

## 磁気共鳴画像による心房中 隔欠損の診断

## Diagnosis of atrial septal defect using magnetic resonance imaging

榊原 誠  
小林 史朗  
今井 均  
渡辺 滋  
増田 善昭  
稲垣 義明

Makoto SAKAKIBARA  
Shiro KOBAYASHI  
Hitoshi IMAI  
Shigeru WATANABE  
Yoshiaki MASUDA  
Yoshiaki INAGAKI

### Summary

We studied the morphological features of defects of the interatrial septum using magnetic resonance imaging (MRI) to determine the sizes of defects and other abnormalities. MR images were obtained in 28 patients with atrial septal defect, including five cases with complicated anomalies (two with Ebstein's anomaly, one pentalogy of Fallot, and one anomalous pulmonary vein connection and azygos continuation). Images were also obtained in the control subjects including seven normal volunteers and 142 patients with various acquired heart diseases. The diagnosis of atrial septal defect was established by cardiac catheterization, angiography and two-dimensional echocardiography prior to the MRI studies, and in 14 patients, the diagnosis was confirmed by surgery. The MRI unit had a superconducting magnet and operated at 0.25 or 0.50 Tesla. A spin echo pulse sequence was used with an echo time of 40 or 60 msec.

At the beginning of this study, non-gated MRI images were obtained in the 28 controls and in three patients with atrial septal defect. Nongated MRI could not image the anatomical structure of the interatrial septa of 12 of the 28 controls, or any of the three patients with atrial septal defect. Nongated MRI was, therefore, inadequate for visualizing cardiac anatomy.

Gated MRI images were obtained in 141 controls and in 25 patients with atrial septal defect. Gated MRI revealed the interatrial septum, interventricular septum, atrioventricular septum, mitral valve, tricuspid valve and other intracardiac structures in most subjects. In 17 control subjects (12%), however, there was a very faint signal from the central portion of the interatrial septum. In these instances, there was a gradual fading of the signal of the interatrial septum, so that they could be distinguished from the atrial septal defect.

The sudden disappearance of the signal from the interatrial septum was observed by gated MRI in all 25 patients with atrial septal defect. The sizes of the defects by MRI coincided with the findings at surgery in all 14 patients. MRI showed right atrial dilatation, right ventricular hypertrophy and dilatation, and pulmonary artery dilatation in most of the patients having atrial septal defect.

Complex anomalies associated with atrial septal defect were also clearly shown by MRI, such as

千葉大学医学部 第三内科  
千葉市亥鼻 1-8-1 (〒280)

The Third Department of Internal Medicine, Chiba  
University School of Medicine, Inohana 1-8-1, Chiba  
280

Received for publication February 5, 1987; accepted April 15, 1987 (Ref. No. 31-59)

displacement of the tricuspid leaflets in two patients with Ebstein's anomaly, and anomalous pulmonary venous connection and persistent left superior vena cava in one patient.

These results indicated that gated MRI is a valuable noninvasive method of diagnosing atrial septal defect and complicating anomalies.

### Key words

Magnetic resonance imaging (MRI)

Atrial septal defect (ASD)

Interatrial septum

## 目 的

心房中隔欠損症 (atrial septal defect, 以下 ASD) における欠損孔の検出は, 断層心エコー図法や造影 X 線 CT 法によっても困難な事が多い。一方, 最近の MRI (magnetic resonance imaging) の性能の進歩は著しいものがあり, これによって造影剤を使用せずに心血管系の構造物を容易に判別することが可能となり, 本邦においても循環器疾患の分野でその臨床応用が進んでいる<sup>1-8)</sup>。今回, 我々は ASD 診断に対する MRI の有用性について検討したので報告する。

## 対象と方法

対象は ASD 28 例 (男子 14 例, 女子 14 例, 平均年齢  $43.6 \pm 14.7$  歳) で, その内訳は ASD 単独 23 例, Ebstein 奇形合併 2 例, Fallot 五徴症 1 例, 左上大静脈遺残兼右肺静脈還流異常合併 1 例, 下大静脈欠損合併 1 例であった (Tables 1 & 2)。最終的診断は, 14 例が手術により, 8 例が心臓カテーテル法により確認されているが, 他の 6 例では, 心音図, 断層心エコー図, X 線 CT 検査等により診断された。また, 対照群として健常志願者 7 例と各種の後天性心血管疾患 142 例を選んだ。

0.25 ないし 0.5 テスラの超伝導タイプ MR-CT 装置 (Picker International 製) を使用し, 撮像法としてスピンエコー法を用いた。スライス厚は主に 10 mm (一部で 5 mm) を用い, 収集マトリクスおよび画像マトリクスは  $256 \times 256$  または  $512 \times 512$  を選んだ。このさい空間分解能は約 2

mm である。原則として心拍同期法を用いたが, 心拍同期法がまだ導入されていなかった稼働初期には非同期法で撮像した。非同期スピンエコー法における最良のパルス条件を種々検討した結果, 本施設での MR-CT 装置では, 検査時間の短縮化も考慮して, 心構造の把握にはパルス繰り返し時間を 300 msec, エコー時間を 24 msec とした。心拍同期スピンエコー法では心電図の R 波をトリガーとして任意の心時相が容易に得られるが, 我々は主に拡張末期像と収縮末期像を撮像した。パルス繰り返し時間はその心拍間隔に一致させ, エコー時間を 40 msec に設定して撮像した。このさい, 拡張末期像は心電図の R 波から遅れ時間 0 msec で励起パルスを印加し, エコー時間後 (40 msec) に信号を得, 収縮末期像は心電図の T 波の頂点に一致するような R 波からの遅れ時間を取り, エコー信号を得た。検査時間は 1 例を 60 分以内とした。

## 結 果

### 1. 対照群の MRI

1. 心拍非同期法: 心奇形のない 149 例について, 心拍非同期スピンエコー法を用い, 心構造描出能の評価を行った。心室中隔レベルの横断像では, 心室中隔は 36 例中 33 例 (92%) で描出され, 心房中隔レベルの横断像では, 心房中隔は 28 例中 16 例 (57%) で描出された。しかし, 非同期法で心房中隔が描出されるのはその上部が多く, 心房中隔中央部は, 描出されにくく 14 例中 2 例 (14%) に認められるに過ぎなかった。さらに心室中隔や心房中隔が描出された例でも不明瞭なこと

