

シネ磁気共鳴画像法による
左右短絡を有する先天性心
疾患の血流評価

Cine magnetic resonance
imaging for evaluating
flow dynamics in con-
genital heart diseases
with left-to-right shunts

赤木 禎治
才木 邦宣
大原 延年
高木 純一
豊田 温
清松 由美
加藤 裕久

Teiji AKAGI
Kuninobu SAIKI
Nobutoshi OHARA
Junichi TAKAGI
On TOYODA
Yumi KIYOMATSU
Hirohisa KATO

Summary

Cine magnetic resonance imaging (cine MRI) was used to evaluate the cardiac structures and blood flow in congenital heart diseases with left-to-right shunts. Fifteen children with left-to-right shunts which were confirmed by echocardiography or angiography were investigated in the present study. Five children each had atrial septal defect, ventricular septal defect, and complete endocardial cushion defect. Their ages ranged from 4 months to 13 years (mean 5.5 years). Prior to cine MRI, the ECG-gated cardiac imaging using multi-slice acquisition was performed in all the children to localize the optimal slice for cine MRI. To select the optimal imaging planes for various cardiac structures, we used axial, coronal, sagittal and four-chamber views. Cine MRI was demonstrated by a fast low 30 degree flip angle imaging technique, with a 15 msec echo time, a 30~40 msec pulse repetition time, and a 256 × 256 or 128 × 128 acquisition matrix. Abnormalities of cardiac structures were defined extremely well in all the children using ECG-gated cardiac imaging. In 14 of the 15 children (93%), cine MRI clearly detected a left-to-right shunt flow, which was visualized as a low signal intensity area compared to the surrounding blood flow.

Noninvasively, cine MRI provides accurate images of the anatomy of the cardiac structures, makes functional assessments of the cardiac chambers and walls, and flow relationships. It has no limitations of imaging planes imposed bones and lung, and is not associated with technical difficulties as required with echocardiography which has small cardiac window.

We conclude that cine MRI will become one of the most important noninvasive techniques for diagnosing congenital heart diseases with left-to-right shunts.

久留米大学医学部 小児科
久留米市旭町 67 (〒830)

Department of Pediatrics and Child Health, Kurume
University School of Medicine, Asahi-machi 67,
Kurume 830

Received for publication September 18, 1989; accepted December 26, 1989 (Ref. No. 36-K16)

Key words

Magnetic resonance imaging
Left-to-right shunt

Cine magnetic resonance imaging

Congenital heart disease

目 的

磁気共鳴画像法 (MRI) は非侵襲的で優れたコントラスト分解能をもち、任意の断面像が得られるため、臨床上的有用性が高く、適応も急速に広まっている。心血管領域における MRI の利用は心電図同期法の導入により可能となり、形態診断¹⁻⁹⁾や心機能評価^{10,11)}を中心に臨床応用されている。しかしながら、心電図同期 MRI 像は任意の一時期の静止画像であり、動きを表すことは困難である。

最近、高速イメージング法により、心電図同期を併用した同一断面における多時相の画像を得ることが可能となり、あたかも血管造影のような動画として表示できるようになってきた¹²⁻¹⁷⁾。本法はシネ MRI と呼ばれ、先天性心疾患においても、臨床的有用性が報告され始めている^{12,13)}。今回、我々は、左右短絡を有する先天性心疾患患児について、シネ MRI の臨床的有用性を検討した。

対象と方法

対象は左右短絡を有する先天性心疾患患児 15 例 (心房中隔欠損症 5 例, 心室中隔欠損症 5 例, 完全型心内膜床欠損症 5 例) で、年齢は 4 ヶ月～13 歳 (平均 5.5 歳) である。これらの患児ではシネ MRI 施行前に全例断層心エコー図検査が施行されており、また 12 例は心臓カテーテル検査を施行されていた。断層心エコー図および心臓カテーテル検査とシネ MRI 検査までの期間は 1 ヶ月以内であった。不整脈を有する患児や重度の心不全状態の患児は除外した。

12 歳以下の患児は、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 (max. 5 mg/kg) 静注を用いた睡眠下

