

ル法により行った。

対象疾患は表1に示すように、大動脈縮窄症（複合型を含む）5例・大動脈弁上狭窄症4例・肺動脈弁狭窄症2例・両大血管右室起始症5例・心室中隔欠損症3例・心内膜床欠損症2例・心房中隔欠損症2例・大血管転位症2例などである。

使用装置は島津製作所製 SMT-50（超伝導 0.5 T）であり、体重 10 kg 以下の乳幼児では、ヘッドコイルを使用して撮影を行った。まず心電図同期スピネコー法により、形態診断を行った。

患児の体格に応じて 5 mm～10 mm のスライス幅で横断面、冠状断面、矢状断面、および四腔断面を適時用いて形態の観察を行った。四腔断面は、以下の手順により描出した。まず左室が最も明確に描出された横断面を用いて心尖部と心基部を結ぶ左室長軸像（斜位矢状断面）を求め、この左室長軸像の心尖部と僧帽弁接合部を結ぶ断面として設定した（図1）。また大動脈弓は、上行大動脈と下行大動脈を結ぶ断面と大動脈弓上端とを結ぶ断面で形態診断を行った（図

2）。横断面により、心房・心室の形態が把握され、欠損孔の描出も可能であった。また、右室流出部と主肺動脈は、右室流出部と左右主肺動脈分岐部を結ぶ斜位矢状断面で形態診断を行った（図3）。

以上の方法でそれぞれの症例の構造異常が最も明確に描出される断面を設定した後、FLASH（Fast Low-Angle Shot）法（flip angle：30°，TE：15 msec，TR：30～40 msec，画像収集マトリクス：128×128）を用い、心拍数により1心拍を11～18分割したシネモード画像を得た。得られたシネモード画像は、ビデオに収録した。

