

fMRI 高画質化のための定量的ノイズ解析

4V-6

熊澤 誠志

山本 徹

高井 昌彰 山本 強

北海道大学工学研究科 北海道大学医療技術短期大学部 北海道大学大型計算機センター

1 はじめに

近年、人間の脳機能を画像として計測する一つの方法としてファンクショナルMRI(fMRI)が注目されている。fMRIでは神経刺激による脳血行動態を、画像信号強度変化として観測し画像化している。fMRI画像で描出された部位が、神経刺激によって活性化された部位とできるだけ正確に対応することが求められる。しかしfMRI画像では画像化する際の検定パラメータや、拍動、呼吸、体動などの生理的揺動によってアーチファクトが生じてしまう。そこで、fMRIによる脳機能活性化部位の画像化の精度向上を目的とし、本研究ではアーチファクトの原因となる生理的揺動によるノイズを定量的に把握し、fMRI画像の画質評価を行う。

2 方法

2.1 MRI画像データ

Siemens Magnetom Vision(1.5T)にて被験者4名の頭部と頭部ファントム(6.8kg)に対し、繰り返し時間3s、エコー時間60ms、フリップ角 90° 、スライス厚5mm、スライス間隔0.5mm、スライス枚数5枚のエコープランナー撮像法で撮像した。MRI画像は、画像マトリクス 256×256 、FOV270mm、各スライス毎に65枚の3秒毎の時系列画像を撮像した。励起されたプロトンが定常状態に至るまでの時間を考慮し、解析には6枚目から65枚目の60枚の画像を用いた。

2.2 神経刺激

本実験では各被験者に対して、左手指タッピングをさせることで神経刺激を行った。神経刺激は、30秒間左手指タッピングを行い、その後30秒間休むということを繰り返した60秒周期タスクと、12秒間左手指タッピングを行い、その後12秒間休むということを繰り返した24秒周期タスク、さらに比較のために刺激のない休止状態、の3種類を用いた。

2.3 フーリエ変換による解析

各データ60枚の時系列画像に対して、直径10ピクセルの円形の関心領域(ROI)を設定した。ROIは、被験者では運動野の活性化部位に、ファントムではファントム画像中央部にそれぞれ設定した。設定したROI内の平均信号強度を3秒毎の時系列に並べ、それをフーリエ変換し、パワースペクトルを得た。撮像の際、被験者毎にMRI装置の検出感度が異なるため、それぞれの画像のバックグラウンドノイズの値でパワースペクトルを規格化した[1]。

3 結果と考察

被験者毎にパワースペクトルの値が異なるために、従来被験者間の比較が出来なかった。しかし各画像のバックグラウンドノイズの値で、パワースペクトルを規格化することにより、被験者間の絶対的な比較が可能となった。図1にファントムと各被験者の休止状態でのデータに対して解析を行った結果を示す。ファントムでは生理的揺動がないので、ファントムの規格化パワースペクトルを、生理的揺動のない極限的なノイズ限界とみなすことができる。したがってファントムと被験者の規格化パワースペクトルとを比較することで、生理的揺動によるノイズを定量的に把握することが可能となった。ファントムと被験者のパワースペクトルを比較すると、低周波数域でファントムに比べ、被験者のパワースペクトルが大きい。これは、時系列画像において最初の画像を参照画像として各画像の相関係数を求めたところ、経時的に相関係数が低くなっていることから、ゆっくりとした体動によるものであることがわかる。また高周波数域では、被験者のパワースペクトルは一定となり、ファントムとほぼ等しいことから、被験者の生理的揺動によるこの帯域のノイズが小さいことがわかる。拍動、呼吸がfMRI画像に影響することが示唆されているが[2]、ROI内のピクセル数が少ないためパワースペクトルが変動しており、拍動のエイリアシング(約0.1Hz)はその変動に埋れてしまったために、また呼吸のエイリアシング(約0.03Hz)は低周波数域に表れている体動の影響のために識別できなかったと考えられる。

同一被験者に対して60秒周期タスク、24秒周期タスク、休止状態でのデータの解析結果を図2に示す。60秒周期タスク、24秒周期タスクで実験を行った場合、運動野の活性化部位では、それぞれの周期に対応する周波数