Table 1. MRI findings in patients with isolated ASD

	MRI findings						Methods of final diagnosis ( )=defect size (mm)
	Defect size (mm)	RAD	RVD	RVH	PAD		
1*	KY	43 m	—	○		○	Surgery
2*	TS	58 m	—	○	○		Surgery
3	OH	48 m	30×25	○	○	○	2D-Echo, PCG, chest X-ray, etc
4	YH	31 m	8×—	○	○	○	Surgery (15×7)
5	NI	66 f	22×18	○	○	○	Catheterization
6	TS	14 m	12×—	○	○		Surgery (23×18)
7	YJ	41 m	22×11	○	○	○	Catheterization
8	KJ	54 f	40×30	○	○	○	Surgery (37×22)
9	KM	65 f	22×15	○	○	○	Surgery (25×15)
10	HY	48 m	16×—	○	○	○	Surgery (15×15)
11	SS	46 f	30×25	○	○	○	2D-Echo, PCG, chest X-ray, etc
12	OT	65 m	27×24	○	○	○	Catheterization
13	NY	15 m	22×22	○	○	○	Surgery (30×—)
14	MK	58 f	15×13	○		○	Catheterization
15	HT	16 m	29×27	○		○	Surgery (30×8)
16	KK	30 f	15×10	○	○	○	Surgery (23×16)
17	NM	37 f	16×12	○	○	○	2D-Echo, PCG, chest X-ray, etc
18	OH	65 m	34×30	○	○	○	2D-Echo, PCG, chest X-ray, etc
19	OF	42 f	28×27	○	○	○	Surgery
20	ST	35 f	20×—	○	○	○	Catheterization
21	EM	48 f	32×28	○	○	○	2D-Echo, PCG, chest X-ray, etc
22	NK	36 m	33×32	○	○	○	2D-Echo, PCG, chest X-ray, etc
23	NT	54 f	28×28	○	○	○	2D-Echo, PCG, chest X-ray, etc

\*=ungated; —=not measured.

2D-Echo=2 dimensional echocardiography; PCG=phonocardiography; RAD=right atrial dilatation; RVD=right ventricular dilatation; RVH=right ventricular hypertrophy; PAD=pulmonary artery dilatation.

が多く、その他の弁膜や冠血管の描出も困難であることと合わせ、心構造の詳細な把握には、非同期法は不十分であると考えられた。

2. 心拍同期法: 心拍同期法による心構造の描出能を検討した。健常例の4腔レベルの心横断像(Fig. 1a)では、心拍同期により、心房中隔、心室中隔、房室中隔、僧帽弁、三尖弁が明瞭に描出され、また、各心室や心房の大きさと心筋の厚さの測定も容易であった。心房中隔描出の程度を拡張末期像と収縮末期像で比べると、心房中隔は収縮末期像でより明瞭であった。心拍同期スピネコ

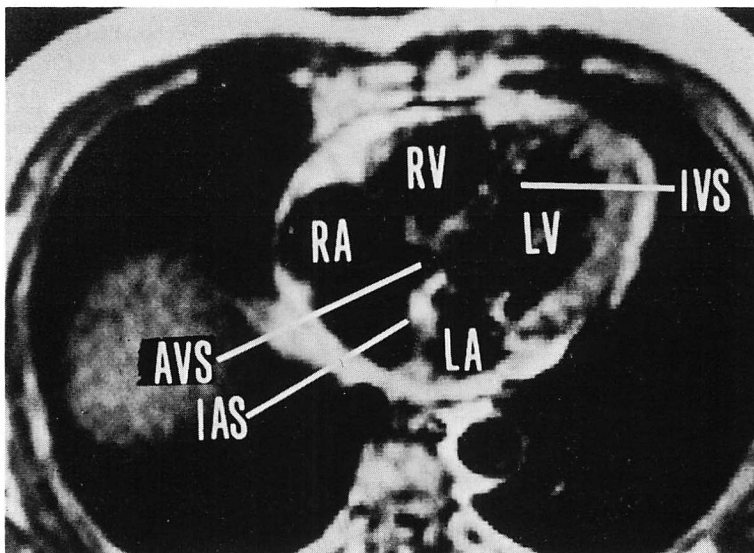
一法の横断像では、心室中隔は143例全例で明瞭に描出された。一方、心房中隔は141例中124例(88%)で描出されたが(Table 3)、17例(12%)では心房中隔が欠損様であり、そのうち12例では心房中隔中央部において信号強度が徐々に低下し(Fig. 2A)、5例では急激に信号強度が低下した。速やかな信号強度の低下を示した5例中3例は比較的画質の劣る例であったが、2例(健常志願者1例、陳旧性心筋梗塞1例)は良好な画像であったにもかかわらず、後述のASD例と類似した心房中隔の欠損像を示し、心房中隔像のみでは

**Table 2. MRI findings in patients with ASD having complicated lesions**

			Complications	MRI findings	Methods of final diagnosis
24	KT	54 F	Azygos continuation of IVC	ASD (18×16), RAD, RVH, azygos continuation	Surgery (22×5)
25	KK	49 M	Anomalous PV connection, bilateral-SVC	ASD (18×16), RAD, RVD, RVH, PAD, right pulmonary vein to RA, bilateral-SVC,	Surgery (18×-)
26	KM	38 F	Ebstein's anomaly	ASD (11×-), abnormal tricuspid valve, atrialized inflow portion of RV	Catheterization
27	NH	25 M	Ebstein's anomaly	ASD (10×-), abnormal tricuspid valve, atrialized inflow portion of RV	Catheterization
28*	HM	40 F	Falot's pentalogy	VSD, overriding aorta, PS, RVH	Surgery

\*; ungated

IVC=inferior caval vein; RAD=right atrial dilatation; RVH=right ventricular hypertrophy; RVD=right ventricular dilatation; PAD=pulmonary artery dilatation; RA=right atrium, RV=right ventricle; PS=pulmonary stenosis.



