

4 D-3 脳機能研究のためのfMRIプロトコルの確立

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

人間の生理・心理・脳研究において、functional MRI (fMRI) により得られる脳機能画像の更なる高精度化が期待されている。fMRI では神経刺激による脳血行動態に伴う MR 画像信号強度変化を観測し、画像化している。fMRI において脳機能部位を正確に描出するには、拍動、呼吸、頭部全体の動きなどによるアーチファクトを低減する必要がある。

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、脳機能部位が正確に描出される fMRI 画像を得るためのプロトコルを確立する。

2 方法

2.1 MRI 画像データ

1.5T の MRI 装置にて被験者の頭部と頭部等価型ファントム (6.8kg) に対し、繰り返し時間 (TR) 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 枚のエコープラナー撮像法で撮像した。MRI 画像は、画像マトリクス 256×192 、FOV 270mm、各スライス毎に 65 枚の 3 秒毎の時系列画像を 65 枚、195 秒間撮像した。また時系列 MR 画像データの周波数帯域を拡張するため、TR を 250ms、画像マトリクス 128×128 、FOV 240mm、スライス枚数 1 枚で時系列画像 500 枚を 125 秒間撮像した。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、解析には最初の 5 枚を除いた時系列画像を用いた。

2.2 神経刺激

TR=3s で撮像した実験では、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。12 秒間

左手指タッピング、その後 12 秒間の休止からなる 24 秒周期タスクを繰り返した。また TR=250ms で撮像した実験では無刺激のみとした。

2.3 解析

各ピクセルの時系列信号強度の平均値に対する時間変動成分をフーリエ変換し、各周波数に対応する変動成分強度を画像化したパワースペクトル画像を各々の周波数に対して求めた。また時系列画像に対して、画像処理ソフトウェア (SPM96) を用いて頭部の動きの補正を行った [1]。

3 結果と考察

各実験毎に MRI 装置の検出感度が異なるため [2]、被験者、実験装置、実験条件が異なった場合での絶対的評価を行うにあたり、時系列画像のバックグラウンド (頭部以外の領域) ノイズの値でパワースペクトルを規格化した。また TR=3s、TR=250ms でファントムを撮像した画像を解析した結果、補正後のパワースペクトルのベースラインは、ファントム実験から得られる生理的揺動のない理想的な値とほぼ等しくなった (図 1)。このファントムでの実験から得られた値を基準に以下の考察を行った。

図 1 は TR=3s で撮像した画像の頭部領域における規格化パワースペクトルである。低周波数領域でパワースペクトルの値が動きの補正後低下していることから、ゆっくりとした頭部の動きの影響やタスク (指タッピング) に連動した頭部の動きの影響が補正されていることがわかる。

この実験での刺激パラダイムは、24 秒周期 (0.042Hz) の刺激パラダイムがそれよりも長い刺激周期のパラダイムに比べ、ゆっくりとした頭部の動きの影響を受けにくいことから、24 秒周期の刺激パラダイムを用いて行った [3]。図 2 は TR=3s で撮像した時系列画像での刺激周波数 (0.042Hz) におけるパワースペクトル画像で、図 2(a) は補正前、(b) は補正後の画像である。補正後のパワースペクトル画像では、右運動野に左手指に対応した活性化部位の他、アーチファクト (脳実質辺縁部や静脈洞) が描出されている。これらのアーチファクトは、TR=3s で撮像した場合ナイキスト周波数が 0.167Hz となるた

め、呼吸（約 0.3Hz）成分や拍動（約 1.3Hz）成分が折り返されてしまったために生じたものと考えられる。

この折り返しによるアーチファクトを防ぐために、TR=250ms（ナイキスト周波数:2Hz）で撮像した画像の頭部領域における規格化パワースペクトルを図3に示す。図3において補正後のパワースペクトルで0.33Hz、1Hzでピークが認められ、それぞれこの被験者の呼吸、拍動の周波数に一致している。この結果、TR=3sで撮像した場合アーチファクトの原因となった呼吸・拍動の成分を、TR=250msで撮像した場合には分離することができた。

