

Spiral scan とは？

- k-space におけるデータ充填を k-space の中心から螺旋状に行う撮像方法
- 特長
 - ① 高い S/N
 - ② 高い時間分解能
 - ③ 高い空間分解能

Spiral scan では k-space を文字どおり螺旋状にデータ充填する方法をとる(図 1)。周波数エンコード，位相エンコードに相当する傾斜磁場は常に変化していることとなり，その傾斜磁場の変化は以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned} G_x(t) &= g \sin \omega t + g t_{\omega} \cos \omega t \\ G_y(t) &= g \cos \omega t - g t_{\omega} \sin \omega t \end{aligned}$$

つまり，周波数エンコード，位相エンコードに相当する傾斜磁場は常に変化しており，各傾斜磁場の時間的変化はだんだんと大きくなる波のように変化する。

画像再構成にはフーリエ変換を用いており，データ収集後に k-space に Gridding し，データを当てはめてから画像再構成を行う方法をとっている(図 2)。

図 1 spiral scan の k-space image

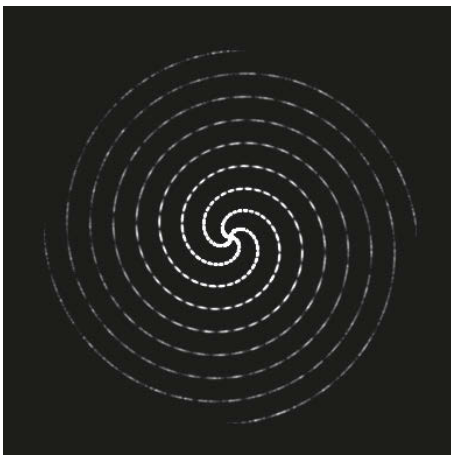
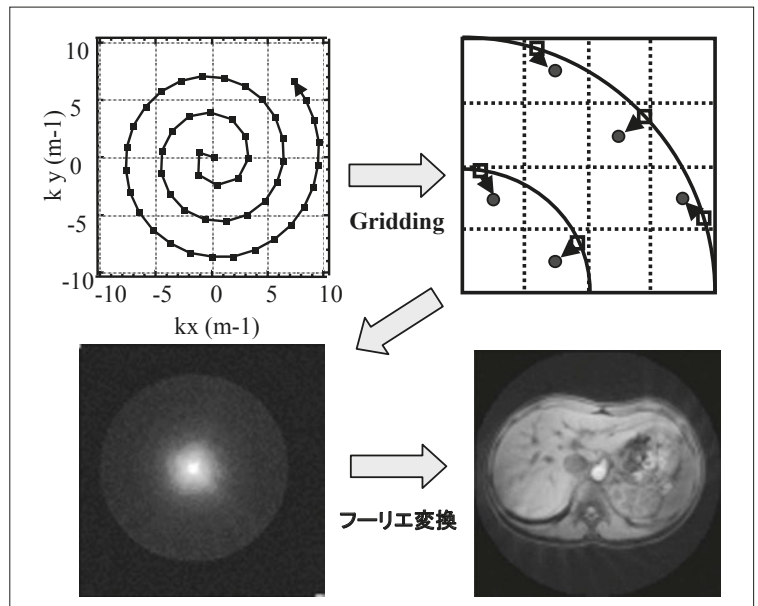


図 2 gridding



k-space での螺旋状のデータを，二次元フーリエ変換を行う前に，格子状データ配置になるよう gridding を行う。

■ 利点と欠点

利点

- 短時間で高分解能な画像が得られる。
- k-space の中心部よりデータ収集を行うため、より大きな信号を低周波成分に当てはめるので、高い SNR。
- 各傾斜磁場の変化により血流等のフローアーチファクトの影響を受けにくい。

欠点

- ①ケミカルシフトアーチファクト, ②susceptibility artifact, ③blurring の影響を受けやすい*¹。

*¹ read put の時間が長いことによる

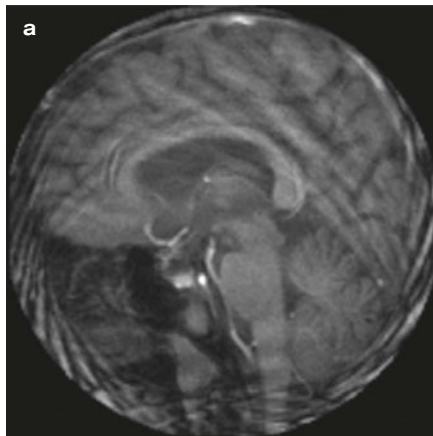
■ アーチファクト

Spiral scan では k-space に直線的にデータ充填する cartesian とは異なったアーチファクトが出現する。そのアーチファクトは k-space のデータ充填の方法に起因したものであるといえる。ここでは, spiral scan におけるいくつかの代表的なアーチファクトを紹介する*²。

