

# Fastcard STAR (gated k-space segmentation signal targeting with alternative radiofrequency) による頭部 MRA の検討

伊藤公一郎<sup>1</sup>, 岡田 進<sup>1</sup>, 桜井 実<sup>2</sup>, 斉藤晴美<sup>2</sup>,  
高岡慎市<sup>2</sup>, 加藤丈司<sup>2</sup>, 隈崎達夫<sup>3</sup>, 森谷浩人<sup>4</sup>

<sup>1</sup>日本医科大学千葉北総病院放射線科 <sup>2</sup>同 中央画像検査室  
<sup>3</sup>日本医科大学付属病院放射線科 <sup>4</sup>GE 横河メディカルシステム

## はじめに

頭部 MRA はスクリーニングとして広く行われており、通常 3D-TOF 法が用いられることが多い<sup>1)</sup>。Signal targeting with alternative radiofrequency (STAR) は Nishimura, Edelman により開発され<sup>2),3)</sup>、background の抑制が優れた良好な MRA が得られるとされている。

今回 STAR に Fastcard (gated k-space segmentation)<sup>4)</sup> 収集を組み合わせることで高速化し、頭部スクリーニング MRA に用いたののでその描出能につき報告する。

## Fastcard STAR

STAR は、最終的にはサブトラクション法を用いる (Fig. 1)。まず撮像面上流血管に

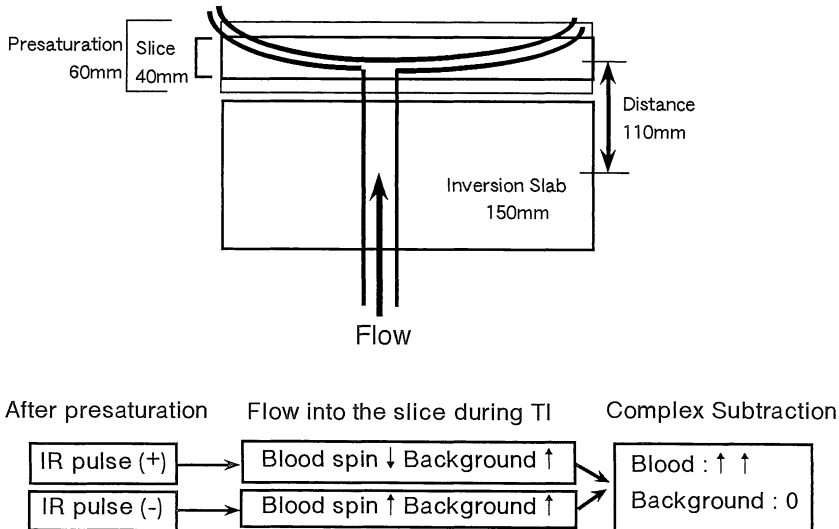


Fig. 1. Scheme of the Fastcard STAR sequence (axial image).

キーワード STAR, Fastcard, MR angiography

IR パルスを加えて血液のスピンを反転させ、撮像面に流入したところで1回目の撮影を行う。ついで IR パルスを加えずに同様に撮影する。これら2回のデータは、流入血液のスピンは逆位相をとり、background は同位相となる。これらを複素数上でサブトラクションすれば、流入した血液のみからの信号が得られる。Background はサブトラクションにより完全に消失するはずであるが、抑制をより完全なものとするためにそれぞれの収集の前に presaturation を加えた。撮影の高速化のためには1回の IR パルスごとに複数のデータを採取する必要があり、fast gradient echo<sup>5)</sup> または echo planar<sup>6)</sup> が用いられる。今回我々は Fastcard<sup>4)</sup> を用いた。Fastcard は k-space を分割し、その各単位を心拍 trigger ごとに fast GRASS にて連続収集するものである。

### 対象・方法

使用装置は GE 社製 SIGNA Advantage 1.5 T (ver. 5.4) で、全例 head coil を使用した。対象は頭部 MRA を施行した 60 例（男性 27 例、女性 33 例、年齢  $59.9 \pm 15.6$  歳）である。内訳は頭痛、めまいなどの不定愁訴 31 例、脳血管障害 (CVD) 25 例、その他 4 例である。全例で 3D-TOF 法による頭部 MRA を施行した後、Fastcard-STAR を撮影した。