に撮影を行った。

装置は島津製作所製 SMT-50 (超伝導 0.5 T) を使用した。体重 10 kg 以下の幼児では、ヘッドコイルを使用して撮影した。

まず各疾患の形態診断とシネ MRI を行う至適断面を設定するため、マルチスライス法を用いた心電図同期スピネエコー像 (SE 像) を撮影した。繰り返し時間 (repetition time: TR) は、心電図同期法のため患児の心拍数に依存した。エコー時間 (echo time: TE) は 29 msec から 35 msec とした。

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・四腔断面を適時用いて撮影を行い、心房中隔や心室中隔の欠損孔の有無、また心房心室の形態、血管関係の観察を行った。四腔断面は、横断面より左室長軸像を求め、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描出した。

以上の方法でそれぞれの症例の形態診断と至適断面を設定した後、FLASH (fast low-angle shot) 法 (flip angle: 30°, TE: 15 msec, TR: 30～40 msec) 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。

結 果

それぞれの疾患の形態診断は、心電図同期 MRI (SE 像) により全例診断可能であった。

心房中隔欠損症では、全例横断面で心房中隔の欠損と拡大した右心室を確認できた。5 例中 3 例は四腔断面の撮影も施行し、欠損孔は横断面より明確に描出された。心室中隔欠損症の 5 例中 2 例は、横断面では欠損孔が不明瞭であったため、四腔断面の撮影を加え診断を確定した。心内膜床欠損症は全例横断面で一次中隔の欠損が診断でき

た。

シネ MRI による血行動態評価は、15 例中 14 例 (93%) で可能であった。15 例中 1 例は至適断面設定後に体動があったため、適当な断面が得られなかった。心内腔は心房・心室・血管壁と比べ、高信号領域として描出された。各疾患における左右短絡血流は、周囲の血流に比べ低信号領域として描出された。また心房・心室の壁運動の評価も可能であった。シネ MRI 画像の 1 断面の撮影に要する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。

症例提示

症例 1: 13 歳女児, 心房中隔欠損症 (Fig. 1)

カラードップラー心エコー図では、左房より欠損孔を通して右房から右室へと向かう短絡血流が観察された。心臓カテーテル検査では肺体血流比は 2.5 と、中等度の短絡量が確認された。また僧帽弁閉鎖不全や三尖弁閉鎖不全は認めず、肺高血圧も認めなかった。

心電図同期 MRI (SE 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短絡血流が、周囲の血流より低信号領域として認められた。シネ MRI ではカラードップラー心エコー図に比べ、より心尖部まで血流の観察可能であった。

症例 2: 5 歳男児, 心室中隔欠損症 (Fig. 2)

左室造影四腔断面像により心室中隔欠損 (Kirklin type 2) が描出された。心臓カテーテル法による肺体血流比は 2.4 であった。

心電図同期 MRI (SE 像) では、四腔断面にて心室中隔欠損 (Kirklin 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短絡血流が、周囲の血流に比べ低信号領域として描出された。左室内腔は高信号領域として描出されたが、他方、右室は短絡血流のため低信号

領域として描出された。

症例 3: 2 歳女児, 心内膜床欠損症 (Fig. 3)

カラードップラー心エコー図では、欠損孔を通して左室から右室へ向かう短絡血流とともに、左室より共通房室弁を通過して右房へ向かう短絡血流も描出された。心臓カテーテルによる肺体血流比は 3.4 であった。

心電図同期 MRI (SE 像) では、横断面で一次中隔の欠損が描出された。同断面のシネ MRI 像では心室中隔欠損症例と同様に、収縮期に左室から右室へ向かう短絡血流は、周囲の血流より低信号領域として描出された。さらに収縮期に、左室より共通房室弁を通過して右房へ流れる短絡血流も描出された。この血流は三尖弁の右房側に沿って右房自由壁へ向かっており、カラードップラー心エコー図に比べ、心房全体にわたって血流評価が可能であった。

