

《原 著》

心電図同期 MRI による心疾患の診断

—0.35 T および 1.5 T における臨床応用—

西村 恒彦* 内藤 博昭* 山田 幸典* 小塙 隆弘*

要旨 心臓領域における MRI 診断は、心電図同期法の導入により、非同期に比し、鮮明な画像が得られる。また、本法は、心臓の収縮拡張状態や多方向撮像により立体的な形態機能診断が行えた。正常 6 例にて 0.35 T と 1.5 T の両静磁場で行ったイメージングでは、後者の方が比が S/N 高いため優れていた。しかし心臓は動的臓器であるため、2~4 回のアベレージングが必要であった。

臨床応用は 21 例を対象とした。心筋梗塞、肥大型心筋症などにおける心筋の菲薄化、壁肥厚の程度が、また梗塞部位の収縮不全の状態がとらえられた。その他の心疾患でも血流が信号を出さないことを利用することにより、各心疾患群に特徴的な所見が得られた。また、大血管系疾患である大動脈瘤や大動脈炎でも心電図同期 MRI が有用であった。

I. 緒 言

MRI (Magnetic Resonance Imaging) は、脳、脊髄、胸腹部、骨盤部を始め、多くの臓器で腫瘍などの形態診断に有用なことが報告されている。循環器疾患における NMR-CT の臨床報告も幾つかなされている^{1~6)}。とりわけ、心臓については、心時相を考慮せずに撮像された画像でも、肥大型心筋症などにおいてある程度の形態診断を行うことはできるが、鮮明な画像が得られない。

一方、X 線 CT や心拍同期心ポールスキャンで使用されているのと同様に心電図同期 MRI の導入により、各心周期における鮮明な画像が得られるようになった^{4~6)}。

国立循環器病センターでは、昭和 59 年 9 月に超電導型 NMR-CT を導入、0.35 T および 1.5 T (Tesla) で使用する経験を得た。とりわけ心疾患の診断に関しては、心電図同期 MRI を併用することにより鮮明な画像が得られた。そこで、両静

磁場における臨床経験から、心臓領域における心電図同期 MRI の有用性、および心大血管系疾患における臨床的有用性について検討したので報告する。

II. 方 法

1. 装 置

用いた装置はシーメンス社製 Magnetom である。昭和 59 年 9 月から 1 か月間は 0.35 T で、11 月からは 1.5 T で稼動している。装置の主な仕様を Table 1 に示す。心臓 MRI は Body coil を使用、データ収集は 256×256 マトリックス、画像の表示は 512×512 マトリックス (グレイスケール -1,024 から 3,071) で行った。スライス幅は 5 ないし 10 mm である。画像作成はフーリエ変換法を用いた。パルス系列はスピニエコー法 (SE) を用い、画像は第 1、第 2 スピニエコー像 (35 msec/70 msec) のほか、場合により T₁、T₂ の計算画像も作成した。画像の記録はマルチフォーマット・カメラにて行った。

2. 心電図同期 MRI

シールドルーム内に設置した心電計から、photocoupler を用いて心電図情報を、操作室のジレカスト (ハートスコープ) にとり出す。QRS 波

* 国立循環器病センター放診部

受付：60 年 4 月 15 日

最終稿受付：60 年 6 月 14 日

別刷請求先：吹田市藤白台 5-7-1 (番 565)

国立循環器病センター放診部

西 村 恒 彦

Table 1 Performance of imaging device (Siemens, Magnetom)

Type:	Proton, MRI system
Range:	Body coil
Scanning Modes:	Transverse, Sagittal, Coronal
Magnet:	Superconductive
	Operating field 1.5 Tesla
Method:	Fourier Reconstruction Technique
Measuring Matrix:	(64), 128, 256
Display Matrix:	512×512
Gray Scale:	-1,024 to +3,071
Slice Thickness:	5 mm or 10 mm
Resolution:	2 mm (256×256)
Measuring Modes:	Spin Echo (SE) Spin-Lattice Relaxation (T ₁) Spin-Spin Relaxation (T ₂)

Table 2 Pulse sequence and measuring time in gated-MRI using Magnetom

Repetition time (TR) (sec)	Numbers of slice	Slice thickness (mm)	Echo time (TE) (msec)	Average	Measuring time (min)
0.6	3	10/5	35/70	2	5.2
0.6	3	10/5	35/70	4	10.4
0.8	4	10/5	35/70	2	6.9
0.8	4	10/5	35/70	4	13.8
1.0	5	10/5	35/70	2	8.8
1.0	5	10/5	35/70	4	17.6

Table 3 List of patients

Cardiovascular disease	0.35 Tesla cases	1.5 Tesla cases
Myocardial infarction	3	2
Hypertrophic cardiomyopathy	3	4
Aortic regurgitation	1	1
Hypertensive heart	0	1
DORV*	1	1
Pericardial effusion	0	1
Dissecting aneurysm	1	1
Aortitis syndrome	0	1
Total	9	12
Normal volunteer	6	6

*DORV=Double-outlet right ventricle

をトリガとする同期信号をつくり、同期制御コントローラにより遅延回路を設定した。この結果、拡張末期(ED)から収縮末期(ES)にいたる任意

の各心周期の心電図同期MRIが行えた。実際には、ED像を主とし、収縮状態を観察したいとき、遅延時間を心拍数を考慮して適当に設定し、ES像を得た。

著者らのシステムでは、心電図同期MRIにより得られる断層数は心拍数に影響され、たとえば心拍数60/分(R-R間隔1,000msec)のとき5断层面が、100/分(R-R間隔600msec)のとき3断层面が得られる。Table 2にデータ収集に要する時間およびパルス系列を示す。したがって、繰り返し時間(TR)は心拍数に規定され、心拍数60/分、100/分のとき、それぞれ1,000msec、600msecである。また、アベレージング回数(AV)は2~4回とし、後者では2倍の計測時間が必要であった。