#### 1) 3D-TOF

撮影 sequence はスクリーニングプロトコルの一つとして用いているもので、3D-Fast SPGR (spoiled GRASS), TR/TE=18.1/3.8 ms, FA=20°, FOV=13 cm, slab 厚 42 mm, matrix=256×128, 64 partitions で、1st order gradient moment nulling, no phase wrap を併用した。撮像時間は 4 分 57 秒である。

#### 2) Fastcard-STAR

a) axial 像。60 例全例で撮影した。撮像 se-

quence は、指尖脈波ゲートによる Fastcard (k-space segmented 2D-fast GRASS), TR/TE=27/4 ms, FA=30°, TI=300, 400, 500 ms, 8 views per segment, FOV=18 cm, matrix=256×128, bandwidth 16 kHz, slice 厚 40 mm, presaturation 厚 60 mm, inversion slab=150 mm, inversion slab の中心から撮像面までの距離 (distance)=110 mm である。Trigger より inversion pulse までの delay time は最短の 13 ms とした。撮像時間はサブトラクションに必要な 2 回のデータ収集合計で、心拍数 60/min の場合 32 秒である。

b) sagittal, coronal 像。42 例で追加撮影した。Slice 厚 20 mm, presaturation 厚 20 mm, distance=200 mm とし、他は axial 像と同一 parameter を用いた。Sagittal, coronal 撮影では、axial 像で末梢の描出に優れていた TI=500 ms のみを用いた。

#### 3) 評価

3D-TOF 法より正常 (variation を含む) 49 例、末梢の描出不良で血流遅延と考えられた例 8 例、他の異常所見を認めた例 3 例の 3 群に分類した。Fastcard-STAR の評価は、まず全体の画質評価を行い、axial 像に関しては TI=300, 400, 500 ms 間の比較を行った。次いで TOF 正常群では撮像方向による各血管別の描出能を、他の群では両収集法での所見の対比を行った。評価は放射線科医・放射線技師計 5 名により以下の判定基準により行った。

画質評価：

卍：画像良好。TOF に比して大きな遜色なし。

卍：やや不良。血管の描出は TOF より劣るが中等度の病変は指摘可能。

＋：画質不良。TOF よりかなり劣り、病変の指摘は困難。

－：極めて不良で血管の同定も不十分。

各主要血管の描出能：

1997 年 5 月 7 日受理 1997 年 6 月 25 日改訂

別刷請求先 〒270-16 千葉県印旛郡印旛村鎌苅 1715 日本医科大学千葉北総病院放射線科 伊藤公一郎

- 卅：描出良好で明瞭に認識できる.
- 卍：描出はやや不明瞭だが同定は容易.
- 十：描出不明瞭で同定困難.
- 一：描出不良で同定不能.

## 結 果

1) Fastcard STAR の全体的画質評価 (Table 1).

評価卍以上は, axial 像では 80%以上を占めたのに対し, sagittal, coronal 像では半分に満たなかった.

2) TI=300, 400, 500 ms 間の比較.

TI は長いほど画像全体の信号は低下するが末梢の描出は良好であった (Fig. 2).

3) TOF 正常群における各血管別の描出能 (Table 2).

Fastcard STAR axial 像では, MCA (中大脳動脈), PCA (後大脳動脈) の描出は最も良

好で, 次いで ACA (前大脳動脈) であった. Sagittal, coronal 像では結果にばらつきがあり, 良好に描出された例 (Fig. 3) がある一方で描出不良も半数以上あった.

4) TOF で末梢の描出不良であった 8 例

TOF で末梢の信号不良とされた 8 例で末梢の描出は 4 例では STAR が優れ, 2 例で同等, 2 例で TOF の方が優れていた.

5) TOF でその他の異常所見の見られた 3 例

Table 1. Evaluation of Image Quality in the Fastcard STAR Sequence(%).

