



## 画像再構成：臨床医のための解説 第5回 下肢 MRA –撮像法の移り変わり–

篠原 広行<sup>1)</sup>、小島 慎也<sup>2)</sup>、橋本 雄幸<sup>3)</sup>、上野 恵子<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>首都大学東京

<sup>2)</sup>東京女子医科大学東医療センター 放射線科

<sup>3)</sup>横浜創英大学 こども教育学部

### はじめに

閉塞性動脈硬化症などの評価に下肢の CT angiography (CTA) や MR angiography (MRA) などが用いられる。CTA は多列検出器 CT の登場により、良好な全下肢 CTA 画像を得ることが容易となったが、X 線による被ばくの問題や造影剤を使用できない場合は、検査を行うことができないなどの欠点もある。一方、MRA は被ばくの問題もなく、また造影剤を使用せずとも全下肢 MRA を行うことが可能である。下肢 MRA の主な撮像法として、頭部 MRA で用いられている time-of-flight (TOF) 法や CTA と同様に造影剤を使用する方法、心周期における血液の流れを利用した方法などが挙げられる。これらの撮像法は MR 装置の進化と共に発展し、下肢 MRA の撮像法は時代の流れと共に変化してきた。本稿では時代の流れに沿い、これら撮像法の概略について解説する。

1. 1990 年代、TOF 法が主流
2. 2000 年代、造影 MRA が流行
3. 2000 年代後半、新たな非造影 MRA の登場

### 1. 1990 年代、TOF 法が主流

1990 年代初頭にかけて下肢 MRA に関する報告が散見し始め、90 年代後半までその撮像法は主に TOF が使用されている<sup>1-3)</sup>。この際、良好な MRA 画像を得るポイントは心電図同期を併用した 2D-TOF 法で撮像することである。TOF 法の原理を簡単に説明する。MRI では励起パルスを用いて撮像を行うが、TOF 法では励起パルスを短い間隔で連続的に照射する。これにより照射された撮像面内の組織の信号は飽和して低信号になる。しかし、撮像面内に新たに流入してくる血液は連続的な励起パルスの影響を受けていないので、撮像面内の組織よりも相対的に高信号になる。この効果は流入効果と呼ばれ TOF 法における MRA の基本原理である。頭部 MRA などでは一般的に 3D-TOF 法が用いられているが、下肢 MRA では 2D 法が用いられる。下肢動脈は心臓から離れており、動脈の流速が遅い為、流入効果を十分に得ることが困難である。この場合、流入効果がより高い 2D を用いることにより良好な MRA 画像を得ることができ(図 1)。また、心周期により動脈血の流速が変化する為、心電図同期を併用することにより流入効

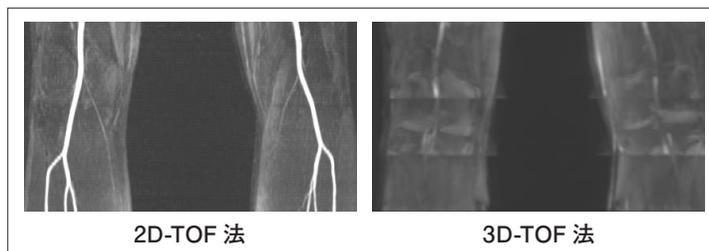
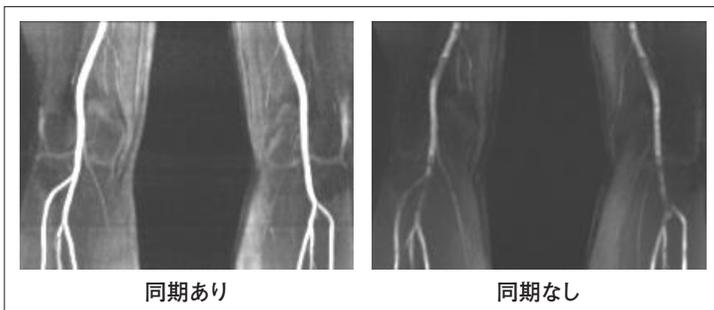
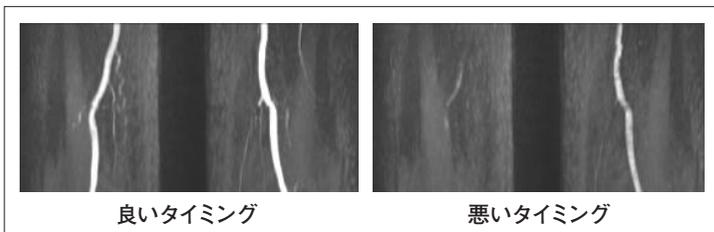