ルーチンに横断、冠状断層を行い、場合により矢状断層を追加した。

III. 対象

0.35Tおよび1.5Tの両静磁場で心電図同期MRIを行った正常例は6例であった。0.35Tで施行した心疾患症例は9例、1.5Tで施行した心疾患症例は12例であった。それぞれの内訳をTable 3に示す。また、心疾患症例は、すべて心エコー図、RI検査、心CT図や心カテーテル法により診断が確定されたものである。

IV. 結果

(1) 心電図同期MRIについて

Figure 1に、1.5Tにて心電図非同期、同期(2AV, 4AV)で行った正常例における画像を示す。非同期に比し、心電図同期では、心筋壁厚と心内腔が明瞭に区別されて描出される。また、AV回数を2回から4回に増加させることにより、鮮明な心筋像が得られた。

心電図同期MRIでは、拡張末期(ED)、収縮末期(ES)像から、心収縮状態の評価ができる。Fig. 2は、肥大型心筋症例におけるED、ES像である。心室中隔部位が肥厚し、収縮良好なことが示される。Fig. 3は、前壁心筋梗塞症例におけるED、ES像である。梗塞部位は菲薄化した心筋部

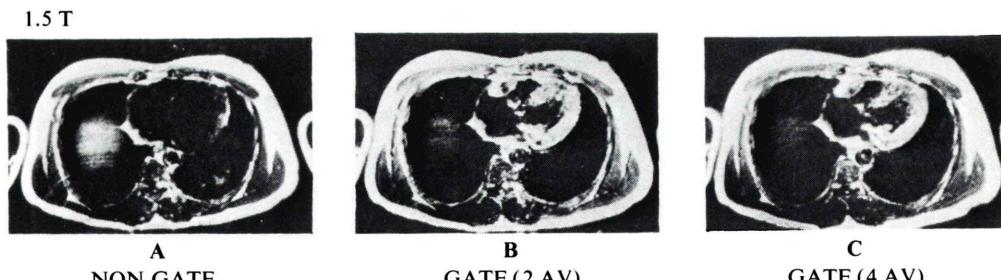


Fig. 1 Non-gated, gated (2 AV) and 4 AV (C) MRI in normal person were shown as A, B, C. AV=averaging

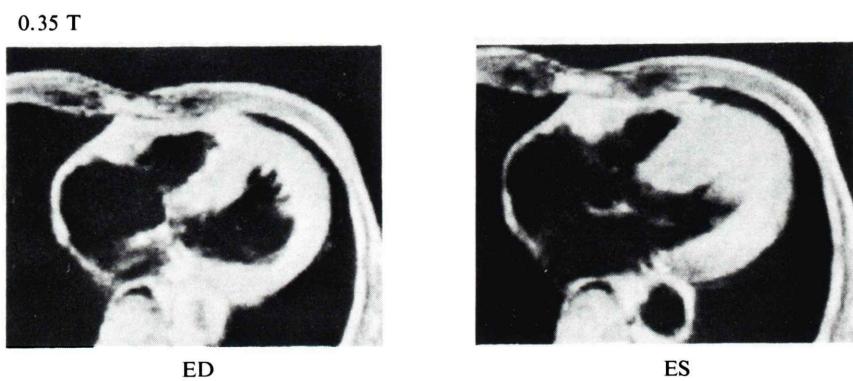


Fig. 2 End-diastolic (ED) and end-systolic (ES) images in the case of hypertrophic cardiomyopathy (HCM). Asymmetric hypertrophy was clearly observed.

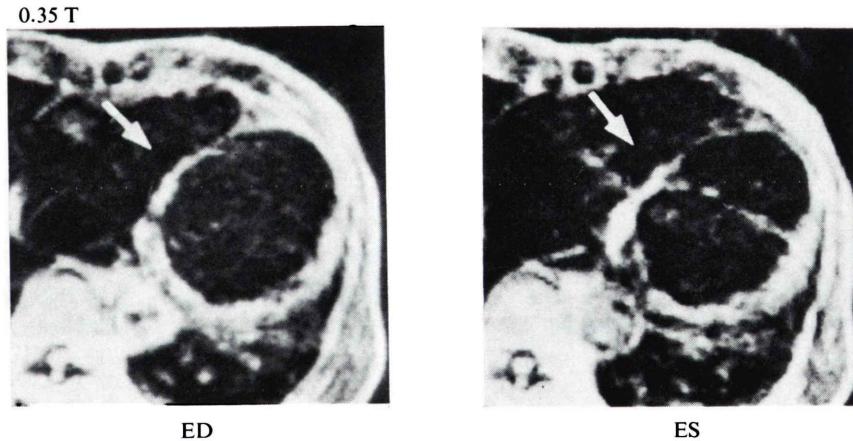


Fig. 3 End-diastolic (ED) and end-systolic (ES) images in the case of myocardial infarction (MI). Anteroseptal wall thinning was shown as arrows.

