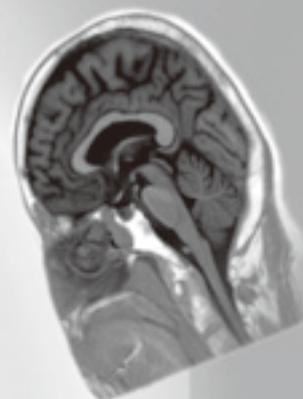
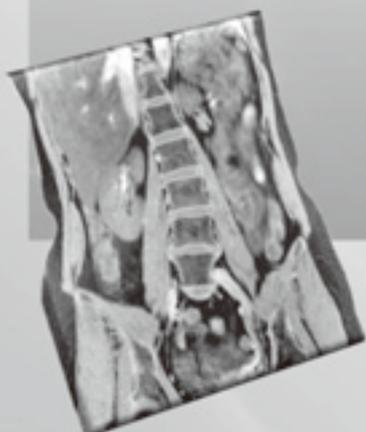


連載企画 MRI



- MRA (magnetic resonance angiography)
～TOF (time of flight) について～

さいたま市立病院
中央放射線科 藤田 功



埼玉県放射線技師会
編集・情報委員会

MRA (magnetic resonance angiography)

～TOF (time of flight) について～

さいたま市立病院
中央放射線科 藤田 功



さいたま市立病院全景

1. はじめに

MRIの特徴は造影剤を用いることなく血管像が得られることである。これは、他の検査にはない特徴である。非造影MRAは多くの手技が開発されてきた。中でもTOF法は装置依存性が少なく、最も広く臨床応用されている。今回はTOF法について解説する。

2. Time-of-Flight

TOF法には、適用部位、目的により2次元法(2D-TOF)と3次元法(3D-TOF)がある。

頭部、頭頸部においては3D-TOFが選択され、下肢においては2D-TOFが選ばれることが多い。

2-1 2D-TOFと3D-TOF (図1：a,b)

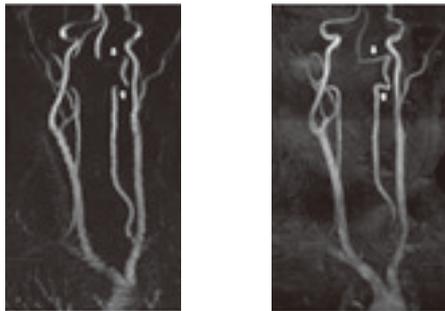


図1：頭頸部2D-TOF (a) と3D-TOF (b)

2D-TOFでは横方向に走行する血管は描出できない(矢印)。3D-TOFは複雑な血管走行にも対応できる。

2D-TOFの特徴は、撮像時間が短く同期が併用できることである。しかし、複雑な走行の血管描出は困難である。下肢血管など比較的走行が単純で広い範囲を撮像するのに適している。3D-TOFの特徴は、複雑な血管走行を表現できるが、飽和効果のため遅い血流、体軸方向に広く撮像するこ

とは難しい。頭部、頭頸部など、比較的速い血流が安定して流れている部位に適している。

2-2 頭部の3D-TOF

頭部3D-TOFは最も広く行なわれている非造影MRAである。臨床ではルーチンワークとして、シーケンスを固定して行なうことが多いが、条件を変化させてみる。

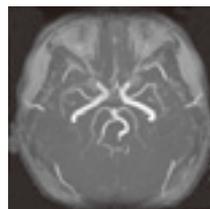
2-2-1 フリップアングル flip angle (図2：a,b,c)

フリップアングルにより血管描出の違いがある。フリップアングルを大きくすることで背景信号を低下させることができるが、末梢の血管描出が飽和効果により低下する。臨床において頭部3D-TOFのルーチンワークでは20度程度が選択される。

(a) flip angle10度



(b) flip angle20度



(c) flip angle30度

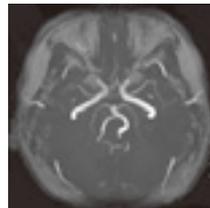


図2：頭部3D-TOF

フリップアングルが小さいと末梢血管まで描出される。大きいと背景信号は抑制されるが、飽和効果により末梢血管の描出も低下する。実際には20度程度が選択される。

2-2-2 分割スラブ法 multiple slab (図3 : a,b)

広範囲な撮像をすると、スラブが厚くなり飽和効果が増大するため、末梢部の血管描出が劣化する。分割スラブ法は、撮影範囲を分割し、1スラブ当たりの範囲を小さくすることにより血液の飽和効果を減少する手法である。ただし、薄いスラブをつなぎ合わせて血管像を作成するため、つなぎ目で信号強度が変化し段差が現れる。これはベネチアン・ブラインド・アーチファクトと呼ばれているが、スラブ間に重なりを設けることにより、目立たなくすることができる。また、スラブ数を増やすことでスラブ間をまたいで走行する血管の描出が低下することもあるので注意が必要である。

(a) シングルスラブ



(b) マルチ (8分割) スラブ

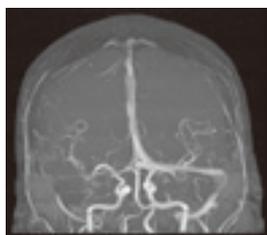


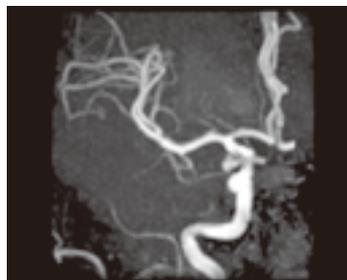
図3 : 頭部3D-TOF

広範囲を撮像すると飽和効果により末梢側の血管描出が低下する。マルチスラブにすることにより広範囲撮像が可能となる。

2-2-3 TE echo time (図4 : a, b)

