

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700355

研究課題名（和文） ヒト後側頭葉における機能的磁気共鳴画像（fMRI）研究を行うための最適手法の開発

研究課題名（英文） Development of the optimized approaches to functional magnetic resonance imaging studies(fMRI) in human occipito-temporal cortex

研究代表者

Tanskanen Topi (TANSKANEN TOPI)

独立行政法人理化学研究所・認知機能表現研究チーム・研究員

研究者番号：90549007

研究成果の概要（和文）：視覚系の機能的磁気共鳴画像(fMRI)実験では一般にグラジエントエコー・エコープラナーイメージング(GE-EPI)が用いられ、後頭側頭葉皮質では大きな信号が得られるものの側頭葉下側面や側頭極では大きな信号欠損に苛まれる。本研究課題の目的は十分な信号検出力と撮像スピードを維持しつつ信号欠損や空間歪み問題を最小化し、ヒトの後頭側頭葉皮質 fMRI 法を最適化することである。開発したマルチショットスピンエコー・エコープラナーイメージングにより後頭側頭葉皮質を含む歪みのない機能画像を取得できた。皮質視覚処理機能の研究に SE-EPI 法を用いたところ GE-EPI ではほぼ完全な信号欠損により応答が見られなかった耳道近傍で物体カテゴリに特化した領域を検出することができた。さらに、空間歪みがなくなり機能と構造の正確な一致を実現した。顔と物体が後頭側頭葉皮質においていかに表現されているかという理解を完全なものにするために役立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Visual functional magnetic resonance imaging (fMRI) experiments are commonly conducted with gradient echo echo-planar imaging (GE-EPI), which yields strong responses in the posterior occipito-temporo cortex but suffers from prominent signal loss on the inferior surfaces and anterior poles of the temporal lobes. The aim of the present study was to optimize fMRI of the human occipito-temporal cortex by minimizing signal loss and distortions while maintaining sufficient functional sensitivity and imaging speed. The developed multi-shot spin echo echo-planar imaging (SE-EPI) provided undistorted functional images with a good coverage of the occipital-temporo cortex. When applied to the study of visual processing in the cortex, SE-EPI detected patches of category-specific responses in areas around the ear canal where GE-EPI, suffering from almost complete signal loss, detected no responses. Furthermore, the minimal spatial distortions facilitate precise matching of function and anatomy. The results should thus help reveal a complete image of how faces and objects are represented in the occipito-temporal cortex.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総 計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学・神経科学一般

キーワード：認知科学 神経科学 脳・神経

1. 研究開始当初の背景

(1) 非常に変化に富む視覚情報入力を受け、無限ともいえる種類の物体や人物を正確に認識するために後頭側頭葉皮質は主要な役割を果たしている。これは、過去数十年の間にヒトとサルを対象とした電気生理実験、脳損傷の影響、イメージング研究により裏付けされている。

(2) しかしながら、ヒトの後頭側頭葉皮質における機構の詳細や符号化の動作原理については未だに議論が続いている。ヒトについてこの領域を調べる障壁となっているのはとりわけ機能的磁気共鳴画像法(fMRI)における信号欠損と空間歪み問題によるものであり、近傍に耳道などの複雑な中空構造が多く存在し局所的な磁場不均一性が大きく、正確な信号が得られないことが要因である。

(3) 本研究課題の目的は、後頭側頭葉皮質を fMRI によって調べるときに直面するこの問題を計測法およびデータ処理法を最適化することで低減することである。この技術開発は長らく続いてきた論争解決の糸口となり、ヒトの視覚処理系の理解を深めることが期待される。得られる結果は、ヒトと動物について蓄積されてきた知見をつなぐ架け橋としても期待できる。成果は同様に磁場不均一の問題を抱える前頭葉下側部などの脳領域を対象とする fMRI 研究にも役立つであろう。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、ヒトの後頭側頭葉皮質にある高次視覚領野研究のために fMRI 法を最適化することであり、具体的には磁場歪みによる信号欠損と空間歪みを最小化し良好な脳機能信号を検出することである。

(1) 第一の課題は最も広く用いられるグラジエントエコー・エコープラナーイメージング(GE-EPI)法に比べ局所磁場変化の影響を受けにくいスピンエコー・エコープラナーイメージング(SE-EPI)法を導入することであった。しかしながら、SE-EPI法で得られる恩恵の代償として、長い撮像時間、低い信号感度、高い高周波電磁波の照射などが挙げられる。故に、

(2) 第2の課題はこれらの問題点を克服することで、マルチショット法、パラレルイメ

ージング法、3ラインナビゲータエコー法、フィールドマップ歪み補正、傾斜磁場によるオフレゾナンス信号抑制といった手法を導入した。

(3) 最後の課題は、この最適化された手法を用いて、ヒトの物体および顔認知の神経基盤を調べ、従来の GE-EPI 法によって得られた視覚皮質機能地図に補足を加えることができるかどうかを検証することであった。結果として、磁場不均一アーチファクトに汚染される領域を含む歪みの少ない機能地図を作り、これまでは動物実験によってのみ示されていた後頭側頭皮質全体のイメージングをヒトにおいて可能にすることが期待された。最終的には顔や物体という視覚情報が後頭側頭葉皮質においていかに表現されているかということを明らかにすることに繋がってゆく。

