

「心血管病画像診断の進歩」

川崎病の冠動脈障害におけるMRIの役割

鈴木 淳子*

Atsuko SUZUKI, MD*

八重洲クリニック

要約

川崎病後遺症の冠動脈瘤は遠隔期にも血栓性閉塞や局所性狭窄への進展が見られ、突然死や心筋梗塞が少なからず存在する。このため幼児期の発症から生涯にわたり経過観察が必要とされ、従来よりX線冠動脈造影（CAG）が用いられている。しかし頻回のCAGは患児の負担が大きく、著者らはCAGにかわる非侵襲的検査法としてのMR冠動脈画像（MRCA）を2002年から2011年5月までに川崎病の592例（検査数1,016件）におこなった。検査時年齢は4カ月～47歳（中央値10歳）である。MRCAにおいて瘤の形態変化や局所狭窄の進行、閉塞、再疎通血管への進展などの観察を行い、CAGでは描出不可能な瘤内血栓や内膜肥厚も描出した。狭窄性病変例にはMR心筋造影を併用し、RI心筋イメージングでは描出されなかった小梗塞や右室心内膜下梗塞も描出した。

重症冠動脈障害の経過観察のみならず、若年性動脈硬化予備軍としての瘤の退縮（回復期以後に消退）や一過性拡大（急性期中に消退）後の内膜肥厚のスクリーニングにも有用であり、今後の普及が望まれる。

<Keywords> MR冠動脈画像
冠動脈内膜肥厚

MR心筋造影

J Cardiol Jpn Ed 2011; 6: 274 – 279

MR冠動脈画像（MRCA）

MRCAは放射線の被曝が無く自然呼吸で撮像するため、著者らは、静止仰臥が得られれば乳幼児にも施行可能であると考へ、静止仰臥のために睡眠導入薬を使用し、小児のMRCAを2002年より1.5T Gyroscan Intra Master R.9 (Philips社)で開始し、小児撮像のためのプロトコル作成など画像改良に努めてきた^{1,2)}。2010年7月より同社のAchieva Re 2.6を使用している。狭窄、閉塞を認めた例には2004年よりMRCAに引き続きMR心筋造影も行っている³⁾。

撮像はまず、Steady-state free procession (SSFP) 法でwhole heart imagingを施行し、次に血流を黒く描出するM2D Black blood-turbo spin echo (BB-TSE) 法を用いて、冠動脈の長軸断面で、灰色に描出される血管壁や血栓を観察した。さらに冠動脈の横断面を放射状に撮像する2D Black blood-Spiral k-space order TFE (Spiral BB) 法⁴⁾で、狭窄

部の内腔、内膜肥厚⁵⁾、瘤内血栓、閉塞、再疎通血管の血管内新生血管を観察している^{6,7)}。

コイルはCardiac Coilと12歳以下の小児にはFlex-Mcoilを用いた。2010年より全例に32チャンネルコイルを用いている。

検査所要時間はSSFPのwhole heart imagingのみであれば約20分で終了するが、全行程で約1時間を要し、心筋造影を加えると1時間半余りの撮像時間となる。鎮静催眠は3歳未満の乳幼児でトリクロホスナトリウムシロップ服用、または抱水クロラル坐薬を併用し、3歳以上の小児には血管を確保し、チオペンタールナトリウム静注を用いた。検査中は体表酸素飽和度、脈拍のモニターを装着した。ほぼ全例で検査終了とともに覚醒が得られており、歩行状態を確認したうえで帰宅させている。

