

## Fastcard 法による冠状動脈描出の試み

中西 正<sup>1</sup>, 宮坂健司<sup>1</sup>, 松浦寛司<sup>1</sup>, 飯田 慎<sup>1</sup>,  
高畑弥奈子<sup>1</sup>, 梶間敏男<sup>1</sup>, 伊藤勝陽<sup>1</sup>, 野崎 敦<sup>2</sup>,  
山口寿一郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>広島大学医学部放射線医学教室 <sup>2</sup>GE 横河メディカルシステム

## はじめに

虚血性心疾患を非侵襲的に評価することは臨床的に重要である。現在臨床的に応用されている非侵襲的な検査法は、直接冠状動脈の狭窄を描出する手法ではなく間接的な手法であり、最終的には侵襲的な冠状動脈造影が必要とされることが多い。現在までに MRI<sup>1)~6)</sup>, X 線 CT<sup>7)</sup>, 超音波検査<sup>8),9)</sup>などにより、冠状動脈の描出が試みられているが、いずれも冠状動脈造影法に匹敵するほどの結果は得られていない。MRI は原理的に造影剤を用いずに血管の高いコントラストが得られるが、心大血管を対象にする場合心電図同期が必須であるため、最低でも 2 分程度の撮像となり息止め下の撮像は不可能であった。また息止めをしない撮像は呼吸によるずれや拍動や体動による artifact が避けられないため、冠状動脈のような細い血管は描出そのものが困難であった。近年一画像に対して一心拍あたり複数のデータをとることによって 20 秒以下での心臓の息止め撮像が可能となった。心電図同期下で k-space segmentation を用いた gradient echo 法およびその類似の撮像法により冠状動脈の評価が行われてきている。今回我々は高速シネ撮像法である gradient echo 法

(Fastcard 法) により冠状動脈の描出を試みた。この撮像法は MR 装置の性能に大きく依存しており、我々の使用している MR 装置における限界を明らかにすることも目的とした。

## 対象及び方法

対象は正常ボランティア 10 例で平均年齢 26.1 才 (21-32 才) であった。使用装置は GE 社製 Signa-advantage Ver 4.8. Fastcard 法の撮像条件は FA=30° TR=12.5 ms, TE=5.5 ms で slice thickness 5 mm, FOV 26 cm, 256 × 128 matrix, flow compensation 併用で行なった。また受信には腹臥位にて 5 inch の円形表面コイルを使用し、一回の息止めによる撮像を原則とした。脂肪抑制パルス併用撮像の画像は S/N が悪く、今回の検討では使用していない。通常的心電図同期撮像では 128 心拍かかるが、k-space segmentation を用いて一心拍あたり一画像に割り当てる line 数を 4 および 8 とするとそれぞれ 32 および 16 心拍の撮像時間となる。得られた画像における冠状動脈の描出について検討した。左冠状動脈本幹から前下行枝近位部と回旋枝は主として、axial 断面に近い面で、右冠状動脈は coronal 断面に近い断面で評価を行った。検討項目は以下の 2 項目で line

キーワード coronary artery, MRI, k-space segmentation, gradient echo

数4と8について対比した。以下の判定は2名の放射線科医の合議により行った。1. 血管描出の評価 評価基準は以下の3段階で施行。A. 血管が連続的かつ明瞭に描出される。B. 同定可能だが不連続である。C. 血管として認識できない。2. 最適な trigger delay それぞれの血管について最も良好な画像の trigger delay を検討した。

## 結 果

Table 1 に血管描出の評価の結果一覧をしめす。10人のうちline数8でC評価がなかったのは4人のみであり最低限必要とされるA評価は20%であった。line数4ではC評価は1本のみで、A評価は43%であった。血管別にみると左冠状動脈本幹では、line数4で描出され、line数8では描出困難であった。また左冠状動脈本幹はline数8で7人で前下行枝よりも描出が不良となった。前下行枝と回旋枝の描出はline数にかかわらず不良であり、特に回旋枝はline数4でもA評価は2人であった。