3. 研究の方法

(1) 全ての実験は、頭部専用傾斜磁場コイルを備えたアジレント社製 4 テスラ全身用 MRI 装置を用いて行われた。RF 信号はボリュームコイルにより送信し、4あるいは12チャンネルの受信専用アレイコイルにより受信した。撮像面は側頭葉と後頭葉の下側面と平行になるように設定し、15枚程度の3mm厚スライス(面内解像度3mm x 3mm)で後頭葉と側頭葉の視覚領野を撮像範囲に含んだ。EPI データの空間歪みの評価と機能信号の空間的位置を把握するために T1 強調解剖画像撮像も行った。

(2) 始めに、1ショットの SE-EPI シーケンスを準備し撮像した。このシーケンスにより信号欠損はよく抑えられたものの、大きな空間歪みを生じた。この歪み問題を解消するために、エコートレインを短くすることが可能なマルチショット法を導入した。

(3) また、SE-EPI 法で一般に問題となる長いボリューム TR (fMRI 画像のサンプリング間隔)の問題はマルチショット法では更に深刻で、その対策として、パラレルイメージング法の一つである TSENSE 法を導入した。

(4) 更に、比較的長い撮像の間の信号揺らぎを低減させるため、3ラインナビゲータエコーを導入し、信号補正を行った。SE-EPI 法自体比較的大きな RF パワー照射を必要と

するため、オフレゾナンス信号抑制には RF パワー照射を要しない傾斜磁場操作による手法を用いた。4 ショットとパラレルイメージング法を組み合わせ画像再構成後、GE-EPI 法では 1.1 秒、SE-EPI 法では 1.8 秒のボリューム TR となった。TE はそれぞれ 25 ミリ秒と 71 ミリ秒であった。残存する信号空間歪みの補正のためフィールドマップ法の効果を検証した。

(5) 機能実験では、顔、建物、物体（車、楽器、花、果物）の画像とそれらをスクランブル状にした画像が被験者にブロックデザイン形式で提示され、被験者は一つ前の画像との一致を確認したときボタン押し応答を行った。低い信号値と低いサンプリング周波数を補うために、SE-EPI 実験は各被験者について 4 日にわたって繰り返された（同等のデータ量を収集するため GE-EPI 実験は 2 日実施された）。結果として被験者ごとに、主な画像カテゴリそれぞれについて 5 1 2 のサンプリング点を収集した。

4. 研究成果

(1) 1 ショットや 2 ショットの SE-EPI ではエコートレインが長いために空間歪み問題が顕著であるが(図 1 左)、4 ショットになると解剖画像とよく一致するまで歪みが低減される(図 1 右)。

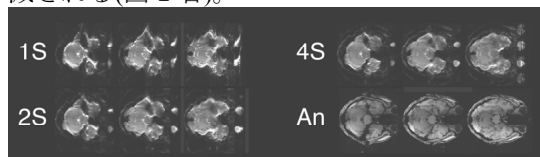


図 1. ショット数による SE-EPI 空間歪みの相違

(2) 一般に用いられる GE-EPI と比較して SE-EPI は解剖画像とよく一致する。GE-EPI 画像と異なり、耳道の近傍領域からも信号検出が認められる（図 2）。

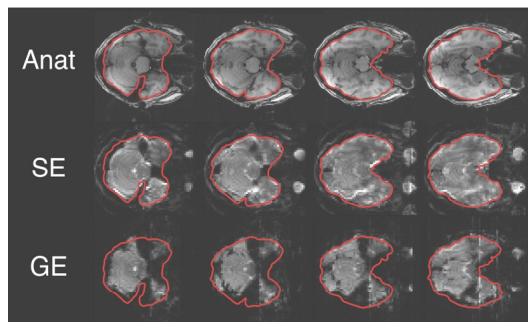


図 2. マルチショット SE-EPI と GE-EPI における信号欠損の相違 (T1 強調解剖画像との比較)

(3) SE-EPI では信号雑音比（平均値を標準偏差で割ったもの）は側頭後頭葉皮質にわたり比較的一定であったが、GE-EPI では耳道近傍で特徴的な信号低下を示した（図 3）。

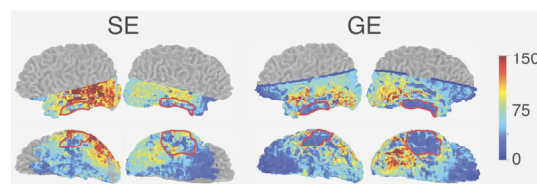


図 3. SE-EPI と GE-EPI データの信号雑音比

(4) 皮質領域にわたってより均一な信号雑音比が得られた SE-EPI は GE-EPI よりも前方と側方の領域に視覚応答（刺激画像 > グレースクリーン）を検出した(図 4)

