

先天性冠動脈奇形に対するmagnetic resonance imagingによる 冠動脈と心筋虚血の評価の有用性

勝又 庸行^{1, 2)}, 鈴木 淳子²⁾, 武村 濃³⁾
北爪 勉²⁾

山梨大学医学部小児科¹⁾, 東京通信病院小児科²⁾, 放射線科³⁾

Key words:

magnetic resonance imaging, coronary angiography, myocardial imaging, anomalous coronary arteries

Usefulness of Magnetic Resonance Coronary Angiography and Magnetic Resonance Myocardial Imaging to Determine the Anatomy of Anomalous Coronary Arteries and Associated Myocardial Ischemia

Nobuyuki Katsumata,^{1, 2)} Atsuko Suzuki,²⁾ Atsushi Takemura,³⁾ and Tsutomu Kitadume²⁾

¹⁾Department of Pediatrics, University of Yamanashi, Yamanashi, Departments of ²⁾Pediatrics, and ³⁾Radiology,
Tokyo Teishin Hospital, Tokyo, Japan

Purpose: To evaluate the usefulness of magnetic resonance coronary angiography (MRCA) and magnetic resonance myocardial imaging in detecting the anatomy of anomalous coronary arteries and associated myocardial ischemia.

Materials and Methods: Eight patients (age range: 8 months to 31 years) with anomalous coronary arteries were examined with free-breathing MRCA and contrast-enhanced MR myocardial imaging using the Gyroscan Intera 1.5T Master R9 (Philips Medical Systems). The examination was conducted by two-dimensional echocardiography for 6 patients with a history of Kawasaki disease and for the other 2 patients with heart murmur. X-ray coronary angiography was done for 7 patients. In the 6 patients, anomalous origins to the right coronary artery from the left sinus of Valsalva in 3, anomalous origins to the left coronary artery from the right sinus of Valsalva in 1, atresia of the left main trunk ostium in 1 and a high take off of the left coronary artery in 1 were detected. Coronary arteriovenous fistulae were demonstrated in the other 2 patients.

Results: The anatomic relationship of the aorta, the right ventricular outflow tract, and the anomalous vessels was demonstrated more clearly by MRCA than by X-ray coronary angiography. Myocardial ischemia was detected by a perfusion defect in 4 patients and subendocardial infarction with remaining myocardial viability by late enhancement in one of them.

Conclusions: MRCA and MR myocardial imaging are useful to identify the anatomy of anomalous coronary arteries and for follow-up of patients with myocardial ischemia.

要 旨

目的: 先天性冠動脈奇形の診断と経過観察においてmagnetic resonance coronary angiography (MRCA) とmagnetic resonance (MR)心筋造影の有用性を検討した。

方法: 使用装置はGyroscan Intera 1.5T Master R9 (Philips社製)で自然呼吸下に、MRCAで冠動脈の形状や走行を、MR心筋造影で心筋虚血と心筋病変を評価した。

対象: 対象は心エコー検査または冠動脈造影検査 (coronary angiography : CAG) で起始異常が疑われた 5 例 (右冠動脈左冠動脈洞起始 3 例, 左冠動脈右冠動脈洞起始 1 例, 左冠動脈高位起始 1 例) および左冠動脈主幹部閉塞 1 例と冠動脈瘻 2 例の計 8 例で, 検査時年齢は 8 カ月~31歳 (中央値 5 歳 4 カ月) であった。

結果: MRCAはCAGに比し, 起始異常の冠動脈と大血管との位置関係が明瞭に描出され, 閉塞血管組織の有無の評価も可能であった。さらに心筋造影では虚血 (4 例) や心内膜下梗塞 (1 例) を検出し, 心筋viabilityの評価も可能であった。

