

# 発展する非造影 MRA 技術

東芝メディカルシステムズ(株) MRI 事業部  
山下 裕市



## ◆ はじめに

平成 18 年度の日本国内における「主な死因別にみた死亡率の年次推移」<sup>1)</sup>を見ると、悪性新生物(がん)が第 1 位で全体の 30.1%を占めている。他方、第 2 位心疾患(16.0%)、第 3 位脳血管疾患(12.3%)の血管性疾患を合わせると合計 28.3%と悪性新生物とほぼ変わらない大きな死因となっている。

近年、マルチスライス CT のさらなる多列化によって広範囲、高精細なアンギオ像が容易に得られるようになったが、被ばくや造影剤の副作用、撮像タイミングが問題として挙げられている。また、MRI においてもガドリニウム造影剤は、腎性全身性線維症(Nephrogenic Systemic Fibrosis; NSF)の副作用の報告、高度な腎障害患者へのガドリニウム造影剤使用に関する FDA や MHLA から注意や禁忌の勧告など、世界的な話題となっている。

このような背景の中、撮像方法や条件を変更することで様々なコントラストで描出できるという MRI のもっとも大きな特徴を利用し、全身の血管を対象にして造影剤を用いずにアンギオ像をえる非造影 MRA 技術が、高い注目を集めている。非造影 MRA は日々発展をとげ、血管の形態のみでなく血流の動態という機能的な描出も可能となってきている(図 1)。以下非造影 MRA 技術発展の経緯と将来性について概説する。

