

表面コイルを用いた心電図
同期磁気共鳴映像法の検討

ECG-gated magnetic re-
sonance imaging using
a surface coil

佐伯 文彦
井上 圭介
山川 和夫

Fumihiko SAEKI
Keisuke INOUE
Kazuo YAMAKAWA

Summary

ECG-gated magnetic resonance imaging (MRI) was performed for healthy volunteers and for patients with various heart diseases, and its usefulness was compared with that of two-dimensional echocardiography. For this study, several modifications were made in the MRI equipment used. First, a surface coil was introduced for recording the MR signal, resulting in a high S/N ratio. Second, an oblique scan mode was developed for selecting freely the slices similar to those chosen by two-dimensional echocardiography. For imaging, the back projection method and spin echo (SE) pulse sequence were chosen to minimize motion artifacts caused by cardiac beats. In this study, left ventricular wall thickness and left ventricular volume were estimated from gated MR images, taken both in the horizontal and oblique longitudinal scan modes. The results were as follows:

1. The anterior, inferior and apical left ventricular walls were clearly visualized with oblique longitudinal scan images.

2. The thickness of the interventricular septum and posterior wall were measured on left ventricular horizontal scan images. Each measurement was compared with data obtained by two-dimensional echocardiography. Both correlation factors were about 0.70, indicating poor correlations.

3. Left ventricular ejection fraction was calculated from left ventricular volume estimates. Comparison of left ventricular ejection fractions estimated by MRI and two-dimensional echocardiography revealed a close similarity.

We concluded that MRI is useful for non-invasive evaluation of cardiac function, and in detecting wall thickness abnormalities due to various heart diseases.

Key words

ECG-gated magnetic resonance imaging (MRI)
left ventricular volume

Surface coil

Oblique scan mode

Estimation of

はじめに

磁気共鳴映像法 (magnetic resonance imaging: MRI) は、最近注目されつつある新しい画像診断法である。現在の MRI は水素原子核の磁気共

鳴現象を画像化するもので、生体のあらゆる部位について臨床応用が進められつつある。本法はまったく無侵襲である上に、水平、前額および矢状断面が被験者を動かすことなく容易に得られ、頭部や四肢領域に関しては、その有用性が確立され

東芝中央病院 内科
東京都品川区東大井 6-3-22 (〒140)

Toshiba Central Hospital, Higashi Ohi 6-3-22,
Shinagawa-ku, Tokyo 140

Received for publication August 16, 1985; accepted September 29, 1985 (Ref. No. 30-20)

ている¹⁻³⁾。一方, 心大血管領域の MRI では, 内腔が血流のために低信号領域となり, 造影剤を用いなくても, 壁と内腔の間に良好なコントラストが得られる利点がある。しかし, その臨床応用にあたっては, 心拍動や心内腔血流速度, 非対称な解剖学的配置など, 他の部位にみられない心大血管系の特殊性を配慮する必要がある⁴⁻⁸⁾。心拍動に対しては, すでに Lanzer らによる心拍同期法の検討が行われ⁹⁾, 現在では MRI によって心時相ごとの形態変化を描出する。今回我々は, 心電図同期 MRI 装置に新たに表面コイルと斜方向断面撮影法を加え, 心エコー図法との対比を行い, 左心形態および左心機能の面から MRI の有用性を検討した。

対象と方法

健康成人男子 4 例および心疾患例 9 例を対象とした。疾患の内訳は, 肥大型心筋症 4 例, 高血圧性心肥大症 1 例, 拡張型心筋症 1 例, および虚血性心疾患 3 例であった。対象者には全例, 断層心エコー図法による心機能評価を行い, 1 ヶ月以内に MRI を実施した。

1. 装置構成

心エコー図には東芝製 SSH-40A を, MRI にはテレメーター方式心電図同期システムを付設した東芝製 MRT 15A (常伝導型 0.15 Tesla) を用いた (Fig. 1)。MRI 室内からワイヤレスで室外に送信された心電図をもとに, R 波をトリガーとして同期心時相の選択を行った。MR 信号の受信には表面コイルを用いた。我々は, 前胸壁に装着する円形コイルと, 胸背部両面に密着させる saddle 型コイルの 2 種類を試作し, 描出域および感度均一性に優れる saddle 型コイルを本研究に用いた (Fig. 2 参照)。