結論: 先天性冠動脈奇形においてMRI (magnetic resonance imaging) は診断と経過観察に有用と考えられた。

平成19年10月2日受付

平成20年7月14日受理

別刷請求先: 〒409-3898 山梨県中央市下河東1110

山梨大学医学部小児科 勝又 庸行

Table 1 Patient profiles at MRCA

Patient	Exam Age, Sex	Diagnosis	History (age at onset)	MR myocardial imaging	X-ray coronary angiography
1	3y, M	Anomalous origin of RCA from LMT	Kawasaki disease (3y9m)	+	-
2	3y, M	Anomalous origin of RCA from LMT	Kawasaki disease (3y1m)	+	+
3	31y, F	Anomalous origin of RCA from LMT	Kawasaki disease (2y)	+	+
4	16y, M	Anomalous origin of LCA from RSV	Kawasaki disease (3m)	+	+
5	8m, M	LMT high take-off	Kawasaki disease (5m)	-	+
6	16y, M	Atresia of LMT ostium	Kawasaki disease (10m)	+	+
7	6y, M	LAD-RV fistula	Heart murmur (1y)	-	+
8	4y, F	LCX-CS fistula post operation	Heart murmur (0m)	+	+

RCA: right coronary artery, LMT: left main trunk, LCA: left coronary artery, RSV: right sinus of Valsalva, LAD: left anterior descending coronary artery, RV: right ventricle, LCX: left circumflex coronary artery, CS: coronary sinus

はじめに

先天性冠動脈奇形は冠動脈疾患のなかに占める頻度は低い¹⁾が、突然死の原因疾患としての割合は少なくない¹⁾。外科的処置も必要なことがあり、正確な診断が重要である。われわれは、2000年から非侵襲的検査法として、川崎病冠動脈病変の磁気共鳴冠動脈撮像法(magnetic resonance coronary angiography: MRCA)に取り組み、冠動脈病変を描出してきた²⁻⁶⁾。さらに近年は、MR心筋造影⁷⁾で心筋虚血の可能性のある症例には、MRCAに続いてMR心筋造影を行っている。この間に遭遇した先天性の冠動脈奇形にもこれらのMR検査が有用であったので報告する。

対 象

2005年1月1日から2008年3月31日までに当施設を受診し、川崎病の既往をもち、MRCAが行われた440例のなかで、心エコー検査またはX線冠動脈造影検査(coronary angiography: CAG)で冠動脈起始異常が疑われた5例(右冠動脈左冠動脈洞起始3例、左冠動脈右冠動脈洞起始1例、左冠動脈高位起始1例)と左冠動脈主幹部閉塞を疑われた1例、さらに川崎病の既往なく心雑音の精査で冠動脈瘻に気付かれた2例の計8例が対象である。

MR画像検査時年齢は8カ月～31歳、中央値5歳4カ月(男6例、女2例)である(Table 1)。また、MRCAにより心筋虚血の可能性が考えられた6例に対しMR心筋造影を続けて施行した。

方 法

使用装置はPhilips社製 Gyroscan Intera 1.5T Master R9

であり、使用コイルは成人に対しては心臓専用コイルのsynergy cardiac coilを、体格の小さい小児にはflex-M coil(Philips社製)を用いた⁸⁾。3D再構成画像装置はザイオソフト社製のM900 QUADRAを用いた。

1. Magnetic resonance coronary angiography

MRCAには3シーケンスを使用し、第1は3D balanced-steady-state free precession(SSFP)で、造影剤を用いず血液は高信号として白く撮像される。スキャンテクニックはwhole heart image scanで、心臓の3D画像を一度で撮像した。撮像時間は15～20分であった。再構成画像法はmaximum intensity projection, curved multiplanar reformation, volume renderingの3方法と冠動脈の分枝まで明瞭に画像が得られるSoap bubble法⁹⁾(Philips社製)も用いた。第2はmulti 2D black blood-turbo spin echo(BB-TSE)で、これは血流が低信号として黒く描出され、血管壁構造や血管内腔の血栓が等信号として灰色で描出される。このスキャンテクニックは3 point plan scanで冠動脈長軸のblack blood像を得た。第3に2D black blood-spiral k-space order TFE(spiral-BB)を用い、血管の断面画像で、冠動脈周囲の脂肪組織を抑制することで、断面壁の内膜肥厚、壁内血栓の有無を観察した¹⁰⁾。

