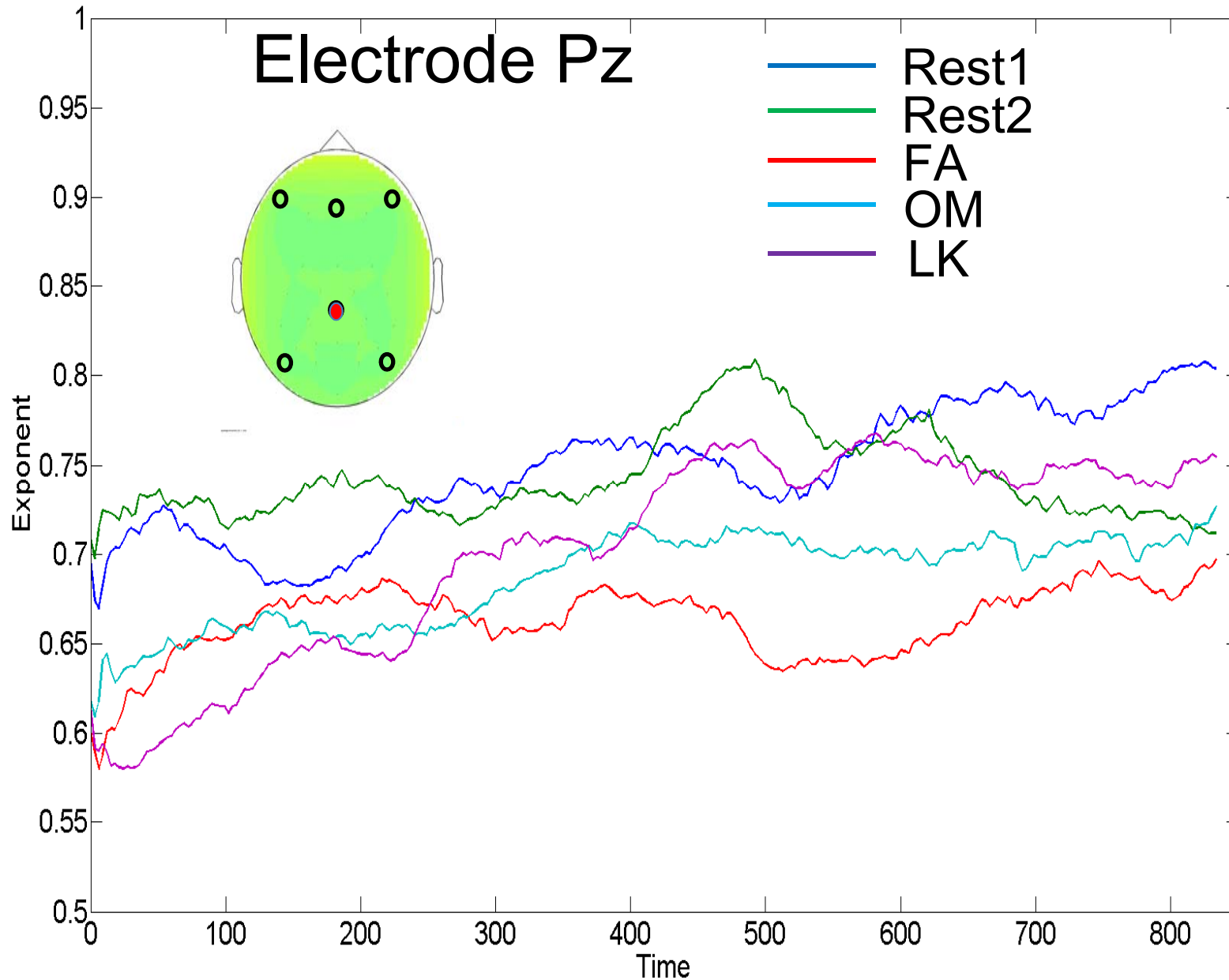
LRTCの時間変動

- LRTCの時間変動を電極ごとに推定する。
- 瞑想条件間で変動パターンに違いが見られるか。見られるとすればどの条件間にどのような違いが見られるか。
- 変動の違い: 変動係数によって評価する
 - 変動係数: 標準偏差/平均

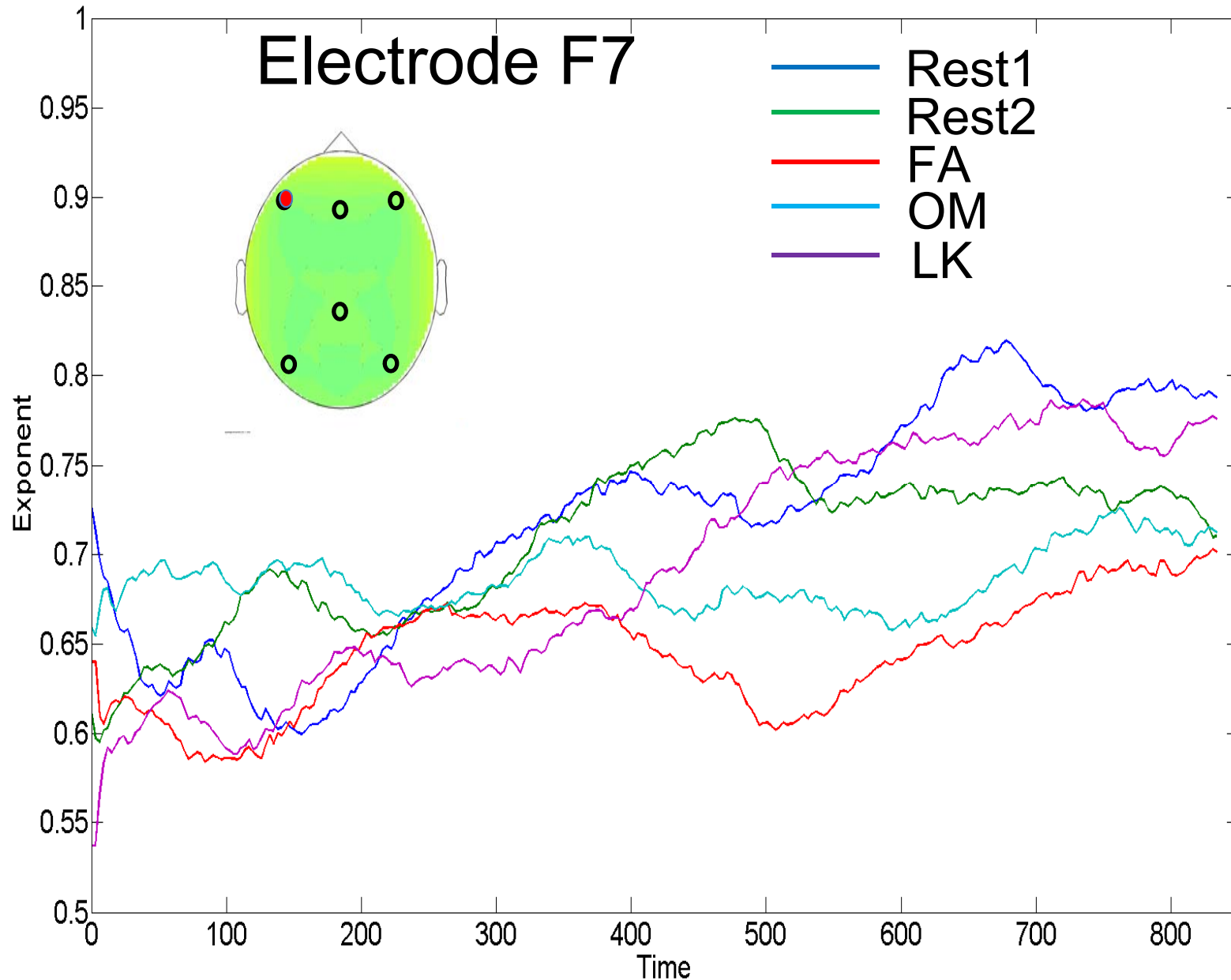
Adaptive time-varying DFA (ATvDFA)