1. 川崎病の冠動脈障害の描出

瘤の描出：MRCAは非侵襲的であるために急性期においても、瘤の拡大状況や瘤内血栓や一過性拡大などの観察が可能である。回復期以降には急速に変化する瘤の形態を頻

* 八重洲クリニック

103-0027 東京都中央区日本橋2-1-18-4F

E-mail: a.suzuki@prox.ne.jp

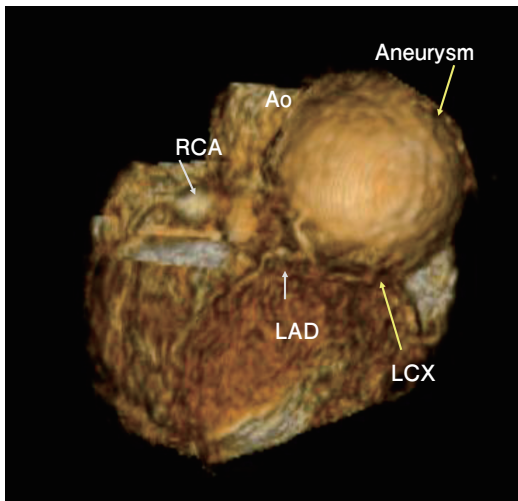


図1 左冠動脈主幹部の巨大瘤。
川崎病発症は8カ月齢で瘤の破裂を恐れられ2年2カ月を経てCAGの代わりにMRCAが選択された。SSFPにおいて巨大瘤の末梢に瘤は見られず、将来バイパス吻合が可能な血管であること、Spiral BBで瘤内に血栓は無く（白い影は乱流による）、血管内膜は肥厚していることが確認された。

回到観察するのに有用であり、2DEでは描出不可能な末梢冠動脈の瘤や閉塞瘤もMRCAで描出した⁶⁾。巨大瘤のX線造影では造影剤を急速に大量注入しても瘤内に充填させることが難しく、瘤の辺縁が明瞭に描出されず、壁血栓の描出も曖昧である。また圧点力をかけて大量の造影剤を注入する際に瘤破裂のリスクが憂慮される例（**図1**）もある。一方MRCAは非造影で瘤の辺縁も壁血栓も明瞭に描出されX線造影に勝ると考えられた。

局所性狭窄と内膜肥厚：冠動脈瘤の流入、流出口部に好発する局所性狭窄は、年余を経て内膜肥厚が徐々に進行し、無症状のうちにしばしば強度狭窄化するため生涯、経過観察が必要となる⁷⁾。しかし年長児や成人では“X線冠動脈造影による経過観察”からの脱落が多く、心筋梗塞や突然死が生じている。MRCAのSSFP法で血管内腔を描出し、BB法で内膜肥厚を描出することが可能である⁶⁾（**図2**）。

閉塞：瘤の血栓性閉塞は回復期早期に好発する（**図3, 4**）。遠隔期に進行した局所性狭窄が閉塞する場合もある。閉塞時は約3分の1が無症状で、諸検査で心筋虚血所見も陰性である。残り2/3の中で重症心筋梗塞や突然死が氷山の