**Fig. 1. Normal transverse MR image at the level of the inflow portion of the left ventricle (29-year-old man: gated SE; TR=850 msec; TE=40 msec; end-systolic image).**

The interatrial septum (IAS), interventricular septum (IVS) and atrioventricular septum (AVS) are clearly visualized.

LA=left atrium; LV=left ventricle; RA=right atrium; RV=right ventricle; SE=spin echo; TR=repetition time; TE=echo time.

**Table 3. Detection of the interatrial septum (IAS) by gated MRI in the control group**

	Clearly visua- lized	Visua- lized	Gradial thinning	Abrupt absence (defect- like)	Total
Superior ISA	27	1	0	0	28
Mid IAS	70	12	11	5	98
Inferior IAS	12	2	1	0	15
Total	109	15	12	5	141

ASD との鑑別は困難であった。しかし、この 2 例は右房、右室、肺動脈拡大等の右心負荷所見が無いことにより、ASD との鑑別が可能であった。また、冠状断、矢状断の縦断像でも心房中隔は明瞭に描出されたが (Fig. 2B, Fig. 3), 横断像と同様に心房中隔の中央部が低信号となり、欠損様にみえる例があった。房室中隔 (atrioventricular septum) はほとんどの例で描出可能であり (96%), ASD 例の場合に、1 次口欠損か 2 次口欠損かの判断が可能と思われた。

## 2. ASD の MRI

ASD 28 例 (単独 23 例, 合併奇形のあるもの 5 例, Tables 1 & 2) のうち、心拍同期法を行った 25 例全例で、直接所見として心房中隔の欠損像が認められ、その欠損孔の断端は明瞭で、欠損孔の大きさが測定可能であった (Figs. 4~7)。MRI による欠損孔の大きさは、最小径 8 mm, 最大径 40 mm, 平均  $22 \pm 8$  mm であった。MRI による欠損孔の径は手術で確かめられたそれよりやや小さい傾向がみられたが、両者は  $r=0.89$  とよい相関を示した (Fig. 8)。MRI による欠損孔の大きさの過小評価は、時間的制約のために十分なスライス数が得られなかったり、我々の使用した MR 装置では斜断面が得られないためと考えられた。症例 4 と症例 6 は初期の検査例で、十分なスライス数が得られなかった例である。

ASD の欠損孔存在部位は、心房中隔を上、中、下部に分けると、中部で最も多かった。また、本症の間接所見として右房拡大が全例でみられ、右

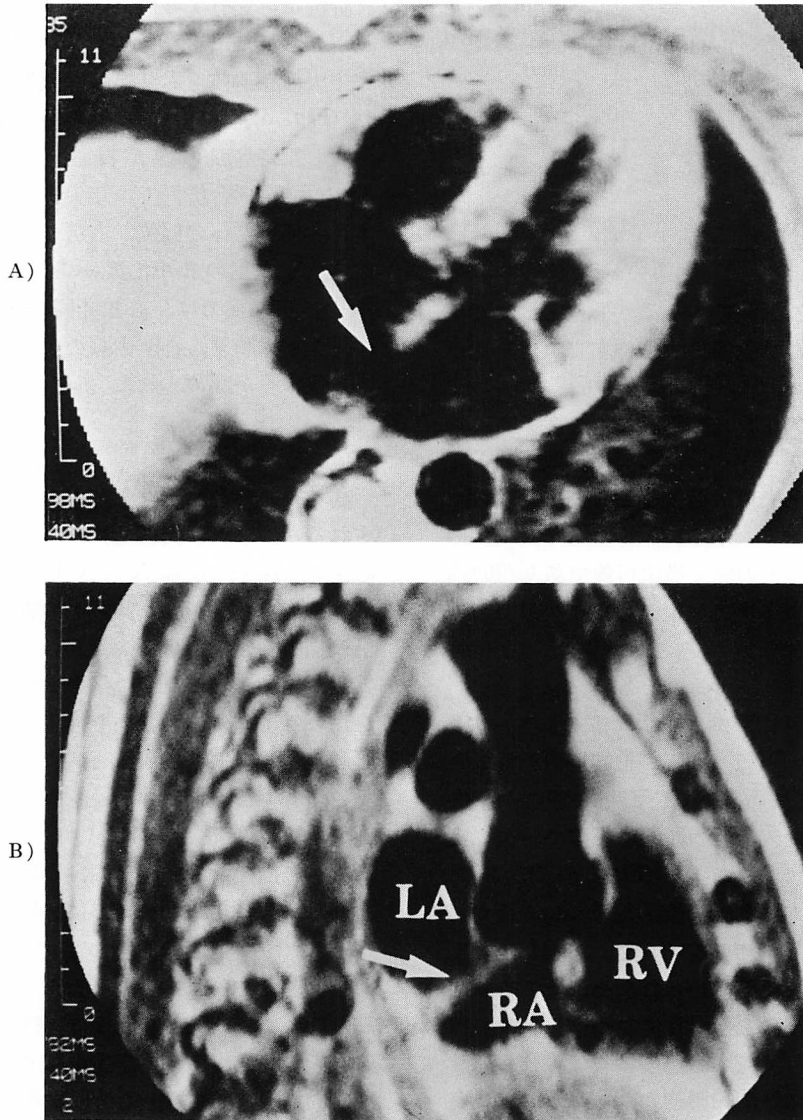
室拡大 (75%), 肺動脈拡大 (68%) や右室肥大 (61%) も高率にみられた。

合併奇形を有する例では、それぞれの奇形の所見がみられた。すなわち、1 例では高位 ASD に左上大静脈遺残と右肺静脈還流異常の合併がみられ (Fig. 5), 1 例では下大静脈が欠如し、著明に拡大した奇静脈の像が得られ (Fig. 6), 2 例の Ebstein 奇形合併例では三尖弁中隔尖と後尖の右室心尖部よりへの偏位、右房の著明な拡大、右房化右室、左室の狭小化等がみられた (Fig. 7)。Fallot 五徴症では、心拍非同期法にもかかわらず、大動脈騎乗、心室中隔の欠損、右室肥大、肺動脈狭窄等が認められた。