12歳以下の患児は、全例リン酸トリクロロエチルナトリウム 150 mg/kg 経口、またはチアミラールナトリウム静注を用いた睡眠下に撮影を行った。

結 果

(1) 形態診断

スピネコー法によるMR像で、各疾患の構造異常は明確に描出され、狭窄病変の観察も可

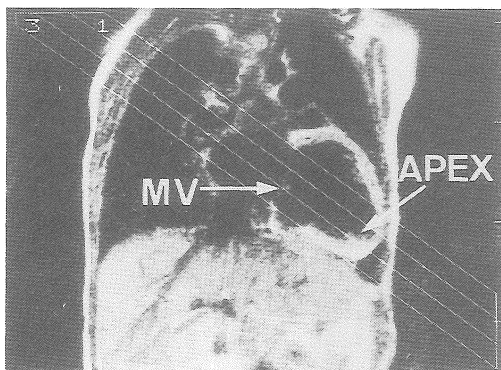


図1：四腔断面の断面設定法
横断面より求めた左室長軸像（写真）で、心尖部（APEX）と僧帽弁接合部（MV）を結ぶ断面として描出した。

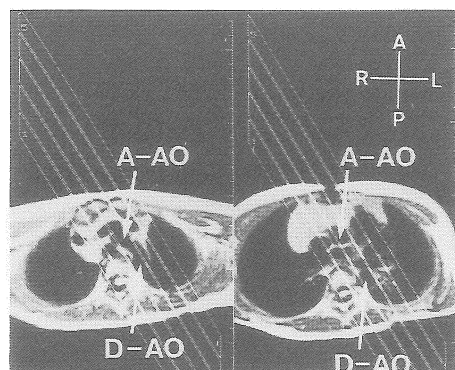


図2：大動脈弓描出断面
横断面にて上行大動脈（A-AO）と下行大動脈（D-AO）を結ぶ断面（右）と、大動脈弓上端（左）とを合わせた断面として描出した。

受付年月日 昭和63年10月28日

別刷請求先 (〒830) 久留米市旭町67 久留米大学医学部小児科 赤木禎治

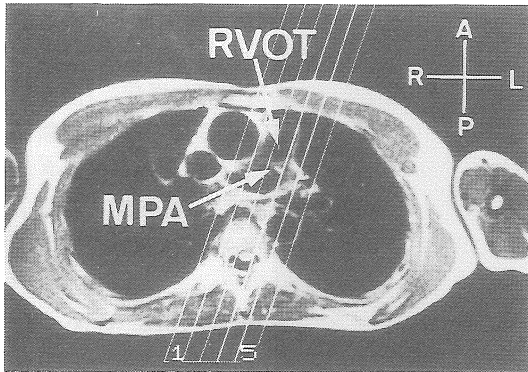


図3：右室流出路および主肺動脈描出断面
右室流出部 (RVOT) と主肺動脈 (MPA) から左右肺動脈の分岐する部を結ぶ断面として描出した。

た肺動脈末梢や肺静脈の描出も、横断面が適していた。

大動脈弓は、今回用いた斜位矢状断面により弓全体にわたる描出が可能で、大動脈縮窄症や動脈管開存症の診断に有用であった。

右室流出路と肺動脈主幹部は、今回用いた斜位矢状断面、あるいは冠状断面により、明確に描出された。

四腔断面は、心房中隔欠損症や心室中隔欠損症の欠損孔の描出に優れており、横断面よりも明確に描出された。

兩大血管右室起始症や大血管転位症では、冠状断面で円錐部が描出され、心室・血管関係の把握も容易であり、形態診断が可能であった。また左室や右室の形態の評価が可能であった。

(2) 血行動態評価

全例において動画として観察が可能であった。心房・心室・大血管の血流は、それぞれの周囲組織 (心房・心室・血管壁) よりも高信号領域として描出された。心房・心室の壁運動の評価も可能であった。拡張期に心房より心室へ流入する血流や、収縮期に肺動脈・大動脈より駆出される血流は、それぞれの流出部付近では、低信号領域として描出された。また、左右短絡血流や弁閉鎖不全にともなう逆流血流も、低信号領域として描出された。また狭窄部の血流は、低信号領域として描出されることが多かった。

しかしながら、呼吸性不整脈を有する症例や心不全のため胸廓の動きの大きな症例では、ア

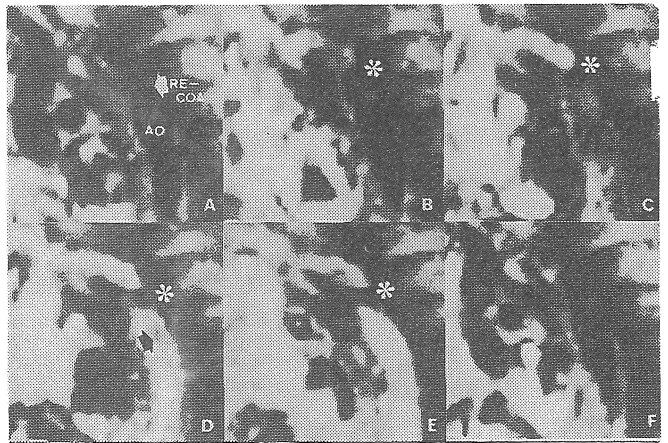
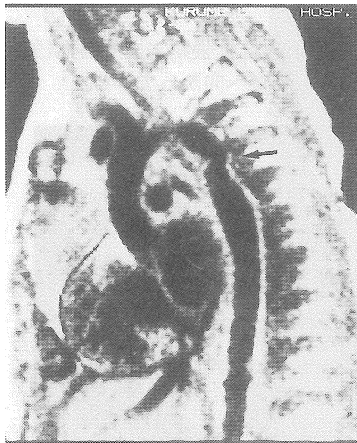


図4：〔症例1〕大動脈縮窄症術後再狭窄例
左：SE像 (TR=500 msec；TE=29 msec)
下行大動脈に狭窄所見が描出されている (矢印)。
右：シネ MRI 像

収縮期 (B~E) に狭窄部 (*) を通り下行大動脈へ流れる血流が、高信号領域として描出されている。また狭窄部より出現するジェット状の低信号領域も描出されている (D, 矢印)。

一チファクトが多く良好な画像は得られなかった。シネ MRI の撮影時間は、患児の心拍数に依存し 3～5 分を要した。患児一人あたりの MRI 検査総所要時間は、40～90 分であった。以下に症例を提示する。

[症例 1] 2 歳女児。大動脈縮窄症複合型術後再狭窄例。(図 4)

スピネコー法による MRI 像では、斜位矢状断面で狭窄所見が明確に認められた。同断面のシネ MRI 像では、狭窄部を通過する血流が高信号領域として描出された。さらに、狭窄部より

出現し大動脈後壁側に向かうジェット状の低信号領域が確認された。

[症例 2] 13 歳女児、心房中隔欠損症。(図 5)