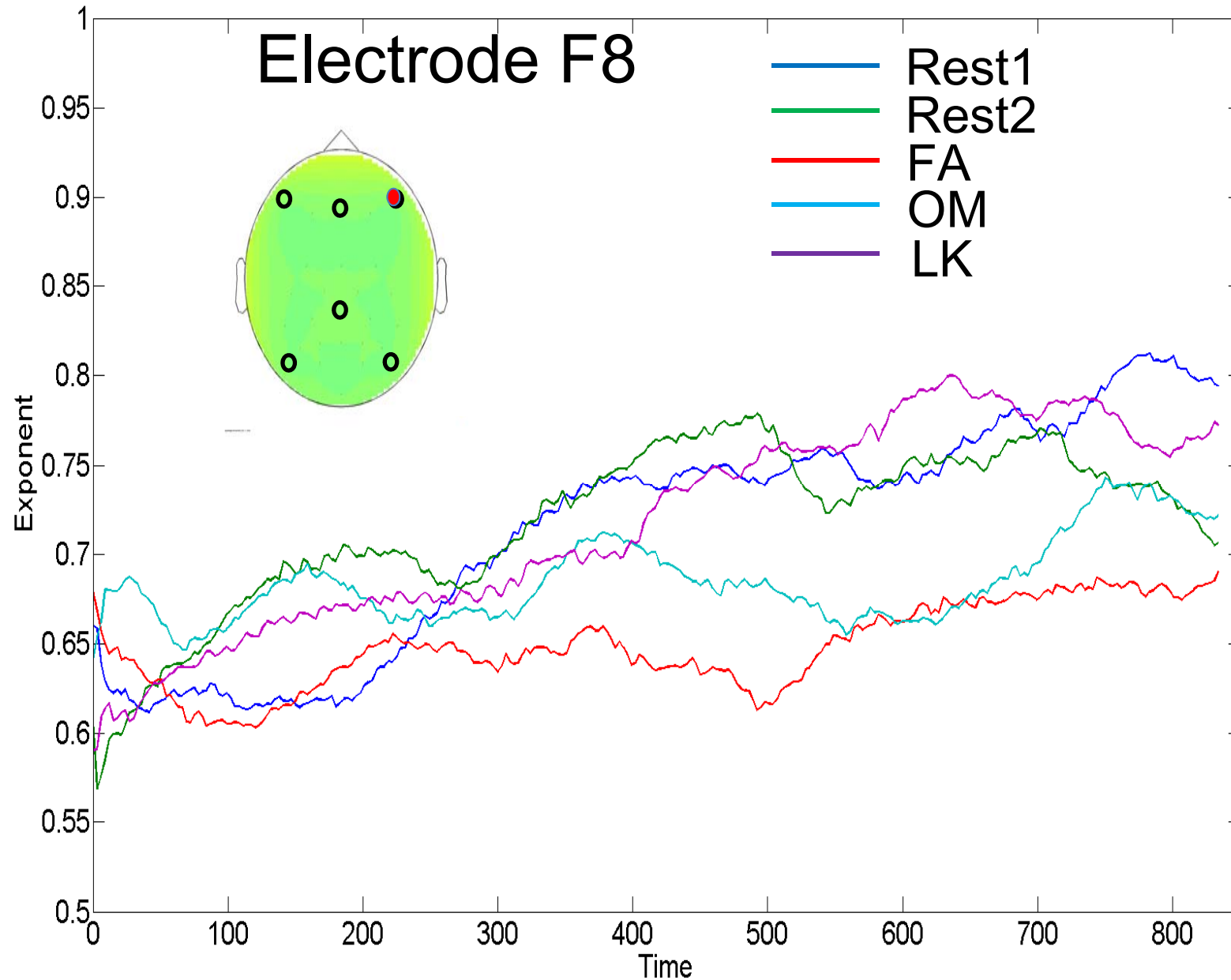
Adaptive time-varying DFA (ATvDFA)



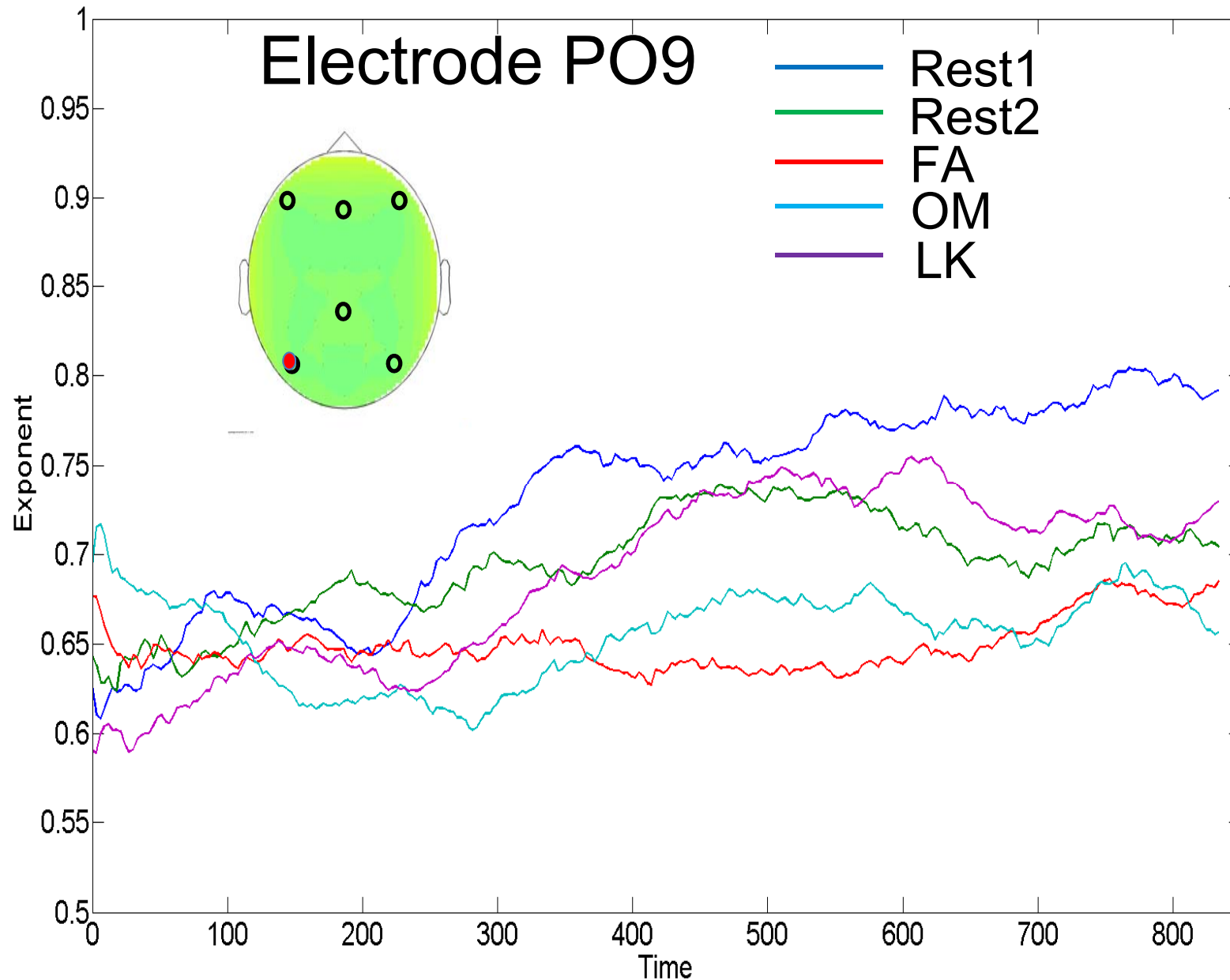
Adaptive time-varying DFA (ATvDFA)