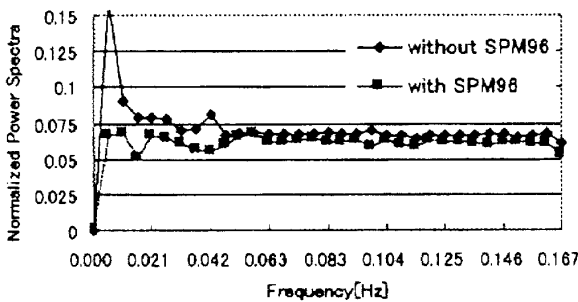


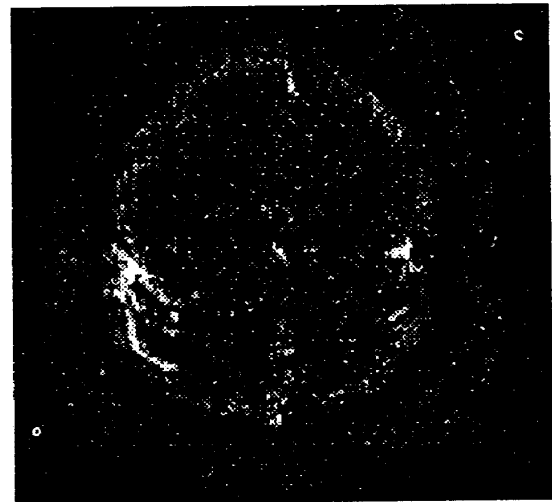
図1: TR=3sで撮像した画像の頭部領域における規格化パワースペクトル

4 まとめ

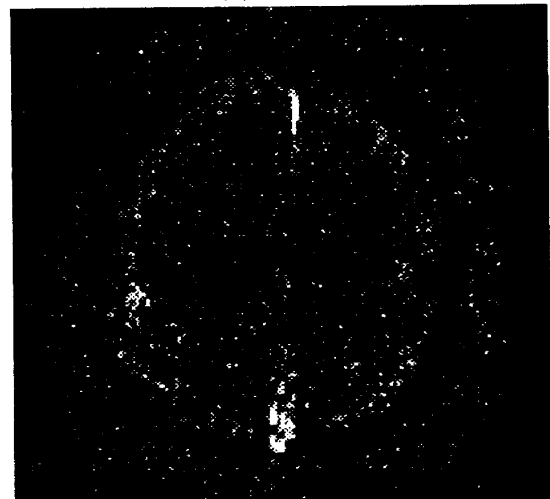
画像雑音強度を基に生理的揺動のない理想値を求め、これにより被験者の生理的揺動によるノイズを定量的に把握することが可能となった。動きの補正処理では頭部全体の動きの影響はほぼ補正されるが、一般的に用いられる1秒以上の長いTRでの撮像では折り返しの影響が残る。短いTR(例えば250ms)で撮像することで、アーチファクトの原因となる頭部全体の移動、呼吸、拍動の周波数成分を刺激周波数成分と分離できるため、生理的揺動によるアーチファクトの影響の少ないfMRI画像を得ることが可能となった。

参考文献

- [1] K.J.Friston, et al., Human Brain Mapping 2, 165(1995).
- [2] D.I.Hoult and R.E.Richards, Journal of Magnetic Resonance 24, 71(1976).
- [3] S.Kumazawa, et al., "Proc., ISMRM, 6th Scientific Meeting, Sydney, 1998," p.1460.



(a) 補正前



(b) 補正後

図2: TR=3sで撮像した時系列画像での刺激周波数(0.042Hz)におけるパワースペクトル画像

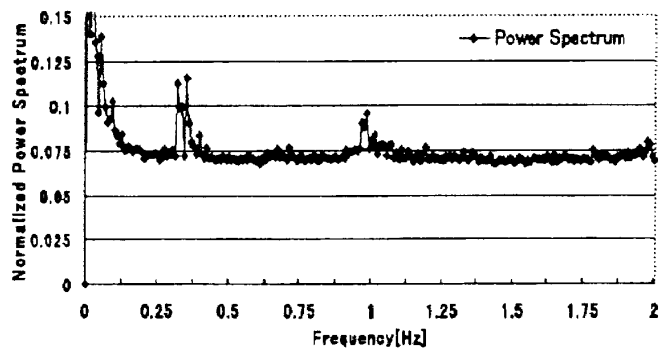


図3: TR=250msで撮像した画像の頭部領域における規格化パワースペクトル