

MRAによる冠動脈の画像化

佐久間 肇¹ 竹田 寛¹ 市川 泰崇² 平野 忠則² 牧野 克俊³

要 旨：冠動脈MRAは放射線被曝の心配がなく造影剤を用いない検査も可能であるため、冠動脈疾患リスクの低い症例を含めたスクリーニング検査に最も適した画像診断法といえる。しかし、従来の冠動脈MRAは撮影に手間と時間がかかり、冠動脈全領域を撮影することは困難であった。whole heart coronary MRAでは冠動脈全領域の高分解能 3D-MRAを一度に撮影する新しい方法で、われわれのグループの初期検討ではMDCTに近い冠動脈病変診断能が得られている。

(J Jpn Coll Angiol, 2004, 44: 709-713)

Key words: magnetic resonance angiography, magnetic resonance imaging, coronary artery disease, ischemic heart disease

はじめに

冠動脈の非侵襲的画像診断の分野では、multidetector-row CT (MDCT) に大きな関心が集まっている。MR アンジオグラフィ (MRA) による冠動脈イメージングは放射線被曝がなく、造影剤を用いない撮影が可能であり、冠動脈高度石灰化症例でも狭窄内腔の描出が妨げられないなど、MDCTにはない潜在的利点を有する。しかし、従来の冠動脈MRAは撮影に手間と時間がかかり、冠動脈近位部以外の描出能も十分とはいえない問題があった。最近、whole heart coronary MRAと呼ばれる撮影法が導入され、冠動脈MRAは新しい展開を遂げようとしている。本稿では、MRAによる冠動脈画像化の最近の進歩について解説する。

冠動脈MRAの撮影法とこれまでの診断能

冠動脈は心臓の収縮・拡張と呼吸性の二重の動きを示し、血管径も細いため、MRAによる画像化が最も困難な対象である。Table 1 に、これまでのおもな論文における冠動脈MRAの狭窄病変診断能を示す。冠動脈MRAは、1990年代前半に呼吸停止・心電図同期 2D-

gradient echo (GRE) 法を用いて開始されたが、2D法では1回の呼吸停止撮影で1スライス断面の冠動脈MRAしか得られず、冠動脈描出には呼吸停止撮影を非常に多く繰り返さねばならなかった。このため90年代半ばになると、冠動脈MRA撮影法は2D法か1回の撮影で多断面の画像が得られる3D法へと移行した。

冠動脈 3D-MRAの撮影には呼吸停止法ないし呼吸同期法が用いられる。MRAの画像データ収集速度はMDCTよりも遅いため、呼吸停止法によるMRAでは3D撮影範囲や空間解像度がどうしても制約される。現在のところ、呼吸停止法による冠動脈MRAの空間解像度は1~1.5mm、3D撮影範囲(スラブ)は2~3cmとなっている(Fig. 1)。空間解像度の高い冠動脈 3D-MRAを得るためには呼吸同期撮影が有利である。安静呼吸下にナビゲーター法と呼ばれる技術を用いて右横隔膜の位置をリアルタイムに観察し、呼吸位の画像データだけを収集する(Fig. 2)。Kimらの多施設共同研究によると¹⁾、呼吸同期 3D-MRAによる冠動脈近位部病変の診断能はかなり高く、冠動脈三枝病変ないし左冠動脈主幹部病変の検出感度は100%、特異度87%と報告されている。このように、従来の冠動脈 3D-MRAは、冠動脈近位部病変や多枝病変の除外診断には一定の診断価値を有するものの、冠動脈遠位部の描出能は必ずしも十分とは

