

スピนวープ法

Edelstein WA, Hutchison JMS, Johnson G, Redpath T :
Spin warp NMR imaging and applications to human whole-body imaging
(Phys Med Biol 1980 ; 25 : 751-756)

Letters to the Editor として書かれた簡単なものであるが、今日一般的に使われているスピนวープ法を報告した最初の論文である。使用した装置の静磁場は、磁場強度が 0.04T (1.7 MHz), 均一度が 600 ppm (半径 0.23 m) で、4 コイルの磁石で発生されていた。磁石の種類は常伝導と思われるが、種類に関する記述はない。均一度から推測すると、シミングなどもまったくされていなかったのではなかろうか。パルスシーケンスを見ると、RF 選択励起パルスには Gaussian shape が使われており、読み出し勾配の磁場強度は 0.5 mT/m しかない。また、エコー読み出し時以外の勾配磁場はすべて sin 波形が使われているなど、アンプ類のパワーが弱かった頃の苦勞が忍ばれる。良い発明は初期の劣悪な条件の中からしか生まれてこないのかもしれないが。

スピนวープ法は、振幅の異なる（詳しく言うと、磁場勾配の時間積分が FOV 当たり 2π の位相変化を与える量を増分として）勾配磁場を一定の時間かけることで位相エンコードをする方法である。そのメリットは静磁場不均一に強いことである。勾配磁場をかけてエコーを読み出す撮像方式では、静磁場不均一で画像にひずみを生じるが、読み出し勾配さえ十分大きくすれば読み出し方向のひずみを抑えることができる。位相方向に混入する位相ひずみはすべて

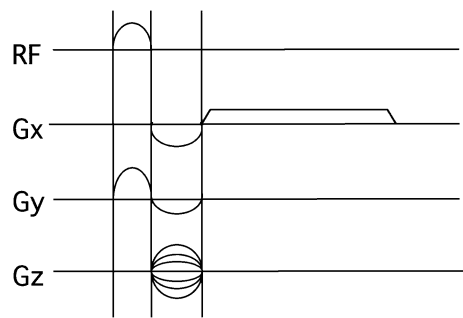


図 1. Spin warp 法の撮像シーケンス

のエコーデータで同じなので、絶対値画像を再構成するかぎり問題にならない。

先行技術との比較では次のように述べている。
—**Fourier zeugmatography** (Kumar, Ernst. 本論文では Ernst's method となっている)

スピนวープ法は、時間を固定して勾配磁場の振幅を変えることで位相エンコードを行っているが、Fourier zeugmatography は、勾配磁場の振幅を固定して時間を変えることで位相エンコードを行っている。パルスシーケンスで見れば、横の物を縦にしただけの違いである。Fourier zeugmatography ではエコーごとに TE が変わっていたので（位相エンコードが終わり次第エコーを取っていた）、静磁場不均一によるエコーのひずみ方が位相エンコードごと

に異なり、再構成された画像全体にアーチファクトが出ていた。スピニング法の改良点は、静磁場不均一によるエコーのひずみ方が位相エンコードによらずに同じになるようにしたことである。だから、もしも Fourier zuegmatography が各エコーのTEを固定していたら話もっと微妙になったと思われる。

一プロジェクション法(本論文では NMR imaging by multiple-angle projections となっている)

MRIを開発した物理系の研究者は、ほとんどCTの仕事を経由してきた人たちで、自然の流れとしてMRIでも当初は filtered back projection を画像再構成に使っていた。Projection データは読み出し勾配をかけることで簡単にとれるし、projectionの方向は勾配磁場を電的に回転させるだけで変えられる。しかし、静磁場に不均一があると projectionの経路が曲がってしまい、かつその曲がり方が projectする方向で異なるので、back projectionで画像再構成すると画像全体にアーチファクトが生じる。スピニング法はエコーデータをすべて同じ方向に projectするので、projection経路のひずみが画像全体のアーチファクトとして広がることはない。

Whole-body 撮像の応用例としては、腹部と大腿部の密度画像と T₁ 画像 (64×64 画素。1画素は 7.7×7.5 mm) が載せてある。

撮像は同一スライス(厚さ 18.5 mm) に対し gradient echo 法と、これに adiabatic fast pas-

sage の inversion pulse で preparation したもので行い、T₁ 画像はこれら 2 枚の画像から計算する。密度画像については記述がないが、gradient echo 法でとった画像がそのまま使われていると思われる。撮像パラメータには TR や TE の記述がない。代わりに位相エンコード時間が 0.5 ms と書いてあり、これが勾配磁場をスイッチングする最短時間だと説明している。

画像については次のように述べている。

T₁ 画像の方が密度画像より定量の精度は悪いが、コントラストが強いので細かな構造まで良く見える。また、T₁ 画像は疾患によって生じた変化をよく反映するようである。Damadian 以来、みんなの興味が疾患と T₁ 値の関係にあったからであろうか、それとも装置の SN が悪くて T₂ 画像まで出せなかったからであろうか、T₂ 画像については記述がない。

現在の MRI は 0.23 m 半径で 1 ppm 以下の磁場均一度があるので、spiral scan のように、projection 法の変形とも理解できる撮像法も使われている。また、アンブ類も強力になってきたので、MR イメージングも本論文とはかなり違った世界になっている。スピニング法が、この環境の変化を乗り越えて、20 年間も使い続けられてきたという事実は、この方法がいかに素晴らしいかを物語っている。

フィリップスメディカルシステムズ 株式会社

吉留 英二