2. MRI 撮影モード

撮影の際, パルス列は主に心拍同期 spin echo (SE) モードを使用し, 画像再構成には back projection 法を用いた。なお位置決めには, 撮影能率の良い心拍非同期 short SE モードを併用した

(Fig. 3)。

心拍同期 SE モードでは, モニター心電図の R 波をトリガーとして, 任意の心時相同期を選択し得た。具体的には, R 波直後 1 ms の同期選択で拡張末期像が, R 波から 250 ms ないし 350 ms の T 波終末時相の同期設定で収縮末期像が得られた。このさい, 1 心拍同期の中で画像撮影に要する時間は TE で表わされ, これは高周波パルスによる被験体の励起から MR 信号受信までの時間に相当する。本研究のさいの TE 値は 30 ms で, 心エコー図の B モード像の 1 回走査に要する時間とほぼ同等であった。

3. MRI 撮影手順

撮影は心拍同期 short SE モードによる左室水平断面をまず実施し, 次いで心拍同期 SE モードによる水平断面と斜方向断面を撮影した。水平断面に描出される心形態は, MRI と造影 X 線 CT スキャンとで, ほぼ同等と考えられる。そこで, 内藤らによる X 線 CT スキャンを用いた左心壁評価の報告¹⁰⁾を参考にして, 左室内腔の長軸長が最大となる水平断面レベルを「左室中央部」とした。

次に, この「左室中央部」水平断面像に直交し, かつ左室長軸を含む斜方向断面を撮影し, これを左室長軸断面とした。1 例あたり心拍同期 SE モードを用いて, 拡張, 収縮末期の両時相で左室の水平, 長軸両断面をそれぞれ撮影し, 得られた 4 画像を以下の検討に用いた (Fig. 4)。

4. MRI 計測と左室駆出分画算出

MR 像から左室機能を推定するための指標として, 心室中隔厚 (IVST), 後壁厚 (PWT) および左室内腔容積に着目した。中隔および後壁の壁厚計測は, 左室中央部水平断面像を用いて実施した。本断面像上で, 長円形に描出された左室内腔部分で互いに直交 2 分する長軸と短軸を同定し, 短軸両端に接する心筋壁厚を計測して中隔厚と後壁厚を求めた (Fig. 5)。一方, 左室内腔容積は, 水平断面像と長軸断面像の双方をもとに回転楕円体と仮定して算出した。具体的には, 長軸断面像

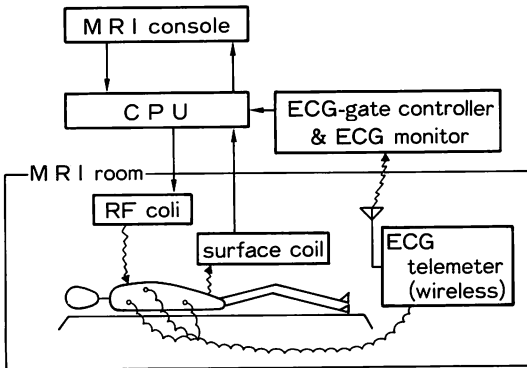
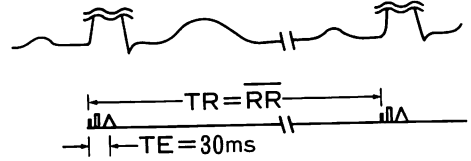


Fig. 1. Block diagram of our ECG-gated MRI system.

(1) End-diastolic phase



(2) End-systolic phase

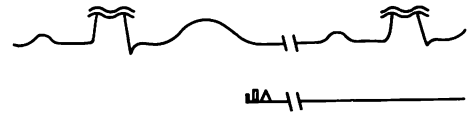


Fig. 3. Timing chart of MRI pulse sequence.

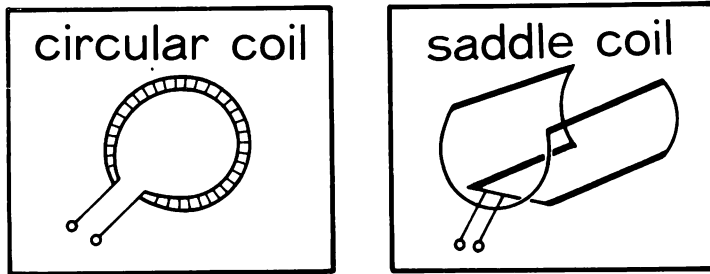


Fig. 2. Schematic demonstration of surface coil design.