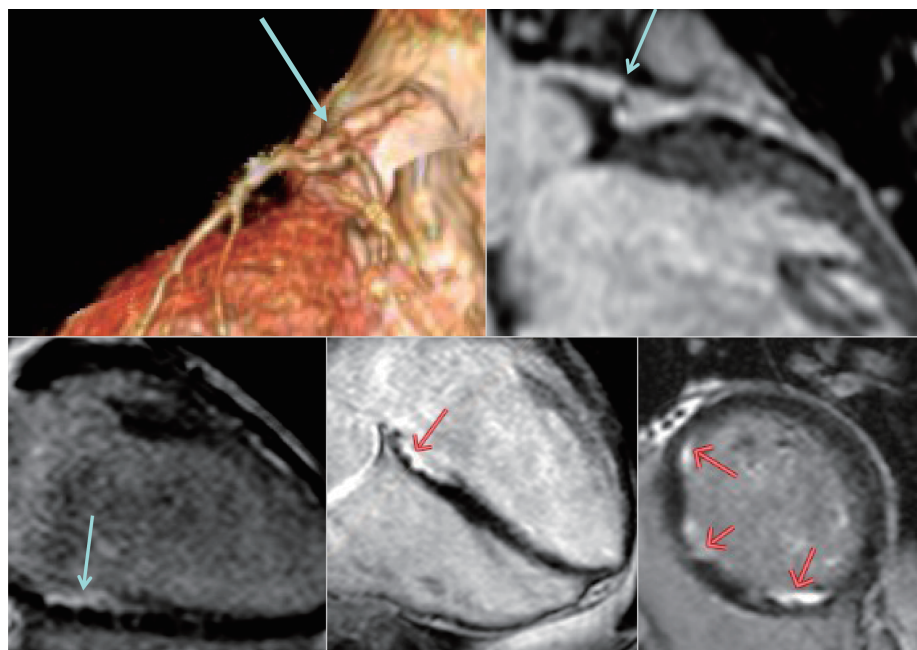
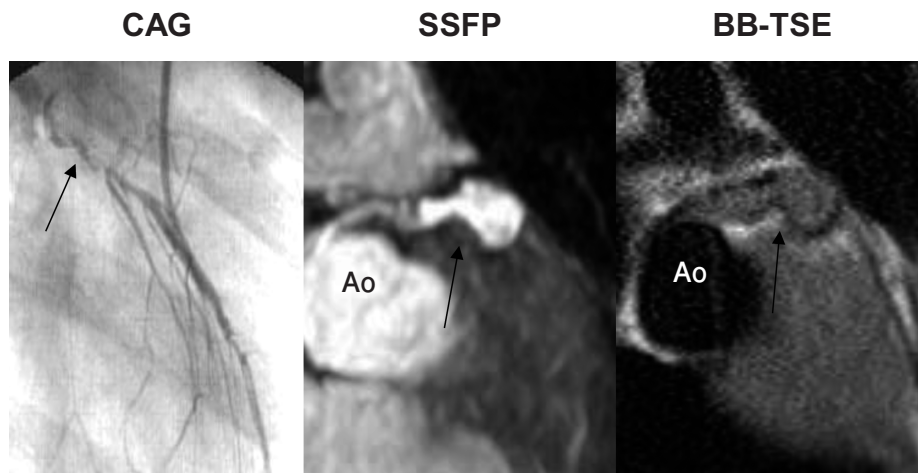


図2 成人後の狭窄出現。
9カ月齢で発症しCAGの経過観察から脱落していたが、21歳よりMRCAで経過観察が再継続された。29歳8カ月で胸痛が出現しMRCAで局所性狭窄の進行がみられた。同時に行ったMR心筋造影で左室の小梗塞が認められた。なお、この小梗塞はRI心筋イメージングでは検出されなかった。



16歳；ACバイパス術後

図3 16歳，発症3カ月，ACバイパス術後8年.

CAGでは閉塞冠動脈瘤は描出されず石灰化像のみが見られる。SSFPでは閉塞瘤は異常な高信号で描出される。BB-TSE法で，閉塞瘤（矢印）の内腔が心筋と同程度の信号で満たされており，瘤の形態と血管壁が明瞭に描出されている。

