

True FISP の基礎

巨瀬勝美

筑波大学物理工学系

はじめに

ここ数年、他の撮像法にはない特長をもった高速撮像法である True FISP が、様々な領域で活用され始めている。シーケンスそのものは、既に 1980 年代の半ば頃に発表されていたが¹⁾、そのままの形で実施するとアーチファクトが見られるため、本格的に使用されるには、ハードウェアの進歩と、シーケンスに対する改良が必要であった。そして、これらの改良を経たシーケンスは、旧来の FISP とは区別して、True FISP と呼ばれている。

True FISP を理解するためには、まず、定常状態の核磁化の運動を理解する必要があり、次に、その定常状態が、どのようにして到達されるのかを理解する必要がある。以下に、Heid による解説などを参考にしながら説明したい^{2)~4)}。

True FISP における核磁化の定常状態

Fig. 1 に、プレパレーションパルスも含めた True FISP のシーケンスを示す。このシーケンスにおいては、すべての勾配磁場の積分値が TR 間で 0 であるため、核磁化の定常状態は、RF パルスによる磁化のフリップ、緩和、静磁場のオフセットによる歳差運動で議論することができる（積分値がゼロでない勾配磁場の効果は、静磁場のオフセット分布として考えることもできる）。

さて、定常状態の核磁化を、磁場オフセットがゼロのときに、RF パルスを印加する軸 (x' 軸) 方向から見ると、核磁化は、 λ cone と呼ばれる曲面（核磁化が T_1 と T_2 で緩和するとき、原点を始点とする核磁化ベクトルの終点が運動する曲面）上を、 α と $-\alpha$ のフリップ角をもつ RF パルスを受けて、緩和しながら左右にフリップする (Fig. 2)。このように、緩和が生じても、位相の反転した RF パルスの作用により、より深く倒され、これが繰り返されることにより、定常状態が達成される⁴⁾。

磁場オフセットがある場合にも、Fig. 3 に示すように、 α パルスと $-\alpha$ パルスが交互に加えられることにより、ちょうど、RF パルスの中

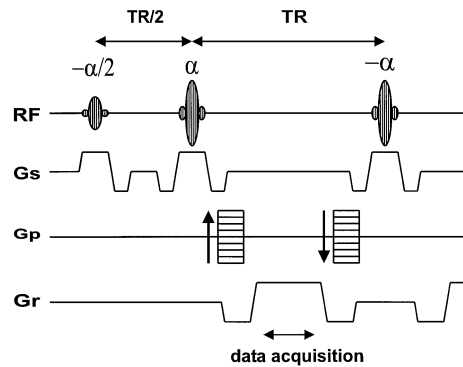


Fig. 1. After the preparation pulse, a dummy sequence with (α) TR $(-\alpha)$ TR is repeated several or many times and image data are acquired using the same sequence with phase encoding.

キーワード gradient echo, SSFP, FISP, True FISP

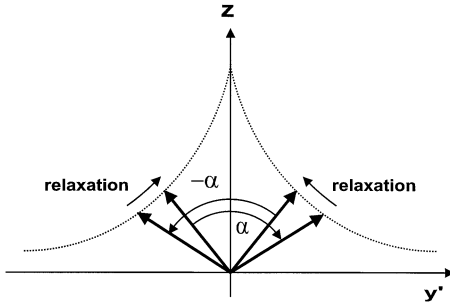


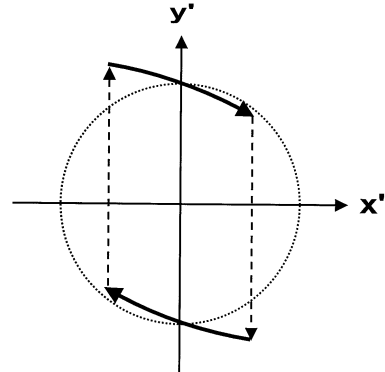
Fig. 2. The nuclear magnetization relaxes along the λ cone and is flipped to the opposite side by the RF pulse with the polar angle α . The flip from the one side to the other is repeated in the steady state free precession (SSFP).

