

冠動脈 MRA：技術と臨床応用

渡邊 祐司

倉敷中央病院放射線科

はじめに

冠動脈の MR 撮像は, Edelman¹⁾ や Manning²⁾ らが報告して以来, 多くの重要な技術が開発され, 診断可能なレベルの冠動脈画像が得られるようになってきた^{3)~16)}. しかし, この 10 年間の MR 冠動脈撮像の進歩にもかかわらず, その普及は当初の予想をはるかに下回っている. これは, 冠動脈撮像が可能な MR 機種の種類が少ないこと, 高画質の冠動脈像が得られる確率が約 70%程度にとどまり決して安定していないこと, 金属ステント部位の再狭窄が判定できないこと, また患者の多大な協力が必要であることなどが理由に挙げられる.

一方, マルチスライス CT の到来とともにヨード造影剤を用いた CT による冠動脈撮像の手法も多数の施設で実践されはじめている. しかし, 心臓領域では, 冠動脈撮像を除き, 心室壁運動, 心筋血流, 心筋梗塞巣の検出などでは CT に比べ MR が圧倒的に優れている. また, 冠動脈撮像においても MR が CT に勝る点は, 放射線被曝がないことと, Gd 造影剤がヨード造影剤に比べ安全性が高いこと, また造影剤を使わなくとも冠動脈を描出できることである.

今回, この数年間で報告された新しい撮像技術や, 臨床結果をまじえ, MR 冠動脈撮像の最新動向について論じる.

冠動脈を描出するための条件

冠動脈は, 大動脈や腸骨動脈に比べ細く, 冠動脈主幹部の直径は 3~5 mm で末梢に向かうに従い先細る. さらに, 冠動脈は心拍動, 呼吸運動により常に動いている. このため MR で冠動脈を描出するためには, 心拍動と呼吸運動を停止させた状態でデータ収集を行う必要がある. また, 3~5 mm の太さの血管の狭窄, 閉塞を診断するためにはスライス画面のピクセルサイズは少なくとも 1 mm × 1 mm 以下であることが必要で, できれば 0.5 mm × 0.5 mm 程度の高い空間分解能が要求される. また, 蛇行する冠動脈の全走行を一枚の画像で観察できるような表示が望ましい.

MR 冠動脈撮像の現況

現在主に用いられている基本的な撮像シーケンスは以下の三つである.

1. 非造影 3D MRCA
2. 造影 3D MRCA
3. black-blood TSE-MRCA

これらの撮像シーケンスを用いて冠動脈撮像を行う手順はおおむね以下のとおりである.

撮像方法

Navigator echo を用いた呼吸同期で安静呼吸下にデータ収集する撮像法である real-time navigator 3D MRCA を例に取り, 実際の撮像方法を解説する^{3)~10)}. この手法では, 一本の

キーワード magnetic resonance, angiography, coronary artery, ischemic heart disease, Kawasaki disease

冠動脈を高空間分解能で選択的に描出するための撮像時間は約 10～25 分間である。患者の安静さえ保てれば、収集するデータ数を増やして空間分解能を高めることができる。

実際の撮像には多くの段階が必要であるが、大きく分けて

- ① 位置決め画像とスライス面の決定
- ② 実際の冠動脈撮像
- ③ 画像再構成

の 3 段階である。位置決めスキャンと本スキャン共に real-time navigator を用いて撮像する。

① 位置決め画像

位置決めのための撮像は 2 段階である。まず ECG 同期と real-time navigator を用いて冠状断を turbo-field-echo (TFE) で撮像する。そしてこの位置決め画像をもとにして、心臓全体をカバーする 30 枚の横断像を TFE と EPI のハイブリッドパルスシーケンス (TFE-EPI) で撮像する。

この画像を用いて任意の冠状動脈の 3 点 (起始部・中間部・遠位部) を設定する^{4),5)} (Fig. 1)。そしてこの 3 点で構成される平面を

決定し (3-point planscan), 本スキャンのスライス面とする。

左冠動脈本幹と前下行枝, 右冠動脈と回旋枝の二つのスラブで主要な冠動脈をカバーできる (Fig. 2)。

② 選択的 3D MRCA

選択的 3D MRCA の撮像では、冠動脈の画像コントラストは流入効果 (撮像面に流入する血流は高信号として描出される) に基づいているが、心筋や脂肪とのコントラストを高めるために T₂-強調用プレパルスと脂肪抑制法を併用する^{4)~6)}。Preparation pulse として、T₂-preparation pulse (T₂-prep) と周波数選択的脂肪抑制 SPIR を用いる。T₂-prep を用いることにより組織のもつ T₂ 値の差異を強調することができる。すなわち、T₂ の短い心筋の信号を低下させ、冠動脈と心筋のコントラストが増大する^{4)~7)} (Fig. 3)。また、静脈血はデオキシヘモグロビンを多く含むため、動脈血に比べ T₂ が短いので、冠静脈の信号を低下させ、冠動脈との分別が可能となる。SPIR は脂肪信号を選択的に抑制するため、脂肪内を走行する冠動脈を高コントラストに描出するのに有用である。

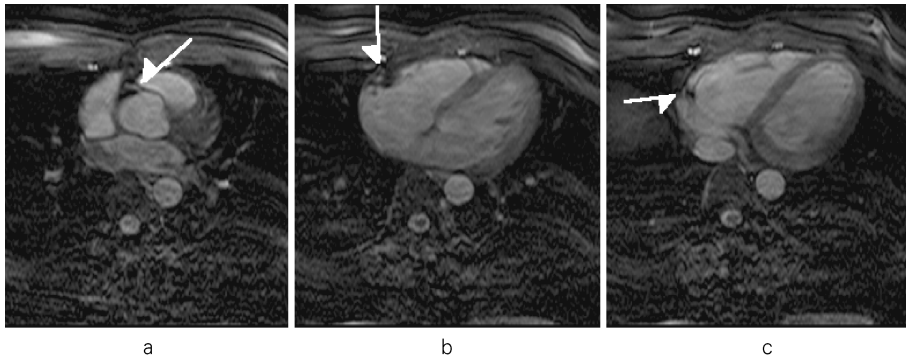


Fig. 1. Determination of the imaging slab direction for the right coronary artery using 3-point plan scan. Three points were selected at the proximal (a), middle (b) and distal portion (c) of the right coronary artery.