位を有し、かつ、この部位の収縮不全が示される。

(2) 正常例の検討 (0.35 および 1.5 T の比較)

Figure 4 に、正常例(同一症例)における 0.35 T

および 1.5 T の画像を示す。0.35 T におけるアベーリング 4 回と、1.5 T における 2 回は、ほぼ同様の画像を示した。したがって、後者では、前

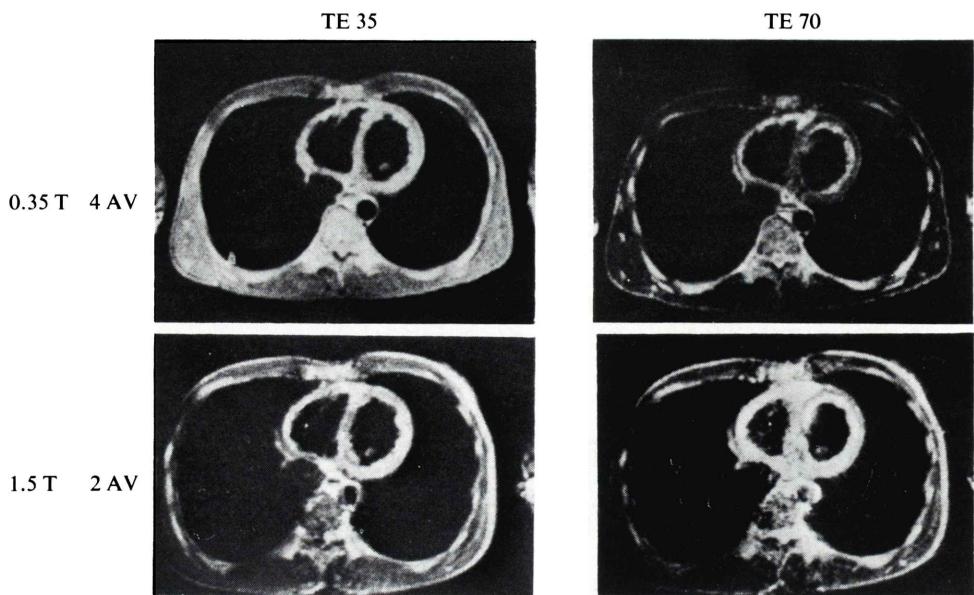


Fig. 4 Gated MRI in normal (same) person in the operating field of 0.35 and 1.5 Tesla.
AV=averaging

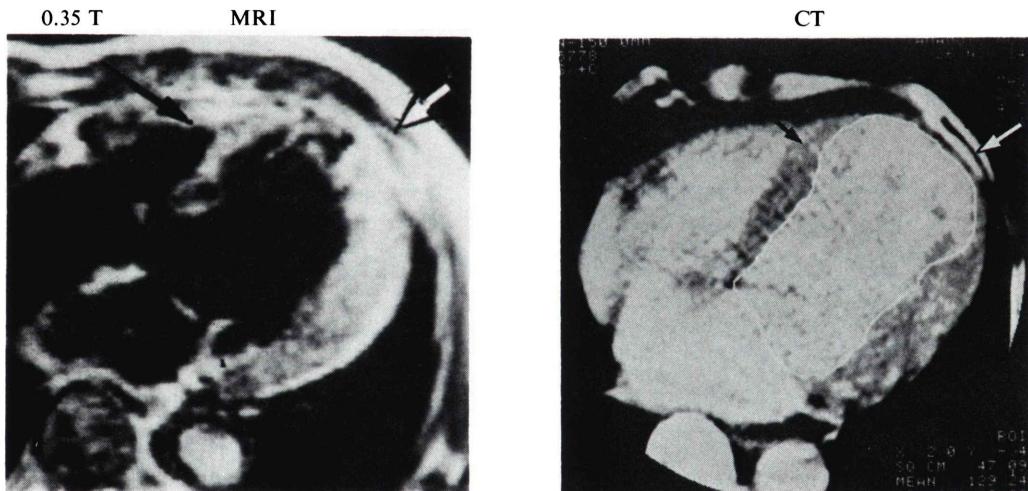


Fig. 5 Comparison of MRI and CT in the case of anterior myocardial infarction. Wall thinning at infarct area (arrows) was shown in both modality.

