

9. 頭 部 ——拡散尖度画像 (DKI)

田岡 俊昭

奈良県立医科大学中央放射線部

拡散画像が臨床の現場で応用されるようになって15年以上となり、特に脳梗塞症例での拡散強調画像は今日の診療になくはならないものとなっている。近年、生体組織の水分子の拡散をより精密に観測する手法として、q-Space imaging (QSI) や拡散尖度画像 (DKI) といった非正規分布拡散画像と呼ばれる撮像法が紹介され、臨床での応用も始まりつつある。本稿では、拡散画像の原理を踏まえて、DKIについて紹介したい。

拡散強調画像

拡散強調画像は、生体内の水分子の動き (ブラウン運動) の大きさを画像化したものである。十分に広い空間では、分子のブラウン運動はランダムであり正規分布に従うが、通常の拡散強調画像は生体内でもこの仮定を採用している。拡散強調画像は、180°パルスの前後に motion probing gradient (MPG: 拡散検出磁場) を印加することで得られる (Stejskal-Tanner法)。b値はMPGの強さを示しており、

$$b = \gamma^2 G^2 \delta^2 (\Delta - \delta/3)$$

として定義される (ここで γ : 回転磁気比, G : MPG強度, δ : MPG 印加時間, Δ : MPG 印加間隔, $\Delta - \delta/3$: 有効拡散時間)。複数のb値をとるとその傾きが拡散係数となるが、生体内には灌流などさまざまな要素があるため、見かけの拡散係数 (apparent diffusion coefficient: ADC) と言われる。拡散強調画像の臨床応用として、急性期脳梗塞での高信号が広く用いられている。これは、急性期脳梗塞病変での細胞の膨化により拡散運動が制限されることが原因とされている。

拡散テンソル画像

生体内での水分子の拡散は、すべての方向に均等ではなく、方向によって拡散の速さが異なる。このような拡散の状

態を異方性拡散と呼ぶ。例えば、神経組織では線維の方向の水分子の拡散は速いが、線維の直交方向の拡散は遅くなる。この拡散の異方性を評価できるのが拡散テンソル法である。拡散テンソル法は、拡散が正規分布に従うという仮定で、単一のb値で、三次元的な広がりを持つ複数のMPGを印加し、比較的短い撮像時間、シンプルなモデルでの解析を可能としている。拡散テンソル法で得られるパラメータには、拡散能を示す上述のADC値が用いられるほか、拡散の異方性を示すFA (fractional anisotropy) 値などがある。例えば、線維の密な組織では、線維の方向の拡散に比べて直交方向の拡散能は抑制され、拡散異方性は高くなる。一方、変性疾患などで線維の構造が損傷されれば、線維と直交方向の拡散も亢進し、拡散異方性が低下するなど、脳内での異方性拡散を評価することで組織の状態を推定できる。また、拡散テンソル法で求められた各ボクセルでの拡散楕円体の主軸をつなげることで、線維の走向方向を類推する手法であるトラクトグラフィは、さまざまな研究で用いられているほか、術前の錐体路の走行の描出などでの臨床応用も行われている。

非正規分布拡散画像

上述の拡散強調画像も、その応用である拡散テンソル法も、「拡散は正規分布に従う」という前提に基づく。だが、この正規分布モデルを複雑な構造を持