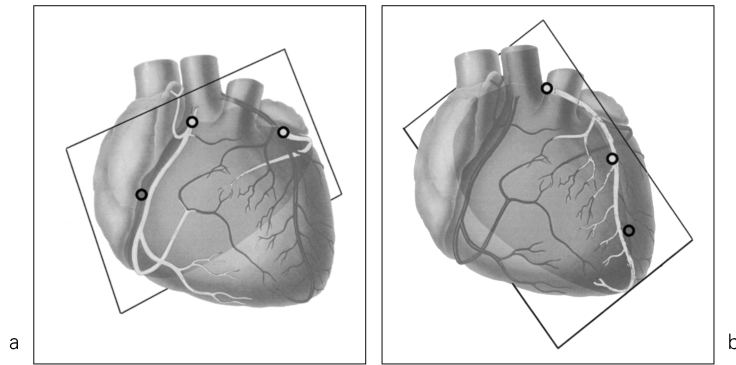
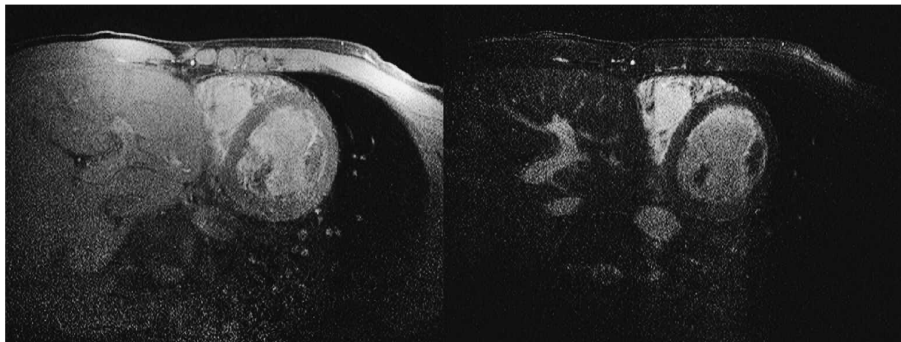


Fig. 2. Imaging slabs for the RCA-LCX (a) and LMT-LAD (b)



Prep (-)

Prep (+)
(180° pulse =4)

Fig. 3. T₂-preparation pulse. The contrast of ventricular lumen to the cardiac wall is much higher on the image obtained with T₂-preparation pulse than on that obtained without T₂-preparation pulse.

拍動に対しては、ECG同期で一定の心時相のデータのみを収集する。冠動脈の血流は、拡張期に多く、収縮期に少ないという特性を有している。このため、強い流入効果が期待できる拡張期にデータ収集を行う。データ収集時間はMR機器や施設によって異なるが、心臓の動きのアーチファクトを最小にするためできるだけ短く、100 ms以下に設定する。実際には拡張後期にデータ収集できるようにR波を起点として心拍数に応じたdelay time(数100 ms)

を設定する。そしてR波に同期させ、設定したdelay timeののち60~100 msの間データ収集する(Fig. 4)^{4)~7)}。

呼吸の動きを止めた状態でデータ収集する方法の一つである呼吸同期はリアルタイムナビゲーターエコーを用いて行う^{3)~10)}。患者が通常の呼吸を行っている間、横隔膜の動きをモニターし、横隔膜が呼気位の位置にきたときのみデータ収集する方法である。実際にはナビゲーターエコーを右横隔膜の最高位点に横隔膜と垂

冠動脈 MRA

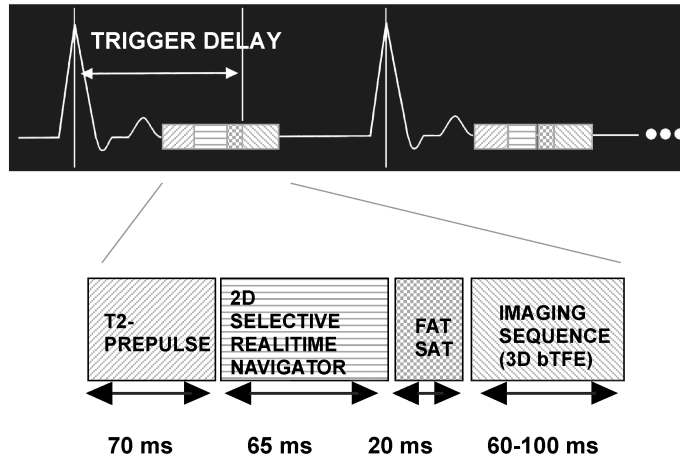


Fig. 4. Pulse sequence chart along with ECG triggering

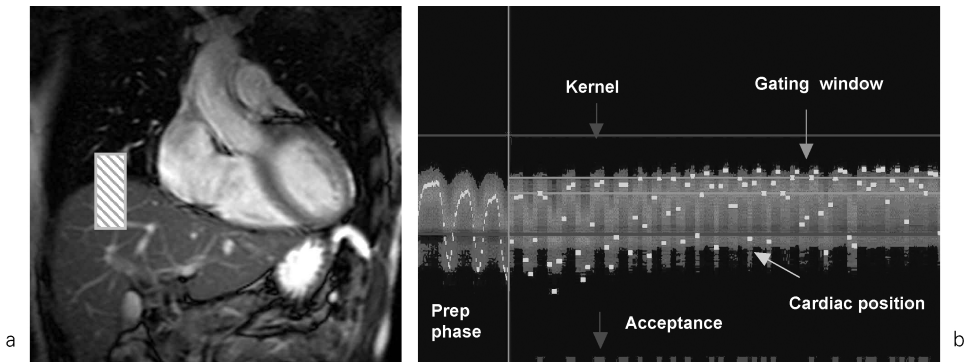


Fig. 5. Real-time navigator

The navigator was positioned on the dome of the right diaphragm in vertical orientation (a). Navigator display showed that data sampling was performed when the position of diaphragma was within the gating window of 5 mm (b).