また回旋枝では信号が弱いだけでなく静脈との区別が困難であった。右冠状動脈はline数が4ではおおむね描出されたが、8では大部分で描出困難であった。比較的良好に描出された症例を呈示する (Fig. 1, 2)。line数4の方が血管描出に関しては優れているといえるが、画質だけでなくline数4はline数8の二倍の時間分解能を持っていることも影響していると思われる。Table 2 に最適な trigger delay の評価結果を示す。表の数字は trigger delay time を R-R 間隔で除したものである。C評価であった血管は空欄としている。生理的な状態では冠状動脈には拡張期に血流が多く流れるので、time of flight 効果を利用した画像では、拡張期に撮像するのが最も有利であるといえるが、今回の検討ではそのような一定の傾向は認めなかった。もともと画像が不良であり、ばらつきが大きいこともあると思われるが、大動脈根部からの flow-related artifact が拡張期に目立つ場合があり、大動脈根部近傍では拡張期に画像が劣化するためと考えられた (Fig. 3)。

Table 1. Summary of the Evaluation Results

Case. No.	line=8				line=4			
	Lt. Main	LAD	LCX	RCA	Lt. Main	LAD	LCX	RCA
1	B	A	C	B	B	B	C	A
2	B	B	B	B	B	B	B	A
3	C	B	B	B	B	B	B	A
4	C	B	B	B	A	A	B	A
5	A	A	B	B	A	A	B	A
6	B	A	B	B	A	A	B	A
7	B	A	B	B	B	A	A	B
8	C	C	B	A	A	B	A	A
9	C	B	C	B	B	B	B	B
10	C	A	B	A	B	B	B	B