者に比し計測時間が半減した。しかし、1.5 T でアベレージングを2回より4回にした方が、Fig. 1 に示したように、より鮮明な画像であった。

正常6例にて、両磁場において同様の検討を行った結果、Fig. 4 と同様に、1.5 T では S/N 比が高いため、良好な画像が得られた。正常例では、

各心内腔、心筋壁、心周囲脂肪の鑑別が可能であった。また、大血管、各心房心室の同定は容易であった。

(3) 臨床応用

1) 心筋梗塞症例

Figure 5 は、8年前に前壁心筋梗塞を発症、順

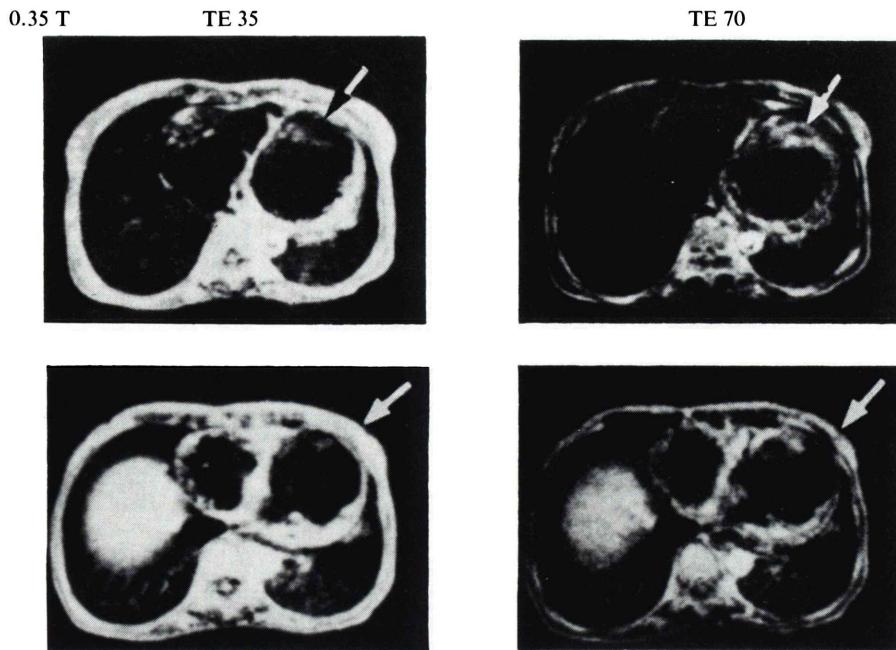


Fig. 6 Gated MRI in the case of anterior myocardial infarction with mural thrombus. Wall thinning at infarct area was shown, however, high signal area at apex (arrows) was considered as mural thrombosis or turbulent flow.

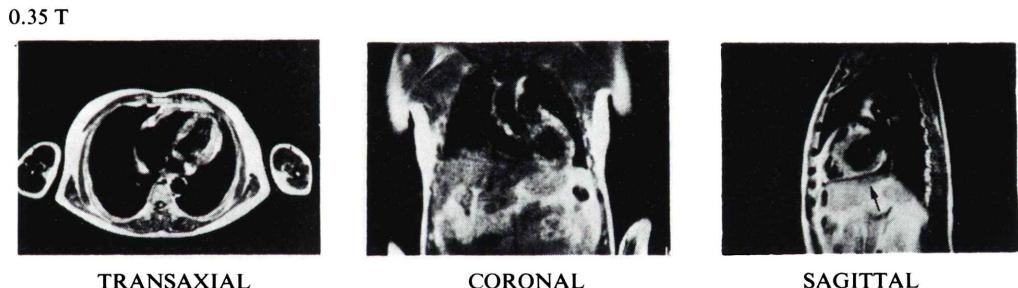


Fig. 7 Gated MRI in the case of inferior myocardial infarction. Infarct area was shown clearly as wall thinning in sagittal view.

調な経過であったが最近心不全症状を呈している症例(60歳、男性)におけるMRIおよびCTである。CTにおける壁厚の菲薄化部位に一致して、MRIでも同様の所見を認めた。

さらに、Fig. 3に示したように、ED, ES像を対比すれば収縮不全部位がとらえられる。

Figure 6は、5年前に前壁心筋梗塞を発症、現在、著明な心不全症状を有し、心エコー図、心プールスキャンにて、左心室瘤と左室壁在血栓を

認めた症例(58歳、女性)におけるMRIである。

本症例では、第1エコー、第2エコー像にて、前壁から心尖部における心筋の菲薄化を明瞭に認める。血栓の存在は明瞭でないが、心内腔の心尖部に近い部位に、高シグナル領域を認める。これは、同部位における血栓ないし血流の停滞を反映した所見である。

Figure 7は、3か月前に下後壁梗塞を発症、心筋スキャンにて、同部位に欠損像を有する症例

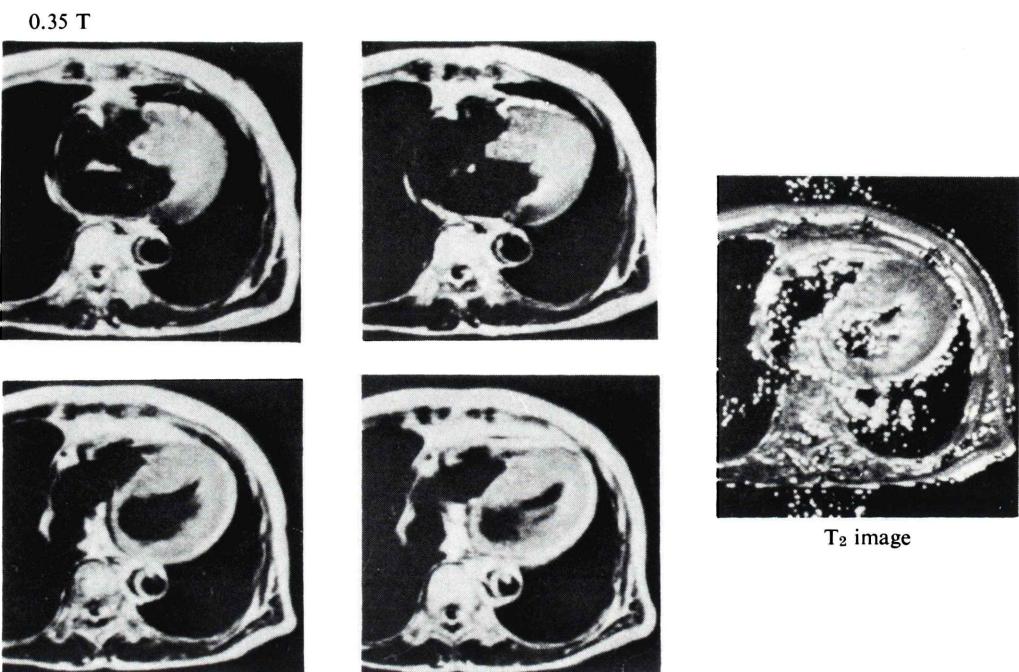


Fig. 8 Gated MRI in the case of hypertrophic cardiomyopathy. Asymmetric septal hypertrophy was clearly demonstrated from base to apex. T_2 was not different between hypertrophied and normal myocardium.

