



画像再構成：臨床医のための解説 第6回 胸部・腹部 MRA —非造影 MRA を中心に—

篠原 広行¹⁾、小島 慎也²⁾、橋本 雄幸³⁾、上野 恵子²⁾

¹⁾ 首都大学東京

²⁾ 東京女子医科大学東医療センター 放射線科

³⁾ 横浜創英大学 こども教育学部

はじめに

MRIによるAngiographyは主に頭頸部においてTOF (time-of-flight) 法によって撮像されている。頭頸部では血流の方向があまり変化することなく一定(主に尾頭方向)であるため、RFパルスによって飽和されていない血液の流入効果を利用するTOF法で良好なMRA画像が得られる。従来胸部や腹部領域でもTOF法が用いられていたが^{1,2)}、これらの領域では血管の走行が複雑であり、TOF法によるMRAは困難である。更に胸部や腹部領域では呼吸や心拍動によるモーションアーチファクトや、肺や消化管内の空気による磁化率アーチファクトなどの影響から頭頸部や下肢など他の領域よりもMRAを撮像することは容易ではない。様々な要因により胸部や腹部はMRAが困難な領域ではあるが、パラレルイメージングの登場や3D撮像法の進歩などの技術革新と造影剤を併用することで良好なMRAを得ることが可能となってきた。造影MRAはDSA (digital subtraction angiography) など他のモダリティと比較し同等の血管描出が可能となり^{3,4)}、またCTやDSAのようにX線による被ばくの問題もないことから急速に普及してきた。

しかし、MRI造影剤によるNSF (nephrogenic systemic fibrosis) の問題が提起され、重篤な腎機能障害の症例では造影MRAを行うことが困難となった。そこでこの状況を打破するために、様々な非造影MRAの手法が考案された。胸部、腹部領域において主に用いられる非造影MRAでは、撮像シーケンスが3D-TSE (turbo spin echo) 法である手法と、3D-SSFP (steady state free procession) 法である手法に区別される。本稿ではそれら手法の原理、撮像方法について概説する。

1. TSE法とSSFP法
2. TSE法による非造影MRA
3. SSFP法による非造影MRA

1. TSE法とSSFP法

MRIでは複数のRFパルスを組み合わせて撮像を行うが、撮像シーケンスによってその組み合わせは異なる。図1にTSE法とSSFP法のRFパルスの組み合わせを示す。MRIにおいて基本となる

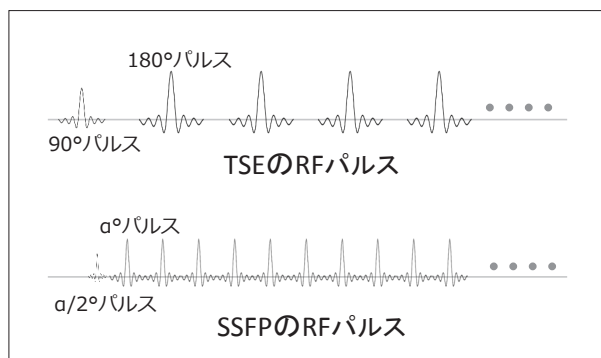


図1. TSE法とSSFP法のRFパルス

シーケンスである SE (spin echo) 法では一対の 90°パルスと 180°パルスを用いるが、TSE 法では一つの 90°パルスと複数の 180°パルスを用いて撮像時間の短縮を図る。一方、SSFP 法は GRE (gradient echo) 法の一種で、多数の α °パルス (α は任意の角度) を短いサイクルで連続照射し撮像を行う。SSFP 法は TSE 法と比べ静磁場の不均一の影響を受けやすく磁化率アーチファクトが生じやすいなどの短所もあるが、SNR (signal-to-noise ratio) が高いという長所もある。

2. TSE 法による非造影 MRA

TSE 法による非造影 MRA は装置メーカー毎に名称が異なり、Native SPACE (シーメンス)、TRANSE (フィリップス)、delta Flow (GE)、FBI (東芝) と呼ばれるが、基本的な原理はほぼ

同じである。この手法は心周期における血流の変化を利用した方法であり、心電図同期 (または脈波同期) が必須となる^{5,6)}。この手法の原理を図 2 に示す。心周期において動脈血の流速は変化し、ほとんど流れていない時相 (拡張期) と勢いよく流れている時相 (収縮期) がある。拡張期にて撮像を行うと動脈と静脈は高信号として描出されるが、収縮期に撮像すると動脈は flow void 効果によって低信号として描出される。TSE 法による非造影 MRA ではその信号差を利用し拡張期と収縮期の画像に対し、差分処理を施し MRA 画像を得る。