Lt. Main : left main coronary artery  
LCX : left circumflex artery

LAD : left anterior descending artery  
RCA : right coronary artery

1996年3月12日受理 1996年5月10日改訂

別刷請求先 〒734 広島市南区霞 1-2-3 広島大学医学部放射線医学教室 中西 正

Fastcard 法による冠状動脈描出の試み

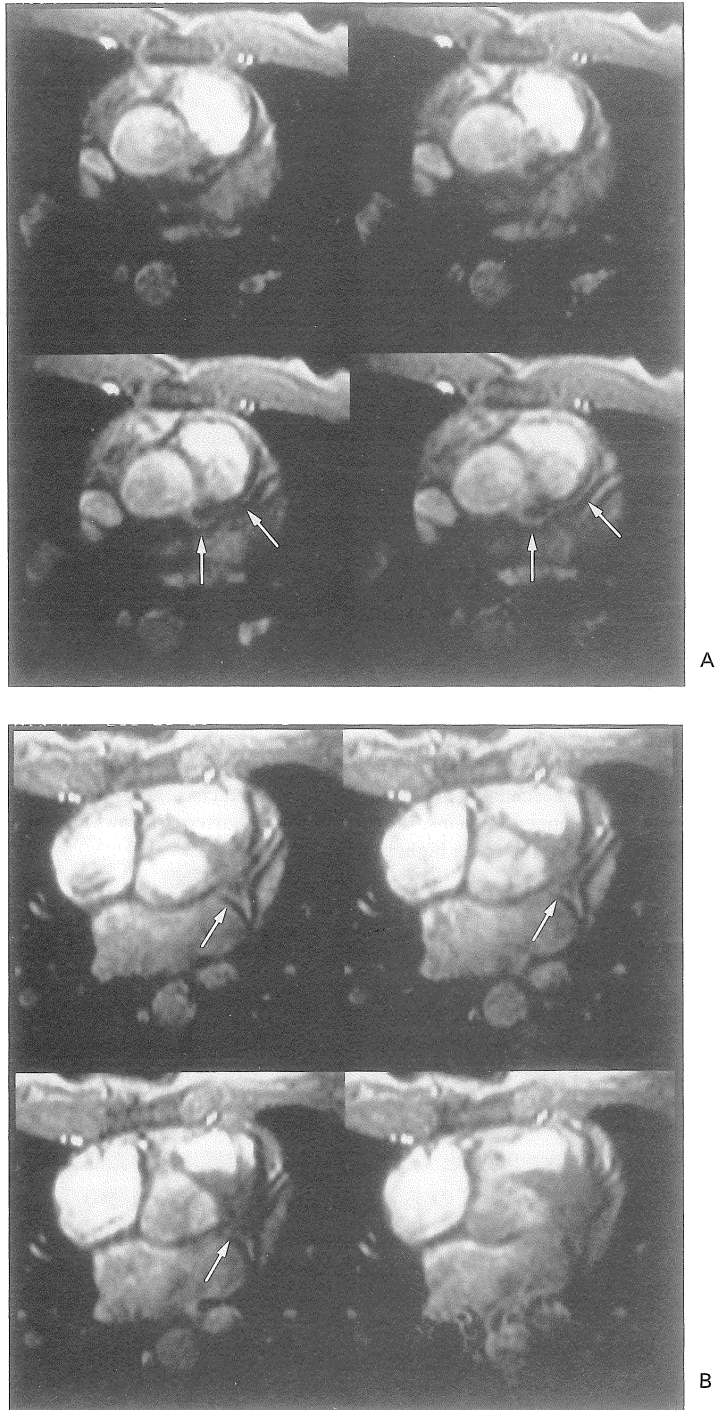


Fig. 1

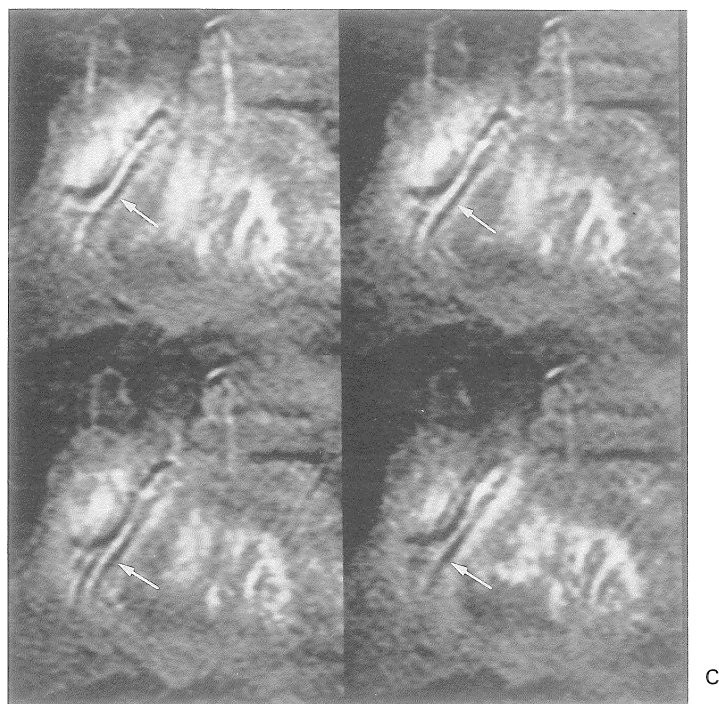


Fig. 1. Spatially sequential images of each coronary artery obtained by Fastcard using 4 lines for a image. A) Left main coronary artery to left anterior descending artery (arrows). B) Left circumflex artery (arrows) overlapped by veins. C) Right coronary artery (arrows) is well demonstrated due to its higher signal intensity.

## 考 察

MRI を用いた冠状動脈の評価を冠状動脈造影法との対比によって行った報告は Manning らが最初である<sup>1)</sup>。Manning らによると有意の冠状動脈 (>50% of diameter) の検出に関して sensitivity=90%, specificity=92% という好結果を報告した。しかしながらこのあと Duerinckx ら<sup>2)</sup>の報告ではそれほど良い結果がでていないことをみるといまだ発展途上の技術であるといえる。我々の装置においては、現在二次元画像による MR coronary angiography に用いられている条件に近い、スライス厚=5 mm, line 数 8, FOV=26 cm で施行した場合、非常に不良な結果となった。静止している部位