考 按

心臓は常に拍動する臓器であるため、通常のスピニングエコー法を用いた MRI 像では、心内構造を明確に表示することはできない⁹⁾。このため、心血管系の撮影を行うためには心電図同期法が用いられる。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既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^{1~9)}。しかしながら、心電図同期法による MRI 像はある任意の時相の静止画像であり、心内腔や血管内腔は周囲の心室壁や血管壁に対し、低信号領域として描出され、このため心内構造や心筋肥厚の程度などの形態診断に関する情報は得られるが、血流や心室壁運動といった動態評価は困難なことが多い。

近年、これまで用いられてきたスピニングエコー法などとは全く異なった撮像条件を用いて、極めて短時間に画像を得る高速イメージング法が可能となってきた。この高速イメージング法を心拍同期して行くと、血流を動画として観察でき、これはシネ MRI と呼ばれている^{12~17)}。

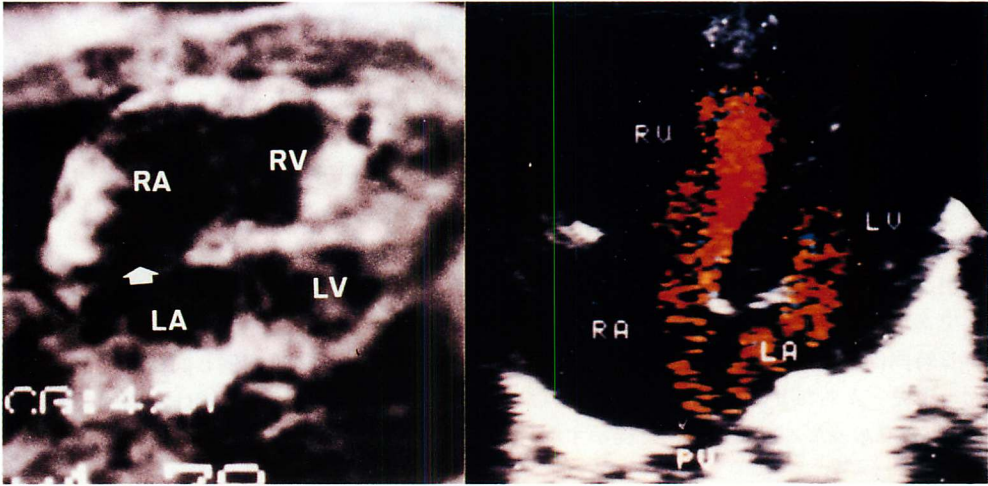


Fig. 1. MRI and color Doppler echocardiogram of a case with atrial septal defect (13-year-old girl).

The shunt flow from the atrial septal defect is demonstrated as a low signal intensity area (arrow) by cine MRI (left). Color Doppler echocardiography also shows the same defect (right).

LA=left atrium; LV=left ventricle; RA=right atrium; RV=right ventricle.