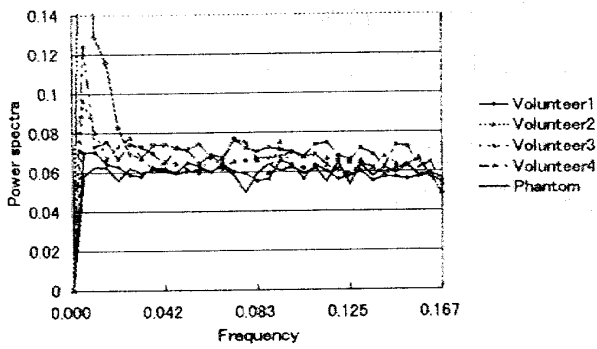


図 1:ファントムと各被験者（休止状態）のパワースペクトル

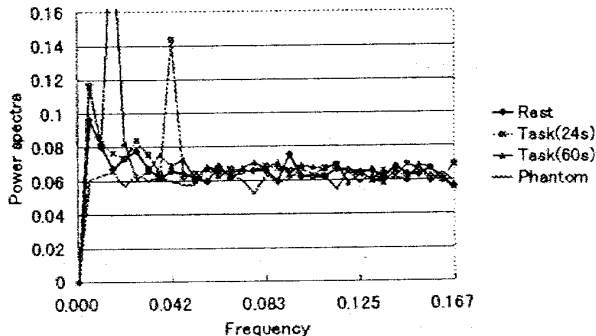


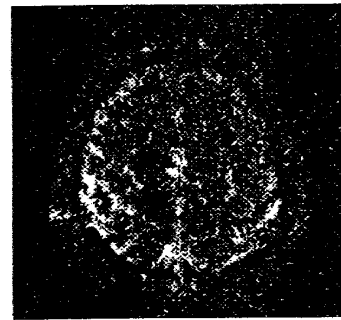
図 2:刺激周期の比較

でピークを示した。各時系列画素毎にフーリエ変換を行い、各周波数毎のパワースペクトルを濃度値とした画像を図3に示す。

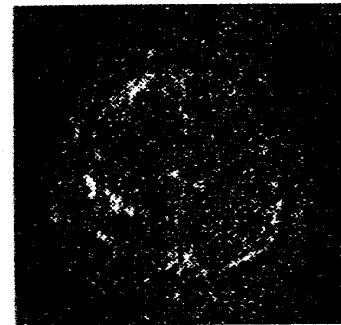
60秒周期タスクで実験したfMRIの60秒周期に相当する周波数(0.016Hz)でのパワースペクトル画像を図3(a)に、24秒周期タスクで実験したfMRIの24秒周期に相当する周波数(0.042Hz)でのパワースペクトル画像を図3(b)に、また休止状態での実験で、ドリフト的な体動の影響が表れる最低周波数(0.0052Hz)でのパワースペクトル画像を図3(c)に示す。図3(a)、図3(b)では刺激による活性化部位と生理的揺動のノイズによるアーチファクトが描出されている。体動によるアーチファクトは、脳表や脳溝などの境界部分に発生する。図3(c)は刺激のない休止状態で、ドリフト的な頭の動きによるアーチファクトが脳表や脳溝に出ていることがわかる。図3(a)ではアーチファクトと中心溝に沿った活性化部位が混在して描出しているが、これに比べ図3(b)ではアーチファクトが少なく、活性化部位が明瞭である。また今回の24秒周期タスクによる実験では、呼吸、拍動のエイリアシングや、体動の影響が少ない周期であるため、60秒周期タスクと比べ生理的揺動による影響が低減されていることがわかる。

4 まとめ

各時系列画像のバックグラウンドノイズの値で、パワースペクトルを規格化することにより、被験者間での



(a)60秒周期タスクでの実験(0.016Hz)



(b)24秒周期タスクでの実験(0.042Hz)



(c) 休止状態での実験(0.0052Hz)

図 3:各刺激周期でのパワースペクトル画像

絶対的な比較が可能となった。またファントムでの規格化パワースペクトルを極限的なノイズ限界とみなすことができるので、これと被験者の規格化パワースペクトルとを比較することにより、生理的揺動によるノイズを定量的に把握することが可能となった。さらにパワースペクトル画像において、低周波数域でドリフト的な頭の動きによる影響を観測した。また呼吸、拍動、体動などの生理的揺動の影響の少ない最適な刺激周期を用いることで、画質を向上させ得ることを示した。

参考文献

- [1] D.I.Hoult and R.E.Richards, Journal of Magnetic Resonance 24, 71(1976)
- [2] Klaus Baudendistel, et al., Magn. Reson. Imaging 13, 701(1995).