上で計測した左室内腔面積 (A) と水平断面像上で計測した短軸長 (D) との積から、以下に示す式に従って左室内腔容積を推定した。すなわち、

$$EDV = 2/3 Dd \times Ad$$

$$ESV = 2/3 Ds \times As$$

$$EF = 1 - ESV/EDV$$

$$= 1 - \frac{Ds \cdot As}{Dd \cdot Ad}$$

また拡張、収縮末期両時相の内腔容積 (EDV, ESV) の計測から左室駆出分画 (EF) を算出し、心エコー図のデータと比較した。以上の計測は、CRT 上の画像をもとにカーソル操作で実施した。

結 果

1. 症例呈示と MRI の形態描出能評価

MR 像上、血流のある心大血管内腔および含気の多い肺は低信号域となり、一方心大血管壁は高信号領域として、良いコントラストで描出された。Saddle 型コイルを用いたため、水平断面像では胸部のほぼ全域が描出され、また長軸断面像では胸骨角以下、横隔膜レベルまでの広範囲な領域が明瞭に描出された。

症例 1: 65 歳, 男性, 陳旧性心筋梗塞 (前壁中隔梗塞)

左室中央部レベルの拡張末期水平断面像 (Fig. 6) で、拡大した左室内腔が認められる。心室中隔全体と前壁に著しい壁の菲薄化が認められるの