## 考 察

ASD の確定診断は心臓カテーテル法によりなされるが、これは侵襲的検査である。また、断層心エコー図法や造影 X 線 CT 法は有用な非侵襲的検査法であるが、これらの検査法では欠損孔を直接描出できない事が少なくない。この点、MRI は非侵襲的であり、血流の信号は弱いため、造影剤を用いる事なく心血管系を描出できる<sup>1-12)</sup>。また超音波法や X 線 CT 法と異なり、骨や空気による artifact も極めて少なく、胸郭内にある心を検査するのに好都合である。

心腔の描出には心拍非同期 MRI でも可能であったが<sup>1,13)</sup>、心拍動のために心構造の詳細な情報は得られず、空間分解能の点では非同期 X 線 CT よりやや劣ると考えられた。しかし、心拍同期法を用いると心運動による影響が少なくなり、心室中隔、心房中隔、房室中隔や弁膜、冠血管等の心内構造物が明瞭となり、壁厚や各心腔の大きさも測定可能である<sup>3,14)</sup>。さらに心電図同期法のために、容易に収縮末期や拡張末期およびその他の任意の心時相における像が得られる。我々の検討でも、心房中隔の描出は心拍非同期法では困難であったが、心拍同期法では容易であり、したがって、ASD の検討には心拍同期法が必要と考えられた。



**Fig. 2. Normal transverse (A) and sagittal (B) MR images (40-year-old man: gated SE; TR=800 msec; TE=40 msec; end-systolic images).**

In this case, there is a faint signal (Fig. A, arrow) from the central portion of the interatrial septum on the transverse section. On the sagittal section, the interatrial septum (Fig. B, arrow) is clearly visualized.

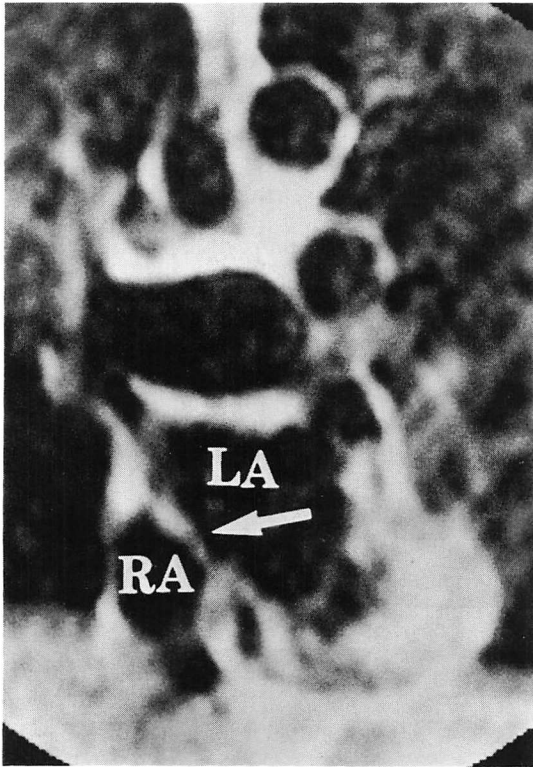


Fig. 3. Coronal MR image in a patient with ischemic heart disease (75-year-old man: gated SE; TR = 700 msec; TE = 60 msec; end-systolic image).

The interatrial septum (arrow) is visualized.

これまで MRI による ASD 診断に関する報告はいくつかあり、例えば Fletcher らは種々の心奇形を検討し、ASD では心房中隔の欠損像が、房室管遺残症では心内膜床の欠損像が得られたと報告している<sup>15)</sup>。Higgins らは ASD 6 例全例で心房中隔の欠損像が得られ、また右房や右室の拡大所見も得られたと報告し<sup>16)</sup>、Jacobstein らは房室管遺残症 9 例でいずれも欠損孔がわかり、さらに房室弁輪部や腱索付着部異常等の情報も得られ、一次口欠損型と二次口欠損型の ASD が容易に鑑別できると報告している<sup>17)</sup>。また Lowell らは 9 例の ASD について検討し、コントラスト心エコー図法と比べて、MRI は ASD の診断能はやや劣るが、合併奇形の検出に秀れていると報告

している<sup>18)</sup>。

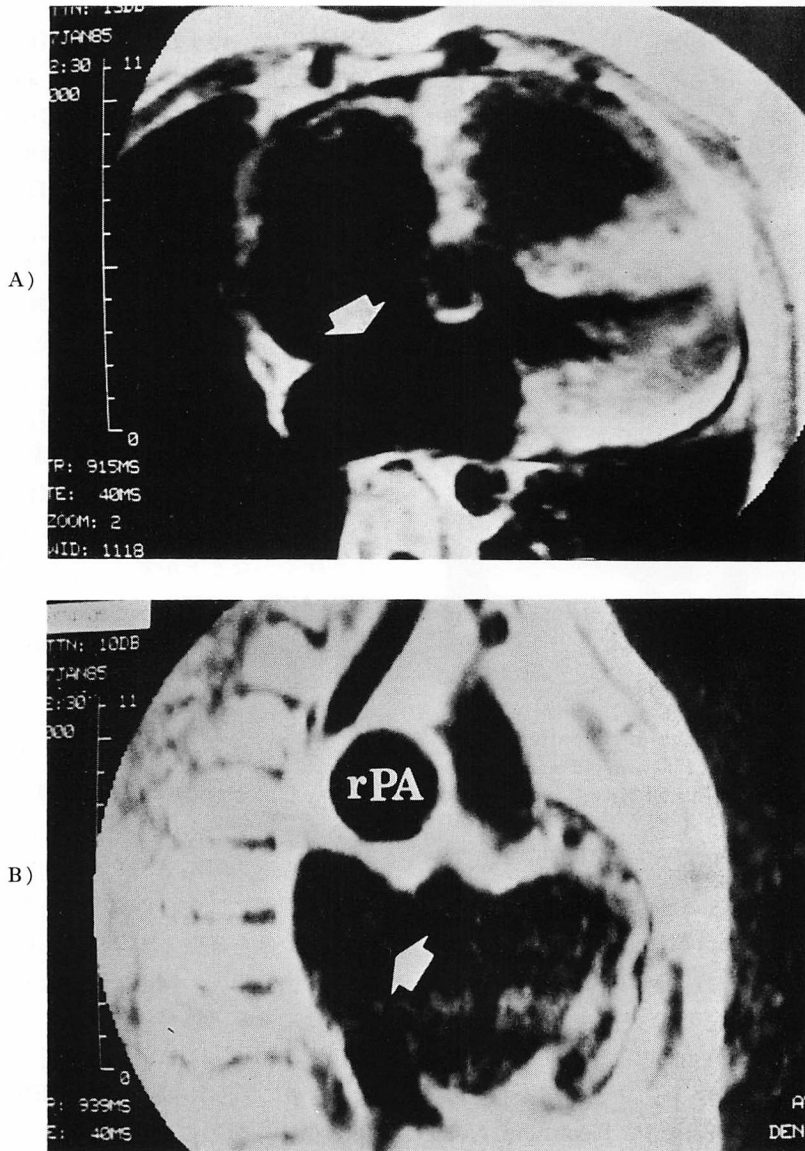
今回、我々が非心拍同期法で撮像した 3 例の ASD 例は、いずれも心房中隔像が不明瞭なため欠損孔を直接示せなかったが、心拍同期法で撮像した ASD 18 例は、全例で直接所見として欠損孔像が得られた。欠損孔の断端は明瞭でその大きさも測定可能であり、また、ASD の間接所見として右房拡大、右室の拡大や肥大、肺動脈の拡大等が得られ、病態を判断する上で参考となった。また、合併奇形のある例では、肺静脈還流異常や三尖弁異常等も MRI で容易に検出され、手術が必要な場合の術前検査としても有用と考えられた。