発症：3歳8カ月

SSFP 3歳11カ月 血栓 4歳4カ月 閉塞 4歳11カ月 再疎通血管 5歳5カ月

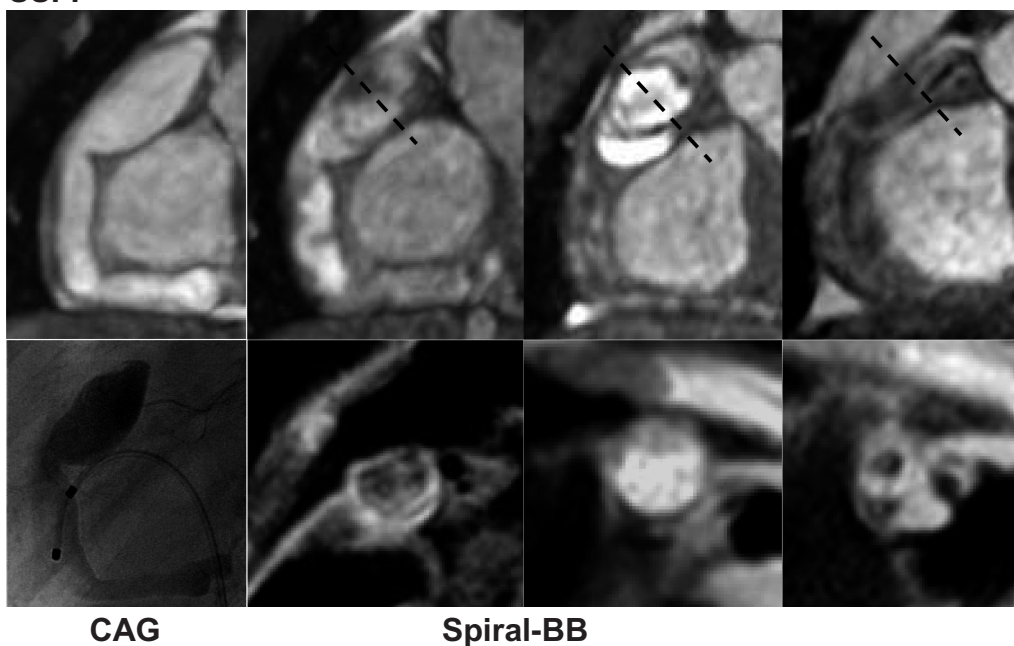


図4 右冠動脈巨大瘤の進展.

巨大右冠動脈瘤が血栓性閉塞をきたし，その後再疎通した典型的な川崎病右冠動脈瘤の経過を観察したものである。SSFPで血栓は白く高信号で描出された。その後，血栓内に生じた新生血管の束は，Spiral BBで連根様の血管輪の集合が描出された。やがてこの微細な新生血管の束は1～2本に集約され，太く成長するのが観察された。（破線はSpiral-BBの横断面）

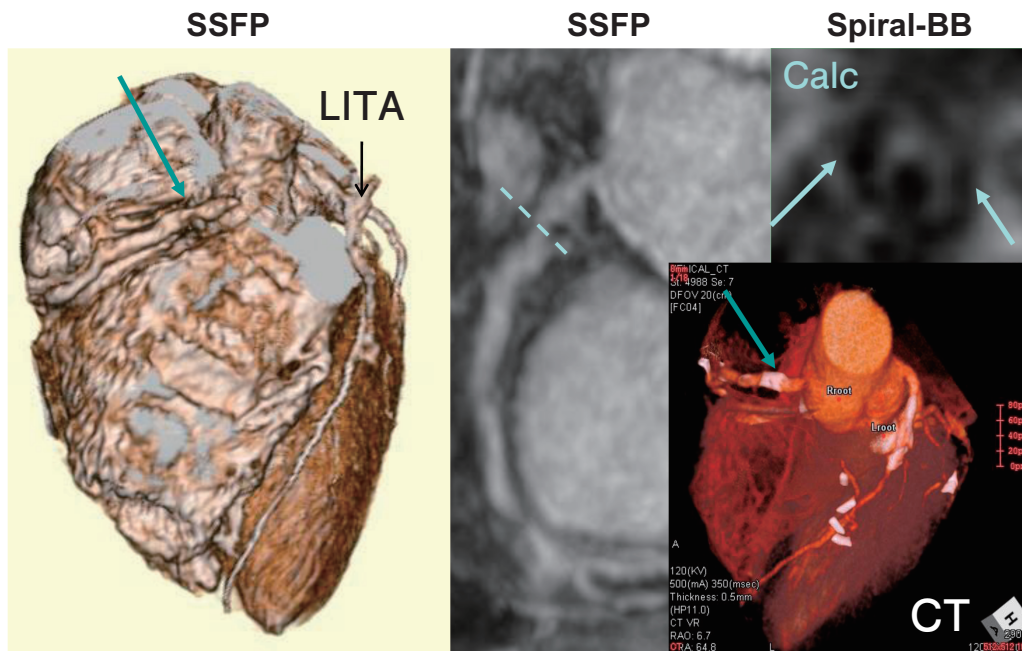


図5 石灰化病変部位の描出。
ACバイパス術後例で、27歳時に胸痛を訴えたため緊急MDCTを行った。バイパス血流は良好であるがRCAの石灰化部位の狭窄程度が不明であるので、後日MRCAで石灰化部位の狭窄が軽度であることを確認した。