Oblique longitudinal scan mode

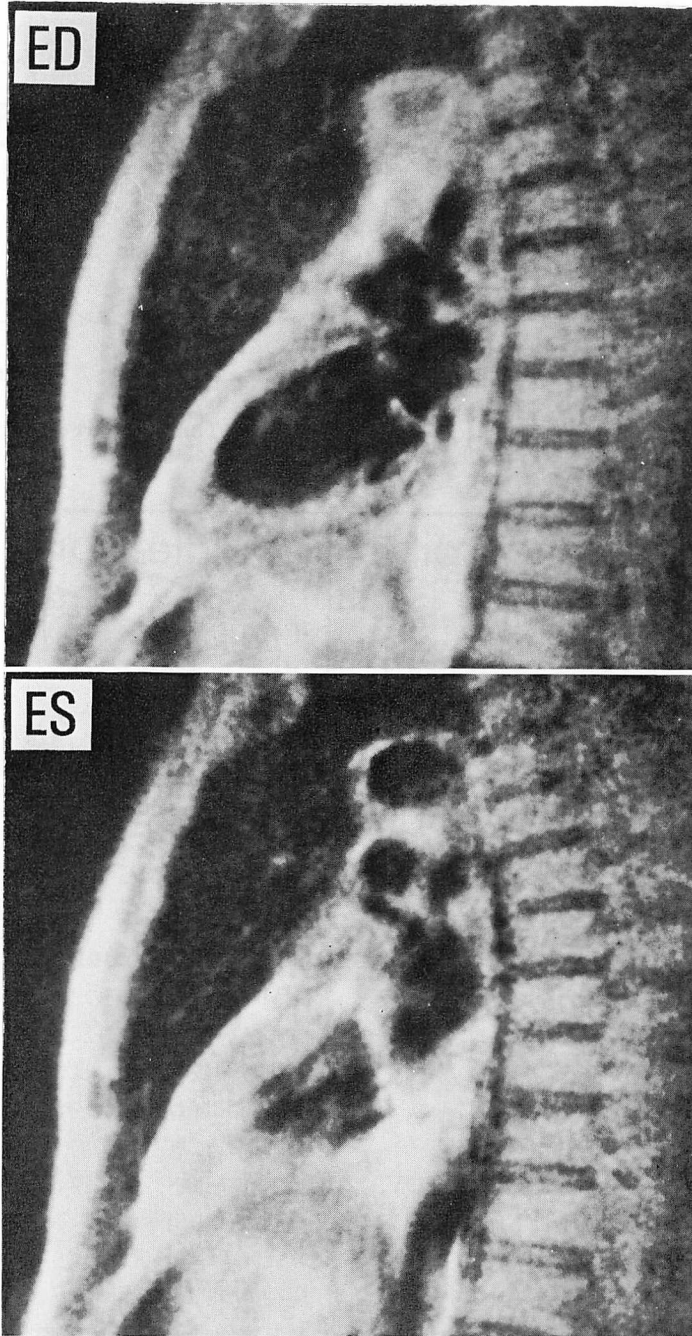
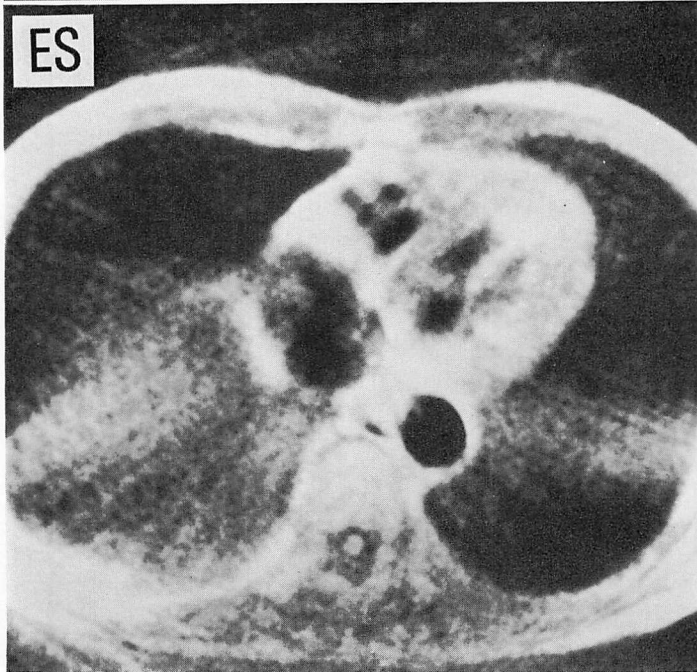
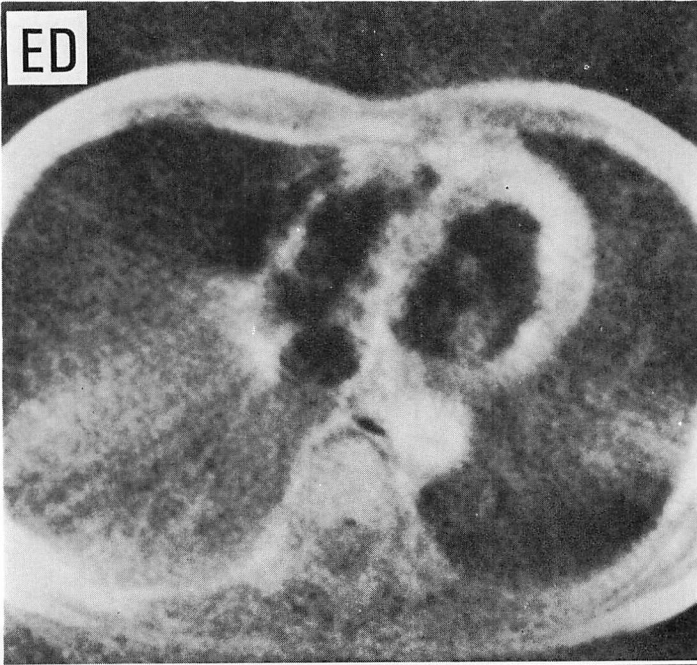
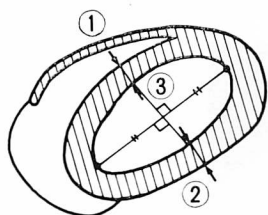


Fig. 4. Example of ECG-gated MR images in a normal subject.
ED=gated on "end-diastolic" phase; ES=gated on "end-systolic" phase.

Horizontal scan mode

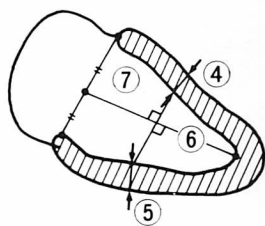




① IVST

② PWT

③ D



④ AWT

⑤ IWT

⑥ L

⑦ A

Fig. 5. Protocol of left ventricular measurements on MR images.