対照群の心拍同期 MRI では、心房中隔は上部と下部ではほとんどの例で明瞭な像が得られたが、中央部では一部の例で欠損様であった。この心房中隔中央部の欠損様像は MR 信号強度の低下が緩やかなことが多く、欠損部の断端が明瞭である ASD とは異っており、両者の鑑別は可能と考えられた。Fletcher や Higgins らも正常人と同様の事を報告している<sup>15,16)</sup>。それによれば、正常人の心房中隔中央部が欠損様にみえる事があるが、それは徐々な信号低下で、ASD とは区別できるとし、その理由として、卵円窩が菲薄なためであると説明している。しかし、今回、我々は対照群で心房中隔が ASD と鑑別困難な欠損様像を示し、鑑別には右心負荷所見を参考とする必要があった 2 例を経験し、今後、心房中隔をより明瞭に撮像する工夫、例えば適切なパルス系列の選択が必要であると思われた。

以上、MRI は ASD の診断に有用と考えられた。さらに、心室中隔欠損症、Ebstein 奇形、Fallot 4 徴や 5 徴等の ASD 以外の先天性心異常の診断、および動脈管開存症、右大動脈弓、大動脈縮窄症等の先天性血管異常の診断にも、MRI は有用な検査法と考えられ<sup>7,15-18)</sup>、今後これら先天性心疾患の検出にさらに利用されるものと思われた。

## 結 論

ASD 28 例の MRI 所見を検討した。



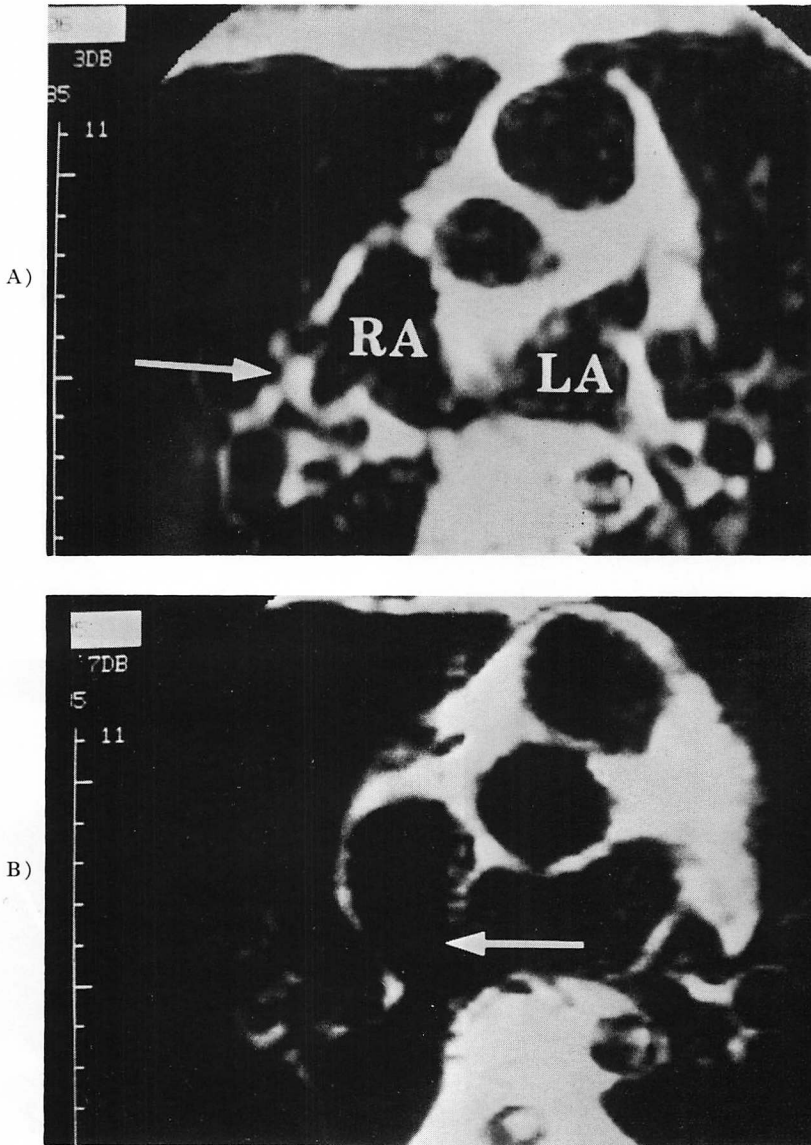
**Fig. 4.** MR images in a case with atrial septal defect (Case 8).