スピネコー法による MRI 像では、四腔断面にて、二次孔欠損と拡大した右心系が描出された。同断面のシネ MRI 像では、拡張期に左房より欠損孔を通して右房から右室へ向かう低信号領域が認められた。

[症例 3] 5 歳男児、心室中隔欠損症 (type 2)。(図 6)

スピネコー法による MRI 像では、四腔断面

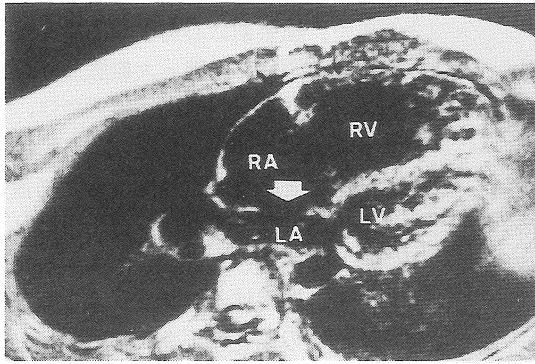
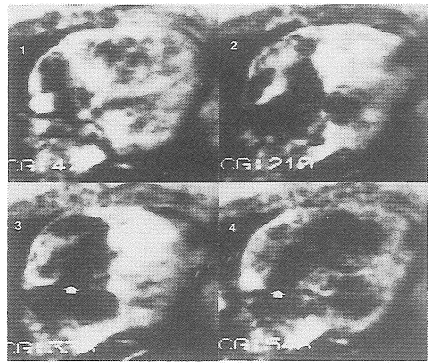


図 5 : [症例 2] 心房中隔欠損症
左 : SE 像 (TR=660 msec ; TE=29 msec)
矢印に欠損孔を示す。



右 : シネ MRI 像
低信号領域の短絡血流は、拡張期(4)に欠損孔(矢印)を通り、右房から右室へ向かっている。

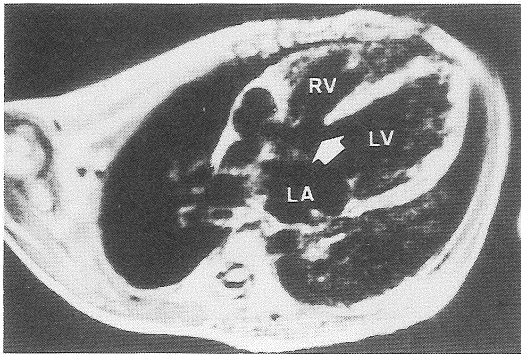
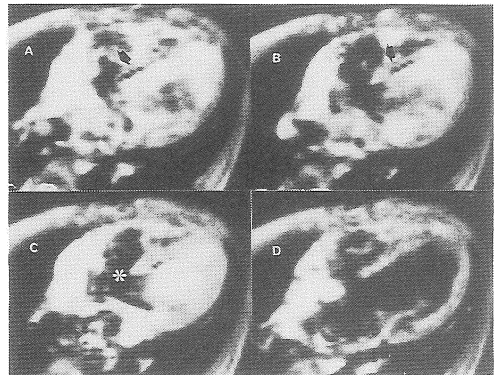


図 6 : [症例 3] 心室中隔欠損症
左 : SE 像 (TR=500 msec ; TE=29 msec)
矢印に欠損孔を示す。



右 : シネ MRI 像
収縮期 (A,B,C) に、欠損孔 (*) を通って右室へ向かう低信号領域 (矢印) が認められる。

にて心室中隔欠損 (type 2) が描出され, 左心系の拡大も認められた. 同断面のシネ MRI 像では, 収縮期に欠損孔を通して左室より右室へ向かう低信号領域が認められた. 左室内腔は高信号領域で描出されているが, 右室は短絡血流のため低信号領域となっている.

考 察

先天性心疾患の診断および血行動態の評価は, 従来より心臓カテーテル法, 心臓血管造影法, さらにドプラー法を加えた心エコー図を用いて行われている. しかしながら, 心臓カテーテル法や心臓血管造影法は造影剤を必要とする侵襲的検査法であり, また心エコー法は非侵襲的ではあるが, 血管系病変や右心系病変の診断には困難なことがある.

心電図同期法を用いた MRI による先天性心疾患の形態診断については, すでにいくつかの報告があり, その優れた空間分解能が知られている¹¹⁻¹⁴⁾. さらに, シネ MRI を用いることにより, 造影剤を使用しない生理的な血行動態の観察が可能である⁶⁾⁻¹⁰⁾.