¹三重大学附属病院画像診断科

²松阪中央総合病院放射線科

³松阪中央総合病院内科

2004年9月28日受理

Table 1 Detection of significant coronary artery disease with coronary MRA

Investigator	Reference	Method	Sensitivity (%)	Specificity (%)
Manning WJ	N Engl J Med, 1993, 328 : 828	2D breath-held	90	92
Duerinckx AJ	Radiology, 1994, 193 : 731	2D breath-held	63	82
Woodard PK	AJR Am J Roentgenol, 1998, 170 : 883	3D navigator	73	N/A
Sandstede JJ	AJR Am J Roentgenol, 1999, 172 : 135	3D navigator	81	89
Sardanelli F	Radiology, 2000, 214 : 808	3D navigator	82	89
Kim WY	N Engl J Med, 2001, 345 : 1863	3D navigator	100 (LMT, 3VD)	85 (LMT, 3VD)

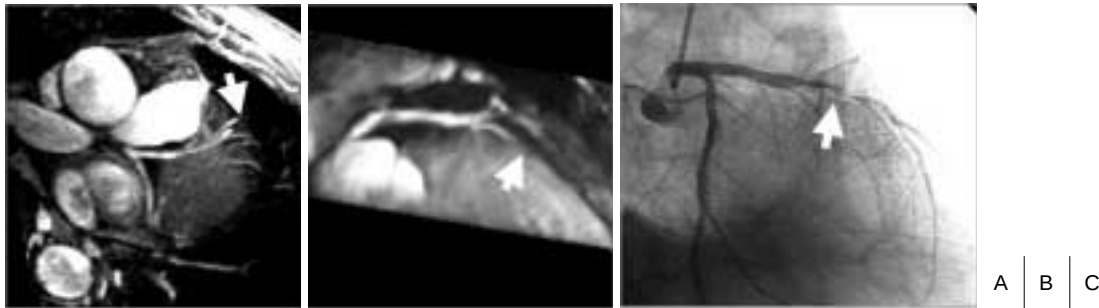


Figure 1 Breath-held 3D coronary MRA in a patient with significant stenosis in the left anterior descending artery (LAD). Coronary MRA images were acquired during a single breath-held time (20 seconds) by using a fat-suppressed 3D FIESTA sequence (GE Medical Systems CV/i). Arrows indicate the LAD stenosis.

A: Oblique axial image.

B: Multiplanar reformatted image of breath-hold 3D coronary MRA.

C: Coronary angiography.

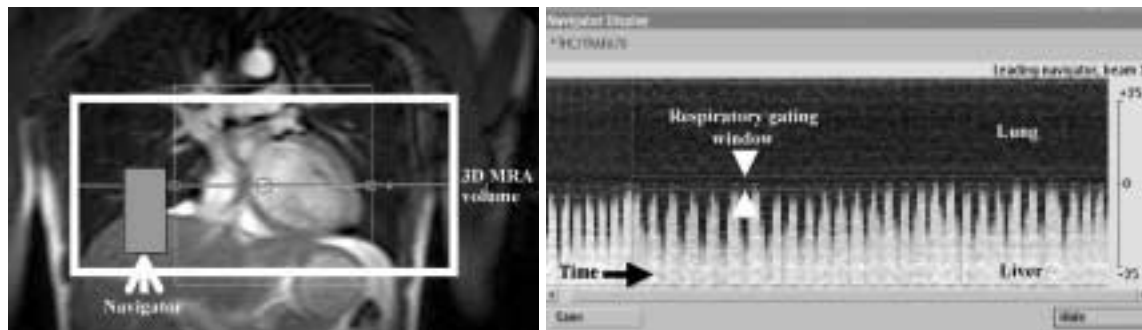


Figure 2 Acquisition of respiratory gated 3D coronary MRA with a navigator echo method. MRA imaging data were selectively acquired during an inspiration phase by monitoring the position of the right diaphragm with a navigator echo technique. High resolution 3D coronary MRA images can be acquired during free breathing.

A: Definition of 3D MRA volume and navigator position.

B: Navigator display during MRA acquisition.