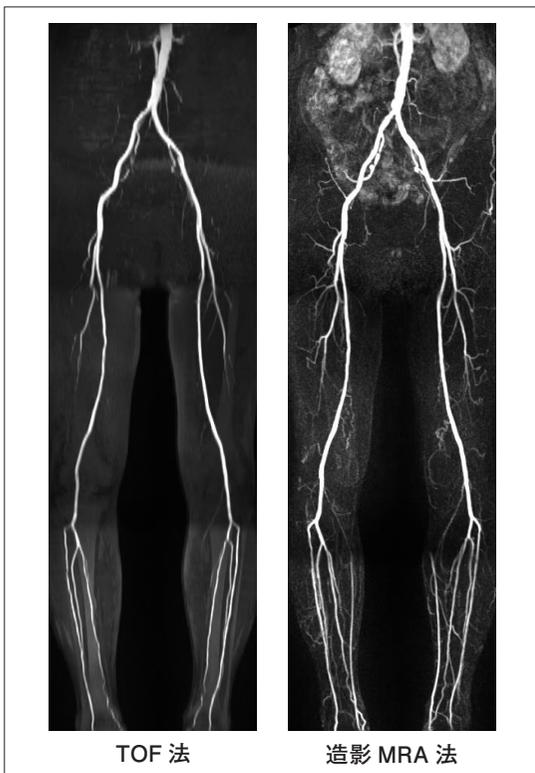
図 1. 2D-TOF 法と 3D-TOF 法の比較  
膝下動脈部における MRA 画像 (MIP 画像)。3D-TOF 法ではほとんど血管が描出されない。



**図 2. 心電図同期の有無**  
膝下動脈部における MRA 画像 (MIP 画像)。心電図同期を併用しないと血管の描出が不良である。



**図 3. 撮像タイミングの重要性**  
大腿動脈における MRA 画像 (MIP 画像)。下肢動脈において流速に左右差がある場合、撮像タイミングが悪いと、血管描出が不良となり誤診につながる恐れもある。



**図 4. TOF 法と造影 MRA 法の比較**  
TOF 法と造影 MRA 法の全下肢 MRA 画像 (MIP 画像)。全体の撮像時間は TOF 法で約 25 分、造影 MRA は約 50 秒程度である。

果が高まり、より良好な MRA 画像を得ることができる (図 2)。全下肢 MRA において TOF 法は簡便で良好な画像を得ることができるが、撮像時間が長いことが欠点である。また、心電図同期の際に最適な心周期において撮像しないと、不適切な MRA 画像が得られてしまう場合があるので注意が必要である (図 3)。

## 2. 2000 年代、造影 MRA が流行

1990 年代の終わりから 2000 年代、造影剤を使用した下肢 MRA に関する報告が増加した<sup>4,5)</sup>。この背景として 3D-T1 強調画像の撮像法が発展し、より高分解能な画像が得られ、更にパラレルイメージング技術の登場によって高速撮像が可能となったことが考えられる。下肢動脈における造影 MRA の利点として TOF 法と比較すると、撮像時間が早く血管の描出能が高いことが挙げられる (図 4)。また閉塞性疾患においてはその診断能は高いとの報告もある<sup>5)</sup>。欠点として造影剤を使用するため腎機能障害がある場合は、検査を行うことができないことが挙げられる。またこの手法は撮像タイミングが重要となり、タイミングが外れると良好な MRA 画像を得ることができず、図 4 の下腿部のように静脈が混在した画像になってしまう。