直になるように設定する。データ収集のポイントは横隔膜が弛緩し、呼気位に達したレベル5～7 mmの幅で行う。5～7 mmの横隔膜の動きは冠動脈の狭窄の評価目的には大きすぎるので、この範囲で得られたデータは横隔膜の高さに応じてスライス上のデータ補正を行いながら画像構成を行う (Fig. 5)。患者の安静が保てれば収集するデータ数を増やして空間分解能 (マトリックス) を高めることができる⁵⁾。

3D 撮像のスライス方向の空間分解能は 1.5 mm である。冠動脈は高齢者では蛇行していることが多く、スライス枚数は 20～30 枚 (スラブ厚 3～4.5 cm) 必要となる。

③ 画像再構成

若年者では冠動脈は蛇行が少なく、比較的直線的であるため、数枚のスライスで描出可能である (Figs. 6, 7)。このため元画像のみで、撮像した冠動脈の走行を容易に追跡することがで

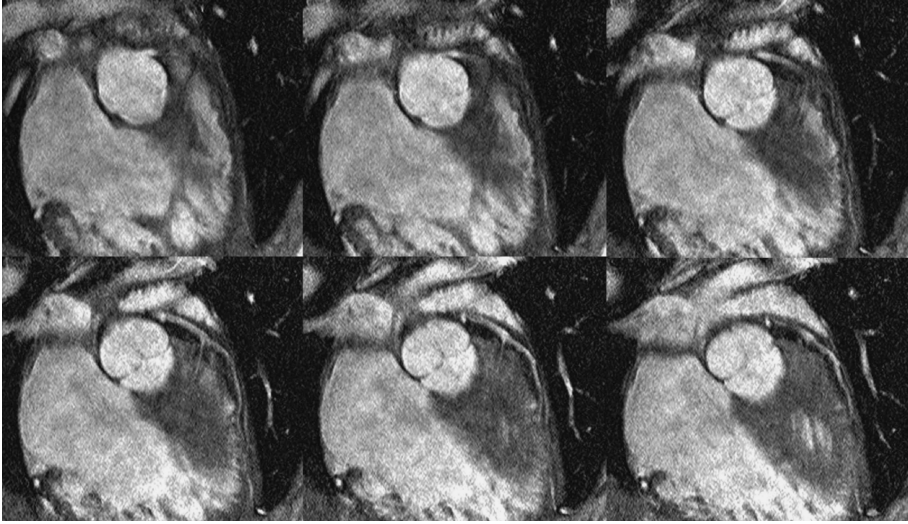


Fig. 6. MR angiogram of left anterior descending coronary artery : normal healthy volunteer

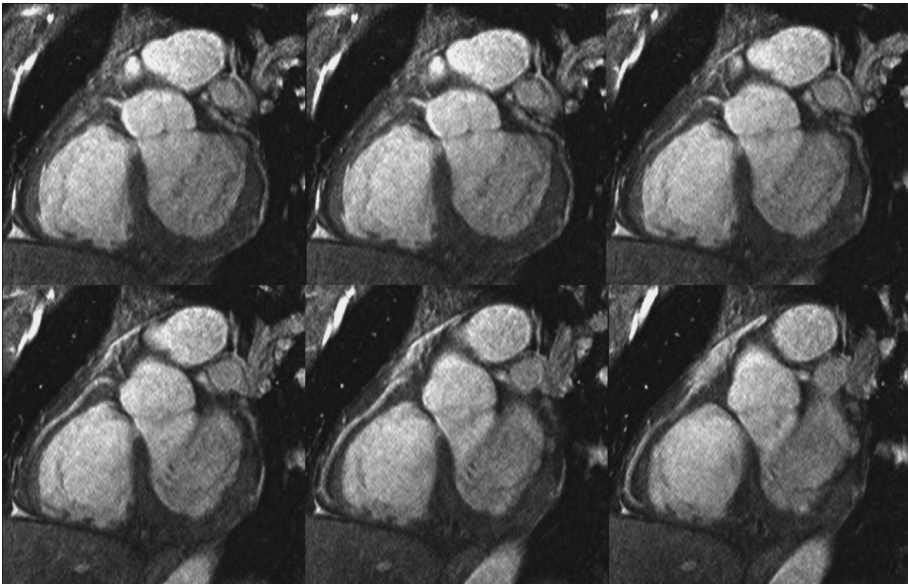


Fig. 7. MR angiogram of right coronary and circumflex artery : normal healthy volunteer

きる。しかし、高齢者の冠動脈は蛇行しており数～十数枚のスライスにわたって描出されることが多く、元画像のみで蛇行した冠動脈の走行を追跡するのは困難である。そこで、一枚の画