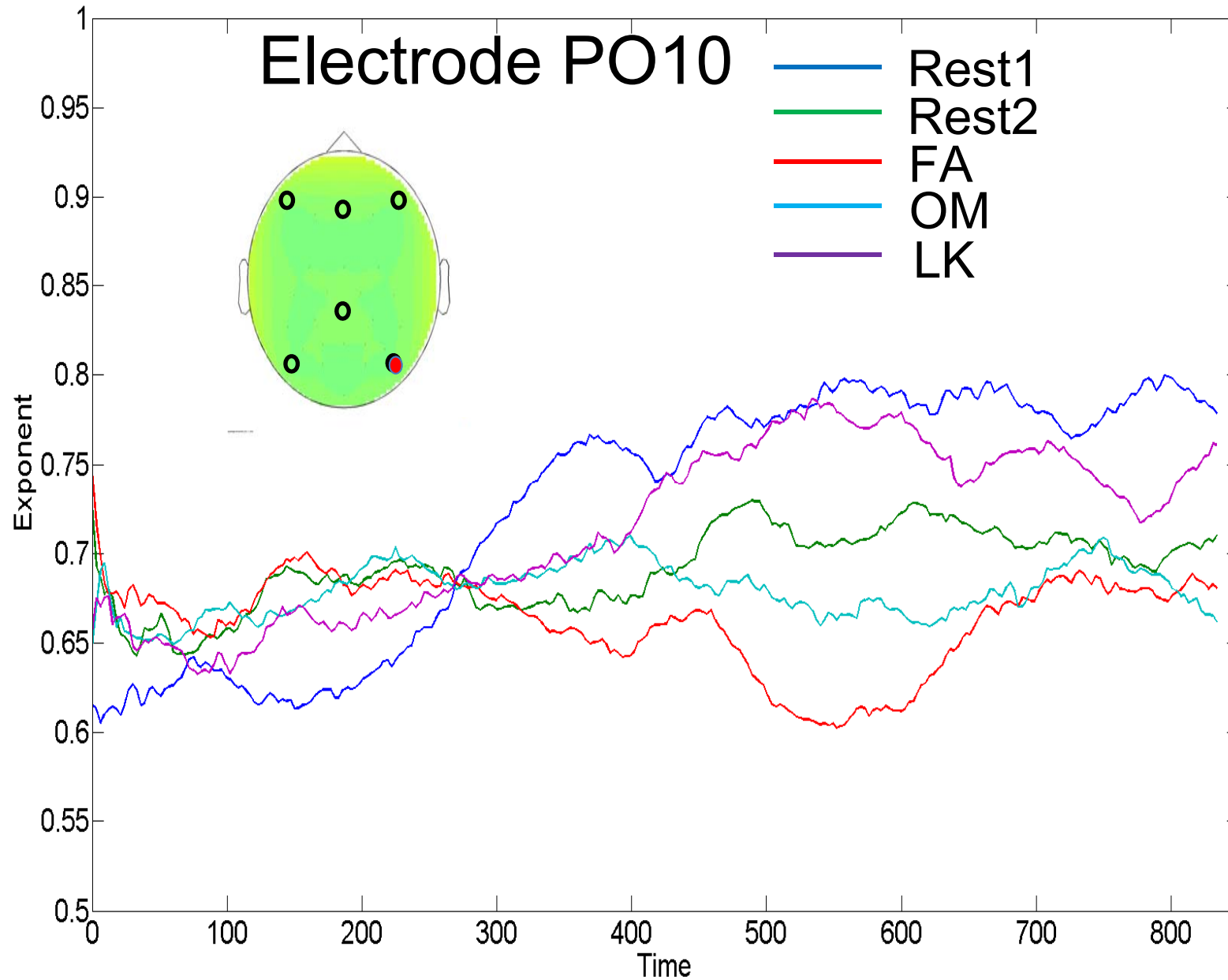
Adaptive time-varying DFA (ATvDFA)



Adaptive time-varying DFA (ATvDFA)

