

## 2. 4D Flow MRIの臨床応用の実際と将来展望

関根 鉄朗 日本医科大学武蔵小杉病院放射線科

4D Flow MRIは長らく研究シーケンスとされており、限られた施設からの報告のみであった。しかし、ここ数年で撮像・解析が劇的に容易となってきている。その一方、4D Flow MRIの臨床的意義づけについては方向性が定まっていない。撮像・解析項目に多様な選択肢が存在するが、その中から何を適切に選択すべきかについての指標が欠けている状態である。このため、初学者にはとっつきにくい領域になっている。

本稿では、4D Flow MRIを取り巻く現状と今後の方向性について概説する。本稿が、これから同撮像を行う初学者へのfirst stepとなることをめざして執筆した。読了後に、新規に4D Flow MRIを開始する施設が1施設でも増えれば、筆者の試みは成功と考える。

### 4D Flow MRIの概要と歴史

4D Flow MRIは、2D-phase contrast MRIを三次元方向に展開した撮像法である。2D-phase contrast MRIの撮像自体は1980年代にはすでに存在し、40年近くにわたって、脳血管、cerebrospinal fluid (CSF) flow、心血管などを対象に幅広く研究されてきた。RadiologyやJMIRはもちろんのこと、NEJM、JAMA、Circulation、Strokeといった臨床系のmajor journalでも、臨床的有用性について多くの報告がなされている<sup>1)~4)</sup>。また、2002年に報告されたRadiographicsの総説は、600回以上引用されている<sup>5)</sup>。

2D-phase contrast MRIは、上述のように臨床的有用性のエビデンスが示されており、臨床MRI機であれば1~2分で撮像可能である。しかし、実際に2D-phase contrast MRIをルーチンで臨床撮像している施設は少ないと考えられる。それは、下記のような撮像と解析の手間が問題点として挙げられる。

- ① 撮像断面の決定がしばしば難解となること
- ② 心拍数や対象とする流体の速度によりシーケンスの複雑な調整が必要になりうること
- ③ 解析後の定量を簡便に行えるソフトウェアが存在しなかったこと

これらに対して、4D Flow MRIでは下記の点が改善した。

① 3D volumeで撮像が可能となり、撮像断面選択の必要性がなくなった。従来はトレードオフとして、撮像時間の長時間化が問題だったが、臨床MRI機でもk-t acceleration法やcompressed sensing法が併用可能となり、おおよそ8倍速弱程度まで高速化が可能となってきた<sup>6)</sup>。筆者施設では、脳血管領域は6分程度、心血管領域は10分弱程度で撮像を施行している。

② 撮像シーケンスにretrospective triggeringやview shearingが標準実装されることで撮像が容易となった。また、将来的にはdual-velocity encoding (VENC) scanが標準実装されると考えられる。これにより、症例ごとの撮像条件変更が最小限ですむようになると期待

できる。

③ post-processing softwareが進化し、解析が容易となった(図1)。筆者らの施設では、大学院生と共同して4D Flow MRI解析を多数行っているが、おおよそ、1例15分程度で解析終了している。

このように撮像~解析のワークフローが改善した背景から、4D Flow MRIの研究/臨床のハードルがここ数年で劇的に下がっている。筆者も大学病院以外の中規模病院の施設の診療放射線技師・臨床家から、直接4D Flow MRIについての相談を受ける機会が増えてきているのを感じている。

### 4D Flow MRIの撮像のポイント

4D Flow MRIの撮像に当たっての疑問は多くあると思うが、ここではよく質問される2点のみ概説する。

#### 1. Gd造影剤投与について

4D Flow MRIのベースのシーケンスは3D-SPGR (T1強調コントラスト)であるため、Gd造影剤を投与することで血管内信号が上昇する。このことは、3つのメリットをもたらす。

- ① 強度画像の血管内信号が上昇することで、血管のセグメンテーションが容易となる。
- ② 強度画像のSNRを向上させることで、速度情報の鋭敏な描出が可能と