一角として存在する⁸⁾。閉塞瘤は、心エコーやCAGでは描出されないが、MRCAで瘤の形態が描出される^{5,6,9)}。ただし、側副血行路による閉塞末梢の血流方向は判断不能であり、閉塞確認のためにはSSFPのみならずBB法を併用することが望ましい⁶⁾。

瘤～血栓性閉塞～再疎通血管：X線造影では不明瞭な陰影欠損にすぎない血栓像が、MRCAのBB法で明瞭に描出される。再疎通血管は川崎病に特徴的であり、瘤内の新鮮血栓塊のなかに微細な新生血管が生じ、それが収束されたく生長してくる経過が観察される^{6,9)}(**図4**)。他に閉塞瘤の壁の栄養血管が発達し再疎通血管に生長する型もある。これらの型により心筋虚血の予後が異なり¹⁰⁾、MRCAにおいても型の分別ができる画像構築法を用いている(**図4**)⁹⁾。

石灰化病変：著しい石灰化も川崎病の冠動脈障害の特徴の一つであり、石灰化部位は狭窄や閉塞を伴っていることが多い。MRCAはCTと異なり、石灰化病変部の血管内腔の描出を妨げないため、狭窄程度の観察が可能である¹¹⁾(**図5**)。

瘤の退縮や一過性拡大後の内膜肥厚、瘤を形成しなかった冠動脈の壁厚の計測：瘤の退縮部位の血管壁には軽度の肥厚が見られ、一過性拡大部位にも軽微な血管肥厚がみら

れる例が存在している¹²⁾。また急性期から2DEで拡大を認めない例の中にも軽度の内膜肥厚が存在した例が、剖検で報告されている¹³⁾。すなわち川崎病既往のある全例に、内膜肥厚を有する可能性とそれによる若年性動脈硬化症への進展が問題視されている。そのスクリーニングにもMRCAが有用と思われる。

2. 冠動脈障害の経過観察

川崎病592例中2回以上のMRCAで経過観察されたのは198例で、検査回数は平均 3.1 ± 1.7 回、検査間隔は平均 1.7 年 ± 1.3 年：中央値15カ月である。初回MRCAから最近の検査までの経過観察期間は4カ月～10年(平均 3.5 年 ± 2.2 年)、初回検査時年齢は3カ月齢から33歳(中央値8歳)である。

初回MRCA所見は冠動脈瘤167例(84.3%)、閉塞20例(10.1%)、再疎通血管20例(10.1%)、局所性狭窄31例(15.7%)で、経過観察中の変化は瘤の縮小80例(47.9%)や退縮35例(20.9%)、拡大2例(1.0%)、閉塞の新出現5例(2.5%)、局所性狭窄の出現や進行は12例(6.1%)、再疎通血管の新出現を9例(4.5%)、内膜肥厚の進行や血栓は