像で冠動脈の走行全体を観察できるような画像再構成が必要である。

画像再構成には大きく分けて三つある。1) laysum MPR, 2) curved MPR, 3) MIP である

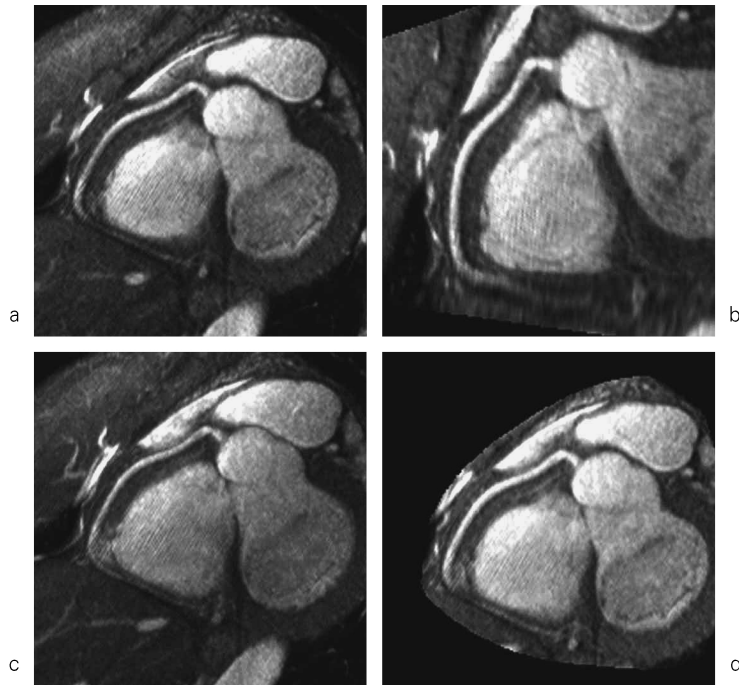


Fig. 8. Post-processing methods for the right coronary artery
 a) Laysum MPR, b) curved MPR, c) partial volume MIP, d) target MIP

(Fig. 8). 1) laysum MPR は単なる重ね合わせ画像である。冠動脈の描出されているスライスを選択して重ね合わせる。2) curved MPR は冠動脈の走行を追跡し、冠動脈の描出されているセグメントを継ぎ合わせていく方法である。技術的熟練を要する。3) MIP は最大値投影法であるが、心腔や心臓の水の信号があるため、冠動脈の描出されているスライスのみを MIP (partial volume MIP) したり、冠動脈に重なりあう心腔や心臓の水の信号をワークステーション上で除去したりして MIP (target MIP) を行うなどの工夫が必要である。

Laysum MPR や MIP は使用するスライス枚数が少ない方が鮮明な画像が得られるので、蛇行している冠動脈ができるだけ少ないスライス数で描出されるように、本スキャンのスライス面の設定が最も重要である (Fig. 9)。

また、近年開発された soap-bubble MPR は、球体の表面の構造物を立体的にみせる再構成画像で、冠動脈の描出に有用である。

MR 冠動脈撮像の技術

MRCA の個々の撮像技術を向上させるために多くの改良が重ねられている。これらは冠動脈 MRA が抱えているトレードオフを伴う問題を解決するためのものであり、現在、そして今後も、どの手法が MR 冠動脈撮像の主流になっていくのかについては、以下の論点を整理しておかなければならない。

- ① 造影剤は必要か？
- ② 撮像シーケンスはどれがよいか？
- ③ パラレルイメージングの使い方は？
- ④ 撮像断面の設定は横断あるいは冠動脈に

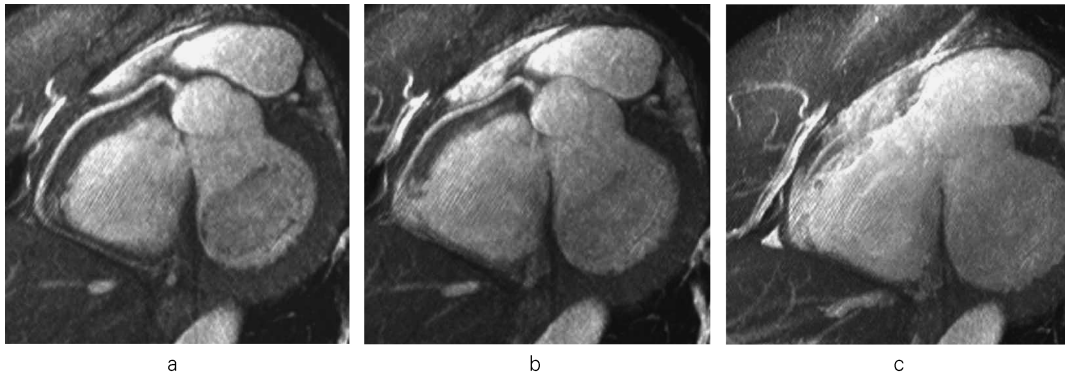


Fig. 9. Partial volume MIP (RCA)
MIP reconstruction using 5 slices (a), 9 slices (b) and 20 slices (c).

沿ったスライス面？

⑤ 呼吸停止と呼吸同期どちらがよいか？

① 造影剤は必要か

当初、冠動脈撮像は2Dグラディエントエコー像で始められたが、S/N比が低いため、造影剤を用いた3D MRCAが試みられた¹¹⁾。3D造影MRCAは体幹、下肢に用いられていた3D造影MRAの手法の応用である。心電図同期を用いるので、撮像時間は従来、体幹・下肢に要した時間(数秒～十数秒)よりも長い時間がかかる。このためパラレルイメージングの手法を用いたり、空間分解能を犠牲にしたりしてボース静注した造影剤のファーストパスを呼吸停止下で撮像できるようにする。また、できるだけ撮像時間を短くするために最短のTRを使用することになる。

さて、ここで念頭におかなければならないのは、one-stop shop cardiac examinationという一回の検査で心臓に必要なすべての情報を取得するという検査方法である。この検査に高画質のMR冠動脈撮像をどのようにして組み込むかということである。このone-stop shop cardiac examinationの中で重要な検査となるのが心筋パフュージョン(血流)と心筋バイアピリティである。これらは標準量の造影剤を用いる。もし、MR冠動脈撮像にも造影剤を用いる