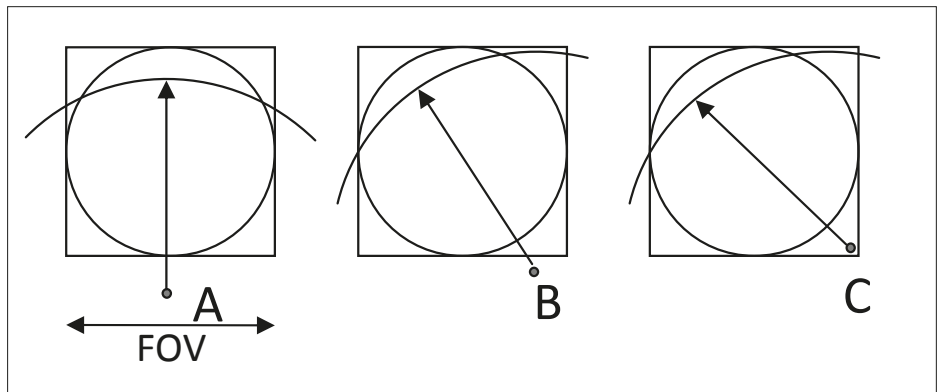
*² ここで挙げるもの以外には, 磁化率の違いによるアーチファクト, データ数が少ない場合のアーチファクト, spiral の trajectory が理論どおりの軌跡を描かないことによる位相ずれのアーチファクト, k-space への gridding のミスによるアーチファクトなどが考えられる。

■ 折り返しアーチファクト

図3 折り返しアーチファクト



通常のスキャンでは位相エンコードの方向に像が折り返るのに対し, スパイラルスキャンでの折り返しは全周性に渦巻状に出現する(図 3a)。その出現位置には規則性がある(図 3b)。

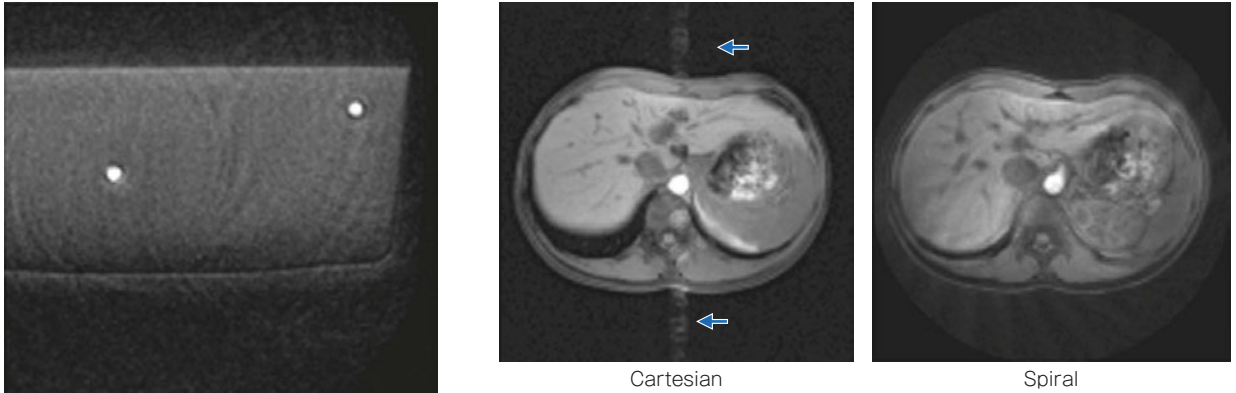


b 折り返しアーチファクトの発生位置

モーションアーチファクト

Spiral scan における傾斜磁場の変化は、遅い流れの補正を行う Flow Compensation の傾斜磁場変化と非常によく似ているため、遅い流れに対する motion artifact が低減する。しかし、速い流れの場合には通常のデータ収集法と同様にアーチファクトが発生する。通常では、位相方向にアーチファクトが発生するが、spiral scan では螺旋状に発生する(図 4a, b)。