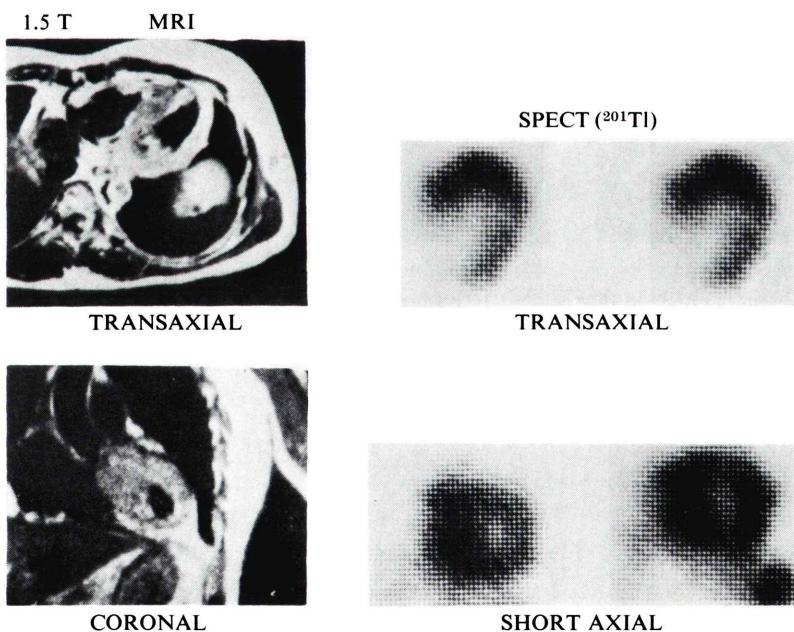


Fig. 9 Gated MRI in the case of hypertrophic cardiomyopathy. Asymmetric septal hypertrophy was clearly observed and compatible with thallium perfusion by SPECT.

1.5 T

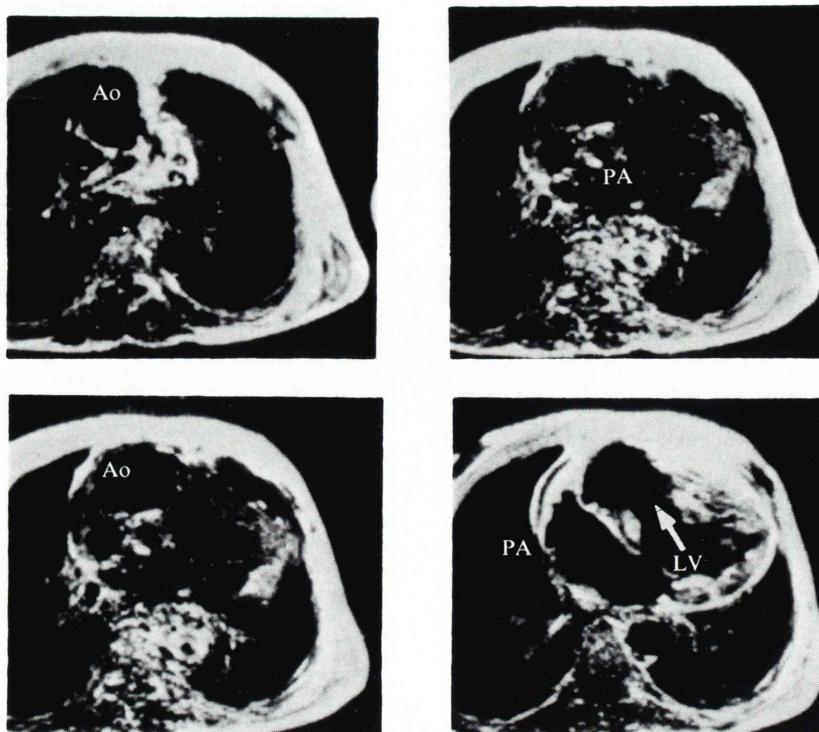


Fig. 10 Gated MRI in the case of DORV (Double Outlet Right Ventricle). Ventricular septal defect (arrow) was clearly shown. Ao=ascending aorta, PA=pulmonary artery, LV=left ventricle

1.5 T MRI

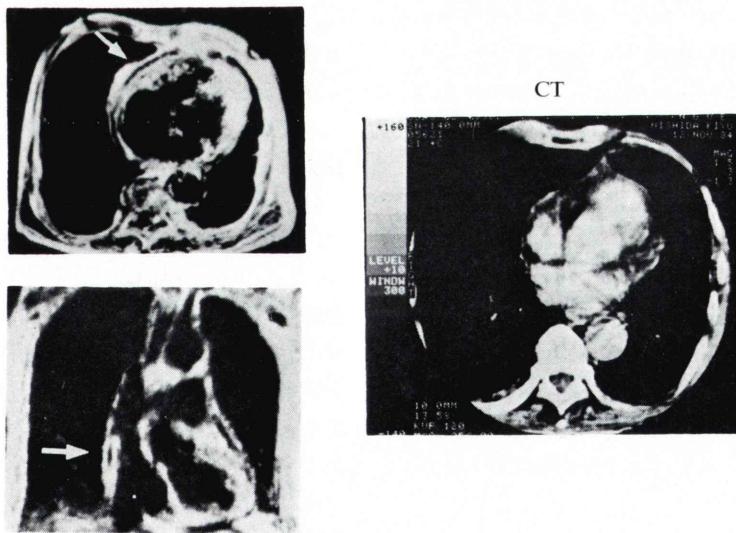


Fig. 11 Gated MRI in the case of pericardial effusion. Pericardial effusion was shown as low signal intensity (arrows) between myocardium and pericard.