ことになれば、造影剤は標準量を遥かに超えてしまうので、造影MR冠動脈撮像をone-stop shop cardiac examinationに組み込むことは困難である。

また、造影MRCAに用いる造影剤量は少量ですませることができない。最短のTRを使用するため、T1コントラストが低下するので、ボース静注する造影剤量は標準量に近い量が必要となる。さらにMR冠動脈撮像のスラブは一方向だけではすべての冠動脈をカバーすることができないので、2方向以上の撮像が必要となり、造影剤のボース静注を2回以上投与することになる。このことから造影MR冠動脈撮像はone-stop shop cardiac examinationに組み込むことが困難である。つまり、造影剤を用いる冠動脈造影は、現在のところ単独の検査として実行する必要がある。また、もう一つの問題は空間分解能が低いことである。呼吸停止可能な撮像時間に設定するためマトリックスを高くすることができない。ピクセルサイズは1.5mmを超えてしまうことが多く、細い冠動脈の狭窄を判定するには不十分である。これらを総合すると造影3D MR冠動脈撮像は、血管プール造影剤の出現を待つ必要がある¹²⁾。

② 撮像シーケンスは何かよいか？

基本的な撮像シーケンスは、通常のグラディ

エントエコー，バランスシーケンス (steady-state coherent sequence)，ターボスピネエコーがあるが，造影剤を使うならば，通常のグラディエントエコー，非造影ならば S/N 比の高いバランスシーケンス，black-blood 法ならばターボスピネエコーを選択することになる．この中でバランスシーケンスは TR も 3~4 ms と短いうえに，S/N 比も高く最も有望な撮像シーケンスである (Fig. 10)⁷⁾．TSE を用いた black-blood の手法は，高分解能の画像が得られる．内腔と同時に動脈壁ブランクを描出できるので，今後は血管壁のイメージングに有望と考えられる¹³⁾．

また蛇行している冠動脈の連続性を保った形で MIP あるいは MPR の画像を作成するためには，スライスオーバーラップのある 3D あるいはマルチスライス (2D) が必要である．その中で，短時間で撮像するためには 3D を選択することになる¹⁰⁾．

③ パラレルイメージングの使い方は？

撮像時間を短くするために，パラレルイメージングは重要な手法である¹⁴⁾．通常 reduction factor = 2 を用いて撮像時間を 1/2 に短縮する．心電図同期の場合，撮像時間を 1/2 に短

縮する使い方のほかに，撮像時間は変えずに一心拍の収集時間を短くすることに用いることができる．しかし従来からの課題である撮像時間の短縮に用いるのが現実的である．例えば，1 スライス 24 秒かかっていた black-blood 撮像は，12 秒で撮像でき，患者の呼吸停止の負担が軽減し，確実な呼吸停止が可能となる (Fig. 11)．またナビゲーターエコーによる呼吸同期を用いた冠動脈撮像は，撮像に約 15 分要していたが，約 7 分で撮像可能となる．

④ 撮像断面は？

歴史的に MR 冠動脈撮像が試みられた当初は冠動脈の近位部のみをカバーするため横断像で撮像していた^{1),2)}．その後は，冠動脈全体をカバーするために右冠動脈の軸に沿って撮像するスラブが付け加えられたり，横断像で心臓全体を撮像し，冠動脈全体をカバーしたりする試みもなされた¹⁵⁾．しかし，冠動脈個々をその軸に沿った平面 (スラブ) で撮像するのが合理的であり，右冠動脈-回旋枝，左主幹部-左前下行枝を含む平面を設定した撮像法や，セグメントごとにスラブ方向を設定して撮像する手法が考案されている (Fig. 2)^{4),5)}．撮像時間が短縮するならばスラブ設定は左主幹部と右冠動脈起

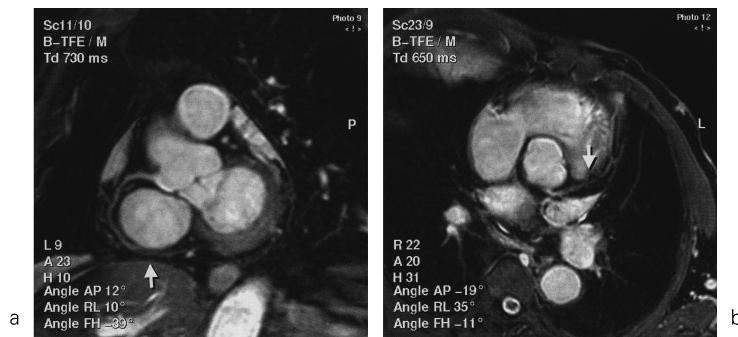


Fig. 10. MRCA using 3D b-TFE sequence with radial y-z acquisition under a single breath-hold in a patient with old myocardial infarction. Moderate stenosis was revealed for the segment # 3 of the right coronary artery (a) and for the segment # 6 of the left anterior descending artery (b).

