

## 【文献調査】

# Frequency-specific functional connectivity in the brain during resting state revealed by NIRS

滝 謙一                      廣安 知之

2015 年 04 月 16 日

## 1 タイトル

NIRS によって明らかにされたレスト状態におけるある特定の周波数の機能的結合

## 2 著者

Shuntaro Sasai, Fumitaka Homae, Hama Watanabe, Gentaro Taga

## 3 出典

NeuroImage, Volume 56, Issue 1, 1 May 2011, Pages 252-257

## 4 アブストラクト

fMRI で観察された自然な血流変化の解析は、レスト中の広く分離する脳領域間の信号変化において、“レスト状態の機能的結合”と呼ばれる時間的相関の存在を明らかにした。最近の研究は、これらの相関が NIRS で計測された血行動態信号の中にもまた存在することを証明した。しかしながら、これには未だ周波数特有の特性がこれらの信号内に存在するか不確かである。本研究では、私たちは多チャンネル NIRS を様々な脳皮質領域間の機能的結合の周波数依存を oxy-Hb と deoxy-Hb 信号の変化を様々な周波数帯域に分解することで調査した。まず、0.009-0.1Hz の広い範囲の中で、私たちは oxy-Hb と deoxy-Hb の両方で、近い領域同士と反対半球の領域同士で機能的結合を示すことを確認した。次に計測した変化を低い周波数成分に分解することによって、oxy-Hb は 0.04-0.1Hz の間で前頭部と後頭部の間に周波数特有の機能的結合が見られたと判断した。機能的結合の結合力を明らかにするために、私たちは選択したチャンネル間の結合度の平均を計算した。このアプローチは前頭部と後頭部間の結合性は 0.04-0.1 Hz という狭い範囲で高い結合度を示した一方、ある皮質領域の対極半側間の oxy-Hb 信号に基づく機能的結合は 0.009-0.1 Hz の広い範囲で高い結合度を示した。これらの発見は、前頭部と後頭部間の結合では、一事象に対する一般的な血行動態反応の時間尺度が特有の狭い周波数範囲においてのみ高い結合度を示すことから、離れた皮質領域間の過度な神経活動の同期を反映している可能性が示唆された一方で、対極半側領域の結合性は広い周波数領域にわたって、神経解剖学的な直接の接続を通して神経活動の同期を反映している可能性を示唆した。本研究は NIRS がレスト中の皮質のネットワーク特性を明らかにする強力な手法をもたらすことを示した。

## 5 キーワード

NIRS, Resting state, Functional connectivity, Frequency-specific cortical network, Coherence, Sampling rate

## 6 参考文献

脳活動の自然な変化はタスクや刺激が無い場合でも存在することが知られている。

[1]M.D. Fox, M.E. Raichle Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging Nat. Rev. Neurosci., 8 (2007), pp. 700-711

レスト状態で 0.1Hz 以下の周波数において、脳の明確な領域の BOLD 信号変化はおおよそ強い相関を示した。

[2]B. Biswal, F.Z. Yetkin, V.M. Haughton, J.S. Hyde Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI Magn. Reson. Med., 34 (1995), pp. 537-541

[3]Gepshtein, S. Two psychologies of perception and the prospect of their synthesis. Philos. Psychol. 23, 217-

レスト状態の機能的結合がレスト中のネットワークを構成していると考えられる。

- [4]J.S. Damoiseaux, S.A. Rombouts, F. Barkhof, P. Scheltens, C.J. Stam, S.M. Smith, C.F. Beckmann Consistent resting-state networks across healthy subjects *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 103 (2006), pp. 13848-13853
- [5]M. De Luca, C.F. Beckmann, S.N. De, P.M. Matthews, S.M. Smith fMRI resting state networks define distinct modes of long-distance interactions in the human brain *Neuroimage*, 29 (2006), pp. 1359-1367
- [6]M.D. Fox, M.E. Raichle Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging *Nat. Rev. Neurosci.*, 8 (2007), pp. 700-711
- [7]M.J. Lowe, B.J. Mock, J.A. Sorenson Functional connectivity in single and multislice echoplanar imaging using resting-state fluctuations *Neuroimage*, 7 (1998), pp. 119-132