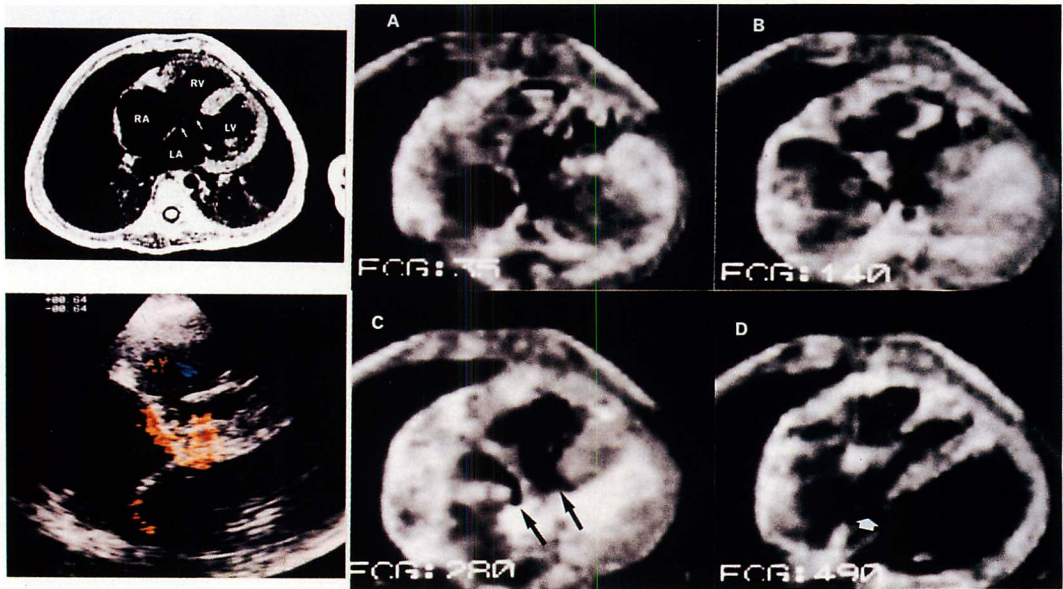


Fig. 3. MRI and color Doppler echocardiogram of a case with endocardial cushion defect (2-year-old girl).

ECG-gated MRI shows an endocardial cushion defect (left above, arrows). Two different shunt flows through the defect are depicted by cine MRI. One is the shunt flow from the left ventricle to the right ventricle, the other is from the left ventricle to the right atrium (right, arrows). Color Doppler echocardiography shows the corresponding findings, although the detected area is more narrow compared with that shown by cine MRI.

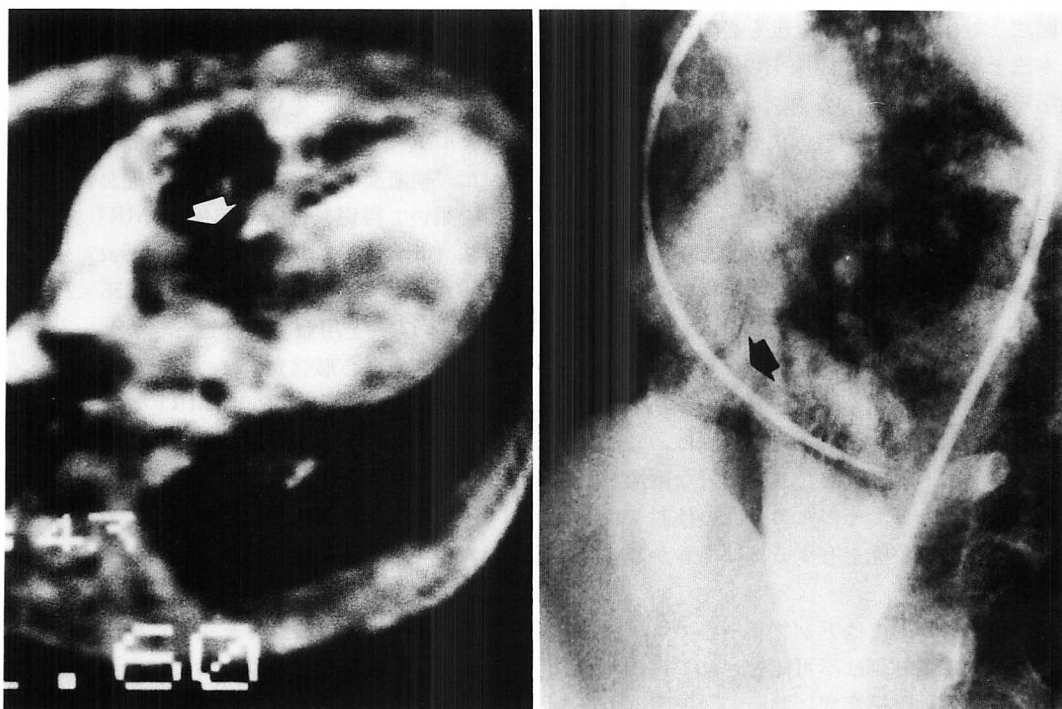


Fig. 2. MRI and left ventriculography in a case with ventricular septal defect (5-year-old boy).

The shunt flow through the ventricular septum defect is shown as a low signal intensity area (white arrow) in cine MRI (left). Left ventriculography confirms this finding (right, black arrow).