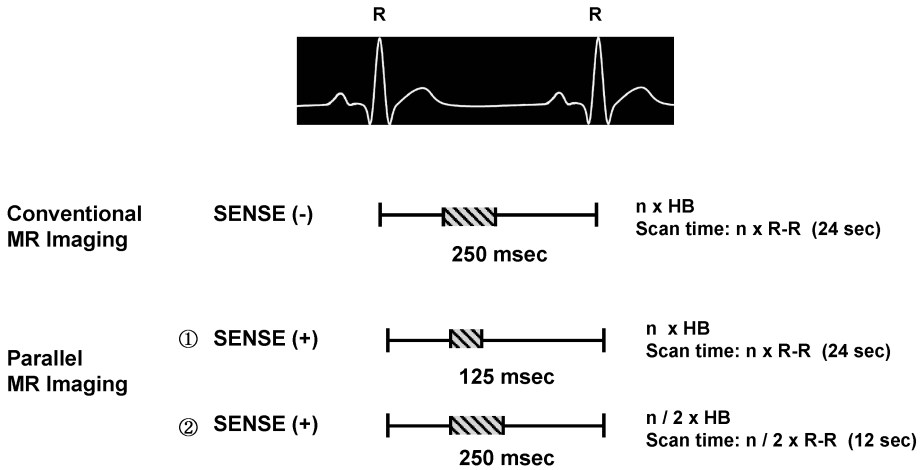


Fig. 11. Diagram for the use of parallel MR imaging in black-blood T₂-weighted vessel wall imaging. The conventional MR imaging takes 24 s to obtain a single slice with cardiac acquisition window of 250 ms. In parallel MR imaging (reduction factor 2), the cardiac acquisition window can be half (125 ms) to minimize the cardiac motion artifact, or the scan time can be half (12 s) with the same cardiac acquisition window (250 ms).

始部を含む横断像，右冠動脈，回旋枝，前下行枝それぞれに沿ったスラブの計4方向が理想的である。

⑤ 呼吸停止と呼吸同期

呼吸停止と呼吸同期の2種類ある。呼吸停止は約30秒間が限度であり，従来のデータ収集法では得られる画像の空間分解能を高めるのは困難である。スパイラル収集やラジアル収集法を用いることによって1mm程度の空間分解能を得るのが限度である (Fig. 10)。呼吸停止下の撮像の利点は，息止めが確実に行われれば，辺縁シャープな高画質の冠動脈像が安定的に得られることである¹¹⁾。冠動脈全体をカバーするために，4方向スラブを設定するとすれば，短時間で撮像可能な呼吸停止が良い。

一方，呼吸同期は，安静呼吸下でナビゲーターを用いて横隔膜の位置をモニターして撮像を行うので，横隔膜の位置が呼気位の位置にきたときのみデータ収集する。時間効率は悪いが，時間をかければ収集するデータ数を増やすことができ，空間分解能を高めることができ

る^{3)~10)}。ナビゲーターの時間効率を改善するため，キングナビゲーター (k-spaceの低周波部分を収集するときは横隔膜の呼気位の設定を厳密にし，k-spaceの高周波部分を収集するときは横隔膜の呼気位の設定は緩和される) は有効な手法で，撮像時間を短縮することができる (Fig. 12)。このナビゲーターを用いた呼吸同期の手法の難点は撮像時間が長いことである。撮像中の体動はアーチファクトを生じ画質劣化の原因となる。この手法を用いたMR冠動脈撮像では，目的とする冠動脈セグメントの内，約70%程度の描出能である。

One stop shopに組み込むならば，撮像時間の短い呼吸停止下での撮像を行う。呼吸停止が不十分な患者では，キングナビゲーターを用いた呼吸同期下で撮像するのが合理的な手順と考えられる。

臨床応用

対象となる疾患は，虚血性心疾患，川崎病，先天性冠動脈起始異常などである。

虚血性心疾患 (Fig. 13) では，冠動脈の狭

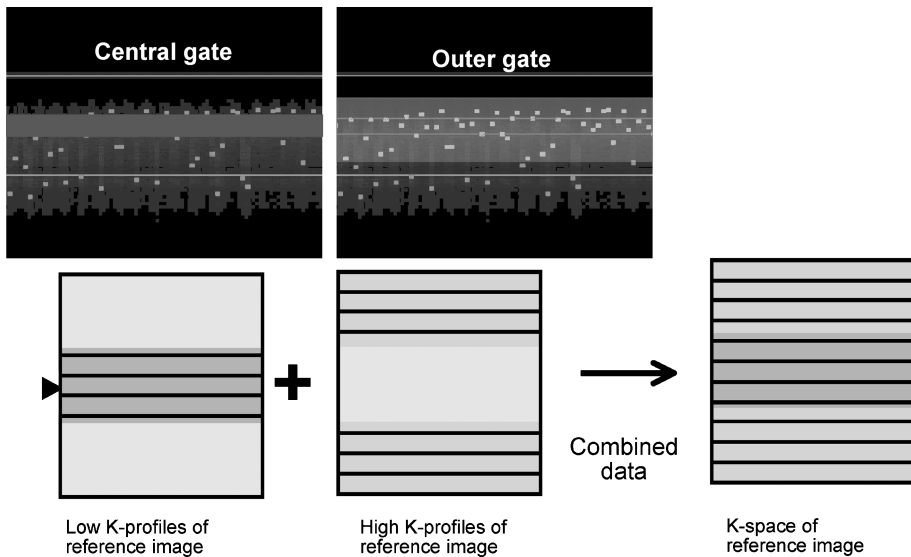


Fig. 12. Diagram of the k-space inspired navigator gating (KING).