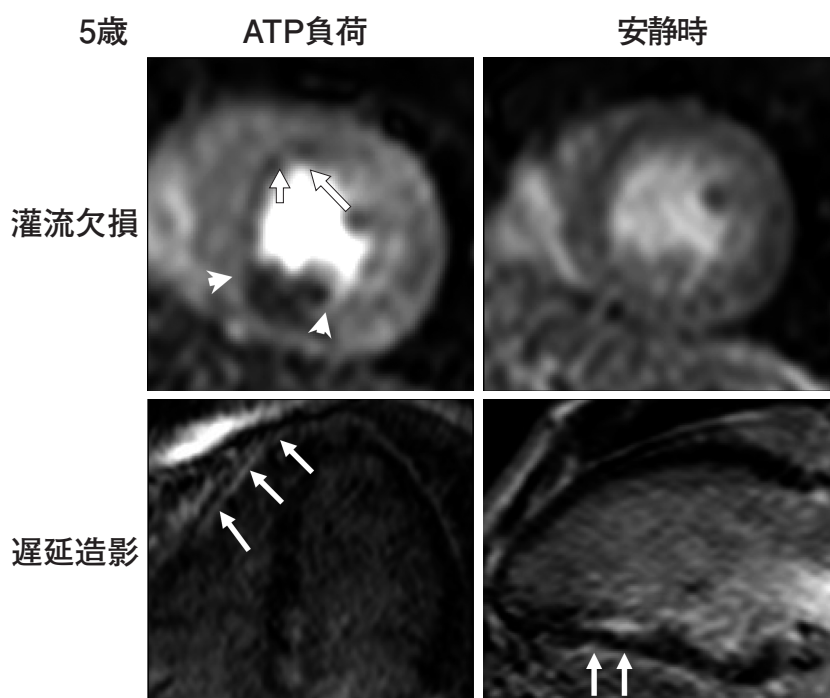


図6 図4の症例の5歳時の心筋造影。
ATP負荷時で左室下壁に灌流欠損が現れるが安静時は認めない。無症状であったが、遅延造影では左室下壁と右室心内膜下に小梗塞が描出された。この心筋梗塞もRI心筋イメージングでは描出されていない。

66例(33.3%)に認めた。MR心筋造影で心筋虚血が経過観察中に出現した8例にACバイパス、3例にロタプレーターが行われた。CAGは術前後で行われ、術後の経過観察はMRIで継続されている¹⁴⁾。

成人後の変化：このうち20歳以上の経過観察は60例存在し、20歳以後に出現した冠動脈変化は瘤の縮小29例(33.3%)、退縮12例(20%)、瘤の拡大2例(3.3%)、瘤の形態が変わらないのは16例(26.7%)であった。閉塞が20歳以後に新しく出現した例はなかったが、狭窄の出現や狭窄程度の進行は5例(8.3%)、再疎通血管の新生は5例(8.3%)、血管内膜の肥厚進行または新生血栓をみとめたのは5例(8.3%)であった。20歳以後に施行されたACバイパスは3例、前述の3例のロタプレーターはいずれも20歳以後に行われている。川崎病が小児期だけの病気では無いことを物語っている。

造影MRIによる心筋評価

無症状で徐々に進行する狭窄を観察し続け、心筋虚血をいち早く検出し血管形成術の適応を判定することが重要となる。

Perfusion MRIはガドリニウム造影剤を使用し、左室短軸心筋の初回循環を観察することで心筋虚血評価を行う。すなわち狭窄冠動脈の責任領域では造影剤の到達が遅れ、灌流欠損として黒く描出される(図6)。ただし、川崎病の巨大冠動脈瘤が連続する例では、造影剤が瘤のなかで渦巻いて流出が遅れ、末梢への造影剤の到達がしばしば遅れる。これを、狭窄による灌流欠損と比較するのは困難であるが、安静時とATP負荷時の欠損出現の差などを参考にしている。

次にシネMRIで左室短軸、長軸、4チャンパーで心筋運動を観察する。

遅延造影(心筋梗塞)は造影剤投与約10～15分後に撮像を行う³⁾。心筋梗塞部位は心筋内の造影剤の排泄遅滞により白く描出される(図2, 6)。川崎病の冠動脈の局所性狭窄の進行例で、他の心筋虚血諸検査の陽性化に先んじて遅延造影で小梗塞を認めている(図2)。また、右冠動脈の瘤は無症状の内に閉塞し、再疎通し易い特徴があり(図6)¹⁰⁾、RI心筋イメージングでは描出されなかった小梗塞巣や右心室壁の心内膜下梗塞も明瞭に描出されている(図6)^{3,9)}。