	(卅)	(卍)	(十)	(一)
Axial	38	43	16	3
Sagittal	16	30	40	14
Coronal	13	38	36	13

- 卅 : Comparable
- 卍 : Slightly unfavorable
- 十 : Poor
- 一 : Not visualized

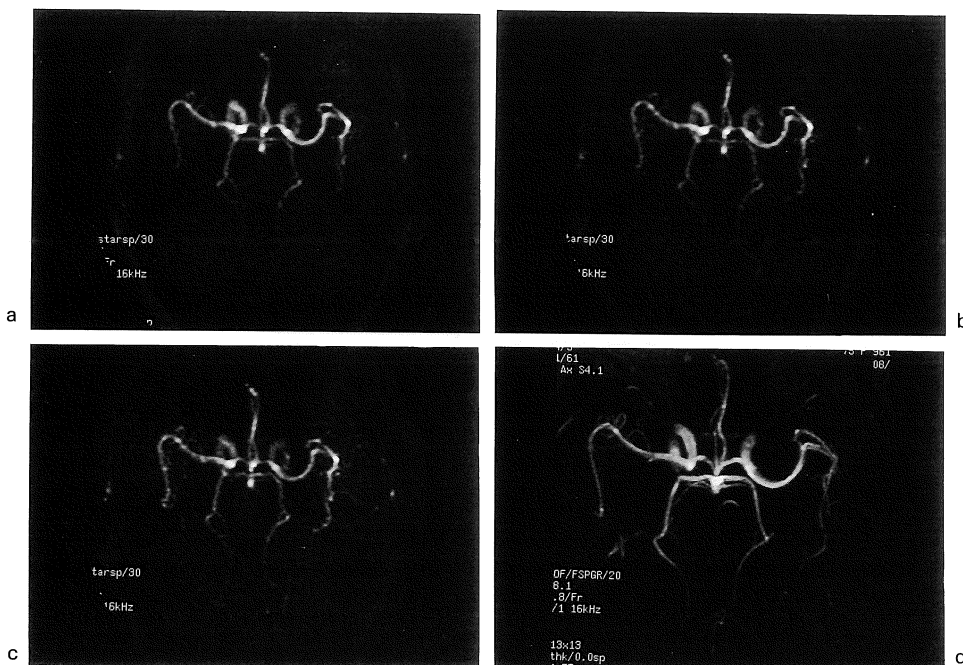


Fig. 2. Comparison among TI=300(a), 400(b), 500(c) ms in Fastcard STAR and 3D-TOF (d) MR angiography. Longer TI makes more peripheral depiction, but represents lower SNR. The 3D-TOF MR angiography provides best quality in these images.

脳梗塞の例 (Fig. 4) では右 MCA は起始部にて閉塞しており他の動脈はいずれも良好に描出されていた. これらの所見は TOF, STAR とも差は見られなかった. TIA の症例では TOF で右 PCA の末梢が描出不良とされたが STAR でも同様所見であった. 外傷性頸動脈

海綿静脈洞瘻の症例 (Fig. 5) では両者とも左内頸動脈から cavernous sinus にかけて高信号を認めた. しかし STAR では TI を長くすることにより末梢静脈への逆流が描出され, TI=500 ms では左上眼静脈の描出が見られた. これは TOF ではまったく描出されていな

Table 2. Evaluation of the Major Arteries in the Fastcard STAR Sequence(%).

	(卍)	(卄)	(+)	(-)
Axial image				
ACA	24	36	31	9
Rt. MCA	44	41	14	0
Rt. PCA	39	35	24	2
Lt. MCA	44	42	14	0
Lt. PCA	40	37	21	2
Sagittal image				
ACA	19	23	26	32
Basilar a.	21	27	31	21
Coronal image				
Rt. MCA	18	29	29	24
Lt. MCA	14	31	32	23
Basilar a.	16	28	29	27