図4 モーションアーチファクト



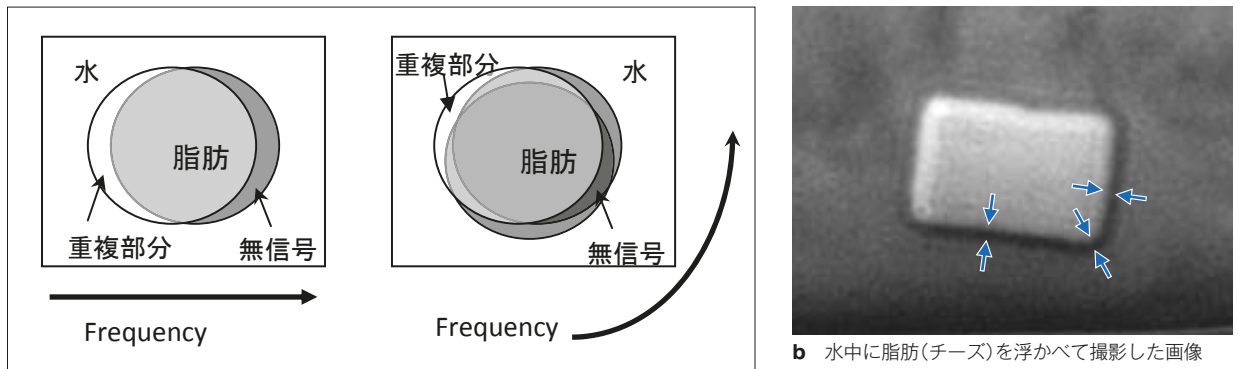
a 水槽内チューブに硫酸銅溶液を用いた拍動流のファントムを撮影した画像

b Cartesian(左)と spiral(右)でのフローアーチファクトの違い。Cartesian では位相方向に出現するが、spiral では円を描くように出現する

ケミカルシフトアーチファクト・ブラーリング(Blurring)アーチファクト

ケミカルシフトアーチファクトは水と脂肪の共鳴周波数に 3.5ppm の差があるために、脂肪の信号が周波数エンコード傾斜磁場のより低い磁場方向にずれることにより発生する(図 5a)。Spiral scan では周波数エンコードに相当する傾斜磁場の方向が常に変化することから、脂肪信号のずれは従来の周波数および位相の両方向に発生することとなる(図 5b)。

図5 ケミカルシフトアーチファクト

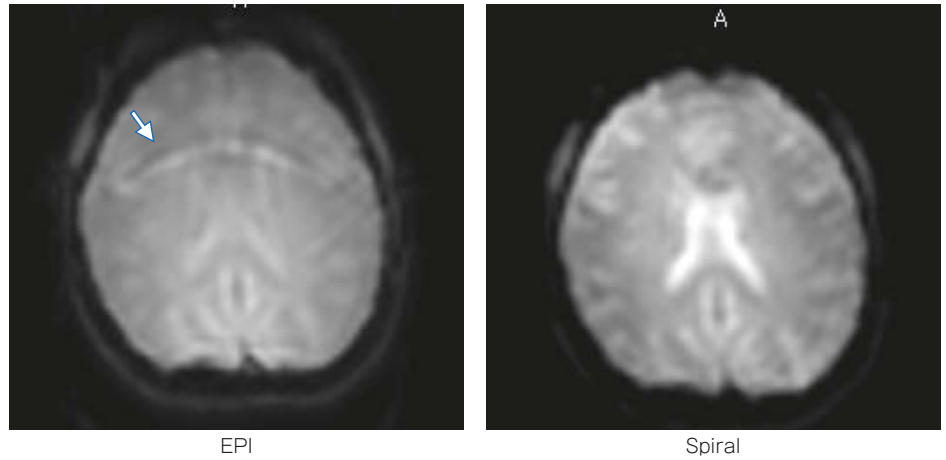


a ケミカルシフトアーチファクトの模式図

b 水中に脂肪(チーズ)を浮かべて撮影した画像

Spiral scan では read out 時間が長いために、blurring が発生しやすい。
EPI では長い read out はケミカルシフト(⇔)としてアーチファクトになるが、spiral ではケミカルシフトが全周性に出現するので、blurring として描出されやすいのが特徴である(図 6)。

図6 ブラーリングアーチファクト(EPI(左)と Spiral(右)の画質の違い)



臨床応用

高時間分解能, 高いSNR, 高空間分解能, の特性を活かしさまざまな部位への応用が期待できる。基本的には従来の T1 強調タイプの Gradient Echo 法の k-space 充填方法が螺旋状になったと考えればよい。アーチファクトの問題を考慮しなければ, 従来このタイプの sequence が使われていた撮像には使用可能であるといえる。現状では特に時間分解能や高い SNR の特長が活かされる部位への応用が主である。

- 1) Osman NF, Sampath S, Atalar E, et al: Imaging longitudinal cardiac strain on short-axis images using strain-encoded MRI. MRM, 46(2): 324-334, 2001.
- 2) Ibrahim el-SH, Stuber M, Fahmy AS, et al: Real-time MR imaging of myocardial regional function using strain-encoding (SENC) with tissue through-plane motion tracking. JMRM, 26 (6): 1461-1470, 2007.

