

3. T1ρ

明石 敏昭*1/田岡 俊昭*1/岩城 義規*2
奥秋 知幸*3/吉川 公彦*1

*1 奈良県立医科大学放射線医学教室 *2 平成記念病院放射線課 *3 Philips Healthcare Asia Pacific

核スピンをパルス励起すると、スピンの有数の変化によって、全磁化ベクトルは熱的平衡状態である+z軸からずれる。このずれた磁化が+z軸方向に回復する過程が、縦緩和(longitudinal relaxation)である。縦緩和は、熱的平衡の再確立であり、熱の形でエネルギーを周囲に伝達することで、スピンのエネルギーを失っていく過程である¹⁾。初期の固体NMRにおいて、過剰なエネルギーは周囲の固定された格子と呼ばれる環境に分散されることから、スピン-格子緩和(spin-lattice relaxation)と言われた。

この緩和が起こるには、適切な条件が必要である。その基本的な必要条件とは、核スピンのLarmor周波数で振動する時間依存性の磁場であり、そのような磁場は振動や回転、拡散などの局所的な分子の運動によって生じている¹⁾。よって、遅い分子運動に関連した縦緩和を観測するには、それに対応した低いLarmor周波数での観測が必要である。しかし、臨床で利用されているMRI装置の静磁場は1~3Tで、それに対応するLarmor周波数は42.6~128MHzとなるので、遅い分子運動をしていると考えられる高分子を反映した情報を直接得ることはできない。そこで、T1ρ緩和の観測では数kHz程度(<1GでのLarmor周波数に相当)のスピンロックパルスを使うことによって、高分子の濃度や構造、組成などを反映した情報が得られると考えられている。このような高分子の情報を反映したT1ρ値は、バイオマーカーとしての有用性が期待されている。

T1ρとは

T1ρとは、回転座標系でのスピン-格子緩和(spin-lattice relaxation in the rotating frame)の時定数である²⁾。数十ミリ秒程度の長く、低出力のRFパルスであるスピンロックパルス(B1)をy'軸方向に倒した磁化に加えることで、回転座標系ではB1のもとで緩和が生じる。これは、B0での縦緩和と同じ状況で、回転座標系でのスピン-格子緩和とされる。

このT1ρ値を測定するには、まず、非選択的90°パルス(90°_{+x'})をx'軸方

向からかけて、磁化を+y'軸方向に倒す。そして、スピンロックパルス(B1)によって倒れた磁化をy'軸方向にロックする。B1を加えている間(time of spin lock: TSL), 磁化には回転座標系でB1を静磁場とするようなスピン-格子緩和が起こる(図1)。

T1ρに従って緩和した磁化は、-x'軸方向から非選択的90°パルス(90°_{-x'})をかけることで再びz'軸へ戻した後に、その信号を得ることでT1ρ緩和を反映させた画像となる。この画像の信号強度は式(1)のように、TSLに依存して指数関数的に減衰する。

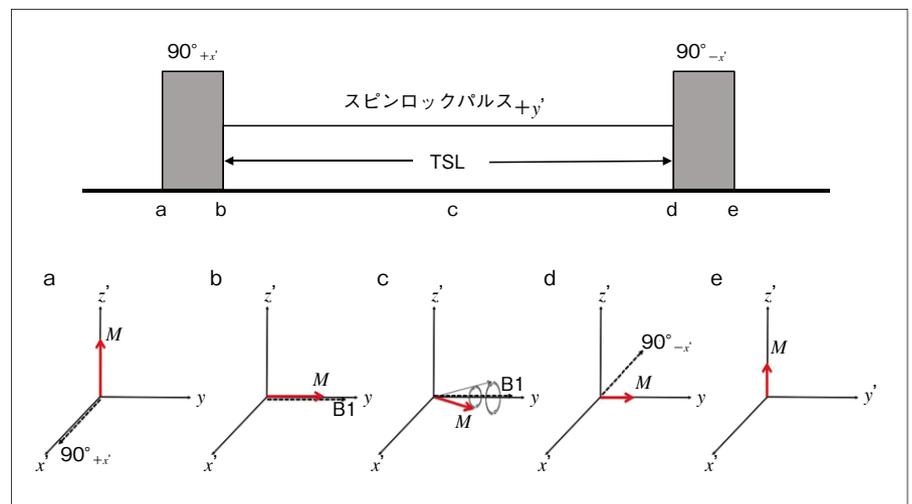


図1 T1ρ MRI

- a: 非選択的90°パルス(90°_{+x'})をx'軸方向からかけて、磁化Mを+y'軸方向に倒す。
- b: スピンロックパルス(B1)によって倒れた磁化Mをy'軸方向にロックする。
- c: B1を加えている間(TSL), 磁化Mには回転座標系でB1を静磁場とするようなスピン-格子緩和が起こる。
- d: T1ρに従って緩和した磁化は、90°_{-x'}をかけることで磁化Mを再びz'軸へ戻す。
- e: この状態で撮像することでT1ρ緩和を反映した画像となる。