卍 : Excellent  
 卄 : Good  
 + : Poor  
 - : Not visualized

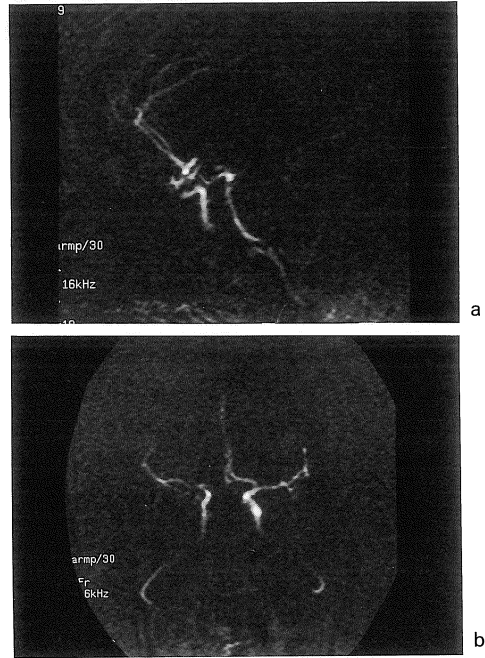


Fig. 3. Direct imaging of sagittal(a) and coronal(b) plane with Fastcard STAR.

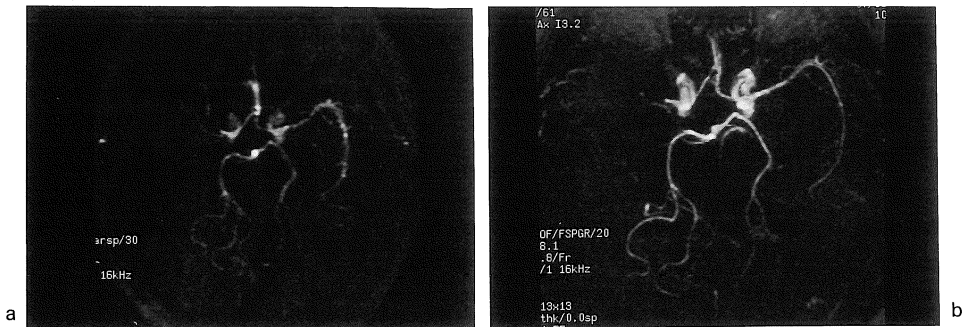


Fig. 4. 76 year old man with cerebral infarction. Right MCA is occluded at the proximal portion in the Fastcard STAR image (TI=500 ms) (a). This finding agrees with the 3D TOF MR angiography (b).

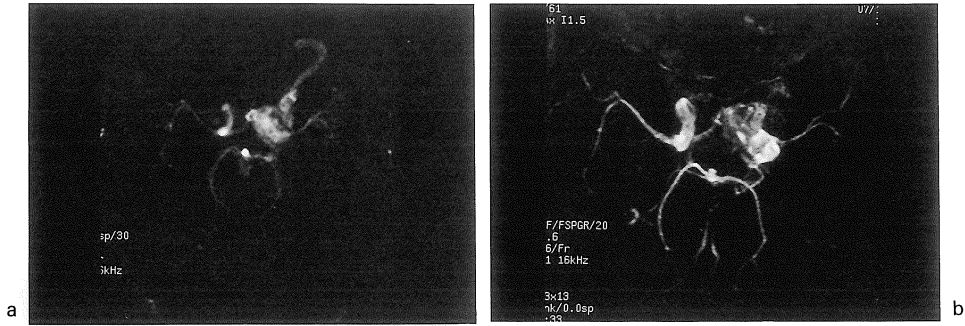


Fig. 5. 26 year old man with traumatic carotid-cavernous fistula. Left superior ophthalmic vein is demonstrated in the Fastcard STAR MR angiography (TI=500 ms) (a), which is missed with 3D TOF MR angiography (b).

Left MCA is more detectable in the Fastcard STAR MR angiography than the 3D-TOF image.