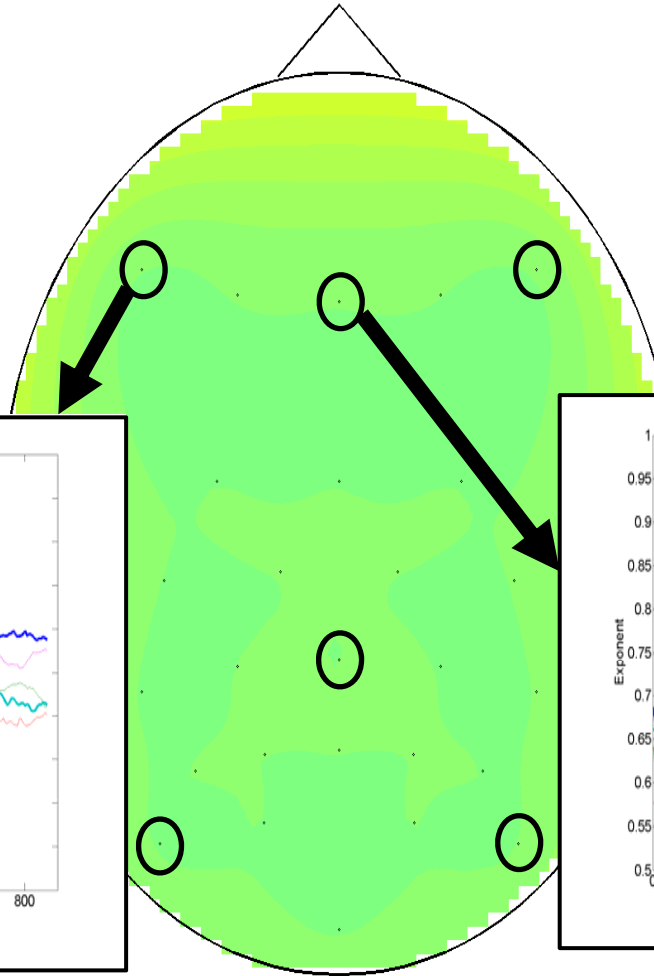
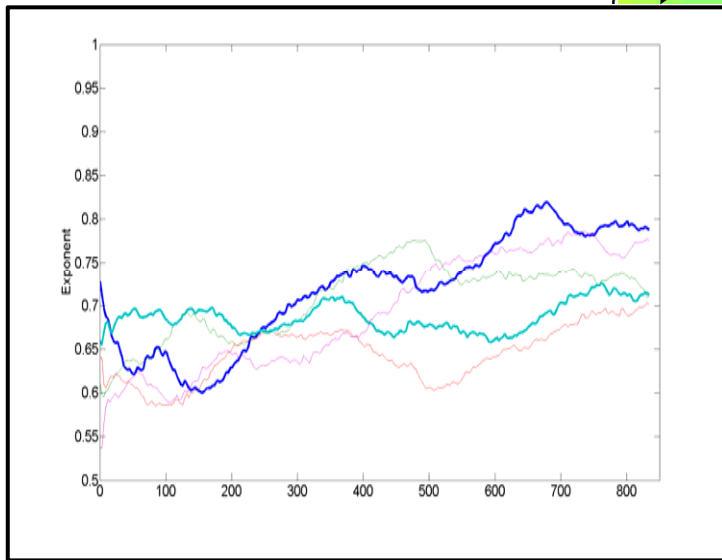


Adaptive time-varying DFA (ATvDFA)

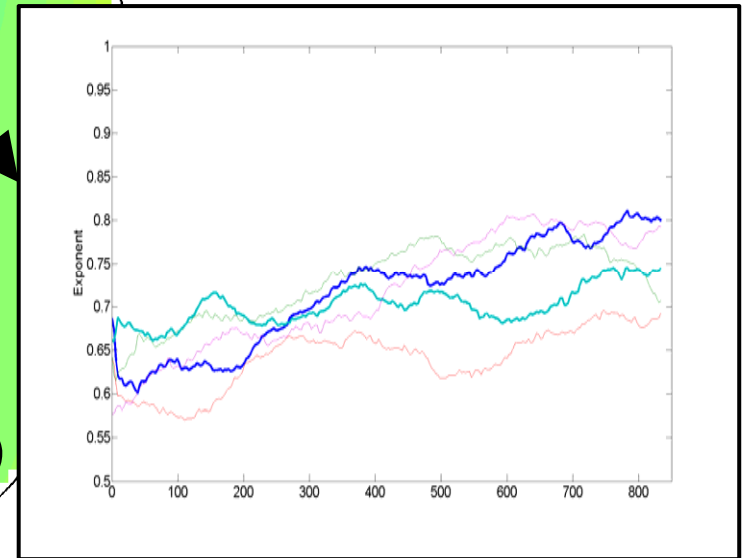


ATvDFA Timecourse (average)

変動係数:
Rest1 > OM



変動係数:
Rest1 > OM



LRTCの時間変動

- LRTCの時間変動における有意な条件間差
 - FzにおいてRest1でOMよりも変動が大きい
 - F7においてRest1でOMよりも変動が大きい
- 全体として、瞑想条件においてLRTCにおける時間変動が小さい傾向。
 - 瞑想の効果は時間相関自体を高めるのではなく、時間相関を安定させること？
- 個人間差が大きい。全員に共通するパターンは少ない。
 - 協力者数の追加。解析の精緻化。