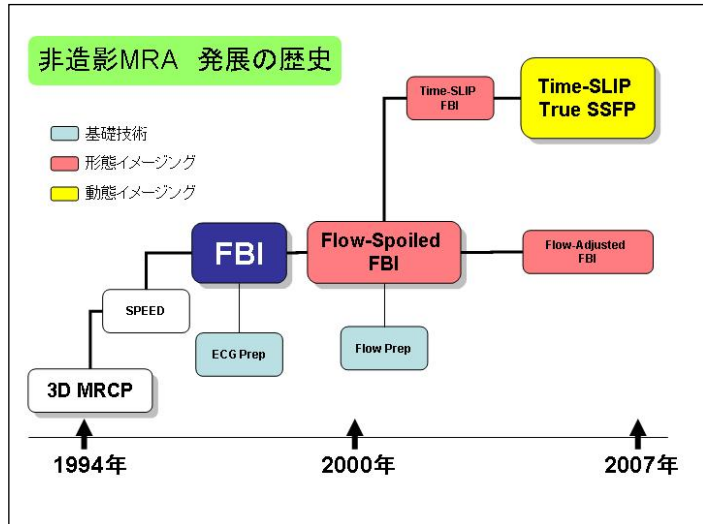


図 1 非造影 MRA 発展の歴史

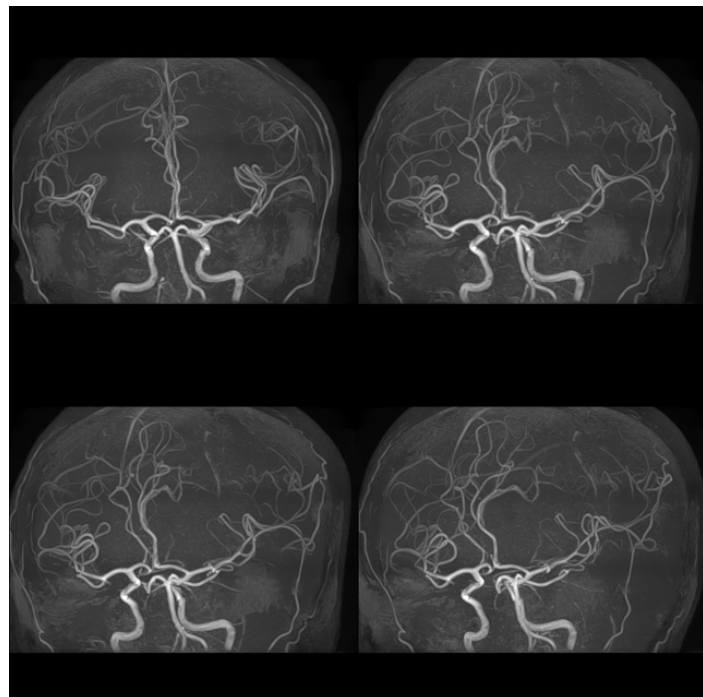


図 2 TOF 法を使用した頭部 MRA

## ◆ 非造影 MRA の歴史

MRI で造影剤を用いずに血管像を描出する技術は今に始まったわけではない。現在頭部では、血液の流入効果を利用した Time of

Flight (TOF)法が頭部血管描出のゴールドスタンダードとして、頭部のルーチン検査や、脳ドックなどのスクリーニングとして活用されている(図 2)。頭部だけでなく、頸部や下腿など様々な領域で使用されてきた。しかし、TOF 法は遅い血流が描出されにくく、撮像断面に平行して流入する血管も描出されにくいという問題から、頭部以外の血管描出では造影剤を用いたMRA (造影 MRA 検査)が用いられるようになった。TOF 法だけでなく、流速による位相差を利用した Phase Contrast(PC)法も古くから用いられている。しかし PC 法は目的流速付近の血管だけを画像化する手法のため、血流速度が大きく変化するような疾患では、病態を正確に表現することが困難となる。このため MRA の目的ではあまり使用されなくなっている。このように、MRI は原理的には造影剤を用いずに血管像を得ることが可能でありながら、各手法の限界を克服できず、したがって、さまざまな病態をもちうる全身各部位、各臓器の血管性疾患に対応しきれない、というのが現実であった。

#### ◆ 非造影MRAの適応範囲を広げた FBI(Fresh Blood Imaging)の誕生

MRI の撮像時間はハードウェアやソフトウェアの進歩に伴い、日々高速化されている。撮像の高速化は、単に検査時間を短縮化しただけでなく、様々な新しいアプリケーションも誕生させた。超高速撮像

法の 1 種である FASE 法は、体内に存在する水を 3 次元画像として描出することを可能とした。現在 3 D MRCP や MR ミエログラフィーなど、臨床有用性の高いアプリケーションとして活用されている。その MRCP 画像をよく見ると、胆管や膵管のみでなく、門脈などの血管が描出されていることに気づいたことが FBI<sup>2)</sup>の始まりである。FASE 法は、カメラのシャッタースピードに当たる Echo Train Space(ETS)を短くすることにより、ある程度の流速を持つ血液を、水画像として描出することが可能である。ただしある程度以上の流速を持つ血流は描出

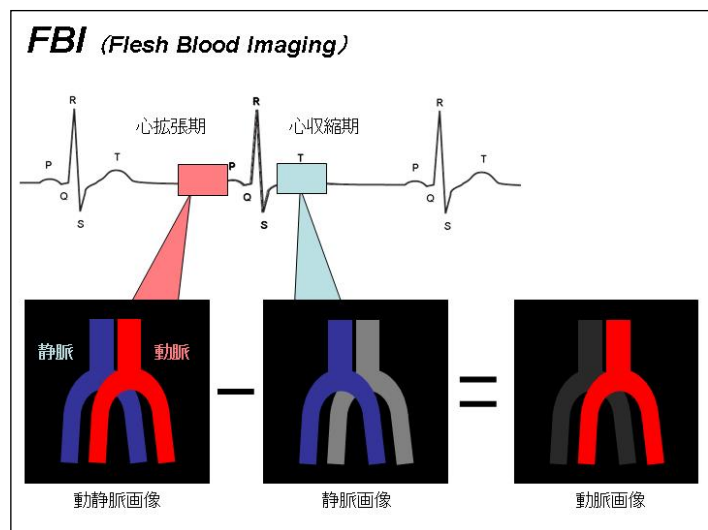


図 3 FBI 概念図

できない。この特徴を利用して心拍に同期させて FASE 法で撮像する。動脈と静脈がともに血流速がゆるやかになる心拡張期では動脈と静脈が両方同時に描出され、動脈血の流速だけが速くなる心収縮期では動脈が描出されず静脈のみが描出される。これら現画像をサブトラクションすれば、動脈のみを描出することが可能となる(図 3)。これが FBI 法の原理である。FBI 法は、頭頸部以外の部位で動静脈分離の非造影MRAを可能にした技術であるが、門脈描出から始まり、大動脈弓部や腹部大動脈、下腿動脈など様々な部位で活用されている。また静脈を鮮明に描出できることを利用し、非造影の MR Venography としての活用も盛んに行われるようになった。

#### ◆ 大血管から末梢血管へ、Flow Spoiled FBI の進化

意外な発見から誕生した FBI 法だが、大きな問題も抱えていた。末梢血管の描出能が十分でないという問題である。末梢血管では



図 4 Flow-Spoiled FBI 下腿動脈 MRA(正常例)