いずれもnavigator併用による自然呼吸下で行い、7歳未満の5例では睡眠導入にsodium trichloroethyl phosphate syrup 0.8～1.0ml/kgを与薬したが、これが無効の例には経皮的酸素モニターと心拍モニターを装着し、血管確保のうえthiopental sodium 2～5mg/kgを静注して睡眠下に検査を施行した。

Table 2 MR myocardial imaging

Patient	Contrast enhanced MR myocardial imaging		Cine MRI
	Perfusion defect	Late enhancement	Wall motion
1	+, inferior	-	normal
2	-	-	normal
3	+, inferior	-	normal
4	+, anterior-septum	-	normal
5	no examination	no examination	no examination
6	+, anterior-inferior	+, papillary muscle	normal
7	no examination	no examination	normal
8	-	-	normal

2. MR心筋画像

1) Perfusion MRI (負荷と安静時)

使用したシーケンスはSSFPに血液抑制を併用したもので、負荷perfusionはアデノシン三リン酸ナトリウム(ATP, 0.16mg/kg/min)を6分間で静脈注射し、静脈注射開始から5分経過したところでgadolinium造影剤0.05ml/kgを対側肘静脈からボラスに投与し、左室心筋を通過するファーストパスを観察することで心筋レベルでの組織灌流血液分布を評価した。安静時perfusionは、負荷perfusion撮像後1分ほどしてから同量の造影剤を注入し撮像した。

2) 遅延造影MRI

使用したシーケンスはT1強調画像に心筋抑制法を併用した心筋を黒く描出するシーケンスでperfusion MRIによる造影剤投与15~30分後に、病変部位の造影剤貯留により心筋梗塞を白く描出する。その心筋梗塞の心内膜下の壁厚に対する比率(深達度)により心筋viabilityを評価した。深達度はKim⁷⁾らの分類に従い、grade I: 1~25%, grade II: 26~50%, grade III: 51~75%, grade IV: 76~100%の4段階に分け、grade II以下の心内膜下梗塞はviabilityありの判断に従い検討した。

3) cine MRI

遅延造影MRIを行うまでの15分間を利用し、cine MRIで心室壁運動を撮像した。使用したシーケンスはSSFPであり、cine MRIは1心拍に対し20~50phaseのcine画像を得た。心エコーのように左心室の短軸、長軸、4 chamberで心室壁運動を観察し、左室機能評価および局所壁運動評価を行った。駆出率(ejection fraction: EF)はarea-length法を用いて計測した。

結 果(Table 2)

1. 右冠動脈左冠動脈洞起始と左冠動脈右冠動脈洞起始

川崎病の罹患時年齢が症例1: 3歳9カ月、症例2: 3歳1カ月、症例3: 2歳の3例と症例4: 3カ月の計4例で、検査時年齢はおのおの3歳10カ月、3歳10カ月、31歳と16歳である。症例1, 2, 4は川崎病急性期の心エコーで瘤は形成されなかったが冠動脈起始異常に気付かれた。症例3は左右の冠動脈に瘤を有し、6歳時のCAGで冠動脈起始異常に気付かれた。19歳時のCAGで右冠動脈瘤の流入口部に90%狭窄が認められ、心筋血流シンチグラフィでは中隔から下後壁にかけて虚血ありと診断されていた。

1) MRCA

1, 2, 3の症例は右冠動脈が大動脈と肺動脈の間を走行し、症例4は左冠動脈がその間を走行するタイプであった。症例1は左冠動脈主幹部から右冠動脈が分岐している単一冠動脈で(Fig. 1A)、症例4は右冠動脈洞起始の単一冠動脈であった。また、症例3ではSSFPで左冠動脈瘤と、右冠動脈に巨大瘤と局所性狭窄を認めた(Fig. 2)。

