

II MRI研究の最新動向

2. fMRIの最新動向

黄田 育宏 情報通信研究機構未来ICT研究所脳情報通信融合研究センター

機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging : fMRI) は、ヒト脳機能を非侵襲的に可視化する方法として、認知神経科学や臨床研究において中心的な役割を担っている。近年、ハードウェアを含む画像取得技術の進化や解析手法の高度化により、fMRIの可能性は大きく広がっている。本稿では、MRI装置の超高磁場化、撮像技術や解析技術の向上によるfMRIの進歩について解説する。

より速く

fMRIは、主に血中の脱酸素化ヘモグロビン量の変化を指標とするBOLD (blood oxygenation level-dependent) コントラストを用いて、脳活動を可視化する非侵襲的な方法である¹⁾。fMRI (以下、fMRIはBOLD-fMRIと同義) は、1990年代以降、空間分解能2~3mm程度、時間分解能2~3秒程度の撮像が一般的であった。しかし、近年、超高磁場MRIの普及や同時マルチスライス撮像技術の導入により、高解像度かつ高速なfMRI撮像技術が大きく進歩した。特に、マルチバンドEPI (echo planar imaging) の普及により、1秒以下で脳全体を撮像することが可能となり、時間分解能が大幅に向上した²⁾。

従来のfMRIは、撮像の時間分解能が比較的遅く、神経活動に対する血行動態反応が数秒遅れるため、主に0.1Hz以下の低周波数成分の信号を観測してきた。しかし、MR撮像技術の高速化により、0.1Hz以上の高周波数成分の計測が可能となり、最大で約0.75Hzの周波数成分から脳活動に関する情報が得られることが示されている。これにより、fMRI信号が速い神経活動を、ある程度反映できる可能性が示唆されている^{3)~5)}。また、刺激後のボクセル時系列の変化パターンから刺激を分類できることが報告されており⁶⁾、fMRIの高速化によるデータ量の増加は、パターン解析の可能性を広げるものである。さらに、刺激提示

直後のfMRI信号には神経特異的な情報が含まれていることが示唆されており、高速fMRIにより再び注目されるようになった⁷⁾。実際、われわれは、脳情報通信融合研究センター (CiNet) に導入された7T MRIを用いて、刺激直後のfMRI信号 (initial dip) には顔表情の解読に有用な情報が含まれていることを明らかにし、刺激提示直後の負の信号成分が認知情報の解読に寄与できる可能性を示した⁸⁾。

以上のように、fMRIの時間分解能は、最終的には脳血行動態応答に依存すると考えられており、従来は速い時間スケールの神経活動に関連する情報は含まれないとされてきた。しかし、fMRIの高速化に伴い、より速い応答成分に対する関心も高まりつつある。そのため、脳活動のより正確な計測と解釈を可能にする適切な血行動態応答モデルの開発が求められている^{9), 10)}。

より細かく

fMRIの高解像度化も著しく、3T MRIにおいて3mm程度であった空間分解能は、マルチバンドEPIの導入により2mm程度に向上し、7T以上の超高磁場MRIや高度な傾斜磁場の導入により、1mm未満 (サブミリメートル) のボクセルサイズでの取得が可能となった。一般に、fMRIは3T MRIで行われており、繰り返し時間 (repetition time : TR) は1~2秒程度で、脳全体の撮像が可能である。これに対して、超高磁場