IVST=interventricular septum thickness; PWT= posterior wall thickness; D=short-axis dimension; AWT=anterior wall thickness; IWT=inferior wall thickness; L=left ventricular cavity length; A=left ventricular cavity area.



Fig. 6. MR image (horizontal scan) of Case 1 with old myocardial infarction (65 y.o., man).
Extreme thinning of the interventricular septum and anterior wall is observed.

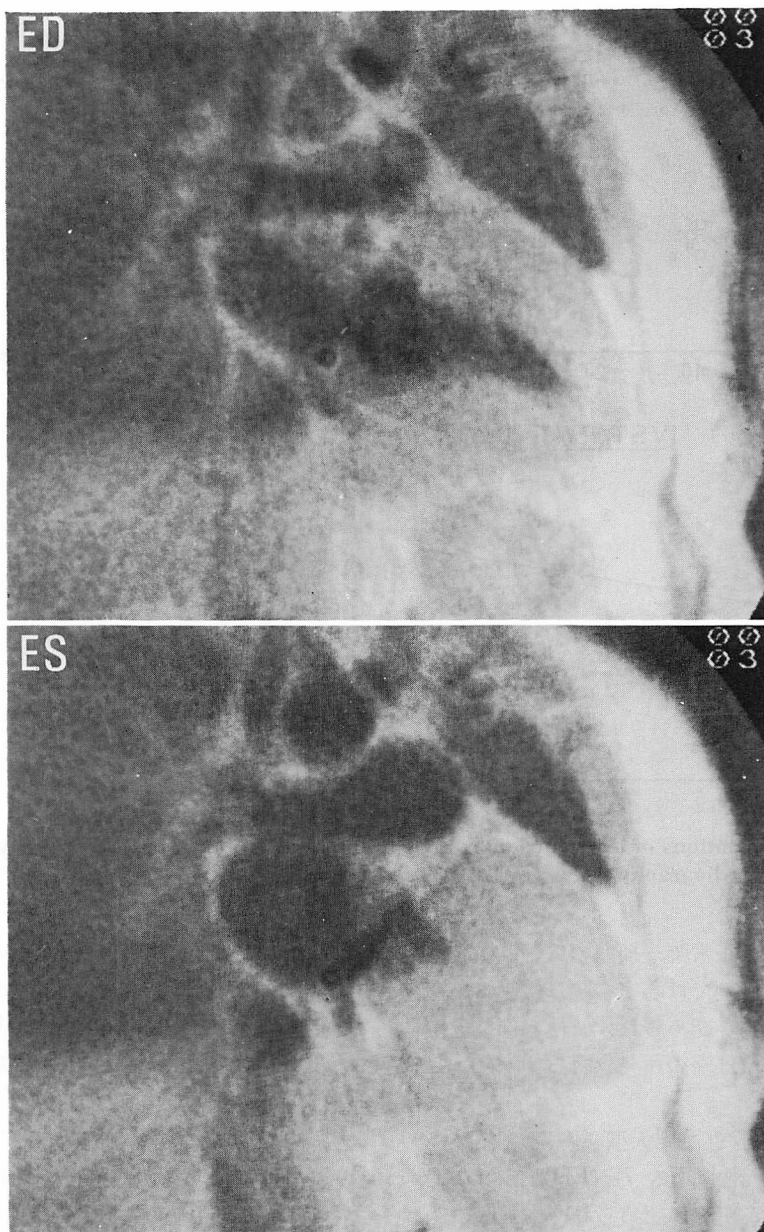


Fig. 7. MR images of Case 2 with hypertrophic cardiomyopathy (53 y.o., woman) (oblique longitudinal scan / ED=end-diastolic phase; ES=end-systolic phase)

Diffuse thickening of the left ventricular myocardium including the anterior, posterior and apical areas is observed.