2) MR心筋画像

心筋虚血所見は右冠動脈に狭窄を有する症例3が、perfusion MRIでATP負荷時に下壁に灌流遅延を認めたほかに、症例1では、ATP負荷時に心尖部の中隔から下壁に低信号領域が確認され(Fig. 1B, C)、症例4では安静時、ATP負荷時ともに左心室前壁から中隔にかけて心尖部に灌流欠損を認めた。いずれの症例も遅延造影やcine MRI所見は正常であった。症例2では、心筋造影検査はすべて正常であった。

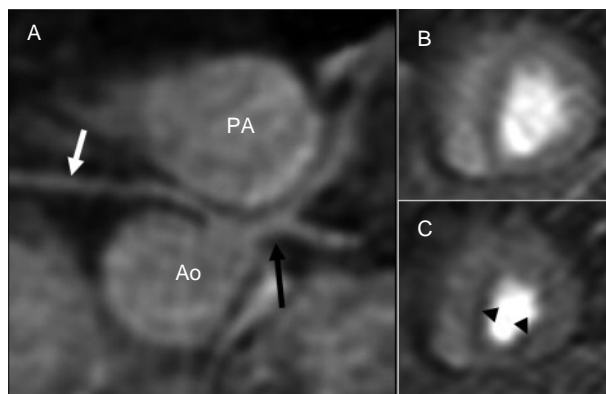


Fig. 1 Patient 1: Anomalous origin of RCA from left main trunk. A: Whole heart imaging (Soap bubble). Anatomic representation of the origins of the anomalous right coronary artery. The anomalous artery (white arrow) follows an interarterial course between the aortic root and the right ventricular outflow tract. Left main trunk is black arrow. Perfusion MRI of short axis of left ventricle (B: rest, C: stress). Perfusion defect is seen from the inferior septum to the apex at stress (triangles). RCA: right coronary artery, Ao: aorta, PA: pulmonary artery

2. 左冠動脈高位起始

症例 5 は 5 カ月時に川崎病に罹患し、6 カ月時に CAG を施行した時に左冠動脈の選択的冠動脈造影が困難であり、左冠動脈瘤の壁が描出されないのは壁在血栓のためか、左冠動脈高位起始によりカテーテル挿入困難なための造影剤の注入不足によるものかを明らかにする目的で、8 カ月時に MRCA が行われた。

1) MRCA

SSFP で左の冠動脈の起始が Valsalva 洞の上であり、通常の位置よりやや高いことが確認された。segment 7 に最大径 $\phi 8.1 \times 12.2 \text{mm}$ の瘤が認められたが、1 カ月前に施行された CAG では、辺縁不鮮明で最大径は 5.3mm (Fig. 3A, B) と小さく描出されていた。CAG における瘤の壁不明瞭と内腔狭小の画像部位に BB-TSE および spiral-BB で瘤内に血栓を示す高信号を認めた (Fig. 3C)。

3. 左冠動脈主幹部閉鎖

症例 6 は 16 歳男性で 10 カ月時に川崎病に罹患し、その時の心エコーで左冠動脈に $6 \sim 7 \text{mm}$ の冠動脈瘤があることを説明された。2 歳時に運動時胸痛、意識消失を認め心電図で左室側壁梗塞と診断され、3 歳時の CAG で左冠動脈主幹部が起始部から完全閉塞していた。今回、川崎病による障害か先天性の冠動脈奇形かを診断するために MRCA を施行し、同時に行った MR 心筋造影で大動脈冠動脈 (AC) バイパスの適応があると判断された。

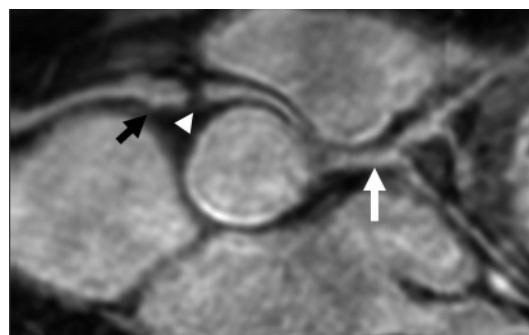


Fig. 2 Patient 3: Anomalous origin of RCA from left main trunk. Whole heart imaging. Aneurysm (black arrow) and localized stenosis (triangle) are seen at RCA. Left main trunk is white arrow.