シネ MRI では, 撮影スライス内へ飽和されていないスピンの流入が常に行われるため, 血流は周囲構造物 (心筋組織や血管壁) よりも高信号で描出される. さらに繰り返し時間 (TR) が短いため, 多時相にわたっての描出が可能であり, シネモード表示することにより血行動態の観察が可能である.

今回の検討では, 心房・心室・大血管における通常の血流は高信号領域として描出された. これに対し, 短絡血流や左右短絡疾患における相対的に増加した心房より心室へ流入する拡張期血流は, 低信号領域として描出された. また狭窄部の血流も低信号領域として描出された. この理由として, スピン位相の均一度が, 血流速度, 血流加速度, 血流方法により乱れ, 低信

号領域を生じるものと考えられている¹¹⁾. 本検討中, 症例 1 では拡張期に大動脈腔内全体が無信号を呈し, 収縮期に高信号領域が上行大動脈の方から移動してきているように見える. 現時点では経験症例も少なく明確な解釈は困難であるが, これは FLASH 法としては比較的長い echo time となったため, dephasing を生じた可能性が考えられる. しかしながら, シネ MRI における高信号領域や低信号領域の成因は, いまだ十分に解明されておらず, 今後も検討が必要である.

本法を先天性心疾患 (小児期) の診断に用いるうえでの臨床上的問題点としては, ①どのような断面を設定するか, ②どのようにして長時間の鎮静を得るか, ③圧較差の評価が可能か, などがあげられる.

断面設定方法は, 心内構造を描出するうえで最も重要な因子である. 設定断面が不十分であると, 病変部位の描出能は著しく低下し, 仮に描出できた場合も空間的把握は困難なことが多い. また次に行うシネ MRI では目的とした血流の描出が困難であったり, 心周期にともない病変部位がスライス面より逸脱する事があり, 安定した血流情報が得られず血流評価は困難となる.

今回の検討では, 大動脈病変は上行大動脈と下行大動脈とを結ぶ面と大動脈弓上端を結ぶ斜位矢状断面として描出した. 単に上行大動脈と下行大動脈を結ぶ斜位矢状断面を用いるのみでは, 大動脈弓は三次元構造をとるため, 1 断面では大動脈弓全体を描出することはしばしば困難である. 心房中隔欠損症や心室中隔欠損症では, 横断面のみの観察では適切な断面が得られないことがあり, この場合四腔断面を用いることで良好な断面が得られた. 肺動脈病変では, 右室流出部と左右肺動脈分岐部を結ぶ斜位矢状断面が有用であった. このように, 各病変部位に応じた断面の設定が重要である.

MRI は、心エコー法に比べ 1 回の検査に長時間を要する。各断面の描出に要する時間は心拍数に依存し、3～5 分で撮影可能であるが、検査全体では約 1 時間を要し、さらに設定断面を変化させないために、検査開始より終了まで一定の体位をとる必要がある。このことは特に小児では困難なことが多く、長時間の安静を得るため十分な鎮静を取る必要がある。乳幼児ではリン酸トリクロルエチルナトリウム 150 mg/kg の経口投与でほぼ安定した鎮静が得られたが、小児期の患児では不十分なことが多く、チアミラールナリウム静注を用いた睡眠下に撮影を行った。また呼吸などによる胸部の動きは、アーチファクトの原因となり、心不全例では良好な画像が得られないことがあった。

圧較差の推定については、MRI およびシネ MRI では、一般的に不可能といわれている。しかしながら、大動脈縮窄症における狭窄部からのジェット状の無信号領域の長さや狭窄程度が相関するという報告もあり⁴⁾、今後の検討が必要である。

本法は、胸郭の形態や肺による影響を受けず、広い範囲で詳細な検討が可能である。先天性心疾患における本法の応用は、断層心エコー図では形態観察の困難だった大動脈縮窄症などの大動脈病変⁹⁾¹⁰⁾、肺動脈末梢病変および肺静脈病変の診断や血行動態評価、また大血管転位症における右室容積をはじめとする心機能評価⁷⁾¹²⁾で特に有用と考えられる。さらに非侵襲的に繰り返し施行することが可能なため術後評価にも有用で、術後経過を追うために繰り返し行われる心臓カテーテル検査の回数を減らすことも可能である⁷⁾¹⁰⁾。今後臨床の有用性はますます広まるものと思われる。

文 献

- 1) A.S. Gomes, J.F. Lois, B. George, et al.: Congenital abnormalities of the aortic arch: MR imaging. *Radiology*. 165; 691-695, 1987.
- 2) L. Diethelm, R. Déry, M.J. Lipton, et al.: Atrial

-level shunts: Sensitivity and specificity of MR in diagnosis. *Radiology*. 162: 181-186, 1987.

