

2. IVIMの脳腫瘍への応用と今後の展望

梶尾 理 / 樋渡 昭雄 / 山下 孝二 / 菊地 一史
 染原 涼 / 亀井僚太郎 / 本田 浩

九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学分野

intravoxel incoherent motion (以下, IVIM) は, 1980年代の拡散強調画像の黎明期に Le Bihanらによって提唱された概念, 手法である¹⁾。拡散強調画像で得られる信号には, 水分子のランダムな拡散のほかに毛細血管内の灌流も影響しているが, IVIMはこの拡散と灌流を分離し, 定量化しようとする試みである。初期の拡散強調画像では低いb値を用いていたため, 必然的に拡散強調画像の信号に灌流が大きく影響した。しかし, 高いb値を使用することができるようになると灌流の影響が小さくなるため, これが議論されることは少なくなった。しかしながら, 得られる灌流の情報を有効に活用しようと, 体幹部領域でのIVIMの臨床的有用性が近年多く報告されている^{2)~4)}。一方, 脳では体幹部と比べて報告は少ない^{5), 6)}。その理由として, 脳ではdynamic susceptibility contrast (以下, DSC) 法やarterial spin labeling (ASL) 法という優れた灌流画像の手法が存在することが挙げられる。しかしながら, IVIMには, ①造影剤やその急速静注が必要なく, 非侵襲的である, ②比較的単純な数学的解析法を用いている, ③定量的である, ④拡散と灌流のパラメータ画像

は同一データから作成されるため, 必然的に同一の空間情報を持つ, などの利点がある。本稿では, IVIMの基本原理と脳腫瘍への応用, 今後の展望について概説する。

IVIMの概念

生体組織における水分子の微視的な動きには, 水分子のランダムな拡散のほかに, 毛細血管内の血流, すなわち灌流が存在する(図1)。毛細血管内の血流は, 血管レベルの空間では方向性を持つcoherentな動きであるが, 画像のボクセルレベルの空間で見れば, 全体としてはランダムなincoherentな動きとして観察される¹⁾。すなわち拡散強調画像で観察する生体内の水分子のincoherentな動きには, 従来の拡散のほかに毛細血管内の灌流も含まれる。単一のb値ではこれらの拡散と灌流を区別することができないが, 複数のb値にて拡散強調画像を撮像し, 信号変化を観察することでこれらを分離することができる。毛細血管の灌流速度は水分子の拡散速度と比べてかなり大きいいため, 低いb値(< 200s/mm²)では灌流の影響が大きく, 高いb値(> 400s/mm²)

では灌流の影響が少ない(図2)。拡散強調画像の定量値として広く用いられているapparent diffusion coefficient (以下, ADC) は, 2点以上のb値で得られる信号強度に対しmono-exponential fittingを行うことで得られるが, IVIMでは多点のb値で得られる信号強度に対しbi-exponential fittingを行うことで, 灌流と拡散のパラメータを分離して得ることができる。IVIMモデルにおける信号強度とb値は以下の式にて表される。

$$S = S_0 \cdot \{(1-f) \cdot \exp(-b \cdot D) + f \cdot \exp(-b \cdot D^*)\}$$

この式の最初の項は拡散, もう一つの項は灌流を表している。ここでSはあるb値における信号強度, S_0 は $b=0$ s/mm²における信号強度, fは灌流している水分子の割合(perfusion fraction), Dは真の拡散係数(true diffusion coefficient), D^* は疑似拡散係数(pseudo-diffusion coefficient)である。f, D, D^* という3つの未知数をbi-exponential fittingにより求める。ここで, 3つの未知数を同時にfittingする方法と, 灌流の影響が少ないb値(200~400s/mm²)を用いてmono-exponential fittingによりDを求め, 残りの2つの未知数fと D^* をbi-exponential fittingにより求める方法がある。前者は, 初期値の設定次第で解が不安定になる可能性がある。後者は, 最初のfittingに用いるb値の選択によって結果が異なってしまう可能性がある。Dは, ADCと異なり灌流の影響を含まない拡散係数であり, fと D^* がそ

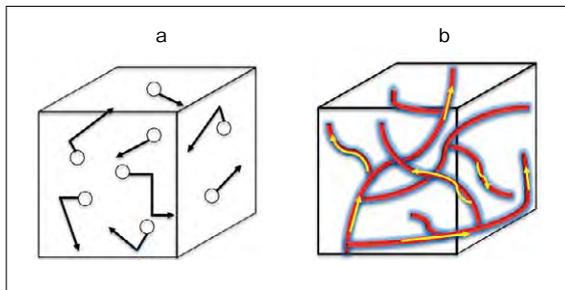


図1 ボクセル内の水分子の動き
 生体組織における水分子の微視的な動きには, 水分子のランダムな拡散(a)のほかに, 毛細血管内の血流, すなわち灌流が存在する(b)。ボクセルレベルの空間で見れば, 毛細血管内の血流はランダムなincoherentな動きとして観察される。