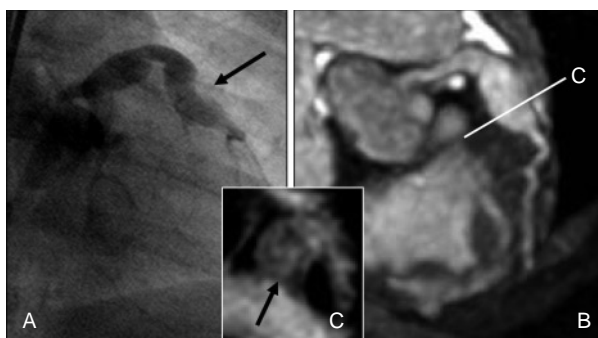


Fig. 3 Patient 5: Left main trunk high take-off. A: X-ray left coronary angiography. B: MRCA. C: spiral-BB (Arrow is thrombus). LAD is demonstrated more clearly in MRCA than in X-ray coronary angiography.

なお、MRCA 直前に施行した心エコーでは左冠動脈主幹部に 3mm の血管様の像とその先に 6mm の瘤様のエコーフリースペースが得られたが、瘤の壁を示す信号は描出されなかった (Fig. 4A)。バイパス術中の所見では左冠動脈は大動脈左冠動脈洞から起始しているものの血管構造はなく索状の構造のみ認められ、瘤も認められなかった。

1) MRCA

SSFP で左冠動脈主幹部は描出されず、右冠動脈は約 $\phi 4.5 \text{mm}$ と比較的太く、左前下行枝、左回旋枝は細い血管として描出された (Fig. 4B)。BB-TSE 法と spiral-BB 法を用いても左冠動脈主幹部の血管腔は観察されず、また川崎病の冠動脈病変を示唆する瘤の閉塞を示す所見もなかった (Fig. 5)。以上から、先天性の左冠動脈主幹部閉鎖と診断した。AC バイパス術前の CAG で、左冠動脈主幹部閉塞と発達した側副血行路を確認した (Fig. 4C)。

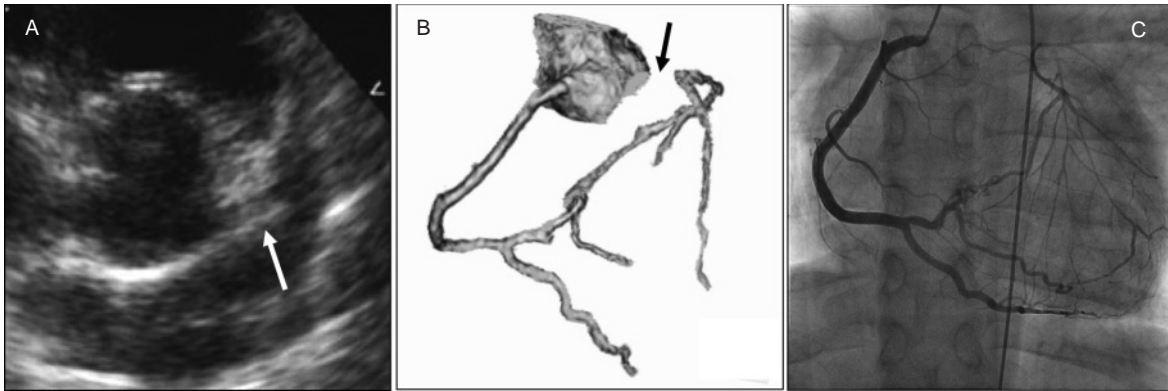


Fig. 4 Patient 6: Atresia of left main trunk ostium.

A: Two-dimensional echocardiography. The left main coronary artery is shown coming from the left sinus of Valsalva (white arrow). B: MRCA (volume rendering). C: X-ray right coronary angiography.