Atrial septal defect is shown (arrow). Right atrial dilatation, right ventricular dilatation with hypertrophy and right pulmonary artery (rPA) dilatation are visible (gated SE).

A) Transverse image; TR=915 msec; TE=40 msec.

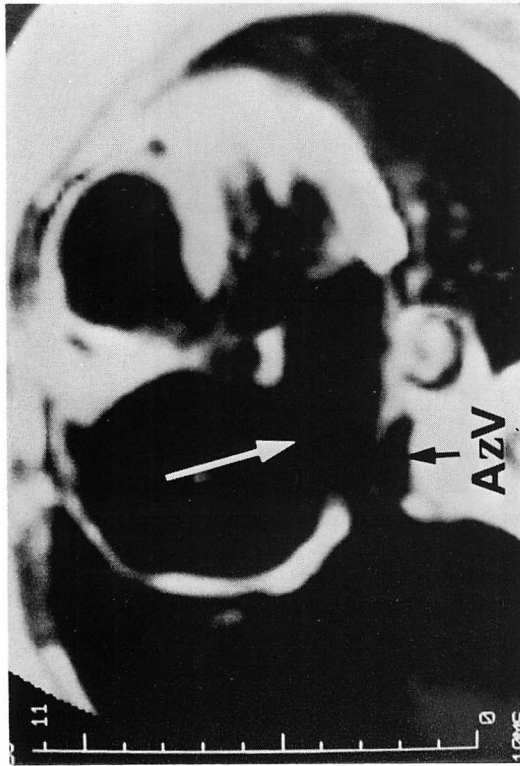
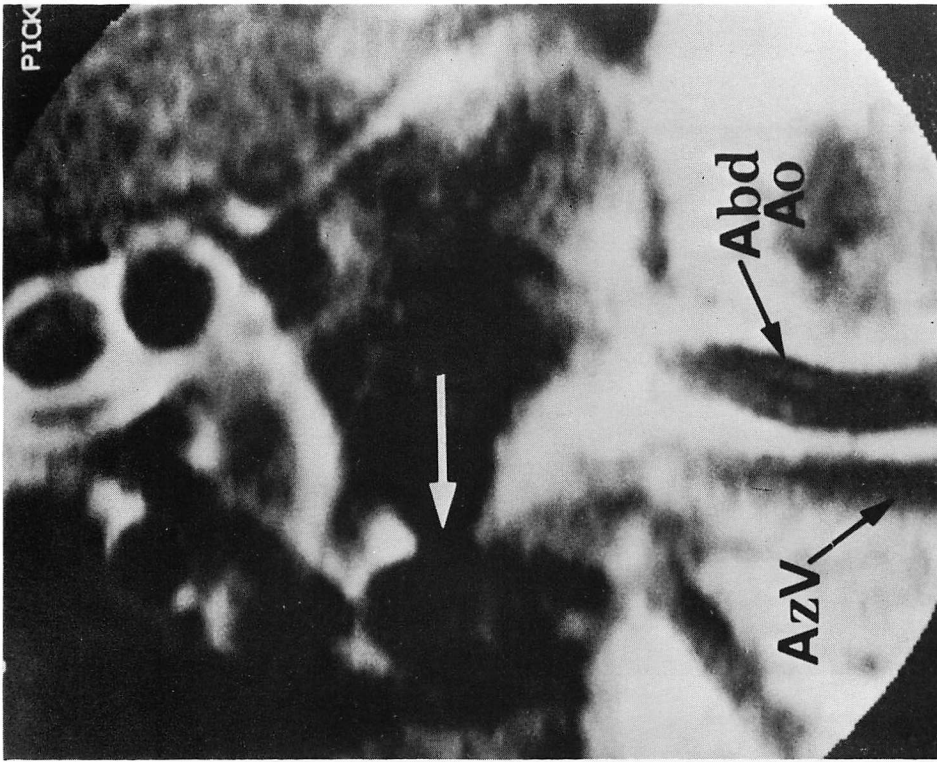
B) Sagittal image; TR=939 msec; TE=40 msec.



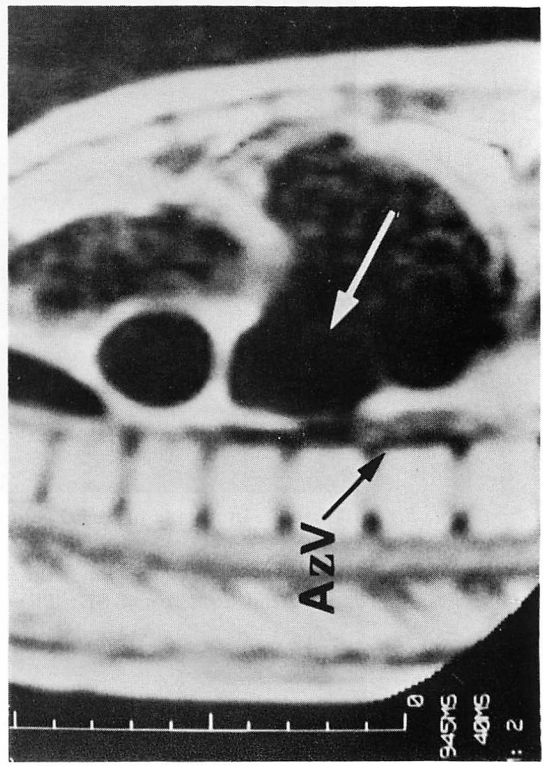


**Fig. 5. MR image in a case of atrial septal defect with anomalous pulmonary vein connection (Case 25).**

Anomalous pulmonary vein connection (Fig. A, arrow) and atrial septal defect (Fig. B, arrow) are seen at the upper atrial level (gated SE; TR=700 msec; TE=40 msec).