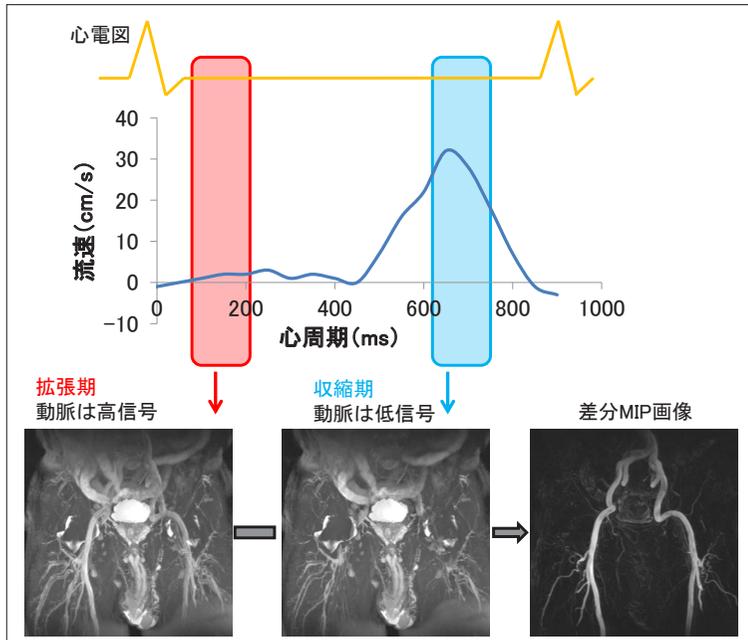


図 5. FBP 法の原理

### 3. 2000 年代後半、新たな非造影 MRA の登場

2000 年代後半から、非造影下肢 MRA に関する報告が増加した<sup>6-8)</sup>。この時期、造影下肢 MRA の有用性が広く認識されていたが、造影剤に含まれるガドリニウムがキレートから外れて、皮膚などに沈着し線維化をもたらす腎性全身性繊維症の問題が生じた。その結果、再び造影剤を用いない非造影 MRA 法が注目され、TOF 法以外にもいくつかの方法が提案された。本稿ではそれらの方法において、flesh blood imaging (FBI) 法<sup>6)</sup> について説明する。FBI 法は心周期における動脈血の流れを利用した方法であり、その原理を図 5 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 効果により低信号として描出される。FBI 法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。FBI 法は非造影であるので腎機能障害の症例においても下肢 MRA 画像を得ることができ、造影 MRA と比較しても血管の描出能にさほど遜色はない(図 6)。しかし、造影 MRA と比べると撮像時間は長くなってしまふ。非造影 MRA である