窄・閉塞の描出率は約70～95%と報告されている^{1)～10),15)}。Post⁸⁾らは横断像のみで冠動脈狭窄を判定し、3D MRCAの狭窄病変の描出能は、specificityは高いがsensitivityが低いことが報告されている。冠動脈MRAは空間分解能に限界があるため、冠動脈の主幹部・近位部の病変の描出は信頼性が高いが、遠位部・末梢部の病変の描出は信頼性に乏しい。近年、脚光を浴びているバランスシーケンスに代表される steady-state coherent sequence にパラレルイメージングを併用すれば、呼吸停止で、高画質の冠動脈画像が得られる⁷⁾。One stop shopに組み込み、信頼性の高い冠動脈像が得られれば、心筋虚血の検査とあわせ情報量の多い検査となる。ただし、金属ステントを用いて冠動脈拡張術(PTCA)を行われた病変は、冠動脈MRAでステント部位の内腔を描出することができないため、冠動脈MRAの適応とならない(Fig. 13)。

川崎病は、小児に発症する原因不明の粘膜・皮膚・リンパ節を侵す疾患である。その病態は中小動脈における血管炎を主体とする全身の炎

症性疾患で、冠動脈瘤や冠動脈閉塞を合併することがある。MR冠動脈撮像(MR coronary angiography: MRCA)の冠動脈瘤の描出は容易で、冠動脈瘤の部位、大きさ、形を正確に把握できる(Fig. 14)¹⁶⁾。従来から川崎病の冠動脈の検査に用いられているX線アングリオは、小児患者では全身麻酔下に行われるため、患者の肉体的負担と家族の経済的負担が大きい。MRCAは、非侵襲的で放射線被曝もなく、小児若年者の検査法として適する。このMRCAは通常の安静呼吸下で撮像できるので、10歳以上では鎮静は必要なく、また低年齢でも必要な処置は鎮静のみであるので非侵襲的にしかも安価で実施できる。

MRCAの課題

これまで冠動脈の検査として行われてきたカテーテルを用いた coronary angiography (CAG)は侵襲的で検査コストも高く、必ずしも安全な検査法ではない。選択的MRCAは非侵襲的で、外来で検査可能なため、患者にとっての肉

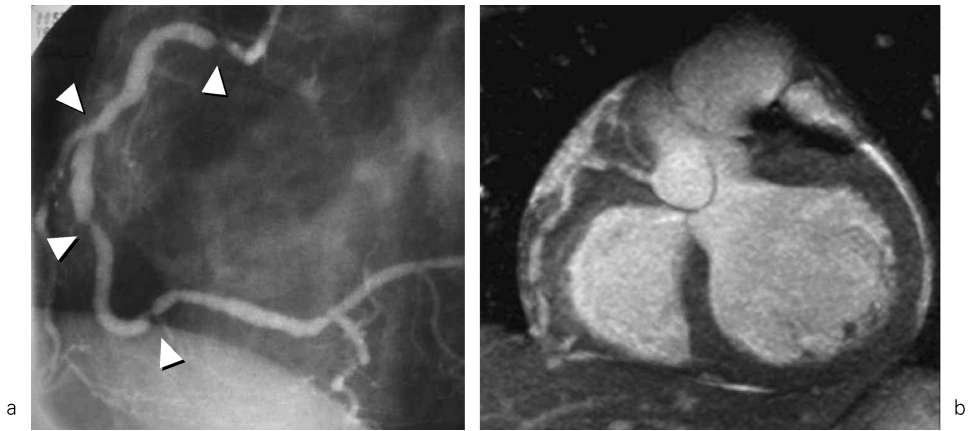


Fig. 13. Multiple moderate stenoses of the segment # 1, # 2 and # 3 of right coronary artery. RCA in 54-year-old male patient with prior stent placement for the LMT stenosis. A conventional coronary angiogram (a) showed moderate stenosis (arrowheads). MR angiogram (b) also showed multiple stenoses consistent with the CAG. Note the signal loss of left main trunk caused by metallic stent.

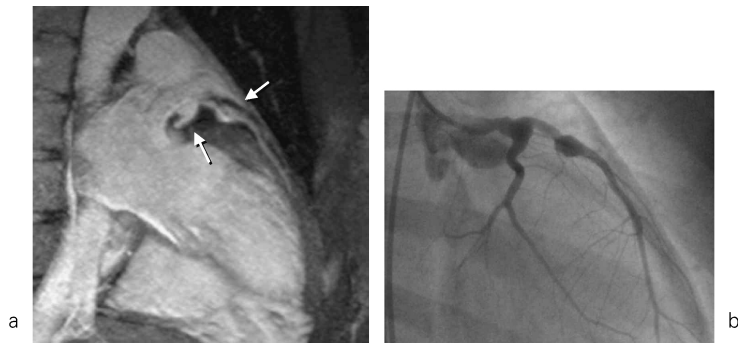


Fig. 14. Left coronary artery aneurysm in Kawasaki diseases
a) MRCA, b) CAG.

体的・時間的負担は少なく、冠動脈の検査法として期待されるが、幾つかの課題が残されている。

- ① 撮像時間が長い。
- ② 体動アーチファクトによる画質の劣化。
- ③ 検査中の大きな体動では位置決め画像から再設定、再撮像するので検査時間が大幅に延長する。
- ④ 空間分解能や SNR はやや低く、鮮明さ

は不十分。

- ⑤ 狭窄性病変は過大評価傾向。
- ⑥ 末梢の細い血管，側副血行路の描出が劣る。

目的とする冠動脈を確実に撮像し，正診性，信頼性を高め，普及させるには，撮像時間の短縮，更なる画質改善が必要である。

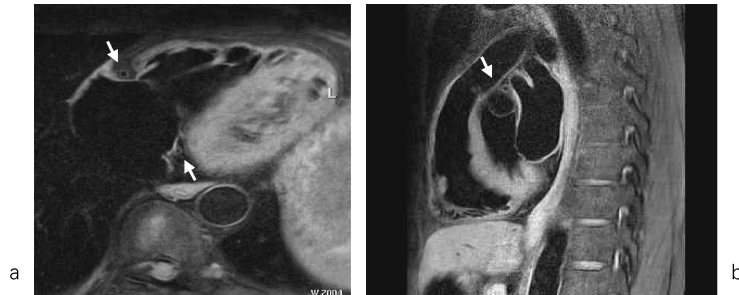


Fig. 15. Vessel wall imaging of coronary arteries
a) RCA and LCX, b) LMT.

