

3. 3D グラディエント撮像の技術と今後の展望

藤本 晃司 京都大学大学院医学研究科附属脳機能総合研究センター

グラディエントエコー（以下、GRE）シーケンスの歴史は、Frahm氏のFLASHシーケンスまで遡ることができる¹⁾。低いフリップ角と短いTRで撮像を行うGREシーケンスは、特にT1強調画像による造影ダイナミックMRIの撮像に欠かせない。MRIの撮像スピードには制約があるため、空間分解能と時間分解能を両立させた撮像を行うためにさまざまな工夫がされてきた。近年、MRIハードウェアの制御の精度向上により、non-Cartesian MRIがより容易にできるようになってきたほか、再構成に用いるPCの性能向上により、圧縮センシングのような大規模な計算を行う再構成法の臨床応用も現実味を帯びてきた。7T MRIにおいては、RFの不均一性や比吸収率(SAR)の制約といった要因に対して、GREシーケンスは最適解の一つになっている。本稿では、主にダイナミックMRIを念頭において、近年のGREシーケンスで空間分解能を落とさずに時間分解能を向上させるための手法について紹介するほか、7T MRI装置でGREシーケンスがどう活用されているかについても触れる。

TWIST

TWIST (Time-resolved angiography With Interleaved Stochastic Trajectories) 法は、keyhole imagingと呼ばれる手法の一つで、k空間を中心領域(A領域)と辺縁領域(B領域)に分け、A領域は時相ごとに毎回(2回に1回)、B領域はA領域以外の辺縁部分をさら

に複数の小領域(例えばB1~B8)に分けた上で、A領域の収集の合間に順次データを取得していく。この手法では、k空間の辺縁部分の更新頻度は小さいが、中心部分は頻繁に更新されるため、(空間分解能を保ちつつ)画像のコントラストの変化を高い時間分解能でとらえることをめざしており、これまでダイナミック検査で幅広く利用されてきた。TWIST法では、view sharingという手法でk空間のデータはすべて収集されているが、その一部分が順次更新され、そのたびに新しい画像を作成するというアプローチをとる。k空間のデータは十分あるため、鮮明な画像を得ることができるが、時相の異なるデータが混在することによるアーチファクトが問題となる。

IT-TWIST

圧縮センシングは、撮像対象に関するスパース(疎)性を事前知識として用いることで、少ないデータからアーチファ

クトの少ない画像を復元する手法である。近年、この圧縮センシングの方法論により、各時相ごとのk空間のデータのみを用いて(view sharingをなるべく行わず)、少ないk空間データからダイナミック画像を再構成する手法が提案された(iterative TWIST: IT-TWIST)²⁾(図1)。TWIST法で撮像されたものと同じ生データを用いて、よりアーチファクトの少ない画像が再構成できる点が本手法の強みである。従来法(TWIST)と比べ、実際の時間分解能が高い(temporal footprintが小さい)ため、従来見ることが難しかった末梢血管の描出能が向上する。圧縮センシングでは、「正則化項」と呼ばれる、データに関する事前知識(この画像はこういう特徴を持つ、といった制約)が必須であるが、本手法で用いられる圧縮センシングは、空間次元での正則化に加えて時間方向の収集データに対しての正則化(隣り合うフレームの画像は似ている、という制約)が組み込まれている。

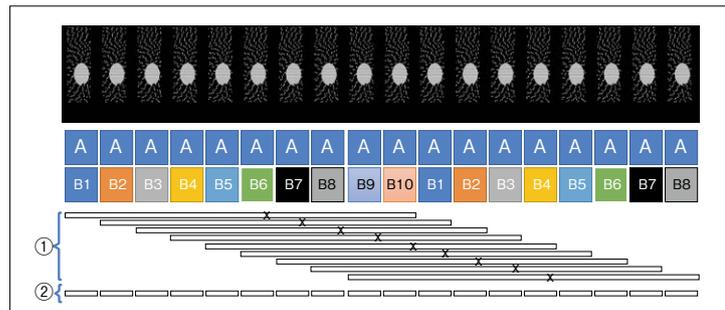


図1 TWIST/IT-TWIST法におけるk空間データ取得順序
①はTWISTで1フレームに用いられる実際の時間分解能、②はIT-TWISTで1フレームに用いられる実際の時間分解能を示す。