TSE 法による胸部非造影 MRA を図 3 に示す。胸部大動脈や鎖骨下動脈などが描出されている。この手法では適格に収縮期と拡張期で撮像を行うことが重要となるが、いずれかの時相において撮像タイミングがずれてしまうと良好な MRA を得ること

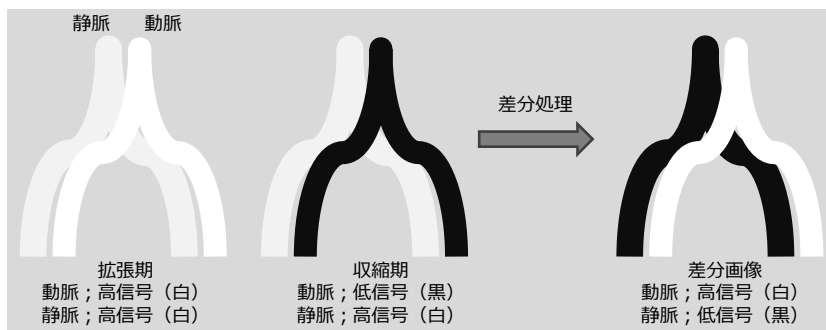


図 2. TSE 法による非造影 MRA の原理

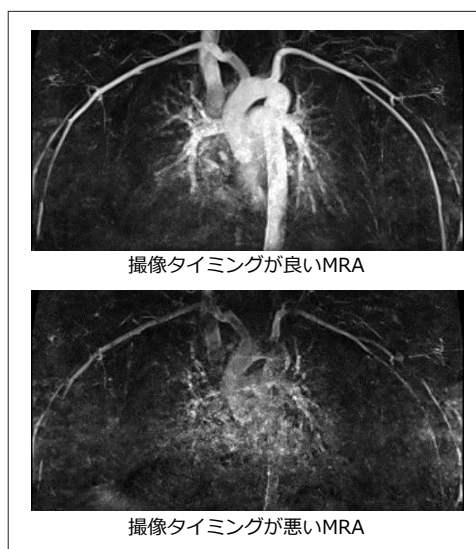


図 3.TSE 法による胸部 MRA

ができない。この手法は良好な MRA を得ることができるが弱点も幾つかある。まず、心電図同期が前提であるため不整脈や期外収縮などの症状がある症例では良好な MRA を得ることが困難となる。また、差分処理を施すため体動が激しい症例では差分処理がうまくいかず良好な MRA を得ることが難しい。更に、心周期内の血流の変化を利用するため目的とする血管のみを選択的に描出することも困難である。

3. SSFP 法による非造影 MRA

SSFP 法による非造影 MRA もメーカーごとに名称が異なり、Native TrueFISP (シーメンス)、b-TRANCE (フィリップス)、Inhance IR (GE)、Time-SLIP TrueSSFP (東芝) と呼ばれる。SSFP 法は血液が高信号となる撮像法であり、これに目的とする血液

にラベルを付加する ASL (arterial spin labeling) の技術を併用して非造影 MRA が撮像される。この手法はラベル用パルスの加え方や処理方法などによって、flow-in 法、flow-out 法、tag-on/off 差分法に分けられるが^{7,8)}、本稿では最も簡便な flow-in 法について説明する。Flow-in 法の原理を図 4 に示す。まず、背景信号を抑制するために目的とする血管を含む領域に、選択的な反転パルスを照射する。その後、反転パルスを照射した領域に反転パルスを受けていない血液が流入したタイミングで撮像し MRA 画像を得る。

SSFP 法による腎動脈の非造影 MRA を図 5 に示す。撮像領域の尾側に静脈の信号を抑制する飽和パルスを照射しているため静脈は描出されていない。また呼吸同期を併用しているため、呼吸によるアーチファクトの影響が少なく良好な MRA 画像が



図 4.SSFP 法による非造影 MRA の原理 (flow-in 法)