A)

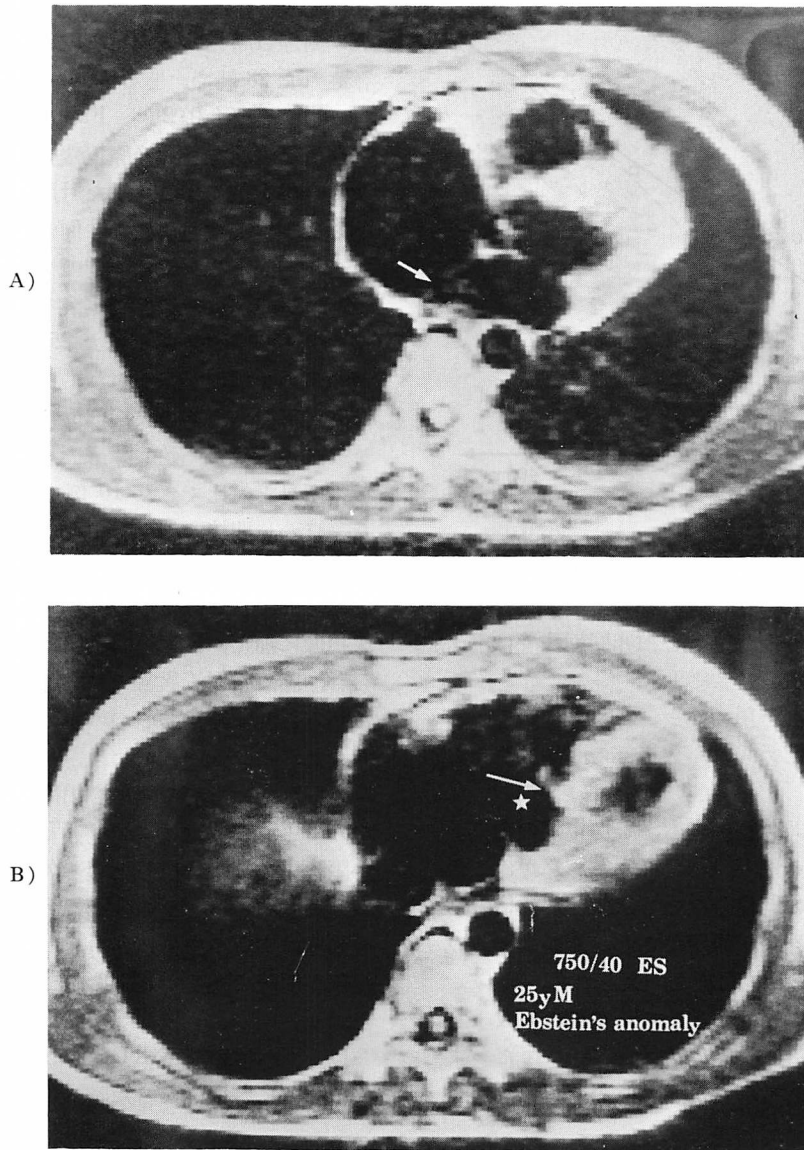


B)

C)

**Fig. 6. MR images in a case of atrial septal defect with azygos continuation (Case 24).**

Atrial septal defect and the dilated azygos vein (AzV) are seen on the transverse (Fig. A), sagittal (Fig. B) and coronal (Fig. C) images. The inferior vena cava is not seen (gated SE). A) TR=910 msec; TE=40 msec; B) TR=945 msec; C) TR=920 msec; TE=40 msec. Abd Ao=abdominal aorta.



**Fig. 7.** Transverse MR image of a patient with atrial septal defect and Ebstein's anomaly (Case 27).

Atrial septal defect is shown by an arrow (Fig. A). The septal tricuspid leaflet (Fig. B, arrow) is displaced into the right ventricular chamber. The atrialized portion of the right ventricle (\*) and dilated right atrium are seen (gated SE: TR=750 msec; TE=40 msec).

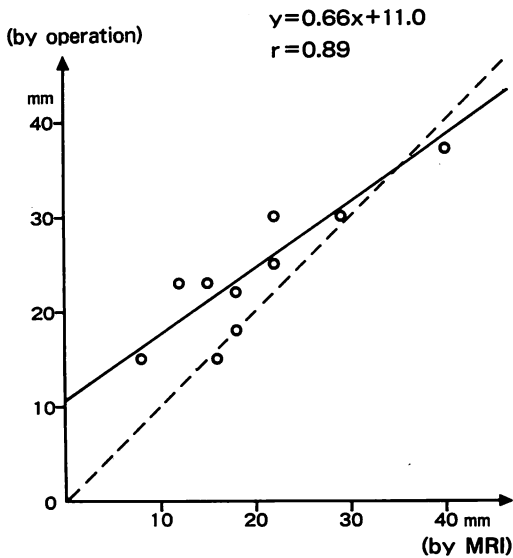


Fig. 8. Comparison of the sizes of atrial septal defects by MRI and by surgery in 10 patients.

1. 心房中隔の検出には心拍非同期法では不十分で、心拍同期法を必要とした。
2. 心拍同期法を用いると、ASD 全例で心房中隔の欠損像が認められ、欠損部の断端は明瞭であった。
3. 心房中隔非欠損例でも、心房中隔の中央部が欠損様にみえる例が 12% にみられたが、この心房中隔中央部の低信号ないし無信号部は信号低下が徐々に、断端が不鮮明であり、その大部分の例で、ASD とは判別可能と考えられた。
4. ASD の間接所見として、右房の拡大、右室の拡大や肥大、肺動脈の拡大がみられた。また、合併奇形のある例ではおのおの所見が得られた。
5. MRI による心房中隔欠損部の大きさは手術所見とほぼ一致した。

以上、心拍同期 MRI は ASD の診断に有用と考えられた。

### 要 約

ASD 診断に対する MRI の有用性を検討した。

超伝導型装置 (0.25 ないし 0.5 テスラ) を使用し、主に心拍同期法によるスピネコー像を撮像した。対象は手術あるいは心臓カテーテル法等で確診された 28 例で、その内訳は ASD 単独 23 例、Ebstein 奇形合併 2 例、Fallot 5 徴症 1 例、肺静脈還流異常兼左上大静脈遺残合併 1 例、下大静脈欠如合併 1 例である。また対照群として、健常 7 例および後天性心疾患 142 例を選んだ。