に関しては単なる S/N の問題となるが、動きのある心臓では flow-related artifact が血管描出に関して大きな役割をはたす。特に正常例においても複雑で早い血流をしめす大動脈根部からの flow-related artifact が大きな問題である。右冠状動脈の描出が他の枝より良好であるのは、前胸壁におく表面コイルを使用する以上、距離からいって当然のことであるし、過去の報告例も同様の傾向をしめしている<sup>1)</sup>。回旋枝の描出が不良なのはその逆の理由であり、また静脈との区別は画像が劣化するほど困難となる。一般的に血管径が大きいほど、血管の描出能が高まるのはいうまでもないが、今回の我々の検討で、特異的な点は最も太い血管径を持つ左冠状動脈本幹の描出が前下行枝より line 数 8 で

Fastcard 法による冠状動脈描出の試み

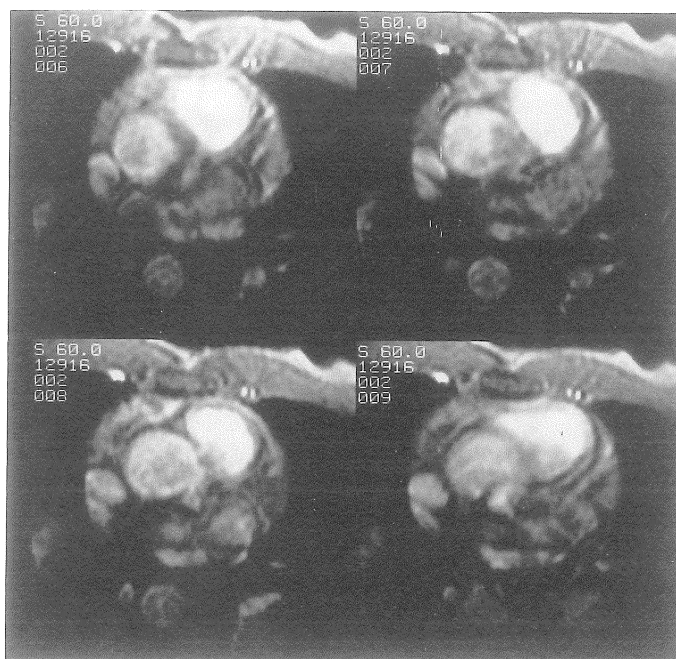


Fig. 2. Images at the aortic root level with 8 lines for a image. Left main coronary artery and left anterior descending artery are difficult to be recognized. Note blurring is remarkable around the aortic root.

Table 2. Summary of the Trigger Delay in the Image with Best Quality

Case. No.	line=8				line=4			
	Lt. Main	LAD	LCX	RCA	Lt. Main	LAD	LCX	RCA
1	0.15	0.15		0.45	0.63	0.78		0.49
2	0.13	0.13	0.38	0.75	0.09	0.09	0.16	0.28
3		0.11	0.34	0.68	0.26	0.54	0.54	0.26
4		0.11	0.22	0.33	0.46	0.19	0.3	0.35
5	0.58	0.58	0.12	0.33	0.15	0.15	0.2	0.35
6	0.57	0.23	0.34	0.69	0.14	0.14	0.71	0.14
7	0.23	0.23	0.35	0.35	0.15	0.15	0.44	0.15
8			0.39	0.39	0.49	0.68	0.68	0.43
9		0.33		0.5	0.54	0.21	0.29	0.29
10		0.28	0.28	0.56	0.12	0.12	0.54	0.58

明らかに不良であったことで、これは大動脈根部からの flow-related artifact が著明であることを反映したものと考えられる。line 数を4に変更すれば、明らかに改善は得られたものの、

冠状動脈の狭窄の有無を評価するのが、基本的に最終目的であるため、今回の我々がしめした評価 A：血管が連続に描出されることという条件は必ずしも十分とはいえない。この条件は