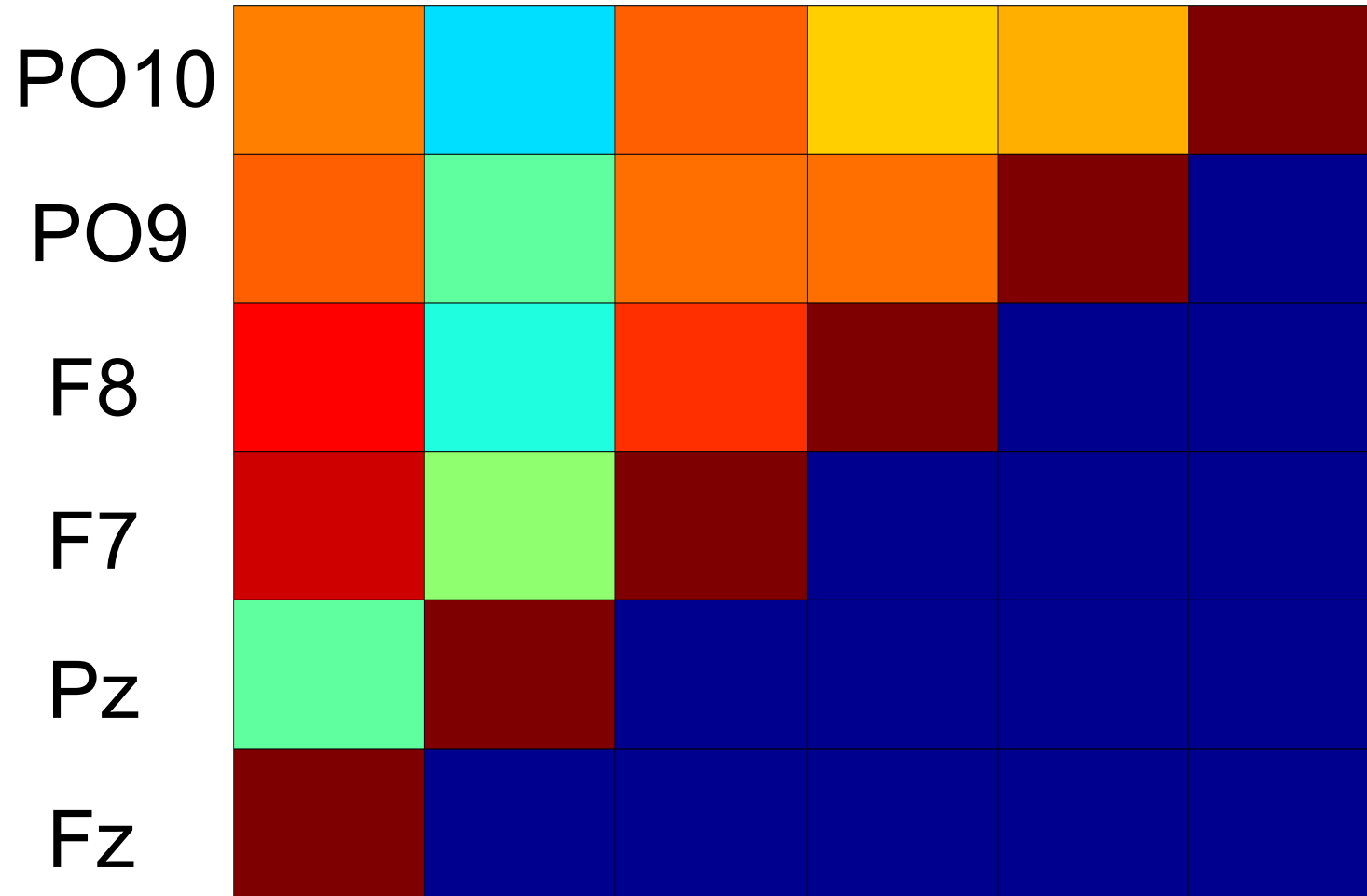
LRTCの時間変動の電極間相関

- LRTCの時間変動が電極間でどの程度類似しているのか
- 電極間相関は課題条件によって変動するのか、どのような変動が生じるのか

Correlation of ATvDFA

Rest1

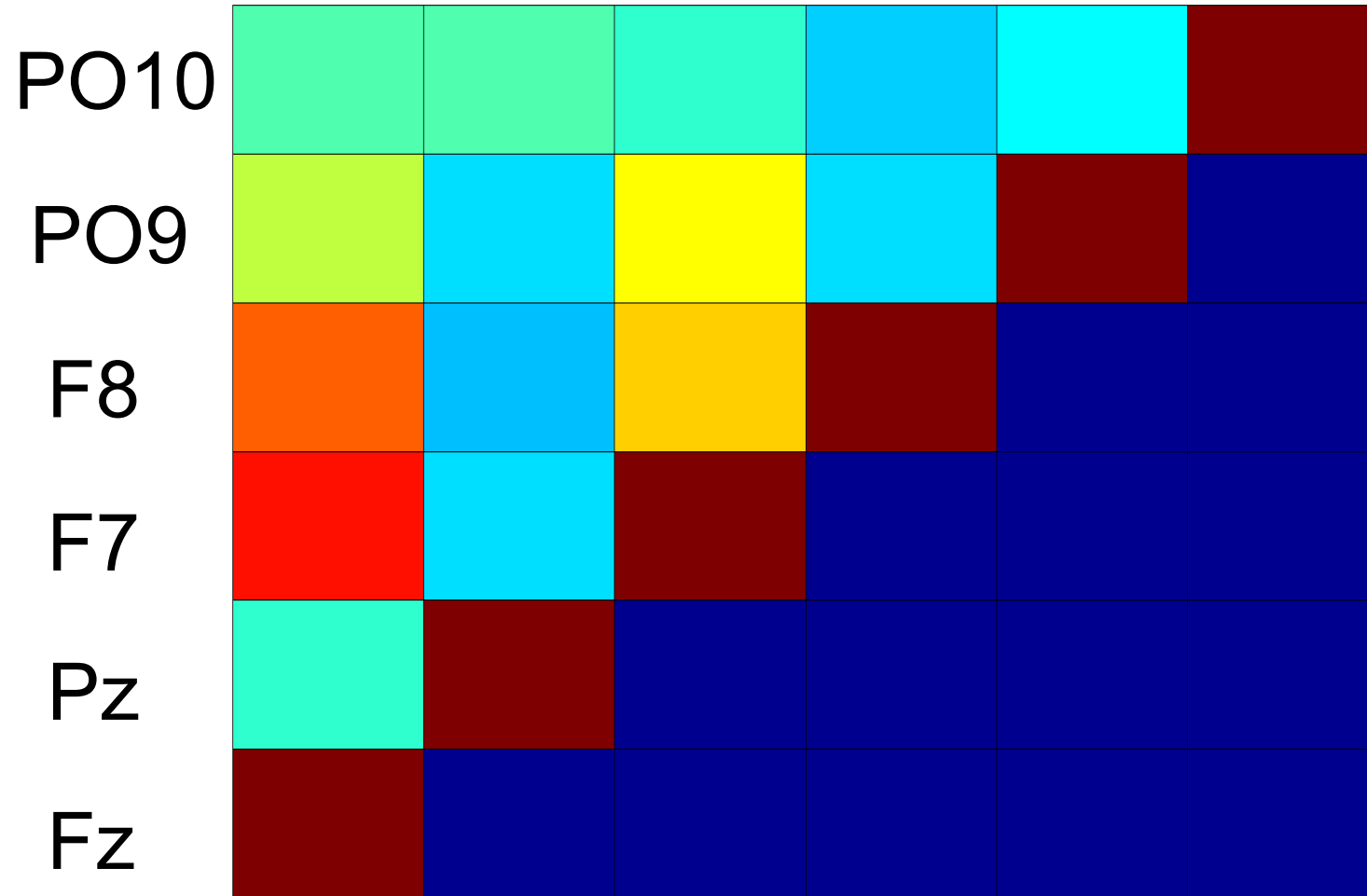
Fz Pz F7 F8 PO9 PO10



Correlation of ATvDFA

Rest2

Fz Pz F7 F8 PO9 PO10



Correlation of ATvDFA

FA

Fz Pz F7 F8 PO9 PO10

PO10

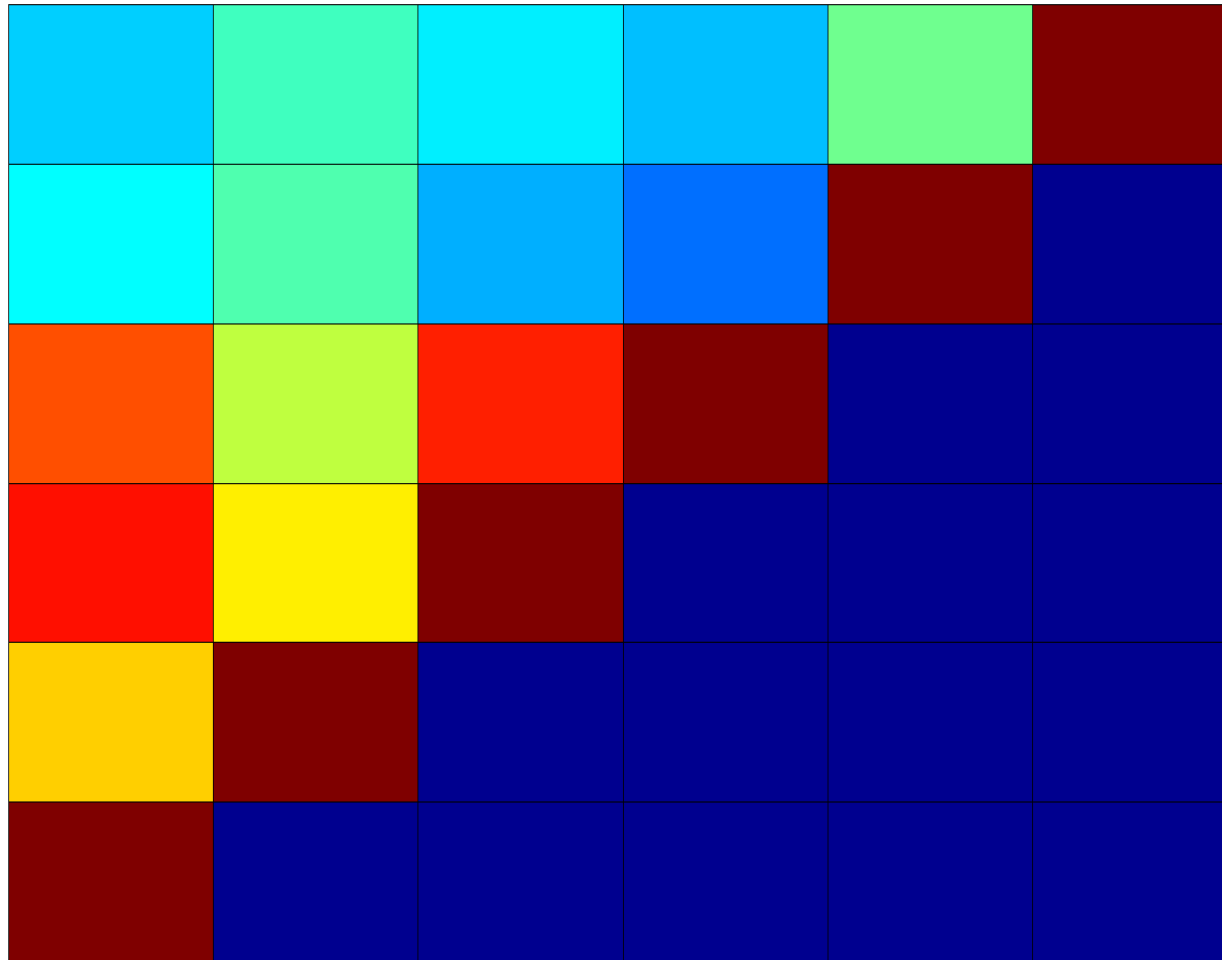
PO9

F8

F7

Pz

Fz



Correlation of ATvDFA