心拍非同期法による 3 例の ASD では心房中隔は不明瞭で、欠損部を判定する事はできなかったが、心拍同期法を施行した 25 例では、全例に心房中隔の欠損像が認められ、その部位や大きさの診断が可能で、その欠損部位は手術および心臓カテーテル所見と一致し、また欠損口の大きさは、手術所見と対比できた 10 例ではよく一致していた。ほかに間接所見として全例で右房拡大がみられ、右室の拡張や肥大、肺動脈の拡大も多くの例でみられた。合併奇形のある例では、心房中隔の欠損像に加え、Ebstein 奇形では三尖弁異常がみられ、肺静脈還流異常では右肺静脈の右房への還流がみられる等、おのおの合併奇形の所見が得られた。

対照群では心房中隔は心拍同期法により 141 例中 124 例で描出されたが、17 例 (12%) では心房中隔の中央部が低信号となり欠損様にみえた。しかしこの場合は、その多くの例で、心房中隔の信号強度は中隔の中央に向かって徐々に低下し、欠損部が明瞭である ASD との鑑別が可能と思われた。

以上、心拍同期 MRI は ASD およびその合併症の診断に有用であった。

### 文 献

- 1) Imai H, Yoshida K, Watanabe S, Masuda Y, Inagaki Y, Ikehira H, Fukuda N, Tateno Y: Clinical application of nuclear magnetic resonance imaging to cardiovascular disease. *Jpn J Nucl Med* 21: 1557, 1984 (in Japanese)
- 2) Yamada T, Harada J, Tada S: Diagnosis of aortic dissection by NMR-CT: Its clinical effectiveness. *J NMR Med* 4: 107, 1984 (in Japanese)

- 3) Yoshida S, Ueno U, Nishio I, Masuyama Y, Maeda T, Mishima T, Yamada R, Morita R, Hori K: Usefulness of oblique projections in ECG-gated cardiac MRI. *J NMR Med* **5**: 64, 1985 (in Japanese)
- 4) Watanabe S, Sakakibara M, Imai H, Masuda Y, Inagaki Y, Morita F, Uematsu S: Blood flow imaging by magnetic resonance. *Jpn Soc Biorheol* **8**: 167, 1985 (in Japanese)
- 5) Nishimura T, Nagata M, Uehara T, Hayashida K, Naitou H, Imakita T, Takamiya M, Sakakibara H, Kozuka T: Gated magnetic resonance imaging in hypertrophic cardiomyopathy. *J NMR Med* **5**: 21, 1985 (in Japanese)
- 6) Imai H, Sakakibara M, Watanabe S, Masuda Y, Inagaki Y: NMR-CT in the diagnosis of aortic aneurysms and dissecting aortic aneurysms. *Clin Imagiol* **1**, **6**: 86, 1986 (in Japanese)
- 7) Sakakibara M, Kobayashi S, Imai H, Watanabe S, Masuda Y, Inagaki Y, Morita F, Uematsu S, Arimizu N: MRI of congenital cardiovascular malformations. *Jpn J Med Imaging* **5**: 1119, 1986 (in Japanese)
- 8) Sakakibara M, Kobayashi S, Imai H, Watanabe S, Masuda Y, Inagaki Y, Morita F, Uematsu S, Arimizu N: Magnetic resonance imaging of aortic aneurysmal phantom. *Jpn Soc Biorheol* **9**: 327, 1986 (in Japanese)
- 9) Herfkens RJ, Higgins CB, Hricak H, Lipton MJ, Crooks LE, Lanzer P, Botvinick E, Brundage B, Sheldom PE, Kaufman L: Nuclear magnetic resonance imaging of the cardiovascular system: Normal and pathological findings. *Radiology* **147**: 749, 1983
- 10) Kaufman L, Crooks L, Sheldon P, Hricak H, Herfkens RJ, Bank W: The potential impact of nuclear magnetic resonance imaging on cardiovascular diagnosis. *Circulation* **67**: 251, 1983
- 11) Higgins CB, Stark D, McNamara M, Lanzer P, Crooks L, Kaufman L: Multiplane magnetic resonance imaging of the heart and major vessels: Studies in normal volunteers. *Am J Roentgenol* **142**: 661, 1984
- 12) Higgins CB, Kaufman L, Lawrence E, Crooks LE: Magnetic resonance imaging of the cardiovascular system. *Am Heart J* **109**: 136, 1985
- 13) Choyke PL, Kressel HY, Reichel N, Axel L, Gefter W, Mamourian AC, Thickett D: Non-gated cardiac magnetic resonance imaging. *Am J Roentgenol* **143**: 1143, 1984
- 14) Lanzer P, Botvinick E, Schiller NB, Davis PL, Crooks LE, Arakawa M, Kaufman L, Lipton MJ, Herfkens R, Higgins CB: Cardiac imaging using gated magnetic resonance. *Radiology* **150**: 121, 1984
- 15) Fletcher BD, Jacobstein MD, Nelson AD, Riemenschneider TA, Alfidi RJ: Gated magnetic resonance imaging of congenital cardiac malformations. *Radiology* **150**: 137, 1984
- 16) Higgins CB, Byrd BF, Farmer DW, Osaki L, Silverman NH, Cheitlin MD: Magnetic resonance imaging in patients with congenital heart disease. *Circulation* **70**: 851, 1984
- 17) Jacobstein MD, Fletcher BD, Nelson AD, Goldstein S, Alfidi RJ, Riemenschneider TA: ECG-gated nuclear magnetic resonance imaging: Appearance of the congenitally malformed heart. *Am Heart J* **107**: 1014, 1984
- 18) Lowell DG, Turner DA, Smith SM, Bucheleres GH, Santucci BA, Gresick RJ, Monson DO: The detection of atrial and ventricular septal defects with electrocardiographically-synchronized magnetic resonance. *Circulation* **73**: 89, 1986
- 19) Didier D, Higgins CB, Fisher MR, Osaki L, Silverman NH, Cheitlin MD: Congenital heart disease: Gated MR imaging in 72 patients. *Radiology* **158**: 227, 1986