

5. MR fingerprintingの原理と技術動向

寺田 康彦 / 佐々木 椋一 筑波大学数理物質系理工学域

MR fingerprinting (以下、MRF) は、T1やT2などの組織パラメータに関する定量画像を、1回のスキャンで得ることができる枠組みである。本稿では、MRFの基礎について簡単に説明し、技術的および臨床的な開発状況について概説する。

MRFとは

T1やT2のような組織に関するNMRパラメータは、MR画像のコントラストを決める重要な物理量である。これらの物理量を画像化する定量画像法は、古くから数多く開発されているが、基本的には長い撮像時間を要するものが多く、臨床的に使用されるケースは限られている。一方、最近開発されたMRF^{1), 2)}では、基本的には1回のスキャンで複数の組織パラメータ画像を得ることができる。したがって、ほかの手法に比べてずっと時間効率良くT1やT2の定量画像を取得できる。また、MRFは、パルスシーケンスの設計自由度が高く、拡散、灌流などのほかの組織パラメータを同時に得られるように工夫できる。さらに、オフレゾナンスやB1不均一性といった装置パラメータを取得して、影響を取り除くことができる。したがって、異なる装置間やサイト間で、高い再現性を担保することができる³⁾とされている。

MRFの原理

MRFの原理について簡単に説明する

(図1)。MRFでは、①信号取得と②辞書照合の2つのステップを実行する。信号取得用のシーケンスは、T1やT2などの求めたい組織パラメータに対し、敏感に信号が変化するように設計されている。よく使われているのは、true FISP (bSSFP/FIESTA) 系^{1), 2)}と、FISP (SSFP-FID, GRASS) 系³⁾のシーケンスであり、共に反転プレパルスを使ってT1に対する感度を高めている。また、エコー数の多い(通常は1000個程度の)マルチエコーを使い、多数の信号を取得することで、後処理計算の正確性を向上させるだけでなく、モーションアーチファクトに対する耐性も高める²⁾。各励起パルスのフリップ角や、隣接する励起パルスの時間間隔(MRFではこれをTRと呼ぶ)などを変える(図1 a)ことで、感度の向上が図られている。

MRFでは、測定データからT1やT2などのパラメータ画像を得るために、あらかじめ作成しておいた「辞書」を使うのが最大の特徴である。この辞書は、T1やT2などのパラメータ値を固定した場合に予想されるハイパーエコーの信号系列をシミュレーションし(図1 d)、この結果を多数のパラメータ値の組み合わせについてまとめたものである。この辞書と測定データとを「照合」し(図1 e)、最も似ている辞書のアイテムを決定した後、そのアイテムに対応するT1やT2の値を抽出して画像化する(図1 f)。この測定データと辞書との照合作業が指紋照合と似ていることから、“fingerprint-

ing”と名づけられている。

ボクセル内の核磁化のシミュレーションは、当初はBloch方程式を使って実空間上で行われていたが、ボクセル内の核磁化の個数の最適化が面倒であるなどの理由から、拡張位相グラフ法(以下、EPG)⁴⁾を使ってk空間上で行う方法も用いられるようになった。EPGの方が計算時間は短い、スライスプロファイルなど、ボクセル内で核磁化の位相が非線形に変化するようなケースでは、Blochシミュレーションの方が適している。

測定データと辞書の照合には、内積法²⁾がよく使われている。内積法は、モーションアーチファクトなどにも強く、高い精度と確度を持っていることが示されている。照合に必要な計算は比較的長く、一般的なデスクトップPCの環境でおよそ160秒である²⁾。そのため、辞書を圧縮する方法⁵⁾や、画像再構成と照合を同時に行うなどにより、照合作業を高速化する方法⁶⁾も提案されている。

MRFでは、多数のマルチエコーを短時間で取得する必要があるため、spiral軌跡がよく使われており(図1 c)、アンダーサンプリング(Nyquist条件よりも少ないデータ点で行うサンプリング)で測定点を大胆に減らすことで、全体の測定時間を大幅に短縮している²⁾。一般に、アンダーサンプリングを行うと、再構成画像にエリアシングアーチファクトが現れる。これを除去するため、MRFでは多数のエコー画像を取得し、それぞれの画像で異なるエリアシングのパターンが