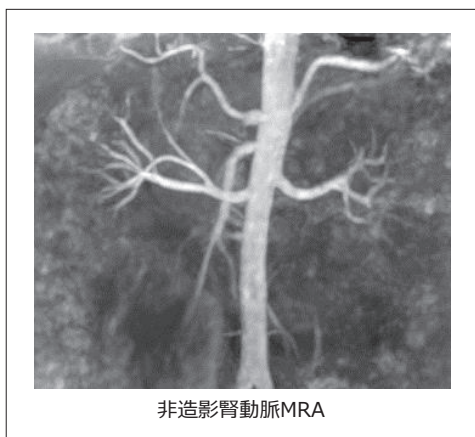


図 5.SSFP 法による腎動脈 MRA

得られている。この手法では、背景信号が十分に抑制され、かつ反転パルスを照射した領域に十分な血液が流入するタイミングで撮像することが重要となる。次に図6にflow-in法とtag-on/off法による門脈のMRAを示す。Flow-in法では門脈と同時に肝静脈も描出されているが、複数の反転パルスと差分処理を施すtag-on/off法では肝内門脈のみを描出することが可能である。このように、SSFP法による非造影MRAは複数のラベルパルスを用いることで目的とする血管を選択的に描出することができる。但し、SSPF法でも欠点があり、肺や消化管など空気が多い部位では磁化率アーチファクトの影響を受けやすいため、良好なMRA画像を得ることが困難となる。

おわりに

本稿では非造影MRAにおいてTSE法とSSFP法を用いる方法について概説し、胸部と腹部領域での使用例を示した。造影剤の使用が可能であれば造影MRAが第一選択となりうるが、造影剤が使用できない症例も多々ある。そのような場合、様々な非造影MRAの手法が候補となるが、撮像部位やシーケンスの特徴を理解し最適な撮像法を用いることが肝要であり、本稿がその一助となれば幸いである。

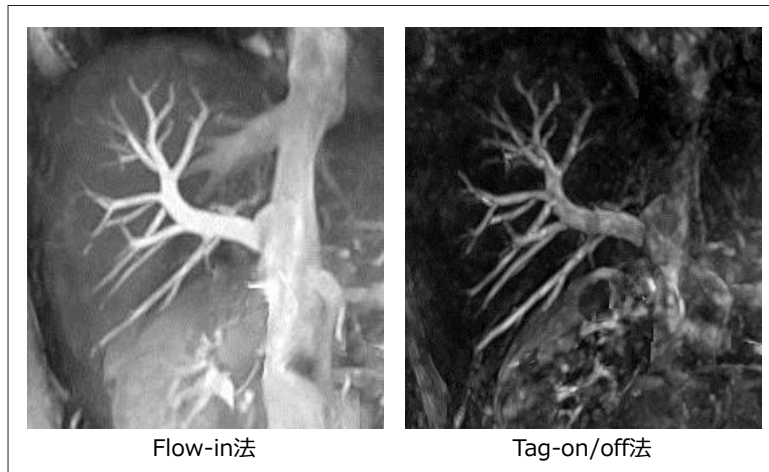


図6. SSFP法による門脈MRA

参考文献

1. Laissy JP, Assayag P, Henry-Feugeas MC, et al.: Pulmonary time-of-flight MR angiography at 1.0 T: comparison between 2D and 3D tone acquisitions. Magn Reson Imaging 13: 949-957, 1995.
2. Borrello JA, Li D, Vesely TM, Vining EP, et al.: Renal arteries: clinical comparison of three-dimensional time-of-flight MR angiographic sequences and radiographic angiography. Radiology 197: 793-799, 1995.
3. Gilfeather M, Yoon HC, Siegelman ES, et al.: Renal artery stenosis: evaluation with conventional angiography versus gadolinium-enhanced MR angiography. Radiology 210: 367-372, 1999.
4. Fain SB, King BF, Breen JF, et al.: High-spatial-resolution contrast-enhanced MR angiography of the renal arteries: a

- prospective comparison with digital subtraction angiography. *Radiology* 218: 481-490, 2001.
5. Miyazaki M, Sugiura S, Tateishi F, et al.: Non-contrast-enhanced MR angiography using 3D ECG-synchronized half-Fourier fast spin echo. *J Magn Reson Imaging* 12: 776-783, 2000.
 6. Takei N, Miyoshi M, Kabasawa H: Noncontrast MR angiography for supraaortic arteries using inflow enhanced inversion recovery fast spin echo imaging. *J Magn Reson Imaging* 35: 957-962, 2012.
 7. Coenegrachts KL, Hoogeveen RM, Vaninbrouckx JA, et al.: High-spatial-resolution 3D balanced turbo field-echo technique for MR angiography of the renal arteries: initial experience. *Radiology* 231: 237-242, 2004.
 8. Miyazaki M, Isoda H: Non-contrast-enhanced MR angiography of the abdomen. *Eur J Radiol.* 80: 9-23, 2011.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619