いえなかった。これまでに、冠動脈MRAの診断有効性が確立された疾患としては、冠動脈奇形²⁾と川崎病における冠動脈瘤³⁾が挙げられる。冠動脈起始異常の診断をする際に、X線冠動脈造影では異常冠動脈と周囲の大血管の位置関係を把握することが困難である。冠

動脈MRAは異常冠動脈と大動脈や肺動脈との位置関係を明瞭に把握できる点で優れている(Fig. 3)。また、冠動脈MRAは非侵襲的でX線被曝を伴わないため、川崎病の小児における冠動脈瘤の診断と経過観察に適している。



Figure 3 Respiratory gated 3D coronary MRA in a patient with anomalous origin of the right coronary artery. The right coronary artery (arrow) originates from the left coronary sinus, and is located between the aorta (A) and main pulmonary artery (P). (Matsusaka Central Hospital, Philips Medical Systems Intera)

Whole heart coronary MRAの撮影法と初期成績

これまでの冠動脈 3D-MRAでは、左右冠動脈起始部、右冠動脈、左冠動脈前下行枝、左回旋枝などの走行に合わせて厚さ数cmの 3D 撮影断面を設定し、5～10 分の呼吸同期撮影を数回繰り返していた。このため、MRA撮影の前にあらかじめ冠動脈の走行を把握しておく必要があり、撮影には時間と技術を要した。whole heart coronary MRA⁴⁾は心臓全体の高分解能 3D 画像を一度に撮影するもので、1 回の 3D 撮影で冠動脈全体の画像データが得られる(Fig. 4)。この方法では撮影の前にあらかじめ冠動脈の走行を把握する必要がないので検査が簡便であり、総検査時間も短縮できる。また、冠動脈の全領域が 3D 撮影範囲に必ず含まれているため、

冠動脈遠位部の描出能の向上も期待できる(Fig. 5)。

Whole heart coronary MRAでは冠動脈描出能を向上させるために多数の手法が用いられている。steady state 法(balanced TFE)は、3D 撮影領域の広い whole heart coronary MRAにおいて、造影剤を使用することなく高い血液信号を得るうえで、不可欠の技術である。k-空間を放射状にサンプリングする radial sampling 法は、冠動脈などの小血管辺縁の描出能やコントラストを改善する⁵⁾。spectral pre-saturation with inversion recovery (SPIR)による脂肪抑制法は、冠動脈周囲の脂肪組織の信号を均一に抑制し、脂肪内を走行する冠動脈のコントラストを向上させる。T2 プレパレーション法は、T2 緩和時間の差を利用して心筋信号を抑制し、冠動脈のコントラストを改善するだけでなく、酸素飽和度の低い静脈血からの信号を抑制する効果も有する。また、冠動脈のブレの少ない 3D-MRA データを得るには、冠動脈の動きの少ない時相を症例ごとにシネ MRI で計測し、心電図収集条件を最適化することが重要である⁶⁾。

われわれのグループが 39 症例を対象に行った初期検討の結果をみると⁷⁾、whole heart coronary MRA の撮影完了率は 87.2%(34/39)、平均撮影時間は 13.8 ± 3.8 分であった。撮影が完了した 34 例のうち 32 例(94.1%)では、良好な冠動脈像(1～4 ポイント評価でスコア 3 以上)が冠動脈全セグメントで認められた。X線冠動脈造影が実施された 20 症例において whole heart coronary MRA の狭窄診断能を検討してみたところ、感度は 82.4%(14/17)、特異度は 90.7%(39/43)、正診率は 88.3%(53/60)、positive predictive value は 77.8%(14/18)、negative predictive value は 92.9%(39/42)であった。初期検討の結果から、whole heart coronary MRA は高い nega-