0.35 T

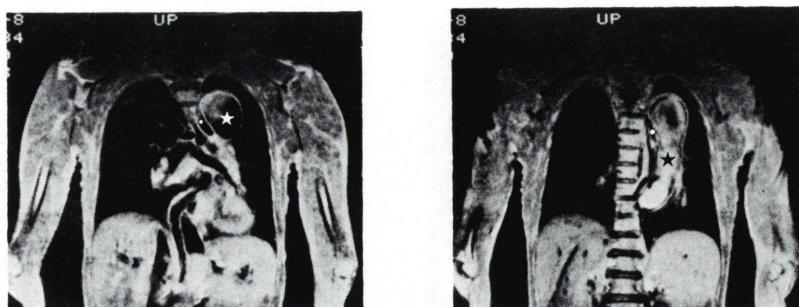


Fig. 12 Gated MRI in the case of dissecting aneurysm (DeBarky type I). Double lumen (false (★) and true (●)) with intimal flap was clearly shown.

(48歳、男性)におけるMRIである。本症例では、横断、冠状に加え、とくに矢状断層の併用により、下後壁部位の心筋の菲薄化が明瞭に示される。

心筋梗塞症例では、5例中4例にて梗塞部位に一致して壁厚の菲薄化を認めたが、1例では梗塞部位を明瞭に指摘しえなかった。前者でED、ES像の撮像を行った症例では、同部位の収縮不全が示された。また2例にて、心尖部付近に血流停滞による高信号領域を認めた。2例にて、T₁、T₂計算画像を作成したが、正常、梗塞部位で著明な差異はなかった。

2) 特発性心筋症例

Figure 8は、心エコー図にて著明な心室中隔の肥厚を認めた肥厚型心筋症（非対称性肥大）症例（62歳、男性）である。本症例では、心室レベルで10 mm間隔で心基部から心尖部にかけて4断面のスライスを示しているが、心室中隔の肥厚の様子が明瞭に捉えられた。

Figure 9は、同様に非対称性肥大を有する肥大型心筋症例（44歳、男性）である。MRIでは中隔肥厚の状態が横断、冠状断層にて明瞭であり、心筋断層シンチグラム（SPECT）のそれとよく一致した。

肥大型心筋症7例において、心筋肥厚の部位、程度が明瞭に、また場合により左室流出路の状態も観察可能であった。

3) その他の心疾患

Figure 10は、生下時よりチアノーゼがあり、

心カテーテル血管造影にて両大血管右室起始、肺動脈閉鎖と診断されている症例（31歳、男性）である。MRIでは、心室中隔欠損が心室レベルの断層面で示された。また、大動脈背部の閉鎖した肺動脈起始部が僧帽弁輪との連続性なく存在することが確認された。

Figure 11は、肺結核を4年前に指摘され、心不全症状にて入院、心エコー図にて心のう液貯溜が認められた症例（74歳、男性）である。MRIでは、心筋と心膜の高信号陰影の間に心エコー図のecho free spaceに相当する心のう液貯溜がかすかに認められる。体軸、冠状断層から右室前壁側に存在することが確かめられた。また、心CT図の所見ともよく一致した。

弁膜疾患2例では、圧、容量負荷による心筋肥大の程度が、また高血圧性心疾患でも心筋肥大が明瞭に捉えられた。

4) 大血管疾患

Figure 12は、突然の胸背部痛を有し、胸腹部CTで、上行大動脈から下行大動脈にかけて、大動脈解離を認めた症例（48歳、男性）である。MRIでは、CTに比し、冠状断層からのアプローチが可能で、解離性大動脈瘤（DeBarky I型）の状態が明瞭に捉えられる。真腔および偽腔の区別および解離内膜（intimal flap）の存在が示され、また真腔に比し偽腔における血流停滞による高信号領域を認めた。

Figure 13は、14年前に上腕動脈の脈拍欠損か

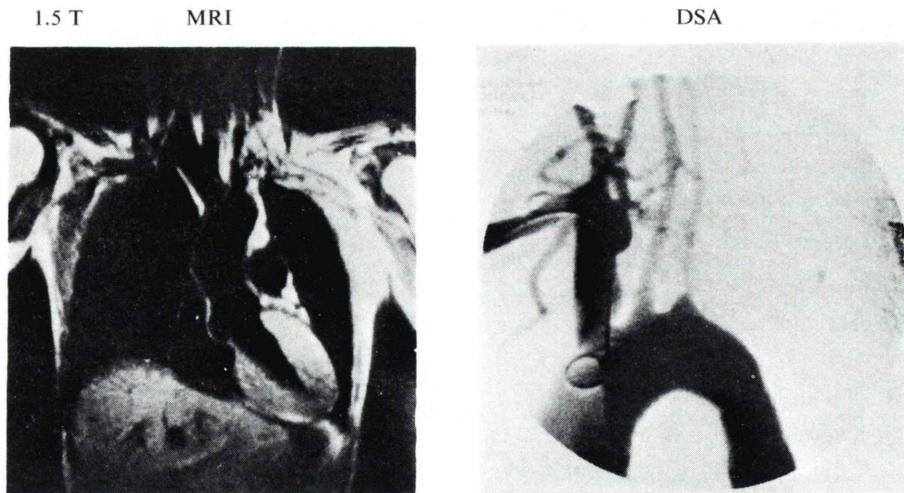


Fig. 13 Gated MRI in the case of aortitis syndrome. Dilatation and stenosis of great vessels were shown noninvasively as like as digital subtraction angiography (DSA).