現在、心房中隔欠損症や心室中隔欠損症を代表とする左右短絡疾患の診断や血行動態の評価には、心臓血管造影法、digital subtraction angiography (DSA)、およびドップラー法を加えた断層心エコー図法などが使用されている。これらはすべて優れた画像を描出できるが、心臓血管造影法や DSA は造影剤を必要とする観血的検査法であり、乳幼児や重症心不全例では侵襲が大きい。また断層心エコー図はドップラー法を併用することにより非侵襲的に血行動態評価まで可能であるが、右心系病変や血管系の診断には困難なことがある。

これに対しシネ MRI は、形態診断のみならず血行動態の評価も非侵襲的に行うことが可能である。更に他の非侵襲的検査法である断層心エコー図法と比較した最大の特徴は、手術後例や体型に

影響されず、あらゆる断面で画像を描出できることである。また描出断面も広く、大動脈や肺動静脈を含め、心臓全体の位置関係を把握できる。

シネ MRI では、血流は心筋に比べ高信号に描出される。これは、心筋などの比較的静止している組織のスピンは、短い繰り返し時間のために、スピンの磁化がある程度飽和するのに対して、血流などの動きのある物のスピンはそれまで励起されていないためといわれている。今回の検討で、左右短絡疾患の短絡血流は周囲血流より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、血流方向により乱れ、低信号領域を生じるものと考えられている¹⁸⁾。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、血管造影法やドップラー心エコー

一図法と対比した検討が今後にも必要である。

本法を用いる上で、臨床上の問題点としては、撮影時間の問題があげられる。シネ MRI は心エコー図法のようなリアルタイムの表示は不可能で、1回の検査に時間を要する。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時間を要する。更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。また心不全に伴う胸郭の大きな動きや不整脈は、しばしばアーチファクトの原因となり、良好な画像が得られないことがある。そのため今回の検討では、これら心不全や不整脈を有する例はあらかじめ除外した。

またシネ MRI ではドップラー心エコー図法と比べ、一般に圧評価は不可能とされている。しかしながら、大動脈縮窄症において、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、今後の検討が必要である¹⁹⁾。

シネ MRI で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。左右短絡を伴う先天性心疾患における本法の応用は、断層心エコー図だけでは観察の困難な右心系病変や年長例に有用と思われる。更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。したがって今後、臨床的有用性はますます広まるものと思われる。

要 約

左右短絡を有する先天性心疾患患児に対し、シネ MRI を用いて血流評価を行い、臨床的有用性について検討した。対象は断層心エコー図または心血管造影により診断された左右短絡を伴う先天性心疾患患児 15 例(心房中隔欠損症 5 例, 心室中

隔欠損症 5 例, 心内膜床欠損症 5 例)である。患児の年齢は 4 ヶ月から 13 歳(平均 5.5 歳)であった。

シネ MRI に先立ち、至適断面を設定するためマルチスライス法による心電図同期画像を撮影した。横断面・冠状断面・矢状断面および四腔断面を用いて撮影を行った。シネ MRI は FLASH 法 (flip angle: 30°, TE: 15 msec, TR: 30~40 msec, acquisition matrix: 256×256 または 128×128) を用いて施行した。

各疾患の心形態異常は心電図同期像により全例明確に確認された。シネ MRI では、施行した 15 例中 14 例 (93%) で短絡血流を観察することができた。シネ MRI は、左右短絡血流を周囲の血流に比し低信号領域として描出し、カラードップラー心エコー図に比べ、より広い範囲での血流評価が可能であった。

シネ MRI は心形態を正確に描出できるのみならず、心内腔や壁の動きおよび血流を非侵襲的に描出することができる。本法は骨格や肺による描出断面の制限を受けず、心エコー図法のような撮影部位に伴う技術的問題もない。今後、左右短絡を有する先天性心疾患の非侵襲的検査法の一つとして、本法は重要な位置を占めるものと思われる。