OM

Fz Pz F7 F8 PO9 PO10

PO10

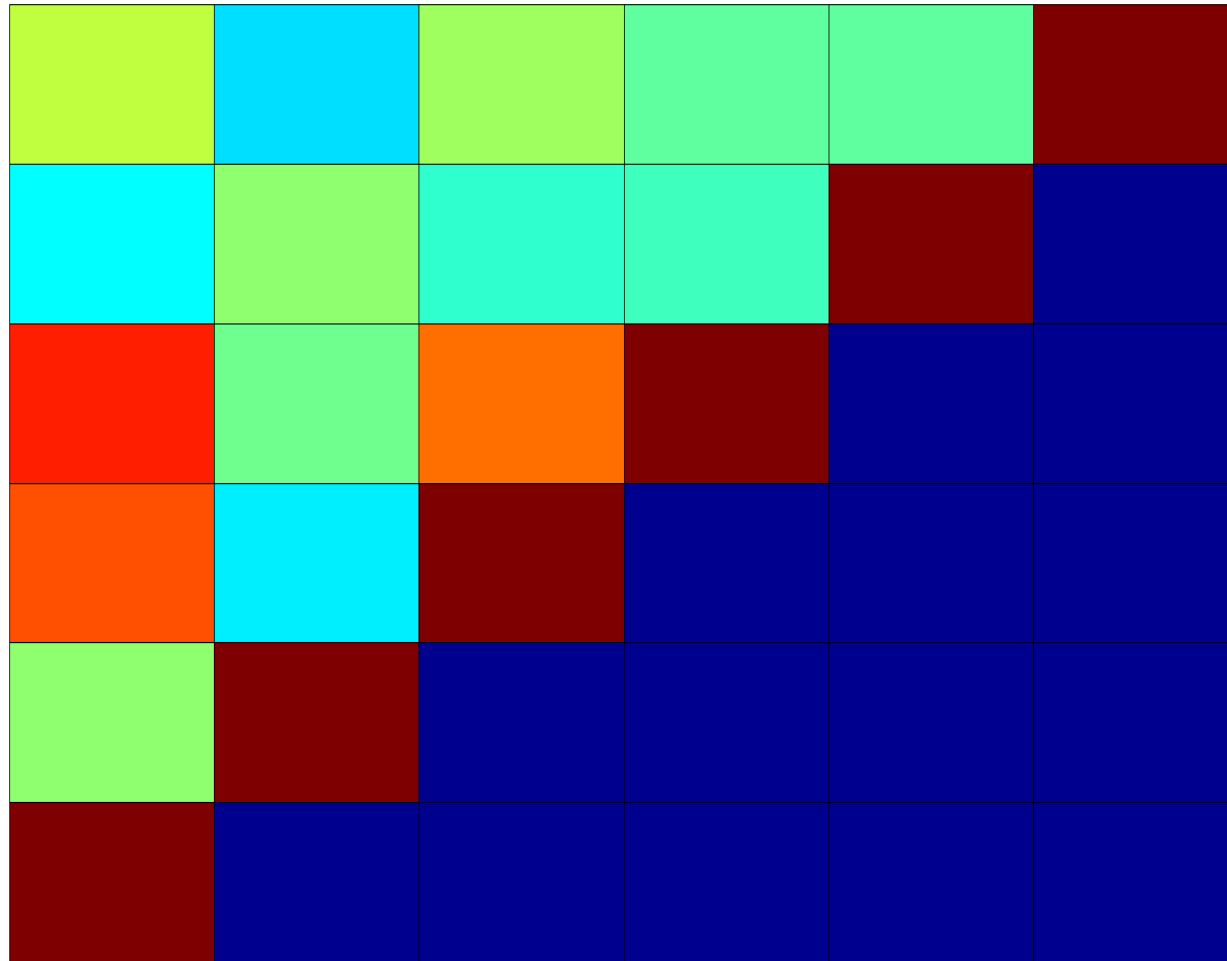
PO9

F8

F7

Pz

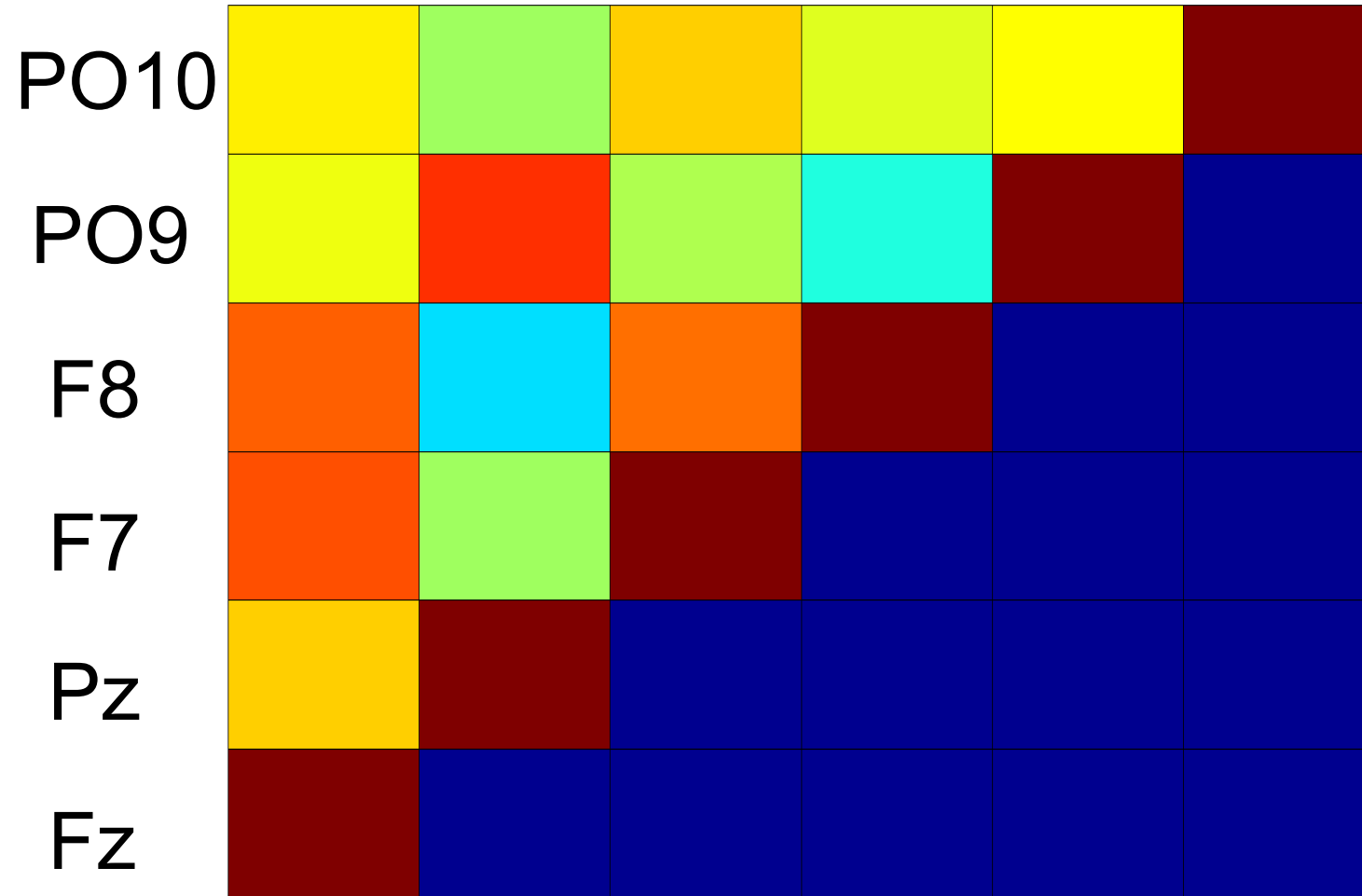
Fz



Correlation of ATvDFA

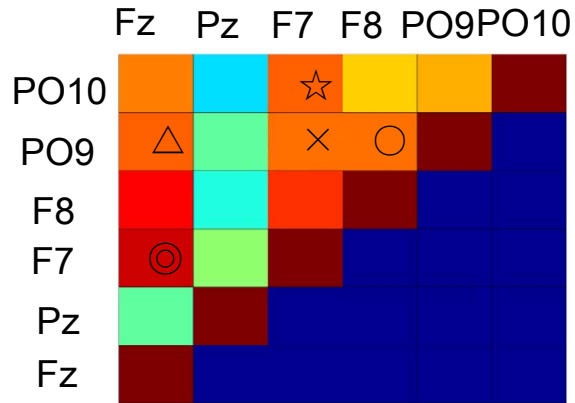
LK

Fz Pz F7 F8 PO9 PO10

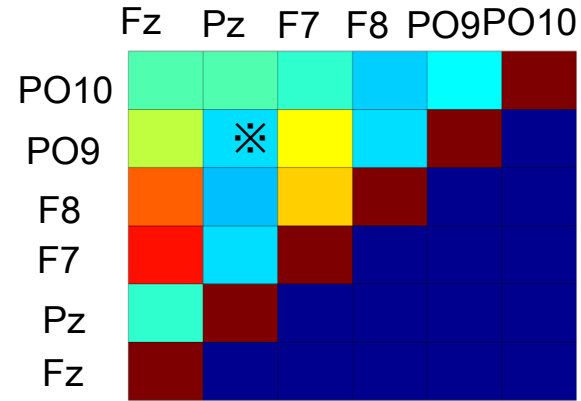


Correlation of ATvDFA

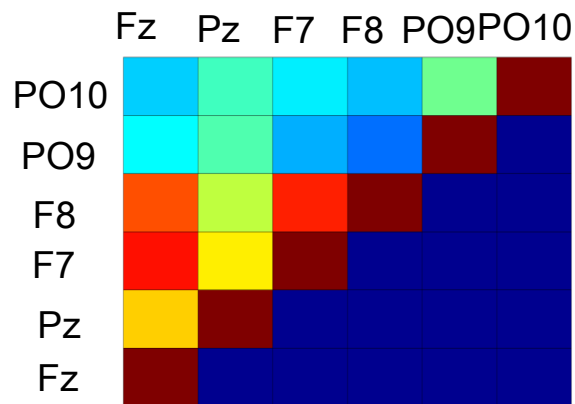
Rest1



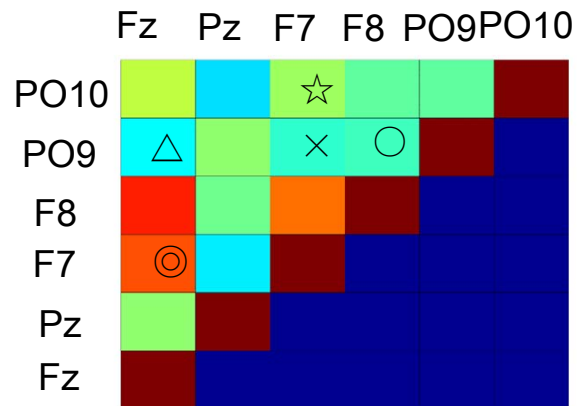
Rest2