かった。また左 MCA は TOF で描出不良で、fistula への血流による steal の影響が考えられたが、STAR では良好に描出され開存が確認された。

### 考 察

脳動脈の MRA は血流が速いことから主として 3D-TOF 法が用いられており、動脈瘤の検出にも 3D-TOF 法が優れるとされている<sup>7),8)</sup>。しかし TOF 法の問題点として血液スピンの飽和が挙げられる。特に 3D 撮影の場合スラブ内を進行する血流が徐々に飽和され末梢の信号が低下する。これらの問題点に対し MTC および variable flip angle<sup>8)</sup>, variable TR<sup>9)</sup>, Gd 造影法<sup>10)</sup>などが考えられている。しかし流入側の flip angle が小さすぎるとバックグラウンドの抑制が不十分となり、TR を長くすると撮影時間が延長する。また Gd 造影法では静脈が描出され重なってしまうなどそれぞれ短所も合わせて持っている。

これに対し STAR 法では上流血液スピンを IR パルスで反転し、流入血液のみを描出するものである。反転された血液スピンは短時間有効な造影剤の効果を持ち、血流により末梢に流入したところを撮影するという点でより血管造影に近い方法と考えられる。今回の検討でも撮

像面と平行に走る遅い血流において、TOF でまったく描出されず STAR で明瞭に描出された例があった。Fastcard-STAR では血管信号は位相差を検出しており background の抑制はサブトラクション法で行われるため、遅い流速でも両者のコントラストが保たれているものと考えられた。AVM における drainage vein の描出が STAR で優れているとの報告も見られ<sup>11)</sup>、非常に遅い血流の描出に関しては TOF 法より STAR 法が優れていると思われる。また TOF 法で高信号に描出される脂肪や出血などの T<sub>1</sub> 短縮部もサブトラクションにより抑制され診断の妨げにならないことも利点と思われる。

しかし Fastcard-STAR は、S/N があまり良くない今回の 3D-TOF に比しても画質が劣っていた。最大の原因は今回用いた TOF 法は 3D であるのに対し、Fastcard-STAR は 2D 像であることによると思われる。また一部に background の抑制が非常に不良となる例があった。動きによる motion artifact の他に、presaturation pulse の slice profile や IR pulse の flip angle の不完全なども原因と考えられる。

今回の検討では末梢の血管描出を最大にすべく、TI 期間が動脈相に一致するよう trigger delay を最短とした。しかし脈波と脳動脈血流

が一致しているとは限らず、また血管の描出は trigger delay, TI 時間の他に inversion slab の厚さや撮像面との距離にも依存するなど複雑な関係があり、さらに最適収集条件の検討が必要である。

スクリーニング検査においては撮影時間も重要な要素である。Fastcard-STAR は TOF の約 1/10 の時間で撮像でき、検査時間の短縮が可能である。またその分同一時間内に多方向からの撮影を行うことも可能である。しかし確かに STAR では sagittal, coronal 像が直接撮影できたが画質不良のことが多く、スクリーニングに用いるには安定性に欠けていた。また axial 像に比し sagittal, coronal 像で特に画質不良となった原因として、血管の走行、検査時の頭部の角度が人により異なるため sagittal, coronal 像では slice 面の設定が難しく、また撮像面の presaturation が上流血管にかかってしまう可能性があることが挙げられる。

STAR は本来 2D 像なので後処理として target MIP や方向を変えての投影などを施すことはできない。また薄いスライスの原画像を観察することもできない。通常 MIP 像での MRA の観察は多方面から行われ、この点は STAR にとって不利である。

STAR により血液灌流に関する情報を得ることが報告されている<sup>6)</sup>。今回の Fastcard-STAR は画像の S/N が低く、脳の血液灌流を表す直接的な情報は得られなかったが、TI による血管描出の相違は血流速度を反映していると考えられる。また Fastcard の特長を生かし、今後は呼吸停止下での撮影にも応用が期待される。

## ま と め

- 1) Fastcard-STAR による頭部 MRA は、3D-TOF の 1/10 の時間で撮像でき、axial 像で主要動脈の描出はほぼ良好であった。
- 2) 遅い血流の描出にきわめて優れている例が

あった。

- 3) しかし 2D 画像であるので全体的に画質が劣り、後処理による多方向観察もできないのでスクリーニングには適さないと思われた。
- 4) Sagittal, coronal 像も直接撮像できるが、画質不良のことが多かった。