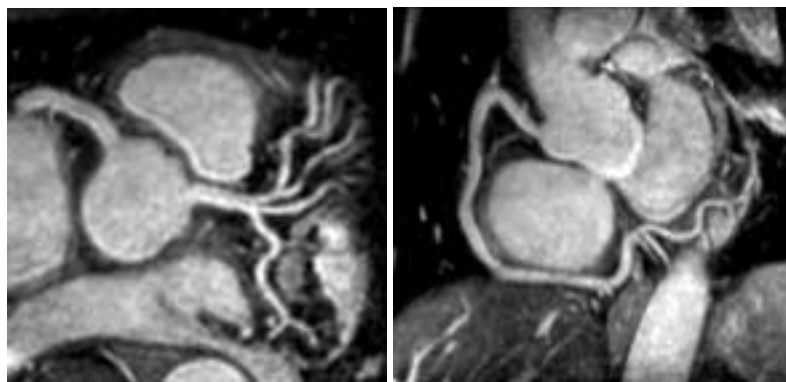


Figure 4 Whole heart coronary MRA in a subject with normal coronary artery. Images were reconstructed by Soap Bubble method. Proximal segments of the left and right coronary arteries and distal segment of the right coronary artery are well delineated. Whole heart coronary MRA is less operator dependent. In addition, coronary MRA can be acquired without administration of contrast medium or radiation exposure to the patients. (Matsusaka Central Hospital, Philips Medical Systems Intera)

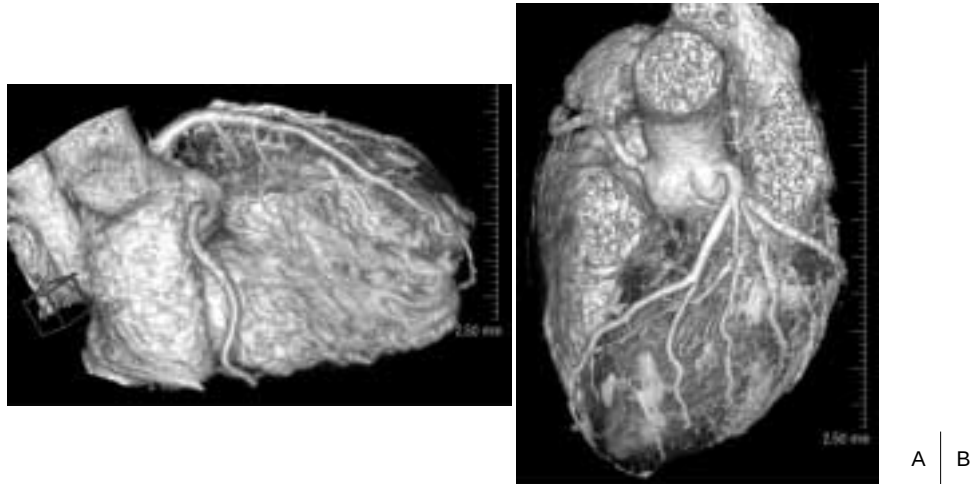


Figure 5 Whole heart coronary MRA in a subject with normal coronary artery. MRA images were acquired without administration of MR contrast medium. The right coronary artery, small right ventricular branches, the left anterior descending artery and diagonal branches were well visualized on 3D volume rendering images of whole heart coronary MRA. (Matsusaka Central Hospital, Philips Medical Systems Intera)
Right anterior oblique view (A) and left anterior caudal oblique view (B) of whole heart coronary MRA.



Figure 6 Whole heart coronary MRA (A) and catheter coronary angiography (B) in a patient with right coronary artery disease. Reformatted MRA obtained with a Soap Bubble method clearly revealed the stenosis (arrow) in the right coronary artery. (Matsusaka Central Hospital, Philips Medical Systems Intera)

tive predictive valueを有しており，冠動脈病変の除外診断に有用と思われた(Fig. 6)。

MDCTによる冠動脈イメージングは空間解像度が高く，1回呼吸停止で撮影を終了できるなど優れた特長を有するが，選択的冠動脈造影を上回る放射線被曝(～10mSv)を伴い，ヨード造影剤の急速静注を要するため，冠動脈疾患のリスクの低い症例のスクリーニングには必ずしも適していない。whole heart coronary MRA