心収縮期でも動脈の血流速が遅く、結果的にサブトラクションすると血管が描出されなくなるのである。この描出不全の問題は末梢血管のみでなく、大血管の屈曲部や血管閉塞部でも同様の問題が発生することが判明した。この問題を克服すべく、Spoiled Gradient Pulse をリードアウト傾斜磁場に印加し、心収縮期において流れの遅い動脈を dephase させることでサブトラクション時の描出能を向上させた手法が、Flow-Spoiled FBI 法<sup>3)</sup>である。Flow-Spoiled FBI 法の誕生により、非造影 MRA の信頼性がさらに高まり、より細かな血管の描出側副血行路の詳細な描出が可能となった(図4)。たとえば Flow-Spoiled FBI 法を使った下肢閉塞性動脈硬化症(A S O)の知見として、狭窄度50%を超える狭窄に対して、16列マルチスライスCTとほぼ同等の鋭敏度、特異度、正確度が得られることが報告されている。<sup>4)</sup> その後 Flow-Spoiled FBI 法は、Spoiled Gradient Pulse をフェーズエンコード傾斜磁場にも印加することでさらなる描出向上を図った Flow-Adjusted FBI 法へと進化、様々な臨床の場面で活用されるに至っている。

◆ 形態から動態へ、進化を続ける非造影MRA技術

FBI 法の誕生により、全身での非造影 MRA 検査が可能となった。しかし、造影 MRA で可能な血流動態の把握は FBI 法では実現できない。そこで、血流の動態を非造影で描出する手法が考案された。これが Time-SLIP 法<sup>5)</sup>(time spatial labeling inversion pulse)である。Time-SLIP 法は、描出したい血管を含む領域内の背景信号を消去し、そこに新たに流れ込む血液を画像化する手法である。背景信号を消すための Selective-IR Pulse を任意の場所に設定・印加することで、目的血管だけを分離描出できる。(図5) たとえば門脈においては、Selective-IR Pulse の印加場所を変えることにより、脾静脈の流入と上腸間膜静脈の流入を分離描出できることが報告されている。<sup>6)</sup> また Time-SLIP 法に、速い流速に強い TrueSSFP<sup>7)</sup>法を組み合わせることにより、従来造影検査でも分離描出が難しいとされていた腎動脈も容易に描出することが可能になった

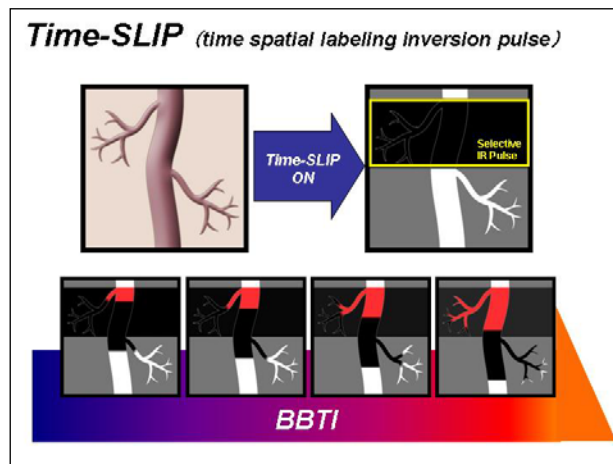


図5 Time-SLIP 概念図

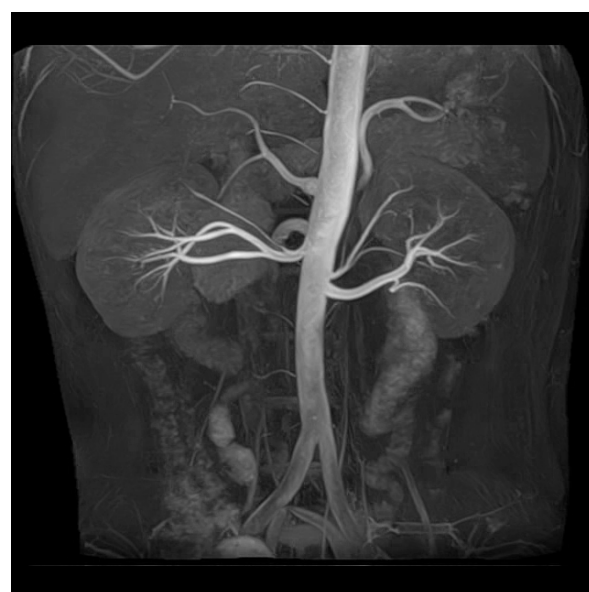


図6 Time-SLIP 腎動脈 MRA(正常例)