- 3) M. Sakakibara, S. Kobayashi, H. Imai, et al.: Diagnosis of atrial septal defect using magnetic resonance imaging. *J. Cardiol*. 17: 817-829, 1987.
- 4) S. Rees, J. Somerville, C. Warnes, et al.: Comparison of magnetic resonance imaging with echocardiography and radionuclide angiography in assessing cardiac function and anatomy following Mustard's operation for transposition of the great arteries. *Am.J. Cardiol*. 61: 1316-1322, 1988.
- 5) 丹羽広一郎, 田島和幸, 岡嶋良知, 他: 心臓腫瘍の磁気共鳴画像診断. *日児誌*, 92: 1960-1963, 1988.
- 6) 大西修作, 福井須賀男, 渥美千里, 他: 高速スキャンによる心血管腔内血流動態の検討. *日磁医誌*. 8: 3, 1988.
- 7) K.J. Chung, I.A. Simpson, R.F. Glass, et al.: Cine magnetic resonance imaging after surgical repair in patients with transposition of great arteries. *Circulation*. 77: 104-109, 1988.
- 8) U. Sechtem, P.W. Pflugfelder, M.M. Cassidy, et al.: Mitral or Aortic regurgitation: Quantification of regurgitant Volumes with cine MR imaging. *Radiology*. 167: 425-430, 1988.
- 9) I.A. Simpson, K.J. Chung, R.F. Glass, et al.: Cine magnetic resonance imaging for evaluation of anatomy and flow relations in infants and children with coarctation of the aorta. *Circulation*. 78: 142-148, 1988.
- 10) E.R. Bank, A.M. Aisen, A.P. Rocchini, et al.: Coarctation of the aorta in children undergoing angioplasty: Pretreatment and posttreatment MR imaging. *Radiology*. 162: 235-240, 1987.
- 11) M. Deimling, E. Mueller, G. Lenz, et al.: Description of flow phenomena in magnetic resonance imaging. *Diagn. Imaging. Clin. Med*. 55: 37-51, 1986.
- 12) C.B. Higgins, W. Holt, P.W. Pflugfelder, et al.: Functional evaluation of the heart with magnetic resonance imaging. *Magn. Reson. Med*. 6: 121-139, 1988.

Cine Magnetic Resonance Imaging in Congenital Heart Disease - Evaluation of Cardiac Structure and Flow Dynamics -

Teiji Akagi

(Department of Pediatrics and Child Health, Kurume University, School of Medicine.)

Yumi Kiyomatsu

(Department of Pediatrics and Child Health, Kurume University, School of Medicine.)

Hirohisa Kato

(Department of Pediatrics and Child Health, Kurume University, School of Medicine.)

Takaharu Eto

(Division of Pediatric Cardiology, St. Mary's Hospital.)

Toushi Abe

(Department of Radiology, Kurume University, School of Medicine.)

Hiroshi Nishimura

(Department of Radiology, Kurume University, School of Medicine.)

Hisashi Ohtake

(Department of Radiology, Kurume University, School of Medicine.)

Cine magnetic resonance imaging (MRI) was performed in 33 patients aged 19 days to 18 years (mean 5.1 years), who had congenital heart disease confirmed at echocardiography or angiography. Prior to cine MRI, gated MRI with spin echo (SE) sequence was performed to evaluate cardiac structure. Cine MRI was demonstrated by fast low flip angle shot imaging technique with a 30° flip angle, 15 msec echo time, 30~40 msec pulse repetition time, and 128X128 acquisition matrix. Abnormalities of cardiac structure were extremely well defined in all patients. Intracardiac and intravascular blood flow were visualized with high signal intensity area, whereas ventricular filling flow and left to right shunt flow through ventricular septal defect and atrial septal defect were visualized with low signal intensity area. However, in the patients who had severe congestive heart failure or respiratory arrhythmia, the good recording of cine MRI was not obtained because of artifacts. Gated MRI with SE sequence provides excellent visualization of fine structures, and cine MRI can provide high spatial resolution imaging of flow dynamic in a variety of congenital heart disease, noninvasively.