今後の方向性

冠動脈病変では、狭窄度だけでなく、動脈硬化プラークの性状も重要である。動脈硬化プラークの性状を診断するためには、血管壁イメージングが必要となる。Dual IRを用いたblack-blood T₂強調像は、血管腔を無信号に描出でき、動脈壁や心臓壁の評価に有用である。心電図のR波直後に非選択的180度パルスで全体の磁化を反転し、次に選択的180度パルスで撮像断面の磁化を戻し、TSEによる撮像を開始するもので、信号が0になった血液が流入するために撮像面内の血流信号は無信号となる。この冠動脈壁の撮像にはナビゲーター呼吸同期で1スライスずつ撮像する。パラレルイメージングを併用することで、撮像時間を短縮でき、鮮明な画像を得ることができる (Fig. 15)。この方法で動脈硬化プラークの性状が診断できるようになれば、急性冠症候群のリスク判定などへの応用が期待される。

おわりに

冠動脈のMRAは、冠動脈が心拍動、呼吸運動とともに常に動いているので、非常に高度な技術を要する。現在、虚血性心疾患や川崎病での臨床応用が試みられているが、今後の技術革新により更に高画質の冠動脈MRAが実現され、

one stop shop cardiac examination に組み込まれ、狭窄病変の follow up のみならず、冠動脈全体のスクリーニング検査として実用化されるものと期待される。

文 献

- 1) Edelman RR, Manning WJ, Burstein D, Paulin S: Coronary arteries: breath-hold MR angiography. *Radiology* 1991; 181: 641-643
- 2) Manning WJ, Li W, Edelman RR: A preliminary report comparing magnetic resonance coronary angiography with conventional angiography. *N Eng J Med* 1993; 328: 828-832
- 3) Wang Y, Grimm RC, Rossman PJ, Debbins JP, Riederer SJ, Ehmann RL: 3D coronary MR angiography in multiple breath-holds using a respiratory feed-back monitor. *Magn Reson Med* 1995; 34: 11-16
- 4) Stuber M, Botnar RM, Danias RG, et al.: Double-oblique free breathing high resolution 3D coronary MRA. *J Am Coll Cardiol* 1999; 34: 524-531
- 5) Watanabe Y, Nagayama M, Amoh Y, et al.: High-resolution selective three-dimensional MR coronary angiography with navigator-echo technique: segment-by-segment evaluation of coronary artery stenosis. *J Magn Reson Imaging* 2002; 16: 238-245
- 6) Kim WY, Danias PG, Stuber M, et al.: Coronary magnetic resonance angiography for the detec-

- tion of coronary stenoses. *N Engl J Med* 2001 ; 345 (26) : 1909-1910
- 7) Shea SM, Deshpande VS, Chung YC, Li D : Three-dimensional true-FISP imaging of the coronary arteries : improved contrast with T₂-preparation. *JMRM* 2002 ; 15 : 597-602
 - 8) Post JC, Rossum AC, Hofman MBM, Valk J, Visser CA : Three-dimensional respiratory-gated MR angiography of coronary arteries : comparison with conventional coronary angiography. *AJR* 1996 ; 166 : 1399-1404
 - 9) Huber A, Nikolaou K, Gonschior P, Knez A, Stehling M, Reiser M : Navigator echobased respiratory gating for three-dimensional MR coronary angiography : results from healthy volunteers and patients with proximal coronary artery stenoses. *AJR Am J Roentgenol* 1999 ; 173 : 95-101
 - 10) Hofman MB, Paschal CB, Li D, Haacke EM, van Rossum AC, Sprenger M : MRI of coronary arteries : 2D breath-hold vs 3D respiratory-gated acquisition. *J Comput Assist Tomogr* 1995 ; 19 : 56-62
 - 11) 横山健一 : Gd-DTPA 持続静注法による三次元 coronary MR angiography の冠動脈血流信号描出能および狭窄病変に対する診断能の検討. *日磁医誌* 1999 ; 19 : 336-344
 - 12) Li D, Dolan RP, Walovitch RC, Lauffer RB : Three-dimensional MRI of coronary arteries using an intravascular contrast agent. *Magn Reson Med* 1998 ; 39 : 1014-1018
 - 13) Stuber M, Botnar RM, Spuentrup E, et al. : Three-dimensional high-resolution fast-spin-echo coronary magnetic resonance angiography. *Magn Reson Med* 2001 ; 45 : 206-211
 - 14) Thiele H, Nagel E, Paetsch I, et al. : Functional cardiac MR imaging with steady-state free precession significantly improves endocardial border delineation without contrast agents. *JMRI* 2001 ; 14 : 362-367
 - 15) Sardanelli F, Molinari G, Zandrino F, Balbi M : Three-dimensional, navigator-echo MR coronary angiography in detecting stenoses of the major epicardial vessels, with conventional coronary angiography as the standard of reference. *Radiology* 2000 ; 214 : 808-814
 - 16) 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

Coronary MR Angiography : Techniques and Clinical Applications

Yuji WATANABE

*Department of Radiology, Kurashiki Central Hospital
1-1-1 Miwa, Kurashiki, Okayama 710-8602*

MR coronary angiography (MRCA) has been difficult due to cardiac and respiratory motion. Electrocardiography (ECG)-gated breath-hold and navigator-echo guided acquisition have been evaluated as ways to overcome image blurring due to cardiac and respiratory motion. Many imaging strategies have only focused on the detection and quantification of the stenoses of the proximal coronary arteries. However, detection and quantification of the stenoses remains unreliable. Recent technical developments including parallel imaging and steady-state coherent imaging sequence have improved imaging speed and image quality of the coronary arteries. In addition, black-blood imaging using the double inversion recovery technique provides information about the vessel wall of the coronary artery. Assessment of the severity of coronary artery stenosis and atherosclerotic plaque in MR imaging may help to predict cardiovascular risk.