

II 最新MRI技術の可能性：基礎編

2. 超高磁場MRIによる脳機能評価の実際

福永 雅喜 自然科学研究機構生理学研究所心理生理学部門

超高磁場MRIは、超伝導マグネットの技術開発とともに変遷し、現在では7T以上の装置が該当する¹⁾。米国では、ヒト用として10.5T MRIが導入され被験者の撮像を開始した。11.7T MRIの稼働も間近で、MRIの高磁場化は継続して進められている。7T MRIは、すでに世界で80台以上、本邦でも5台が運用されており、欧米では頭部と四肢に限定されるものの臨床用途も承認された。本稿では、筆者の経験を含め、7T MRIの特徴と脳機能イメージングへの応用を紹介する。

7T MRIの特徴

1. 7T MRIシステム

現在のヒト用7T MRIは、臨床装置と同一のプラットフォームを踏襲する。7T MRIのマグネットは、自己遮蔽型の採用で鉄シールドが不要となり小型軽量

化が進むが、3Tの1.5～2倍以上の大きさ、重量である。高い比吸収率 (specific absorption rate : SAR) やRF 磁場 (B1+) 不均一の問題により、今のところボディ用RFコイルは装備しておらず、小径コイルが利用できる。送信用ボリュウムコイルとアレイコイルの併用が一般的である。頭部、四肢が主な対象だが、体幹部用コイルの開発も進められている。静磁場およびB1不均一の対策として、三次のシムチャンネル、8チャンネル以上のパラレル送信 (parallel transmission : pTx) システムなどが、7T特有の装備として挙げられる。

2. 物理パラメータ

磁場強度 (B0) の上昇により変化するパラメータと、そのメリットおよびデメリットを表1にまとめる。

7Tがもたらす最大の恩恵は、感度 (signal to noise ratio : SNR) の上昇で

ある。B0の上昇は、磁化と共鳴周波数の上昇を導き、共に信号の増大に作用する。経験的に、感度はB0に比例することが知られ、7Tでは3Tの約2.3倍の感度改善が見込まれる。また、受信コイル技術の発展と相まり、ヒト脳では線形以上の感度上昇が得られる²⁾。空間分解能はSNRに強く依存するため、超高磁場が期待される高分解能画像への寄与は大きい (図1)。

7Tの¹H共鳴周波数は、約298MHzである。送信周波数の上昇は、不均一励起の誘因となる。298MHzのRF波は、生体内で11cm (3Tでは約26cm) に短縮し、頭部サイズ以下となるため、入射RF波と反射RF波が干渉するdielectric effectが増強する³⁾。頭部では、中心部に対して周辺部の信号減弱が30～40%にも達する (3Tでは約20%) が、非スピンエコー (以下、SE) 系シーケンスでは目立たない。対策とし

表1 磁場強度上昇によるメリットとデメリット

物理・生体パラメータ	磁場強度 (B0) 上昇による変化	メリット	デメリット
磁化	上昇	SNRの上昇	
共鳴周波数	上昇	SNRの上昇	SARの上昇
ケミカルシフト	上昇	スペクトル分解能の向上	水・脂肪信号の位置ズレの増大
RF波長	短縮	パラレルイメージングの効率上昇	励起パルス (B1) の不均一増大
T1緩和時間	延長	T1コントラストの増強, TOF-MRA および ASL-PWI の信号増大	繰り返し時間 (TR) の延長
T2緩和時間	短縮	T2コントラストの増強	エコー時間 (TE) の短縮
T2*緩和時間	大幅な短縮	T2*コントラストの増強	エコー時間 (TE) の短縮
磁化率効果	増大	BOLD-fMRI および SWI のコントラスト増強	背景磁場不均一に由来する幾何学的歪みの増大, 信号欠損の増大