

II MRI研究の最新動向

1. Advanced diffusion MRI研究の最新動向

鎌形 康司 / 高林 海斗 順天堂大学大学院医学研究科放射線診断学講座

diffusion MRI (拡散MRI) は、生体内の水分子の拡散の挙動から、ボクセルスケール以下の脳組織の微細構造情報を推定するために使用されてきた。拡散MRI信号を種々の数理モデルに当てはめることで計算される定量値から、軸索や髄鞘の変化など、従来の構造MRIでは推定し得なかったミクロな変化を検出することができる。一般的なモデルに、diffusion tensor imaging (DTI), diffusion kurtosis imaging (DKI) などがあり、これまで神経・精神疾患をはじめとし、非常に多岐にわたる疾患の評価に用いられてきた。

近年では、拡散MRIの利用は、従来の大脳白質だけにとどまらず、灰白質の評価に向け、新たなモデルや解析手法の開発が盛んとなっている。実際に、今回シンガポールで開催された ISMRM 2024 では、“Diffusion in Gray Matter” というセッションもあり、非常に盛り上がりを見せていた。そこで、本稿では、灰白質の微細構造推定のための新たなモデルおよびそのモデルを使用した臨床研究について紹介する。

SANDI とは

拡散MRIによる従来の脳微細構造推定のためのモデルは「標準モデル」と呼ばれ¹⁾、脳組織は通常、以下の2つのコンパートメントから構成されていると仮定している。

- ① 神経突起内プール (軸索, 樹状突起, 神経膠細胞突起) : 拡散が制限された挙動を示すと想定され、不透過性

のシリンダもしくはシリンダの半径が無視できると仮定した場合「stick」としてモデル化される²⁾。

- ② 神経突起外プール : 拡散が妨げられた挙動を示すと想定され、等方性もしくは異方性のガウス拡散としてモデル化される (図1 a)。ある状況下では、神経突起外プールのうち脳脊髄液 (CSF) の寄与分を free-water コンパートメントとして扱うこともある。標準モデルにおいては、方向分布関数 (ODF) の形状や各コンパートメントの拡散率・体積分率などを単純化した仮定を持つ種々のモデルが提案され、主に

白質の微細構造推定に用いられている^{4)~8)}。

白質においては神経突起外プールは軸索外空間の水に対応するが、灰白質では細胞外空間の水と、神経膠細胞からニューロンまでのあらゆる細胞タイプの細胞体 (soma) の水が含まれる。実際に、細胞体は灰白質の体積の約10~20%を占めているとされ^{9)~11)}、白質と灰白質のこのような形態学的違いから、細胞体を不透過性の球体としてモデル化したもの (3コンパートメントモデル) が Soma and Neurite Density Imaging (SANDI) である³⁾ (図1 b)。SANDIで

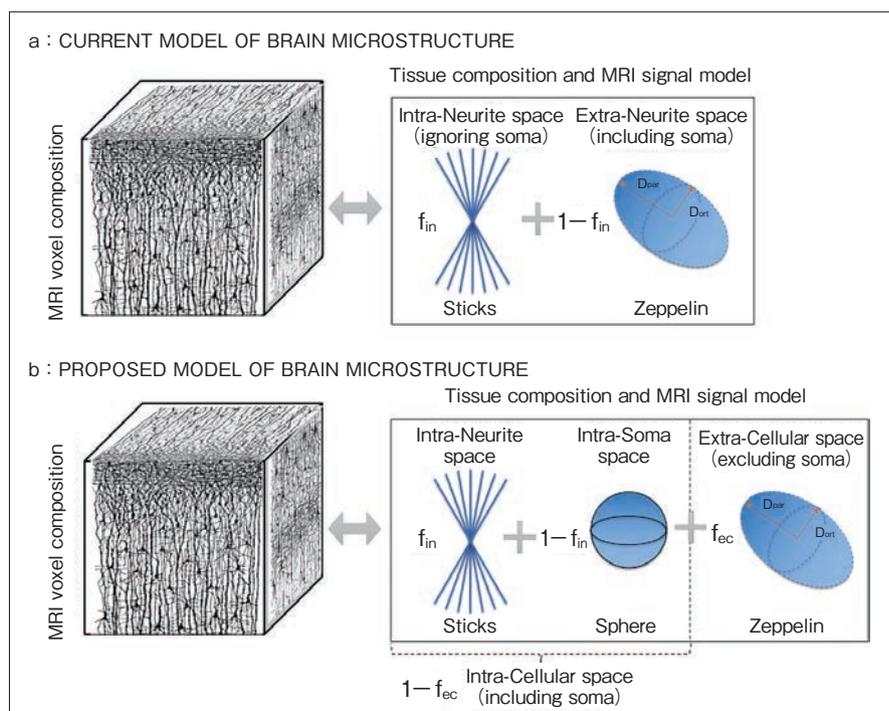


図1 従来の脳微細構造の標準モデル (a) と SANDI モデル (b) の模式図 (参考文献3) より引用転載)