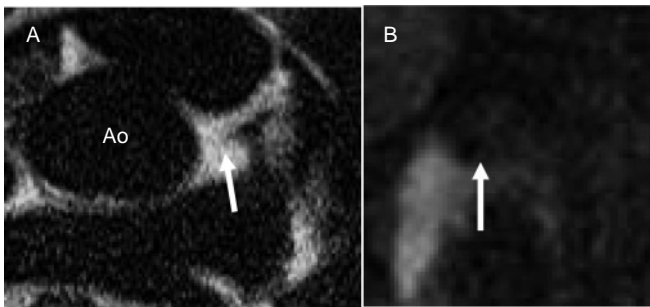


Fig. 5 Patient 6: Atresia of left main trunk ostium. A: MRCA (BB-TSE) of left coronary artery. B: Spiral-BB of left main trunk area. Coronary artery is not seen in left main trunk area (arrow).

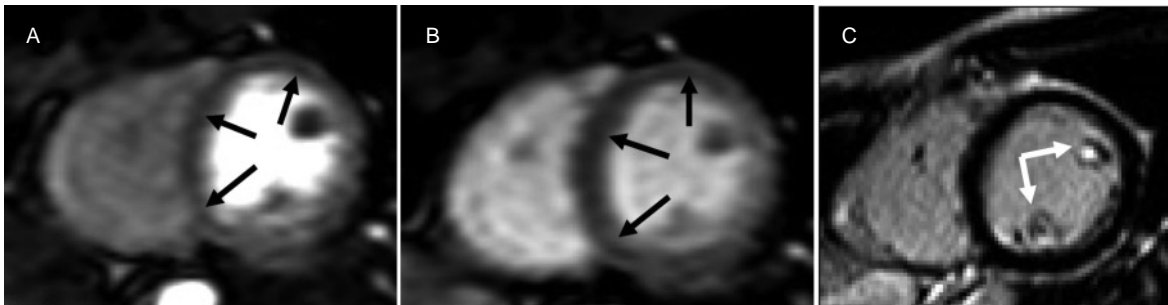


Fig. 6 Patient 6: Atresia of left main trunk ostium.

A: Perfusion MRI of short axis of left ventricle (stress). B: Perfusion MRI of short axis of left ventricle (rest). Perfusion defect (black arrows) is seen from anterior to inferior left ventricle. C: Late enhancement MRI of short axis of left ventricle. Late enhancement is seen in the papillary muscles (white arrows).

2) MR心筋画像

Perfusion MRIにおいて、ATP負荷時、安静時ともに心基部から心尖部の前壁から下壁に広範な低信号領域が確認され、この部位の心筋虚血が示された直後、わずかにタイミングがずれて下壁と側壁に造影効果が表れた。遅延造影MRIでは乳頭筋の一部に心筋梗塞を示

す高信号域がみられた(Fig. 6)。広範な灌流欠損による心筋虚血が示されたものの、心筋梗塞はごく一部でありACバイパス術の適応ありと判断された。

4. 冠動静脈瘻

左冠動脈右室瘻：症例7は1歳時に心雑音を指摘さ

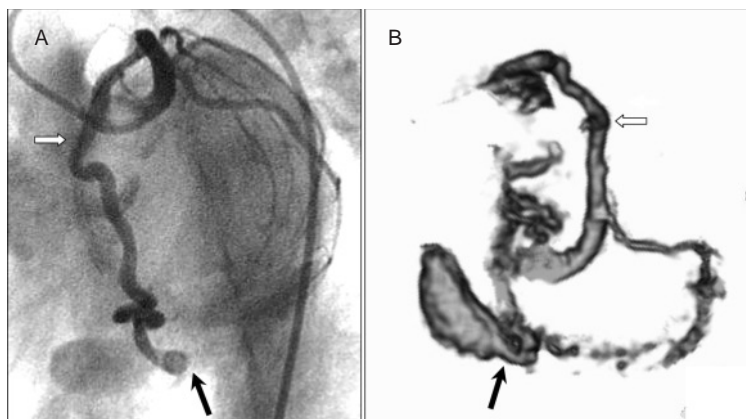


Fig. 7 Patient 7: LAD-RV fistula.
 A: X-ray coronary angiography of 1-year-old. B: Whole heart imaging (volume rendering) of 6-year-old. LAD-RV fistula is seen in A and B (black arrow). LAD is white arrow.
 LAD: left anterior descending coronary artery, RV: right ventricle