通常1.5Tではout of phaseの6.8msを使用するが、乱流の影響により血管描出が低下することがある。TEを短くすることにより、位相分散を少なくし、乱流の影響を少なくすることができる(図4a)。しかし、脂肪信号が上昇してしまうため、血管の描出の妨げになることもある。

(a) TE = 3.4ms



(b) TE = 6.8ms

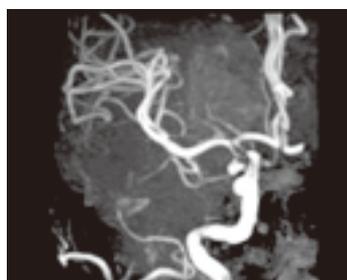


図4 : 内頸動脈動脈瘤

内頸動脈の屈曲蛇行、動脈瘤による乱流がある場合、TEを短縮することにより位相分散を少なくすることができる。血管の描出を向上させる事が出来る。

2-3 下肢の2D-TOF

下肢動脈のスクリーニング検査では、FBIと並んで重要な撮像方法である。流れを描出する手法として、診断に重要な情報を提供することができる。下肢動脈を目的とする場合、足側に移動型の飽和パルス印加することにより、静脈信号を抑制することができる。

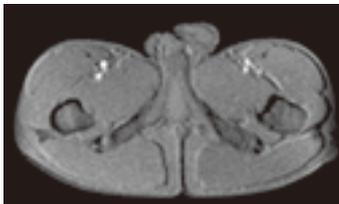
2-3-1 フリップアングル flip angle (図5 : a,b,c,d)

フリップアングルにより血管描出の違いがある。フリップアングルを大きくすることにより背景信号が低下し、血管信号が高くなるが、フリップアングルを90度程度まで大きくすると、遅い血流の血管信号の低下、フローアーチファクトの増大が起きる。臨床において下肢2D-TOFのルーチンワークでは、40から70度程度が選択される。

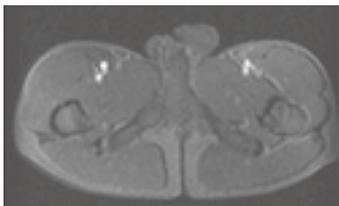
2-3-2 心電同期 (図6 : a,b)

下肢動脈においては、収縮期と拡張期の血流の差が大きい。そのために心電同期を利用することで収縮期に撮像することができ、より良好な血管像が得られる。しかし、撮像時間が延長する場合があるので注意が必要である。

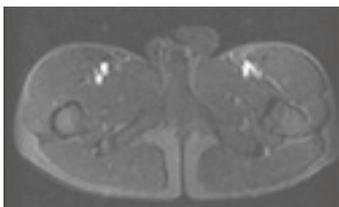
(a) flip angle20度



(b) flip angle40度



(c) flip angle60度



(d) flip angle80度

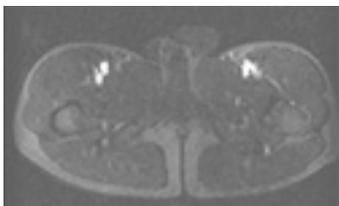


図5：鼠径部 2D-TOF原画

フリップアングルを大きくしていくと背景信号が抑制され、血管信号も大きくなるが、遅い血流血管の描出の低下、フローアーチファクトの増加がみられる。実際には40から70度程度が用いられる。



(a) 心電同期



(b) 非心電同期

図6：下肢2D-TOF

下肢では収縮期と拡張期の血流の差が大きいため、心電同期を用いる。

3. おわりに

TOF法はMRAの手法として古くから使われている撮像手法である。2D法と3D法の特徴を理解し使い分ける事で臨床に有用な情報を提供できる。他の手法についても同様に撮影手技を理解することにより、応用範囲は無限に広がるものである。

参考文献

1. Keller PJ, Drayer BP, Fram EK, Williams KD, Dumoulin CL, Souza SP : MR angiography with two-dimensional acquisition and three-dimensional display. Work in progress. Radiology 1989 ; 173 : 527-532.
2. Wehrli FW : Time-of-flight effects in MR imaging of flow. Magn Reson Med 14 : 187,1990
3. Atkinson D, Brant-Zawadzki M, Gillan GD, et al : Improved magnetic resonance angiography : magnetization transfer suppression (MRS) with variable flip angle excitation (TONE) and increased resolution. Radiology 190 : 890,1994
4. Mitsue Miyazaki, PhD, Vivian S Lee, MD, PhD Nonenhanced MR Angiography. Radiology 248 : 20-43, 2008.
5. 荒木力 決定版MRI完全解説 株式会社秀潤社 東京 2008年8月



【執筆者紹介】

1962年生・技師歴26年

学歴

城西放射線技術専門学校卒、金沢大学大学院医学系研究科卒

学位 修士（保健学）

職歴

日本医科大学付属病院、北里研究所メディカルセンター病院、浦和市立病院、市町村合併により現在、さいたま市立病院 中央放射線科 副技師長
著書（共著）

考えるMRI撮像技術

株式会社 文光堂 東京 2007

これだけは習得しようMRI検査

株式会社 ビラールプレス 東京 2010