は放射線被曝の心配がなく，造影剤を用いない単純検査が行えるため，冠動脈疾患のリスクの低い症例のスクリーニング検査に特に適していると思われる。また，冠動脈高度石灰化症例でも狭窄内腔の描出が妨げられないので，血液透析患者や糖尿病患者などの冠動脈石灰化傾向の強い症例の冠動脈イメージングにも有効性が期待できる。

今後の展望

Whole heart coronary MRAは昨年発表されたばかりの新しいアプローチであり、撮影法にはまだかなりの改善余地が残されている。今後、呼吸同期法の改良が進み、8～16チャンネル心臓用コイルによる高いパラレルイメージングファクターのイメージングが可能になれば、撮影時間は数分程度に短縮される可能性が高い。問題点として、whole heart coronary MRAは、カリフォルニア大学サンフランシスコ校やわれわれのグループを中心に臨床利用が開始された撮影法であるため、メーカーによる撮影プロトコル標準化や撮影法のトレーニング体制がまだ追いついていない。whole heart coronary MRAは簡便な手法ではあるものの、MDCTと比較すると、撮影者の技量によって得られる冠動脈像の品質が左右されやすい。検査法の標準化とトレーニング体制の確立は、冠動脈MRAを含む心臓MRI検査の重要な課題である。

文 献

- 1) Kim WY, Danias PG, Stuber M et al: Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses. *N Engl J Med*, 2001, **345**: 1863–1869.
- 2) Post JC, van Rossum AC, Bronzwaer JG et al: Magnetic resonance angiography of anomalous coronary arteries. A new gold standard for delineating the proximal course? *Circulation*, 1995, **92**: 3163–3171.
- 3) Greil GF, Stuber M, Botnar RM et al: Coronary magnetic resonance angiography in adolescents and young adults with kawasaki disease. *Circulation*, 2002, **105**: 908–911.
- 4) Weber OM, Martin AJ, Higgins CB: Whole-heart steady-state free precession coronary artery magnetic resonance angiography. *Magn Reson Med*, 2003, **50**: 1223–1228.
- 5) Spuentrup E, Katoh M, Buecker A et al: Free-breathing 3D steady-state free precession coronary MR angiography with radial k-space sampling: Comparison with cartesian k-space sampling and cartesian gradient-echo coronary MR angiography - Pilot study. *Radiology*, 2004, **231**: 581–586.
- 6) Plein S, Jones TR, Ridgway JP et al: Three-dimensional coronary MR angiography performed with subject-specific cardiac acquisition windows and motion-adapted respiratory gating. *AJR Am J Roentgenol*, 2003, **180**: 505–512.
- 7) Sakuma H, Ichikawa Y, Suzawa N et al: Assessment of the entire coronary artery tree with total study time of less than 30 minutes using whole heart coronary magnetic resonance angiography. *Radiology* (accepted).
- 1) Kim WY, Danias PG, Stuber M et al: Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary

Noninvasive Visualization of Coronary Arteries with MRA

Hajime Sakuma,¹ Kan Takeda,¹ Yasutaka Ichikawa,² Tadanori Hirano,² and Katsutoshi Makino³

¹Department of Diagnostic Imaging, Mie University Hospital, ²Department of Radiology, and ³Internal Medicine, Matsusaka Central Hospital, Mie, Japan

Key words: magnetic resonance angiography, magnetic resonance imaging, coronary artery disease, ischemic heart disease

Coronary MRA appears to be a more preferable modality for screening coronary artery disease than MDCT, because it neither exposes the patient to radiation nor requires an injection of iodinated contrast medium. However, coronary MRA remains time-consuming and only a limited portion of the coronary artery trees is imaged for each 3D volume acquisition. Whole heart coronary MRA can provide visualization of all three major coronary arteries within a single 3D acquisition. This approach demonstrated excellent diagnostic accuracy for detecting significant coronary artery disease in our recent study.

(*J Jpn Coll Angiol*, 2004, **44**: 709–713)