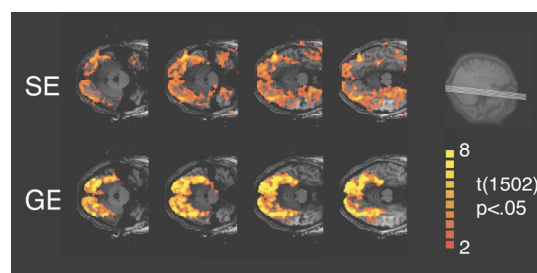


図 4. SE-EPI と GE-EPI によって示された視覚選択性皮質

(5) 本来低い信号値である SE-EPI を用いると、標準的な 1 日の撮像では後頭側頭視覚野のマッピングを行うには十分でない（図 5 左上）。複数日にわたって計測されたデータを蓄積することで、検出できる皮質領域が増加した（図 5 左下）。GE-EPI においては、複数日に渡って計測されたデータを合わせても検出された領域はほとんど変わらず、1 日の撮像データが十分な検出力をもつことが示された（図 5 右）。

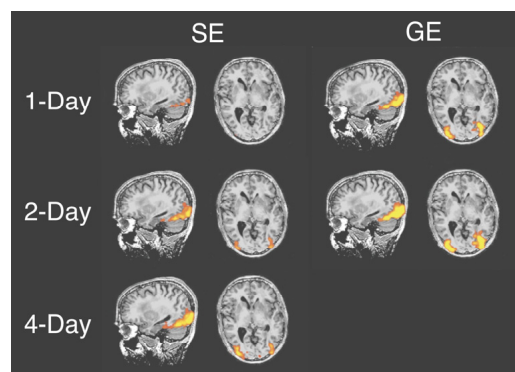


図 5. SE-EPI と GE-EPI によって同様に検出された物体選択性領域のデータ量による相違

(6) 十分な量のデータが集められると、一般に物体選択性領域として報告されている外側後頭複合体 (LOC) は、いずれの手法でもスクランブル画像に比較して通常の画像に対する応答が有意に大きい領域として検出された (図 6)。



図 6. SE-EPI と GE-EPI の両方で検出された物体選択性領域

(7) 物体選択性領域は磁化率アーチファクトの影響を受けにくい SE-EPI によってのみ検出された (図 7 左)。一方、その他いくつかの脳領域の応答は GE-EPI のみで検出されており、磁化率アーチファクトを受けにくくかつ信号変化が微弱な領域であるためと考えられる (図 7 右)。

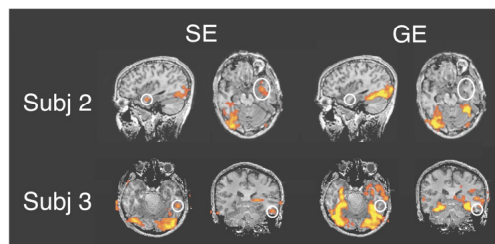


図 7. SE-EPI あるいは GE-EPI 何れか一方で検出された物体選択性領域

(8) 耳道の近傍において SE-EPI では顔の処理に特化された皮質領域が検出されたが、従来の GE-EPI では検出できなかった (図 8)。

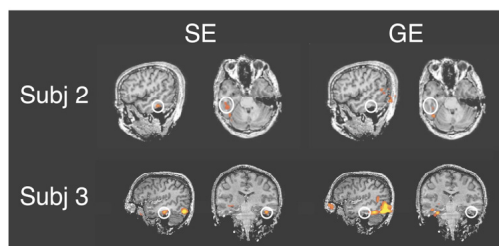


図 8. SE-EPI のみで検出された顔選択性領域

(9) 結果、SE-EPI は GE-EPI では深刻な信号欠損に苛まれた側頭後頭葉領域からの信号検出に成功した。SE-EPI と GE-EPI は皮質応答に関する相補的情報を提供するため、両者を合わせて用いることによって、顔や物体が下側側頭葉皮質においていかに表現されているのかという問題の解決が促進されると

考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① TANSKANEN, Topi、上野賢一、程康、(株)メジカルビュー社、ビジュアル脳神経外科 2 側頭葉・後頭葉、査読無、2010、p.66-73

〔学会発表〕 (計 3 件)

- ① TANSKANEN, Topi、WAGGONER, R.Allen、上野賢一、田中啓治、程康、Imaging human face and object responsive visual areas with spin-echo and gradient-echo fMRI、The 18th Annual Meeting for Organization for Human Brain Mapping、24 年 6 月 10-14 日、Beijing, CHINA (予定)
- ② TANSKANEN, Topi、WAGGONER, R.Allen、田中啓治、程康、Mapping human face and object responsive visual areas with spin-echo vs. gradient-echo fMRI、脳と心のメカニズム第 12 回冬のワークショップ-脳内シミュレーション、24 年 1 月 17 日、ルスツ
- ③ TANSKANEN, Topi、WAGGONER, R.Allen、上野賢一、田中啓治、程康、Comparison of human face and object responsive visual areas mapped by spin-echo and gradient-echo fMRI、41st Annual Meeting of the Society for Neuroscience、23 年 11 月 14 日、Washington DC、USA

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

Tanskanen Topi (TANSKANEN TOPI)

独立行政法人理化学研究所・認知機能表現研究チーム・研究員

研究者番号：90549007