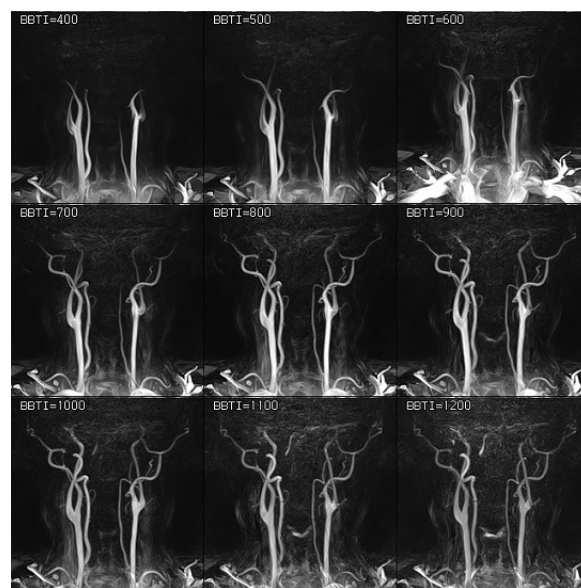


図7 Time-SLIP 動態 頸部 MRA(正常例)

のである(図6)。また Time-SLIP 法では、BBTI の設定によって血流を流入させる時間的ファクタを調整することができる。BBTI を細かく変化させて撮像することにより、血液そのものを、造影剤を使ったダイナミックイメージのように連続的な動態画像として描出することも可能になる。頸動脈分岐部に生じる渦流などの細かな血流動態をも描出することができる(図7)。また最近、Time-SLIP 法は血液だけでなく、CSF の動態描出にまでその臨床応用の範囲を広げ、真の生理的な CSF 動態を把握できる唯一の方法として注目を集めている。Time-SLIP 法には原理的に観察領域が比較的局所的な部位に限定されるという課題はあるが、より選択的、より機能的な病態の描出を目指して、日々研究や臨床活用が精力的にすすめられている。

#### ◆ おわりに

造影剤を用いずに、全身臓器の血管描出、あるいは動態観察が可能になってきた。造影検査のような手技やタイミングによる失敗がなく、術前、術後の評価を繰り返し行えるなど、非造影MRAには臨床面や検査面でのメリットが非常に大きい。また、患者さんへの造影剤使用に関する承諾が要らない、DPCにおける検査費を抑制できるなどのメリットも享受できるであろう。最後に造影検査が果たす役割について触れておきたい。ここで、すべてのMR検査で造影剤が全くいらなくなったというわけでは決して無いことを強調したい。MRA以外、特に腫瘍の質的診断などで、造影剤を使わなければ成立し得ない検査は数多く存在する。今後もその有用性が廃れることはないと思われる。要は造影検査と非造影検査のお互いの有用性を理解し補填しあうことで、患者さんの利益を最大にする、そのような検査のあり方を目指すべきではないかと考えている。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省大臣官房統計情報部：図6 主な死因別に見た死亡率の年次推移、平成18年人口動態統計月報年計(概数)の概況、11.
- 2) Miyazaki M, Sugiura S, Tateishi F, Wada H, Kassai Y, Abe H. Non-contrast-enhanced MR angiography using 3D ECG-synchronized half-Fourier fast spin echo. JMRI 12:776-783, 2000.
- 3) Miyazaki M, Takai H, Sugiura S, Wada H, Kuwahara R, Urata J. Peripheral MR angiography: Separation of arteries from veins with flow-spoiled gradient pulses in Electrocardiography-triggered three-dimensional half-Fourier fast spin-echo imaging. Radiology 227:890-896, 2003.
- 4) Nakamura K. Fresh blood imaging(FBI)of peripheral arteries: comparison with 16-detector row CT angiography. Presented at ISMRM 14th Annual Meeting, Seattle, 1929, 2006.
- 5) Kanazawa H and Miyazaki M. Time-spatial labeling inversion tag (t-SLIT) using a selective IR-tag on/off pulse in 2D and 3D half-Fourier FSE as arterial spin labeling. Presented at the ISMRM 11th Annual Meeting, Hawaii, p140, 2002.
- 6) Ito K, Koike S, Shimizu A, Kanazawa H, Miyazaki M, Yamauchi S, Matsunaga N. Intraportal Venous Flow Distribution: evaluation with single breath-hold ECG-triggered three-dimensional half-Fourier fast spin-echo MR imaging and a selective inversion-recovery tagging pulse. AJR 178:343-348, 2002.
- 7) Yui M, Miyazaki M, Kanazawa, H. Okamoto K. Aortic Arch to Intracranial 3D MRA with t-SLIT 3D-SSFP using a Neurovascular-attached QD head SPEEDER Coil. Presented at the ISMRM 13th Annual Meeting, Kyoto, p2121, 2004.