れ、1歳5カ月時にCAGで、冠動静脈瘻と診断され経過観察されていた(Fig. 7A)。6歳時に非侵襲的経過観察を望まれMRCAを施行した。

左回旋枝-冠静脈洞瘻：症例8は出生時より心雑音で冠動静脈瘻に気付かれ、3歳時に外科的に瘻を結紮された。術後のCAGで左回旋枝の拡張残存、一部狭窄が指摘されており、今後の経過観察の手段として4歳時にMRCAが選択された。

1)MRCA

症例7ではwhole heart image scanのvolume rendering法で右冠動脈はsegment 3まで描出され、左冠動脈主幹部からsegment 8までの著明な拡張と、segment 8の遠位部から瘻につながる蛇行した血管が明瞭に描出でき(Fig. 7B)、1カ月後に施行されたCAGでの所見と一致した。症例8においても拡張した左冠動脈回旋枝とその後の狭窄を認めた。TSE-BB法にて左右冠動脈を撮像し、血栓などの信号がないことが確認された。

2)MR心筋画像

心筋虚血所見や心筋梗塞所見は認められなかった。cine MRIで、局所壁運動に異常を認めず、症例7では、左室駆出率は67.9%と心機能も異常は認められなかった。

考 察

冠動脈造影施行例の1.3%に冠動脈奇形が存在し、そのうちの19%が、①冠動脈肺動脈起始異常、②冠動脈の対側の大動脈洞からの起始異常、③単冠動脈、④冠動脈瘻といった心筋虚血や突然死の原因と

なり得る異常であったと報告されている¹¹⁾。冠動脈起始異常で重要なのは、冠動脈の大動脈と肺動脈間の走行の有無である^{12, 13)}。

大血管と冠動脈走行との位置関係の評価はCAGではしばしば困難であるが、MRCAは冠動脈の走行および大血管との位置関係を客観的に評価するのに優れている。成人領域ではMRCAによる冠動脈起始異常の描出感度は88~100%、特異度は100%と報告されている^{14, 15)}。さらにMR心筋造影を合わせて施行することにより、心筋虚血出現の評価が可能であり突然死のリスクを下げることが期待できる。

今回の検討では、冠動脈起始異常4症例中3例で心筋虚血が認められた。ただし、症例3における灌流遅延は右冠動脈瘤に90%以上の局所性狭窄が存在しているので、大動脈-肺動脈間の走行によるものとの鑑別は難しい。

冠動脈高位起始は川崎病の冠動脈造影の際にしばしば遭遇しカテーテルの挿入困難となる場合もあるが、MRCAでは瘤全体の描出が良好であった⁵⁾。

左冠動脈主幹部閉鎖例では、閉鎖部は索状構造であったにもかかわらず、心エコー検査では管腔様の構造が見えていた。本村らの症例でも心エコー検査では大動脈から左冠動脈主幹部の構造が連続していたと報告している¹⁶⁾。6mm程度の瘤様のエコーフリースペースは、血管壁を示すエコー輝度は認めず、MRCAでも瘤は認めないことから、血管壁ではなかったと判断している。負荷perfusionで下壁と側壁でわずかにタイミングがずれた造影効果の出現は、側副血行路を介して

造影剤が行き渡るまでの時間差と考えられた。なお、左冠動脈口閉塞におけるACバイパス術の予後は一般に良好と報告されている¹⁷⁾。

冠動脈瘻においては、その走行、狭窄の有無、瘻孔の位置の確認にMRIが有用であった。

結 語

MRCAによる先天性冠動脈奇形の診断における利点は、CAGやマルチスライスCTと比較して、放射線被ばくなく冠動脈画像が得られ、しかも冠動脈と大血管との位置関係がCAGより明確に把握できることである。また、MR心筋画像の利点は、MRCAと同時に心筋虚血、梗塞範囲、心筋のviabilityまで評価できることが挙げられ、経過観察、手術適応の決定、術後の評価にも有用と考えられた。