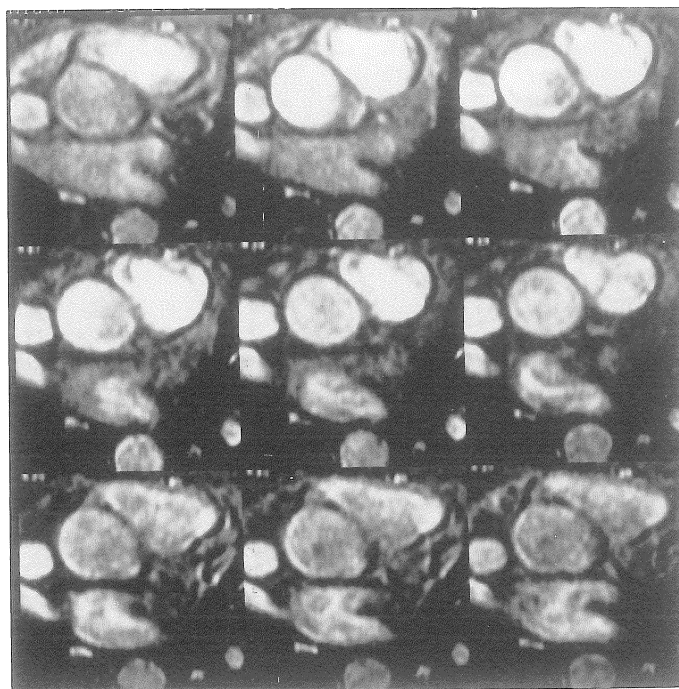


Fig. 3. Temporally sequential images in a same level. Flow-related artifacts causes degradation of image quality especially in diastolic phase (lower column).

全例で達成されなければならないからである。同一対象でline数の異なる画像を比較した報告はないが、頻拍などがある状況ではline数の減少も画質改善法の一つにはなりうると考えられる。Fastcard法は心機能評価や冠状動脈を除く心臓の形態の評価についての有用性は既に報告されているが<sup>10)</sup>、これらについてはスライス厚が厚く、またFOVを広くしても評価に耐える対象であるからと思われる。256×128のmatrix数自体も、冠状動脈狭窄の有無の評価法という面からみた場合、空間分解能の点より不十分なことはいうまでもない。心電図同期下で息止め撮像を可能にしたFastcard法も256×256あるいは512×256などの高分解能が要求される状況では、息止め可能とするにはTE, TRの短縮によってしか方法がない。

Time of flight効果を利用した二次元画像によるMR coronary angiographyでは、原理的に最も高いコントラストを得ようとする目的とする血管に直交する断面を設定すべきであるが、冠状動脈の評価のためには一枚の断層面内にできる限りの描出を求める必要があり、この点でもTE, TRの短縮が大きな効果をもつ。その他Fastcard法におけるsteady-stateでの高速シネ撮像と、incremented flip angleによる一枚の撮像の2つの方法が冠状動脈の描出に用いられている。前者については同一レベルで複数枚の画像が得られるという利点があるし、後者は一枚のみの撮像であるが前者よりも良好なS/Nが得られやすいと思われる。今回の我々の検討では行っていないが、冠状動脈は脂肪組織の中に埋もれて走行しているためchemical shiftによるartifactは除去すべきで

あるので、MR coronary angiography ではすべて脂肪抑制を行っている。この他三次元的なデータ収集による報告もあり<sup>5),6)</sup>、後処理が可能な点で有利な可能性もあるが呼吸を止められる範囲内の撮像時間ではない。また一回の励起で一画像を作成するすべての信号を得る方法である echo planar imaging による心臓の画像も臨床 MRI 装置で得られるようになってきたが<sup>11)</sup>、冠状動脈の狭窄を評価できるほどの画像は得られていない。

## 結 論

我々の装置では line 数が 8 以上では左右本幹自体の描出もむつかしく、line 数 4 の場合の呼吸停止時間は 32 心拍で、虚血性心疾患患者に対する臨床応用は現実的でない。少なくとも 8 以上の line 数で十分な描出能が得られるためには、TE の短縮が必須であると考えられる。