間の時点 ($t = TR/2$) において、核磁化は、フリップした方向の y' 軸上に集まる (Fig. 3 (a)). ところが、これは、磁場オフセットによる TR 間の歳差運動の位相変化 (resonance offset angle と呼ばれている) が $\pm\pi$ 以内の場合であり、磁場オフセットがこれを超えると、核磁化は、 y' 軸に関して、フリップした方向とは反対の y' 軸上の位置に集まる (Fig. 3(b)) (この定常状態への到達は自明ではないが、経験的にも確認されている). このため、TR 間の位相変化が、 $\pm\pi$ 程度となる画素においては、画素内の核磁化による信号が打ち消され、帯状の低信号領域として観測される. これが dark band と言われるアーチファクトである.

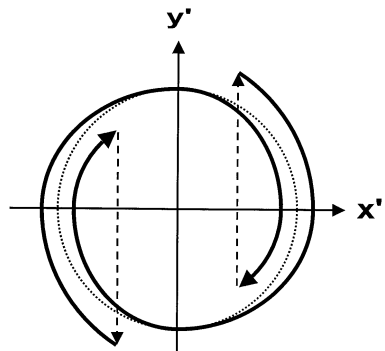
なお、旧 FISP においては、スライス勾配磁場とリード勾配磁場の積分値がゼロでないため、スライス面の厚さ方向と、リード方向に多数の dark band が存在し、信号強度を低下させていたものと解釈することもできる.

定常状態への到達

撮像シーケンスの単なる繰り返しによって定常状態へ達するためには、 T_1 の数倍程度の



(a)



(b)

Fig. 3. When the resonance offset angles are less than $\pm\pi$, the nuclear magnetizations gather on one side of the y' axis at $t = TR/2$. However, the offset angles are between $\pm\pi$ and $\pm 3\pi$, the nuclear magnetizations gather on the opposite side of the y' axis at $t = TR/2$.

シーケンスの繰り返しが必要とされている. ところが、高速スキャンや脂肪抑制を実現するためには、短い時間で撮像可能な定常状態に達することが不可欠であり、これに対して、Fig. 1 に示すように、 $-\alpha/2$ のパルスを繰り返しのシーケンスの前に追加することが提案されている. このプレパレーションパルスは、核磁化の定常状態の位置に、最初から近接させるもので

2002年8月21日受理

別刷請求先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学物理工学系 巨瀬勝美

あり, resonance offset angle が小さい核磁化に関しては非常に有用である. そして, これにより, 定常状態における撮像が, 20 回程度のダミーキャン後に可能となることが実験的にも示されている³⁾.

む す び

True FISP は, 静磁場の均一性として 1 ppm 以下, 勾配磁場システムの性能として, 数 ms 以下の TR の実現を要求するように, 高性能のハードウェアを必要としている. ところが, NMR 信号の利用効率が良く, 高速化を実現しても高い SNR が確保されるため, 今後, 様々な分野で使用されていくものと思われる.

文 献

- 1) Oppelt A, Graumann R, Barfuss H, Fischer H, Hartl W, Schajor W: FISP—a new fast MRI sequence. *Electromedica* 1986; 54: 15–18
- 2) Hargreaves BA, Vasanawala SS, Pauly JM, Nishimura DG: Characterization and reduction of the transient response in steady-state MR imaging. *Magn Reson Med* 2001; 46: 149–158
- 3) Deshpande VS, Shea SM, Laub G, Simonetti OP, Finn JP, Li D: 3D magnetization-prepared True-FISP: a new technique for imaging coronary arteries. *Magn Reson Med* 2001; 46: 494–502
- 4) Heid O: Gradient Echoes, Steady States and the True FISP Sequence. Syllabus of ISMRM Week-end Educational Course, 2002; 440–443

Technical Basis of True FISP

Katsumi KOSE

*Institute of Applied Physics, University of Tsukuba
Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8573*

True FISP technical features are described on the basis of the motion of steady state nuclear magnetization. Although the approach for the steady state free procession is not described in this article, the mechanism for the dark band is shown using the motion of the nuclear magnetization.