心臓領域

短時間でデータ収集することが求められることが多い心臓領域では, 従来, 冠動脈の描出に用いられることが多かった(図 7)。今日では steady state imaging を用いた whole heart coronary imaging が一般的であるが, 比較的動きに強く高分解能が可能である spiral scan は, vessel wall imaging などでも, その有用性が期待される(図 8)。また, 近年では Strain-Encoded (SENC) MRI などの心機能解析にも応用されている^{1,2)}(図 9)。

図7 Breath hold による single slice coronary artery

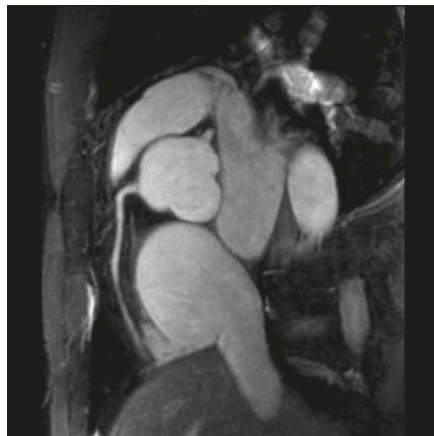


図8 coronary vessel wall imaging

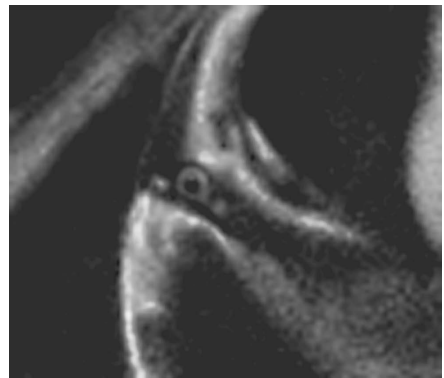
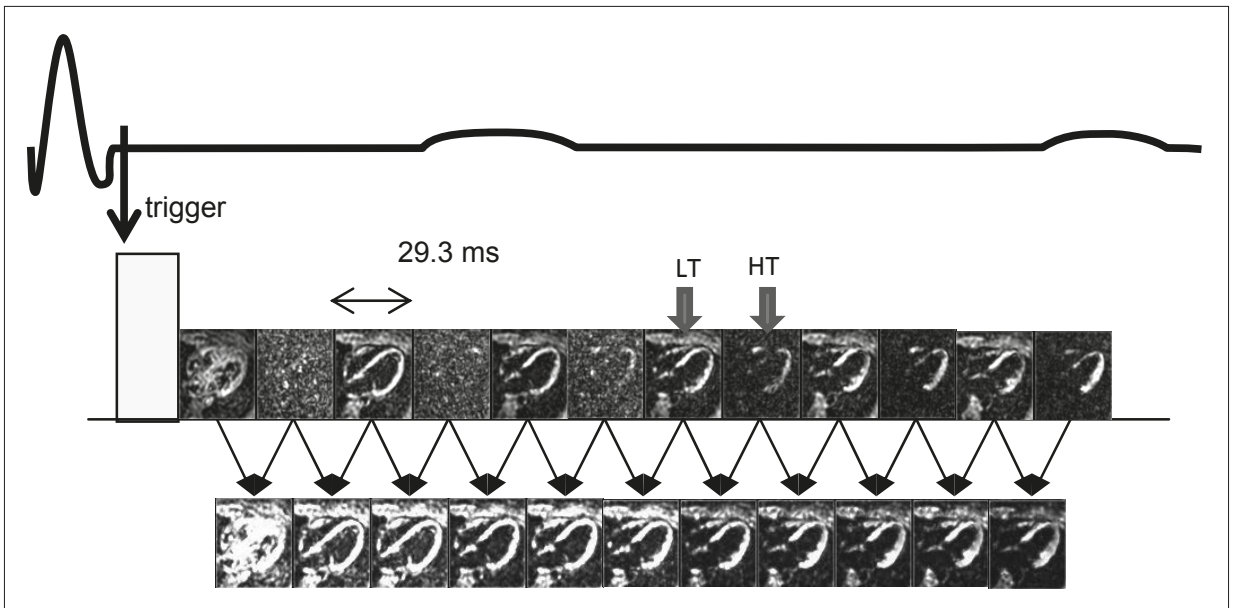


図9 Fast SENC における画像取得のシエーマ



Fast SENC では spiral imaging を用いて、Low Tuning(LT) image と High Tuning(HT) image を短時間で交互に撮影する。その差分からスライス軸方向の strain を計測を行う。

MRDSA

高い SNR を保ちつつ、高時間分解能を要求される MR-DSA にも応用可能である (図 10)。echo sharing^{*3} (または sliding window) の技術を用いて、見かけ上の高時間分解能の向上も可能である。

* 3 echo sharing : ダイナミック撮影において、数エコーずつデータを入れかえながら画像を作成することで、見かけ上の時間分解能を向上させる手法

図10 echo sharing を用いた spiral MRDSA (右前頭葉同静脈奇形)