冠動脈形成術後も狭窄出現の経過観察は必要であり MRCAとMR心筋造影を用いている¹⁴⁾。

おわりに

乳幼児から生涯にわたり頻回の冠動脈検査を続けなければならない重症の冠動脈障害例に非侵襲的MRCAは大きな福音である。また軽症例における冠動脈内膜肥厚のスクリーニングにもMRCAは有用である。しかし、小児の心臓MRIは眠らせる手間と小児科医の待機、MR室用経皮酸素モニター装着など時間と人件費がかかり、いっこうに普及しない現状である。一方、MRI装置は、さらに短時間で、明瞭な画像が得られるように開発進歩中であり、今後MRIが小児にも全国的に普及することを切に願っている。

文献

- 1) Takemura A, Suzuki A, Inaba R, Sonobe T, Tsuchiya K, Omuro M, Korenaga T. Utility of coronary MR angiography in children with Kawasaki disease. *AJR* 2007; 188: W534-W539.
- 2) 稲葉利佳子, 鈴木淳子, 佐藤克彦, 小野正恵, 保科清, 古山民夫, 武村濃, 是永建雄. 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. *日小児会誌* 2002; 106: 1636-1641.
- 3) 武村濃, 鈴木淳子, 北爪勉, 稲葉理恵子, 藪部友良, 土屋恵司, 土井庄三郎, 是永建雄. 川崎病冠動脈障害の心筋イメージング. *Prog Med* 2006; 26: 53-57.
- 4) Ann CB, Kim JH, Cho ZH. High-speed spiral-scan echo planar NMR imaging-I. *IEEE Trans Med Imaging* 1986; 5: 2-7.
- 5) 武村濃, 鈴木淳子, 稲葉利佳子, 藪部友良, 土屋恵司. 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.
- 6) Suzuki A, Takemura A, Inaba R, Sonobe T, Tsuchiya K, Korenaga T. Magnetic resonance coronary angiography to evaluate coronary arterial lesions in patients with Kawasaki disease. *Cardiol Young* 2006; 16: 563-571.
- 7) Suzuki A, Kamiya T, Arakaki Y, Kinoshita Y, Kimura K. Fate of coronary arterial aneurysms in Kawasaki disease. *Am J Cardiol* 1994; 74: 822-824.
- 8) 勝又庸行, 鈴木淳子, 武村濃, 藪部友良, 土屋恵司. MRCAにおける再疎通血管の描出と心筋障害の評価. *Prog Med* 2007; 27: 1574-1578.
- 9) Suzuki A, Kamiya T, Ono Y, Kohata T, Okuno M. Myocardial ischemia in Kawasaki disease: Follow-up study by cardiac catheterization and coronary angiography. *Pediatr Cardiol* 1988; 9: 1-5.
- 10) Suzuki A, Kamiya T, Ono Y, Kinoshita Y, Kawamura S, Kimura K. Clinical significance of morphologic classification of coronary arterial segment stenosis due to Kawasaki disease. *Am J Cardiol* 1993; 71: 1169-1173.
- 11) 北爪勉, 鈴木淳子, 武村濃, 藪部友良, 土屋恵司. 川崎病冠動脈障害における石灰化のMR画像診断について. *Prog Med* 2006; 26: 1572-1576.
- 12) 北爪勉, 鈴木淳子, 武村濃, 藪部友良, 土屋恵司. Detection of intimal thickening on coronary arterial walls in patients with a history of Kawasaki disease by using a new MR imaging sequence. *日児循学誌* 2011; 27: 35-42.
- 13) Takahashi K, Oharaseki T, Naoe S. Pathological study of postcoronary arteritis in adolescents and young adults: With reference to relationship between sequelae of Kawasaki disease and atherosclerosis. *Pediatr Cardiol* 2001; 22: 138-142.
- 14) 北爪勉, 鈴木淳子, 武村濃, 稲葉利佳子, 土屋恵司, 藪部友良, 小川俊一. 川崎病後のACバイパス術後例のMRIによる経過観察の有用性について. *日児誌* 2007; 3: 111: 1282-1288.