## 文 献

- 1) Manning WJ, Li W, Edelman RR : A preliminary report comparing magnetic resonance coronary angiography with conventional angiography. *N Engl J Med*, 328 : 828-832, 1993.
- 2) Duerinckx AJ, and Urman MK : Two-dimensional coronary MR Angiography : analysis of initial clinical results. *Radiology*, 193 : 731-738, 1994.
- 3) Sakuma H, Caputo GR, Steffens JC, et al. : Breath-Hold MR cine angiography of coronary arteries in healthy volunteers : Value of multian-gle oblique imaging planes. *AJR*, 163 : 533-537, 1994.
- 4) Edelman RR, Manning WJ, Pearlman J, Li W : Human coronary arteries : projection angiograms reconstructed from breath-hold two-dimensional MR images. *Radiology*, 187 : 719-722, 1993.
- 5) Paschal CB, Haacke EM, Adler LP : Three-dimensional MR imaging of the coronary arteries : preliminary clinical experience. *J Magn Reson Imaging*, 3 : 491-500, 1993.
- 6) Li D, Paschal CB, Haacke EM, Adler LP : Coronary arteries : three-dimensional MR imaging with fat saturation and magnetization transfer contrast. *Radiology*, 187 : 401-406, 1993.
- 7) Moshage WE. L, Achenbach S, Seese B, Bachmann K, and Kirchgeorg M : Coronary Artery Stenoses : Three-dimensional Imaging with electrocardiographically Triggered, Contrast agent-enhanced, Electron-beam CT. *Radiology*, 196 : 707-714, 1995.
- 8) Yoshida K, Yoshikawa J, Hozumi T, et al. : Detection of left main coronary artery stenosis by transesophageal color Doppler and two-dimensional echocardiography. *Circulation*, 81 : 1271-1276, 1990.
- 9) Schrem SS, Tunick PA, Slater J, Kronzon I : Transesophageal echocardiography in the diagnosis of ostial left coronary artery stenosis. *J Am Soc Echocardiogr*, 3 : 367-373, 1990.
- 10) Hernandez RJ, Aisen AM, Foo TKF, et al. : Thoracic cardiovascular anomalies in children : Evaluation with a fast gradient-recalled-echo sequence with cardiac-triggered segmented acquisition. *Radiology*, 188 : 775-780, 1993.
- 11) Davis CP, McKinnon GC, Debatin JF, et al. : Normal Heart : Evaluation with echo-planar MR imaging. *Radiology*, 191 : 691-696, 1994.

## Preliminary Experience of Coronary Artery Imaging Using Fastcard Sequence

Tadashi NAKANISHI<sup>1</sup>, Kenji MIYASAKA<sup>1</sup>, kanji MATSUURA<sup>1</sup>,  
Makoto IIDA<sup>1</sup>, Minako KOUHATA<sup>1</sup>, Toshio KAJIMA<sup>1</sup>,  
Katsuhide ITO<sup>1</sup>, Atushi NOZAKI<sup>1</sup>, Jyuichiro YAMAGUCHI<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>*Department of Radiology, Hiroshima University School of Medicine  
1-2-3 Kasumi Minami-ku, Hiroshima 734*

<sup>2</sup>*GE-Yokogawa Medical Systems*

Fastcard sequence was applied to image coronary arteries in 10 healthy volunteers using 1.5 tesla MR imager. Fastcard sequence is an electrocardiographically triggered gradient echo sequence with k-space segmentation. The proximal coronary arteries were tried to be visualized with two kind of fastcard sequences (8 lines and 4 lines per an image). The imaging parameters were 12.5/5.5, 30° flip angle, 5 mm section thickness, one signal averaged, and 256 × 128 matrix. Each subject was on surface coil of 5 inch in prone position. Two observers evaluated the obtained images according to the following criteria. A : clearly and continuously visualized B : partially visualized C : impossible to be recognized. In images with line of 8, A criteria was obtained only in 20% of vessels Even in images with line of 4, 43% showed A criteria. Right coronary artery was best visualized among 4 vessels. The anterior descending artery tended to be better visualized than the left main coronary artery in images with line of 8, since the flow-related artifacts from the aortic root caused the degradation of image quality of the left main coronary artery. Analysis of cardiac phase with best image quality showed no distinct tendency. Although improvement of image quality was achieved to some extent by doubling of breath holding time, it was considered to be difficult for patients with coronary artery diseases to hold their breaths. Reduction of matrix or increase of slice thickness are not practical for coronary artery imaging. Improvement of performance of MR imager is necessary to evaluate coronary artery stenosis.