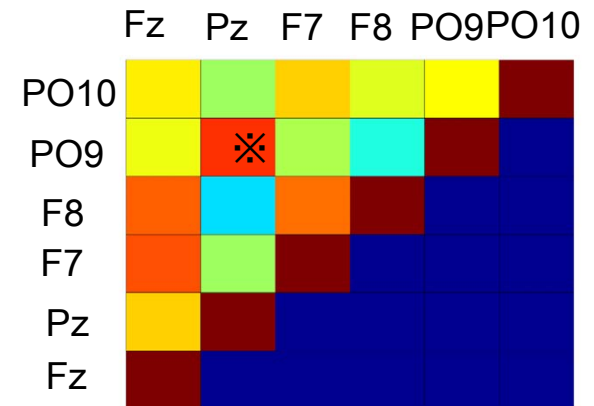
FA



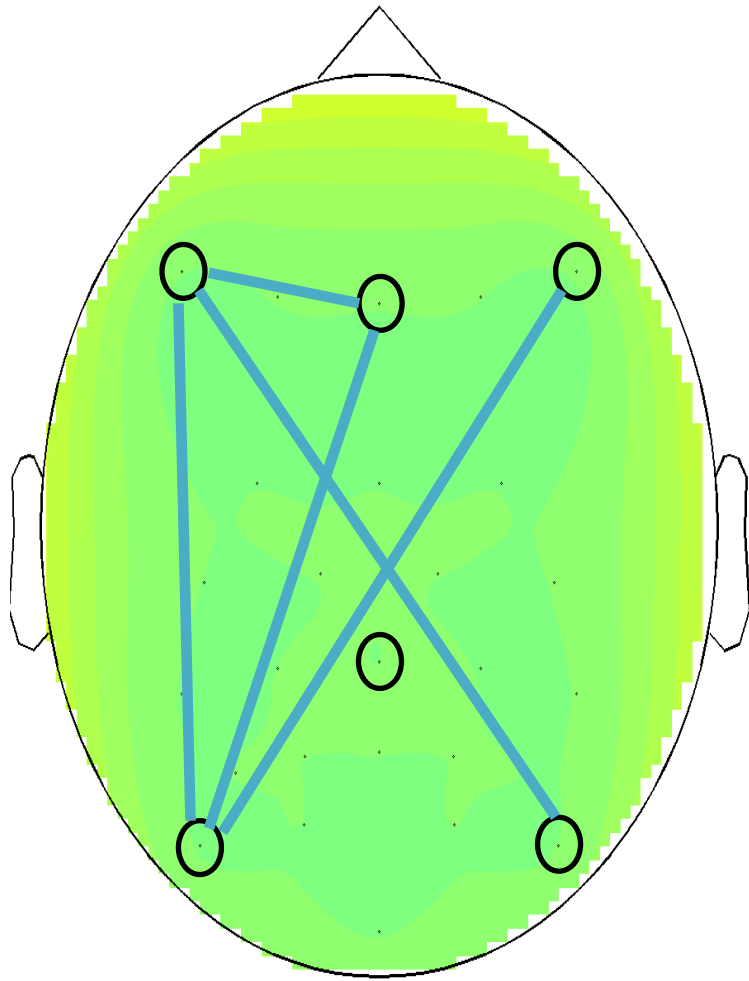
OM



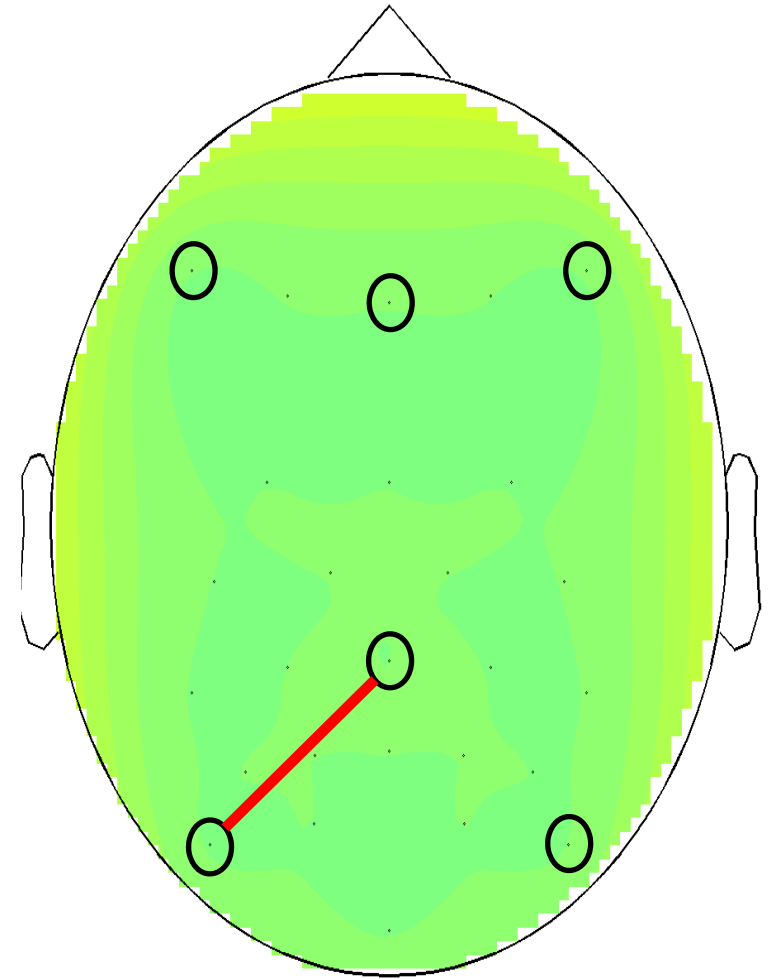
LK



Change in correlation of ATvDFA across conditions



Decrease from Rest1 to OM



Increase from Rest2 to LK

LRTCの時間変動の電極間相関

- LRTC時間変動の電極間相関は前頭領域で高い傾向がある。
- Rest1条件に比べてOM条件において電極間相関が有意に低下する。
- Rest2条件に比べてLK条件においてPz-PO9間の相関が有意に上昇する。
- 全般的に、Rest1条件に比べて瞑想条件で電極間相関が低下する傾向。

まとめ

- 瞑想時とレスト時の脳活動の差異について
- Negative な結果
 - α, β, θ のパワーに違いはない。
 - LRTCの強さ(セッション全体での推定値)に違いはない。
- Positive な結果
 - LRTCの時間変動はOM瞑想時にレストよりも安定的。
 - LRTC時間変動の電極間相関がOM瞑想時にレストよりも低下する。

可能な解釈

- 瞑想は脳活動の時間ダイナミクスをより相互作用的なモードに変容するのではなく、時間ダイナミクスを安定的な状態にする。
- 脳領域間の活動パターンの相関(類似性)を低めることから、瞑想により脳領域間が比較的自律的に活動するようになる、と考えられる。

今後の課題

- 協力者を増やす(10名くらいまで)
- コントロール群のデータ
- きちんとした統計解析
- データの前処理などの検討
- MRIの結果(藤野氏)との関連の検討