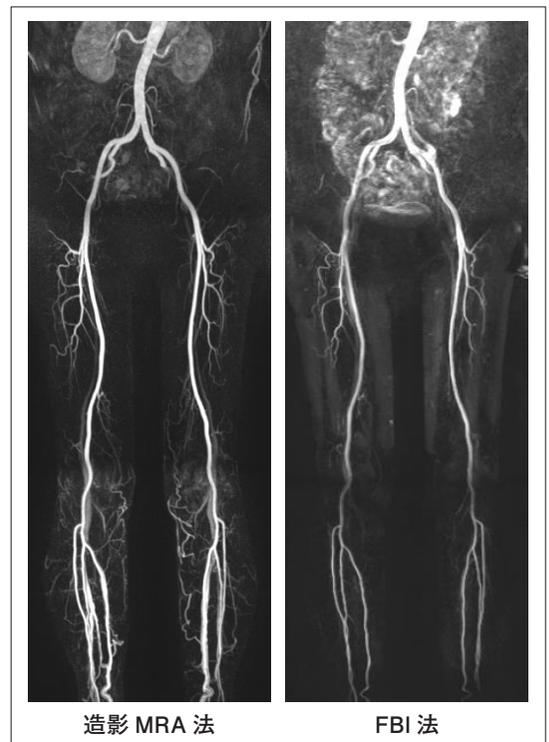


図 6. 造影 MRA 法と FBI 法の比較

造影 MRA 法と FBI 法の全下肢 MRA 画像 (MIP 画像)。全体の撮像時間は造影 MRA で約 50 秒、FBI 法で約 15 分程度である。

TOF法と比較すると、FBI法は流入効果を利用しないので閉塞性動脈硬化症などに見られる側副血行路の描出は優れる(図7)。FBI法は心電図による同期撮像が必須であることから、期外収縮などが頻発する症例においては同期不良により良好なMRA画像を得ることが困難であり、また差分処理を施すので体動の影響を受けやすいことが欠点として挙げられる。

## おわりに

本稿では下肢MRAについて、時代の流れと共に変化する撮像法の概略について述べた。MR装置の進化とその時代背景により、下肢MRAの撮像法も変化する。その中で様々な方法が提案されてきたが、それぞれの方法の利点や欠点を踏まえて最適な撮像法を用いることが肝要である。

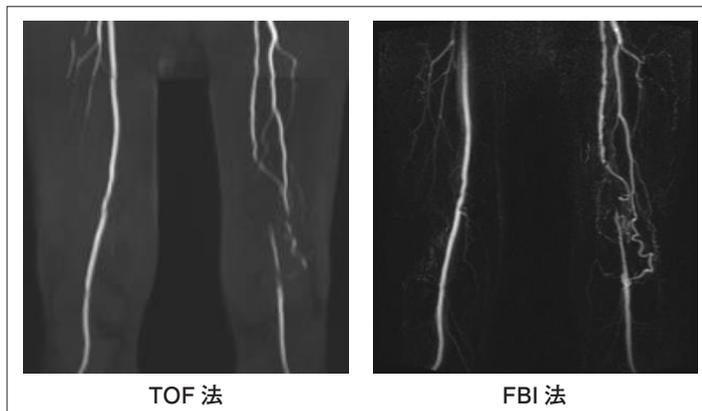


図7. TOF法とFBI法の比較  
大腿部におけるMRA画像(MIP画像)。動脈閉塞による側副血行路のある症例ではTOF法よりもFBI法の方がその描出に優れる。

## 参考文献

1. Mulligan SA, Matsuda T, Lanzer P, Gross GM, Routh WD, Keller FS, Koslin DB, Berland LL, Fields MD, Doyle M, et al. Peripheral arterial occlusive disease: prospective comparison of MR angiography and color duplex US with conventional angiography. *Radiology*. 178: 695-700, 1991.
2. Kaufman JA, McCarter D, Geller SC, Waltman AC. Two-dimensional time-of-flight MR angiography of the lower extremities: artifacts and pitfalls. *AJR Am J Roentgenol*. 171: 129-135, 1998.
3. Ho KY, Leiner T, van Engelshoven JM. MR angiography of run-off vessels. *Eur Radiol*. 9: 1285-1289, 1999.
4. Rofsky NM, Johnson G, Adelman MA, Rosen RJ, Krinsky GA, Weinreb JC. Peripheral vascular disease evaluated with reduced-dose gadolinium-enhanced MR angiography. *Radiology*. 205: 163-169, 1997.

5. Ersoy H, Rybicki FJ. MR angiography of the lower extremities. *AJR Am J Roentgenol.* 190: 1675-1684, 2008.
6. 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. *J Magn Reson Imaging.* 12: 776-783, 2000.
7. Lanzman RS, Blondin D, Schmitt P, Orzechowski D, Godehardt E, Scherer A, Mödder U, Kröpil P. Non-enhanced 3D MR angiography of the lower extremity using ECG-gated TSE imaging with non-selective refocusing pulses-initial experience. *Rofo.* 182: 861-867, 2010.
8. Radlbauer R, Salomonowitz E, van der Riet W, Stadlbauer A. Triggered non-contrast enhanced MR angiography of peripheral arteries: optimization of systolic and diastolic time delays for electrocardiographic triggering. *Eur J Radiol.* 80: 331-335, 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