幾つかの NIRS を使用した研究は機能的結合を示すことに成功している。

- [8]C.M. Lu, Y.J. Zhang, B.B. Biswal, Y.F. Zang, D.L. Peng, C.Z. Zhu Use of fNIRS to assess resting state functional connectivity *J. Neurosci. Meth.*, 186 (2010), pp. 242-249
- [9]B.R. White, A.Z. Snyder, A.L. Cohen, S.E. Petersen, M.E. Raichle, B.L. Schlaggar, J.P. Culver Resting-state functional connectivity in the human brain revealed with diffuse optical tomography *Neuroimage*, 47 (2009), pp. 148-156
- [10]H. Zhang, Y. Zhang, C. Lu, S. Ma, Y. Zang, C. Zhu Functional connectivity as revealed by independent component analysis of resting-state fNIRS measurements *Neuroimage*, 51 (2010), pp. 1150-1161

機能的結合が fMRI によって呼吸や心拍と分離可能な範囲の周波数成分で時間的相関によって特徴づけられた。

- [11]D. Cordes, V.M. Haughton, K. Arfanakis, J.D. Carew, P.A. Turski, C.H. Moritz, M.A. Quigley, M.E. Meyerand Frequencies contributing to functional connectivity in the cerebral cortex in “resting-state” data *Am. J. Neuroradiol.*, 22 (2001), pp. 1326-1333

fMRI を用いた研究は機能的結合を相互相関を用いて低周波成分 ( $<0.3$  Hz) において解析している。

- [12]S. Achard, R. Salvador, B. Whitcher, J. Suckling, E. Bullmore A resilient, low frequency, small-world human brain functional network with highly connected association cortical hubs *J. Neurosci.*, 26 (2006), pp. 63-72
- [13]R. Salvador, J. Suckling, C. Schwarzbauer, E. Bullmore Undirected graphs of frequency-dependent functional connectivity in whole brain networks *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 360 (2005), pp. 937-946
- [14]R. Salvador, A. Martinez, E. Pomarol-Clotet, J. Gomar, F. Vila, S. Sarro, A. Capdevila, E. Bullmore A simple view of the brain through a frequency-specific functional connectivity measure *Neuroimage*, 39 (2008), pp. 279-289
- [15]F.T. Sun, L.M. Miller, M. D’Esposito Measuring interregional functional connectivity using coherence and partial coherence analyses of fMRI data *Neuroimage*, 21 (2004), pp. 647-658

NIRS は高い時間分解能を持つため、低周波数の信号に呼吸及び心拍等の高い周波数活動のエイリアシングを防止する。

- [16]C.E. Elwell, R. Springett, E. Hillman, D.T. Delpy Oscillations in cerebral haemodynamics. Implications for functional activation studies *Adv. Exp. Med. Biol.*, 471 (1999), pp. 57-65
- [17]C.M. Lu, Y.J. Zhang, B.B. Biswal, Y.F. Zang, D.L. Peng, C.Z. Zhu Use of fNIRS to assess resting state functional connectivity *J. Neurosci. Meth.*, 186 (2010), pp. 242-249
- [18]H. Obrig, M. Neufang, R. Wenzel, M. Kohl, J. Steinbrink, K. Einhaupl, A. Villringer Spontaneous low frequency oscillations of cerebral hemodynamics and metabolism in human adults *Neuroimage*, 12 (2000), pp. 623-639
- [19]B.R. White, A.Z. Snyder, A.L. Cohen, S.E. Petersen, M.E. Raichle, B.L. Schlaggar, J.P. Culver Resting-state functional connectivity in the human brain revealed with diffuse optical tomography *Neuroimage*, 47 (2009), pp. 148-156

NIRS を用いた研究は、血行動態の変化をお. 0.1Hz 以下と 0.04Hz 以下の成分にぶりできることを示した.

[20]H. Obrig, M. Neufang, R. Wenzel, M. Kohl, J. Steinbrink, K. Einhaupl, A. Villringer Spontaneous low frequency oscillations of cerebral hemodynamics and metabolism in human adults *Neuroimage*, 12 (2000), pp. 623-639

[21]M.L. Schroeter, O. Schmiedel, D.Y. von Cramon Spontaneous low-frequency oscillations decline in the aging brain *J. Cereb. Blood Flow Metab.*, 24 (2004), pp. 1183-1191