ら、大動脈炎症候群と診断された症例(31歳、女性)である。MRIでは、右腕頭動脈の拡張、左上腕動脈の狭窄が冠状断層で明らかである。この所見は、DSAにおける同部位の動脈狭窄、拡張とよく一致した。

大血管疾患においても、心電図同期MRIにて、非同期に比し良好な画像が得られた。また、大動脈拡大、狭窄が非観血的に把握できた。

V. 考 察

心臓におけるMRIは、造影剤を使用せずに心内腔と心筋壁を区別できることから有用である^{1~6)}。本法の臨床応用に関して、すでに心電図同期がなくとも心筋壁厚や心内腔の状態がある程度評価できることが報告されている³⁾。

しかし、今回の検討で示したように、心電図同期撮像法の導入により、さらに明瞭な画像が得られたことから、心電図同期MRIは心疾患の診断精度の向上に役立つ。さらに、横断断層に加え、冠状、矢状断層により立体的に心大血管構築が把握でき、ED、ES像から心収縮状態もある程度判断できる。後者に関しては、今後造影剤なしに、心CT図や心拍同期心プールスキャン同様に、心

室容積、駆出率など心機能に関するパラメータの算出が可能である。

この心電図同期は、解離性大動脈瘤や大動脈炎などの大血管系における拡張、狭窄病変の描出にも、非同期に比し優れていた。今後、呼吸同期MRIの導入により、より鮮明な画像が得られるであろう。

しかし、心電図同期MRIにて、Table 2に示したように、脳など固定された臓器に比し、撮像に長時間を要することが欠点である。また心臓における軸断面の設定は、通常の冠状、矢状断面に比し、Fig. 9のようなSPECTや心エコー図のような長軸、短軸断層による形態診断が、心筋梗塞や肥大型心筋症にて、より有意義であろう。

次に、0.35Tと1.5Tの比較であるが、脳など固定された臓器においては、後者では、S/N比が高く、アベレージング(AV)回数を増加させることなしに、0.35Tと同様の画像が約半分の撮像時間で得られる。さらに、短いエコー時間、繰り返し時間マトリックス・サイズ(128×128)の短縮により、1分以内の撮像、いわゆるQuick scanが可能である。ところが、心臓のような動的臓器では、0.35Tに比し、1.5Tでは信号強度が強いた

め、撮像時間は短縮されるが、motion artifactによる画像への影響は時に無視しえない。したがって、著者らの施設では、2~4回のアベレージングを症例に応じ行っている。また1.5Tの場合、頸脈(心拍数120以上/分)の患者において、短い繰り返し時間でもS/N比が良好なため鮮明な画像が得られる利点がある。また、T₁, T₂計算時間、とくに前者は動的臓器でかつ2回の撮像を要するため、その精度についてなお検討の余地があると考えられる。

さらに、1.5Tの高磁場で期待されるものとして、わずかな共鳴周波数のずれに基づく化学シフトイメージが可能であることである。³¹Pスペクトロメトリーによる心筋代謝の研究はin vitroのレベルで盛んに行われているが、in vivoで新たな知見が得られるであろう⁷⁾。

各種心疾患における本法の臨床応用を21症例について行った。心筋梗塞、肥大型心筋症などでは、心筋壁厚の状態がCTや心エコー図と同様にとらえられた。今後、T₁, T₂緩和時間など物理的諸量から心筋の組織性状の評価が可能かどうかの検討を必要とする。急性心筋梗塞を作成した動物実験では、梗塞部位のsignal densityの増加およびT₂緩和時間の延長が報告されている⁸⁾。また、Higginsや著者らは、Gd-DTPA⁹⁾0.5mM/kg静注により、梗塞部位がT₁緩和時間の短縮のためenhancementされることを動物実験で確かめている。今後、Gd-DTPAなど緩和時間に影響を与える造影剤やMn-DTPA-Antimyosin¹³⁾などの利用が梗塞、虚血の同定に有用であろう。また、肥大型心筋症においてもFarmerらは、心筋性状を評価できた症例報告を行っている¹⁴⁾。著者らも心拡大を示す肥大型心筋症や拡張型心筋症において、時に高信号領域が出現することを認めている^{15,16)}。

先天性心疾患や心のう液貯留など、その他心疾患においても形態診断として有用であり、CTに代替できる可能性がある。ただし、血栓形成に関して、現時点のMRIでは、血流のうっ滞と鑑別が困難なことがある¹⁷⁾。

次に、大血管疾患であるが、血管の拡張、狭窄

病変や大動脈瘤の内膜剥離などの診断情報も、横断のみならず、冠状、矢状断面を活用することにより、立体的に把握できた。

本法の心大血管系の診断に関する臨床的意義については、今後、心臓核医学、心エコー図、心CT図などと対比し、詳細な検討を行う予定である。

いずれにしろ、血流を負の造影剤として利用することにより心内腔と心筋が明瞭に区別できる心電図同期MRIは、心疾患における形態、機能、代謝情報を含んだ心臓イメージングとして、発展が期待される¹⁸⁾。

VI. 結論

1) 心電図同期MRIにより、鮮明な画像が得られ、心臓の収縮、拡張状態や多方向からの断層撮像により、立体的な形態、機能診断が可能であった。

2) 0.35Tと1.5Tの両静磁場のイメージングについて正常人で比較すると、後者の方が信号強度が強いため良好な画像が得られた。しかし、心臓は動的臓器であるため、アベレージングが2~4回必要であった。