文 献

- 1) Diethelm L, Dery R, Lipton MJ, Higgins CB: Atrial-level shunts: Sensitivity and specificity of MR in diagnosis. *Radiology* 162: 181-186, 1987
- 2) Gomes AS, Lois JF, George B, Alpan G, Williams RG: Congenital abnormalities of the aortic arch: MR imaging. *Radiology* 165: 691-695, 1987
- 3) Bank ER, Aisen AM, Rocchini AP, Hernandez RJ: Coarctation of the aorta in children undergoing angioplasty: Pretreatment and posttreatment MR imaging. *Radiology* 162: 235-240, 1987
- 4) Kersting-Sommerhoff BA, Sechtem UP, Higgins CB: Evaluation of pulmonary blood supply by nuclear magnetic resonance imaging in patients with pulmonary atresia. *J Am Coll Cardiol* 11: 166-171, 1988
- 5) Rees RS, Somerville J, Underwood SR, Wright J, Firmin DN, Klipstein RH, Longmore DB: Magnetic resonance imaging of the pulmonary arteries

- and their systemic connections in pulmonary atresia: Comparison with angiographic and surgical findings. *Br Heart J* **58**: 621-626, 1987
- 6) Ross RD, Bisset GS III, Meyer RA, Hannon DW, Bove KE: Magnetic resonance imaging for diagnosis of pulmonary vein stenosis after "correction" of total anomalous pulmonary venous connection. *Am J Cardiol* **60**: 1199-1201, 1987
 - 7) Rumancik WM, Hernanz-Schulman M, Rutkowski MM, Keily B, Ambrosino M, Genieser NB, Naidich DP: Magnetic resonance imaging of cor triatrium. *Pediatr Cardiol* **9**: 149-151, 1988
 - 8) Boxer RA, LaCorte MA, Singh S, Ishmael R, Cooper R, Stein H: Noninvasive diagnosis of congenital left coronary artery to right ventricle fistula by nuclear magnetic resonance imaging. *Pediatr Cardiol* **10**: 45-47, 1989
 - 9) Sakakibara M, Kobayashi S, Imai H, Watanabe S, Masuda Y, Inagaki Y: Diagnosis of atrial septal defect using magnetic resonance imaging. *J Cardiol* **17**: 817-829, 1987 (in Japanese)
 - 10) Higgins CB, Holt W, Pflugfelder PW, Sechtem U: Functional evaluation of the heart with magnetic resonance imaging. *Magn Reson Med* **6**: 121-139, 1988
 - 11) Rees S, Somerville J, Warnes C, Underwood R, Firmin D, Klipstein R, Longmore D: 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
 - 12) Akagi T, Kiyomatsu Y, Kato H, Eto T, Abe T, Nishimura H, Ohtake H: Cine magnetic resonance imaging in congenital heart disease: Evaluation of cardiac structure and flow dynamics. *J J Magn Reson* **9**: 13-19, 1989
 - 13) Sechtem U, Pflugfelder PW, Cassidy MM, White RD, Cheitlin MD, Schiller NB, Higgins CB: Mitral or aortic regurgitation: Quantification of regurgitant volumes with cine MR imaging. *Radiology* **167**: 425-430, 1988
 - 14) Ohnishi S, Fukui S, Atsumi C, Morita R, Kusuhara H, Fujii K, Kitabatake A, Takizawa O: A study of intracardiac blood flow by MRI using gradient echo method. *J J Magn Reson* **8**: 3-9, 1988
 - 15) Chung KJ, Simpson IA, Glass RF, Sahn DJ, Hesselink JR: Cine magnetic resonance imaging after surgical repair in patients with transposition of great arteries. *Circulation* **77**: 104-109, 1988
 - 16) Chung KJ, Simpson IA, Newman R, Sahn DJ, Sherman FS, Hesselink JR: Cine magnetic resonance imaging for evaluation of congenital heart disease: Role in pediatric cardiology compared with echocardiography and angiography. *J Pediatr* **113**: 1028-1035, 1988
 - 17) Buser PT, Auffermann W, Holt WW, Wagner S, Kircher B, Wolfe C, Higgins CB: Noninvasive evaluation of global left ventricular function with use of cine nuclear magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* **13**: 1294-1300, 1989
 - 18) Bradley WG, Waluch V: Blood flow magnetic resonance imaging. *Radiology* **154**: 443-450, 1985
 - 19) Simpson IA, Chung KJ, Glass RF, Sahn DJ, Sherman FS, Hesselink J: 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