謝 辞 本報告に際し、ご協力いただいた豊平おおたこどもクリニック・太田千雄先生、東部地域病院小児科・古川岳史先生、秋元かつみ先生、東京医科歯科大学医学部附属病院小児科・脇本博子先生、土井庄三郎先生、日本大学医学部附属板橋病院小児科・宮下理夫先生、国立循環器病センター小児科・津田悦子先生、日本赤十字社医療センター小児科・土屋恵司先生、日本医科大学付属病院小児科・小川俊一先生に深謝いたします。

【参考文献】

- 1) Maron BJ: Sudden death in young athletes. *N Engl J Med* 2003; **349**: 1064–1075
- 2) 佐藤克彦, 岩元香保里, 島田菜穂子, ほか: Dynamic coronary MR angiography の冠動脈描出に対する検討. *Prog Med* 2001; **21**: 1613–1616
- 3) 稲葉利佳子, 鈴木淳子, 佐藤克彦, ほか: 川崎病冠動脈障害の描出における 3次元magnetic resonance coronary angiographyの有用性. *日小児誌* 2002; **106**: 1636–1641
- 4) 武村 濃, 鈴木淳子, 大室正巳, ほか: 川崎病冠動脈障害に対する非造影3D MR coronary angiographyの有用性—呼吸同期併用法と呼吸停止下法との比較. *Prog Med* 2003; **23**: 1784–1788
- 5) Suzuki A, Takemura A, Inaba R, et al: Magnetic resonance coronary angiography to evaluate coronary arterial lesions in patients with Kawasaki disease. *Cardiol Young* 2006; **16**: 563–571
- 6) 武村 濃, 鈴木淳子, 稲葉利佳子, ほか: 川崎病冠動脈障害に対するMR coronary vessel wall imagingの検討. *Prog Med* 2005; **25**: 1833–1836
- 7) Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al: The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000; **343**: 1445–1453
- 8) Takemura A, Suzuki A, Inaba R, et al: Utility of coronary MR angiography in children with Kawasaki disease. *AJR Am J Roentgenol* 2007; **188**: W534–539
- 9) Etienne A, Botnar RM, Van Muiswinkel AM, et al: “Soap-Bubble” visualization and quantitative analysis of 3D coronary magnetic resonance angiograms. *Magn Reson Med* 2002; **48**: 658–666
- 10) Ahn CB, Kim JH, Cho ZH: High-speed spiral-scan echo planar NMR imaging-I. *IEEE Trans Med Imaging* 1986; **5**: 2–7
- 11) Yamanaka O, Hobbs RE: Coronary artery anomalies in 126,595 patients undergoing coronary arteriography. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1990; **21**: 28–40
- 12) 田波 穰, 栗林幸夫: 先天性冠動脈奇形. *画像診断* 2004; **24**: 1158–1161
- 13) Shirani J, Roberts WC: Solitary coronary ostium in the aorta in the absence of other major congenital cardiovascular anomalies. *J Am Coll Cardiol* 1993; **21**: 137–143
- 14) Dirksen MS, Lamb HJ, Doornbos J, et al: Coronary magnetic resonance angiography: Technical developments and clinical applications. *J Cardiovasc Magn Reson* 2003; **5**: 365–386
- 15) 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
- 16) 本村秀樹, 手島秀剛, 吉永宗義, ほか: 運動時の胸痛を契機に見つかった左冠動脈口閉鎖症の1例. *日小循環誌* 2005; **21**: 474–478
- 17) Musiani A, Cernigliaro C, Sansa M, et al: Left main coronary artery atresia: Literature review and therapeutical considerations. *Eur J Cardiothorac Surg* 1997; **11**: 505–514