3) 臨床応用では、心筋梗塞、肥大型心筋症などの心筋の菲薄化、壁肥厚の程度が、また収縮不全の状態がとらえられた。その他の心疾患でも、その特徴に応じた形態、機能診断が行えた。また、大血管系疾患である大動脈瘤や大動脈炎でも心電図同期MRIが有用であった。

文献

- Kaufman L, Crooks L, Sheldon P, et al: The potential impact of nuclear magnetic resonance imaging on cardiovascular diagnosis. Circulation 67: 251-257, 1983
- Herfkens RJ, Higgins CB, Hirsh H, et al: Nuclear magnetic resonance imaging of the cardiovascular system: Normal and pathologic findings. Radiology 147: 749-759, 1983
- 今井均, 吉田勝哉, 渡辺滋, 他: NMR-CTにおける心血管系の臨床応用. 核医学 21: 1557-1567, 1984
- 西川潤一, 飯尾正宏: NMR-心電図同期法. 核医学 21: 1037, 1984

- 5) 井上圭介, 佐伯文彦, 山川和夫, 他: 心大血管の Gated MRI の検討. 映像情報 **16**: 941-945, 1984
- 6) 西村恒彦: 循環器疾患における MRI の応用——現状と利用上の問題点——. 日本 ME 学会関西支部会, 1984 年 12 月 (大阪)
- 7) Ross BD, Radda GK, Gadian DG, et al: Examination of a case of suspected McArdle's syndrome by ^{31}P nuclear magnetic resonance. New Eng J Med **304**: 1338-1342, 1981
- 8) Wesbey G, Higgins CB, Lanzer P, et al: Imaging and characterization of acute myocardial infarction in vivo by gated nuclear magnetic resonance. Circulation **69**: 125-130, 1984
- 9) Weinmann HJ, Brasch RC, Press WR, et al: Characteristics of gadolinium-DTPA complex: A potential NMR contrast agent. AJR **142**: 619-624, 1984
- 10) Wesbey GE, Higgins CB, McNamara MT, et al: Effects of Gadolinium-DTPA on the magnetic relaxation times of normal and infarcted myocardium. Radiology **153**: 165-169, 1984
- 11) 西村恒彦, 山田幸典, 林 真, 他: 急性心筋梗塞(成犬)における Gd-DTPA による梗塞, 虚血部位の同定——梗塞群, 再開通群の in vivo イメージングによる検討——. 第 5 回 NMR 研究会発表, 1985 年 3 月 (東京)
- 12) 西村恒彦, 山田幸典, 林 真, 他: 急性心筋梗塞(成犬)における Gd-DTPA による梗塞部位の同定——摘出心における MRI とオートラジオグラフィおよび組織所見の対比——. 第 5 回 NMR 研究会発表, 1985 年 3 月 (東京)
- 13) Khaw BA, Gold HK, Fallon JT, et al: Tomographic NMR imaging of experimental myocardial infarction using paramagnetic manganese labelled out-myosin Fab. Circulation **68**: (abst) III-177, 1983
- 14) Farmer D, Higgins CB, Yee E, et al: Tissue characterization by magnetic resonance imaging in hypertrophic cardiomyopathy. Am J Cardiol, 230-232, 1985
- 15) 西村恒彦, 永田正毅, 内藤博昭, 他: 心電図同期 MRI による拡張型心筋症の診断. NMR 医学, 投稿中
- 16) 西村恒彦, 永田正毅, 内藤博昭, 他: 心電図同期 MRI による肥大型心筋症の診断——心エコー図, 心筋シンチグラフィとの対比——. NMR 医学, 投稿中
- 17) Higgins CB, Lanzer PL, Stork D, et al: Imaging by nuclear magnetic resonance in patients with chronic ischemic heart disease. Circulation **69**: 523-531, 1984
- 18) 西村恒彦: NMR 医学の現状と将来——とくに心臓 MRI について——. Isotope News **370**: 2-5, 1985

Summary

Clinical Evaluation of Cardiovascular Disease by Gated-MRI (Magnetic Resonance Imaging) in the Operating Field of 0.35 and 1.5 Tesla

Tsunehiko NISHIMURA, Hiroaki NAITO,
Yukinori YAMADA and Takahiro KOZUKA

Department of Radiology, National Cardiovascular Center, Suita, Osaka

To evaluate the clinical usefulness of magnetic resonance imaging (MRI) in the cardiovascular disease, 21 patients were examined using 0.35 and 1.5 Tesla superconductive type (Magnetom, Siemens). In our study, all patients were performed using ECG-gated MRI. Therefore, the cardiac chambers were discriminated clearly from the myocardial wall compared to non-gated MRI. Gated-MRI was performed in 6 normal persons in the operating field at 0.35 and 1.5 Tesla. The image of the latter showed superior than that of the former because of high S/N ratio. In myocardial infarction, infarct area was demonstrated as the wall thinning in 4 of 5 patients. Hypertrophic cardiomyopathy showed thickened left ventricle associated with its

narrowed cavity in 7 patients. In the remaining such as congenital and valvular heart disease, global and regional cardiac morphology were assessed noninvasively by gated MRI. In addition, gated MRI was also applied to the diagnosis of peripheral vascular diseases. In dissecting aneurysm, double channels with an intimal flap in the aorta were clearly visualized. And in the aortitis syndrome, aortic dilatation and stenosis were also assessed noninvasively. In conclusion, gated MRI in diagnosing various abnormalities of cardiovascular disease was confirmed.

Key words: Gated MRI, Cardiovascular disease.