## 文 献

- 1) 古瀬和寛, 飯沼 武, 小塚隆弘, 他 : 頭部 MRA スクリーニングに関する第二次全国脳ドック施行医療機関アンケート調査結果. 日磁医誌 1996 ; 16 : 293-295
- 2) Nishimura DG, Macovski A, Pauly JM : Considerations of magnetic resonance angiography by selective inversion recovery. Magn Reson Med 1988 ; 7 : 472-484
- 3) Edelman RR, Siewert B, Adamis M, Gaa J, Laub G, Wielopolski P : Signal targeting with alternating radiofrequency (STAR) sequences : application to MR angiography. Magn Reson Med 1994 ; 31 : 233-238
- 4) Sakuma H, Fujita N, Foo TKF, et al. : Evaluation of left ventricular volume and mass with breath-hold cine MR imaging. Radiology 1993 ; 188 : 377-380
- 5) Adamis MK, Goldszer RC, Pulde MF, Sax EJ, Edelman RR : Renal vasculature in potential renal transplant donors : Comparison of MR imaging and digital subtraction angiography. Radiology 1995 ; 197 : 467-472
- 6) Edelman RR, Siewert B, Darby DG, et al. : Qualitative mapping of cerebral blood flow and functional localization with echo-planar MR imaging and signal targeting with alternative radio frequency. Radiology, 1994 ; 192 : 513-520
- 7) 三木 均 : MR angiography による脳動脈瘤診断精度の検討. 日磁医誌 1996 ; 16 : 33-48
- 8) Atkinson D, Brant-Zawadzki M, Gillan G, Purdy D, Laub G : Improved MR angiography : Magnetization transfer suppression with variable flip angle excitation and increased resolution. Radiology 1994 ; 190 : 890-894
- 9) Tkach JA, Lin W, Duda Jr JJ, Haacke EM,

- Masaryk TJ: Optimizing three-dimensional time-of-flight MR angiography with variable repetition time. *Radiology* 1994 ; 191 : 805-811
- 10) Jung HW, Chang KH, Choi DS, Han MH, Han MC: Contrast-enhanced MR angiography for the diagnosis of intracranial vascular disease: Optimal dose of gadopentate dimeglumine. *AJR* 1995 ; 165 : 1251-1255
- 11) Essig M, Engenhardt R, Knopp MV, et al.: Cerebral arteriovenous malformations: improved nidus demarcation by means of dynamic tagging MR-angiography. *Magn Reson Imag* 1996 ; 14 : 227-233

### **MR Angiography of the Head with Fastcard STAR (Gated K-space Segmentation Signal Targeting with Alternative Radiofrequency)**

Koichiro ITO<sup>1</sup>, Susumu OKADA<sup>1</sup>, Minoru SAKURAI<sup>2</sup>,  
Haruyoshi SAITO<sup>2</sup>, Shinichi TAKAOKA<sup>2</sup>, Joji KATO<sup>2</sup>,  
Tatsuo KUMAZAKI<sup>3</sup>, Hiroto MORIYA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Radiology, Chiba Hokusoh Hospital, Nippon Medical School  
1715 Kamakari, Inba-mura Inba-gun, Chiba 270-16*

<sup>2</sup>*Medical Imaging Center, Chiba Hokusoh Hospital, Nippon Medical School*

<sup>3</sup>*Department of Radiology, Nippon Medical School*

<sup>4</sup>*GE Yokogawa Medical Systems*

Signal targeting with alternative radiofrequency (STAR) is reported to create good vascular depiction in MR angiography. We combined this technique with a Fastcard data acquisition scheme for rapid examination (32sec acquisition time) and compatibility to pulsative flow. In 60 cases, cerebral MR angiography was performed with the Fastcard STAR sequence and compared with conventional 3D Time-of-Flight MR angiography. In 80% cases, axial Fastcard STAR MR angiography provided good images in quality, but less than a half cases were sufficient in coronal and sagittal images. Concerning arterial depiction, almost similar findings were predicted in both techniques. However, Fastcard STAR MR angiography only revealed very slow flow in a case of traumatic carotid-cavernous sinus fistula. Although Fastcard STAR MR angiography has several drawbacks in lower image SNR and incapability of postprocessings, it provides sufficient arterial depiction in short acquisition time, and is especially advantageous in slow flow.