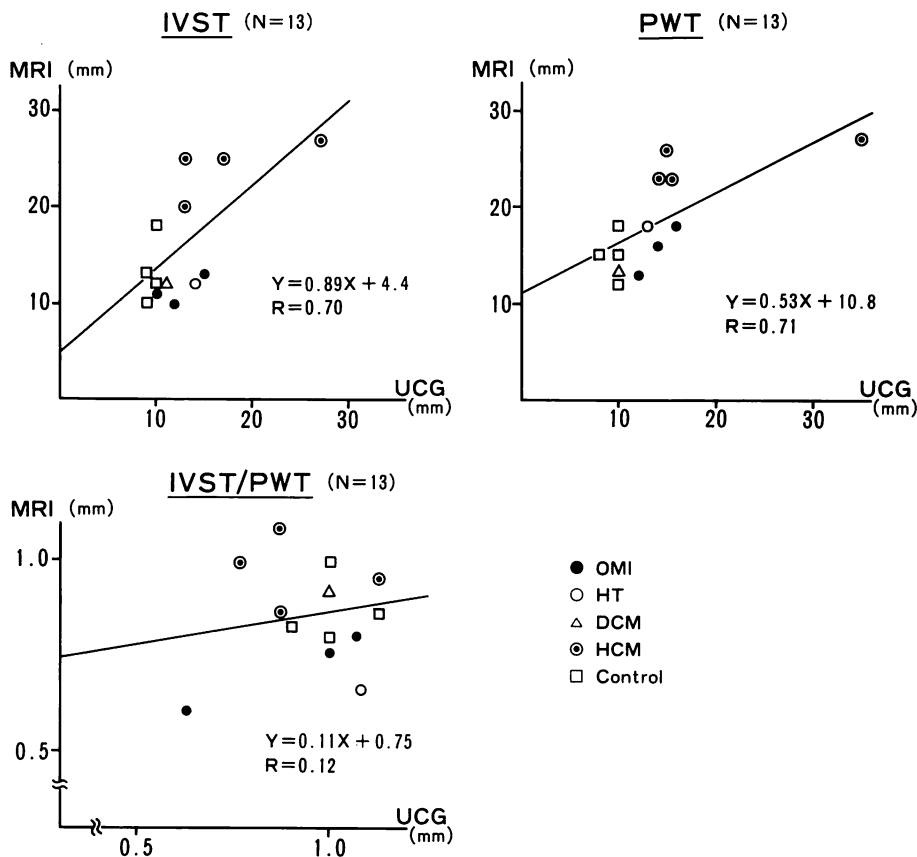


Fig. 8. Correlations of left ventricular measurements obtained by MRI and by two-dimensional echocardiography (UCG).

に対して、後壁厚は正常で、梗塞の広がり容易に把握できた。本症例では心室中隔に接する左室内腔の信号強度増加が認められず、梗塞部位近傍の血栓もしくは血流停滞の所見は得られなかった。

症例 2: 53 歳, 女性, 肥大型心筋症

拡張末期長軸断面像 (Fig. 7) (ED) で、左室壁の瀰漫性の肥厚が明瞭に認められ、本画像のみで、前壁, 心尖部, 下壁の壁厚評価が可能であった。収縮末期長軸断面像 (ES) では、心尖部寄りの左室内腔がほとんど消失しており、本症の病態を的確に把握できた。

2. 左室計測値の対比 (MRI 対心エコー図)

MRI と心エコー図による左室計測の対比を、(1) 心室中隔厚, (2) 後壁厚, (3) 中隔厚/後壁厚の 3 項目に関して実施した。両測定法間の相関係数は、前 2 者では 0.70 前後であった。計測値は、大多数の例で MRI が心エコー図のそれを上回り、とくに肥大型心筋症例で両測定法間の相違が大であった。中壁厚 / 後壁厚については、相関係数は 0.12 で、両測定法間の相関は認められなかった。

3. 左室駆出分画の対比 (MRI 対心エコー図)

今回の対象症例中、左室内腔辺縁の同定が可能な MR 像が、拡張, 収縮末期の両時相とともに

得られた3例について検討した。内訳は肥大型心筋症例、高血圧性心肥大例および健常者それぞれ1例で、心エコー図計測による駆出分画(以下EF)値とMRIによる駆出率推定値の対比は、順に0.82/0.86, 0.71/0.68, 0.70/0.62と、両測定法間で近接した結果を得た。対象例が少数となったため、今回はMRIと心エコー図間の相関を検討するには至らなかった。

考 按

現在、MRIの臨床応用の主力は、生体内に含まれる水素原子核の磁気共鳴現象の画像化である。MRIの信号強度は、水素原子核を含む生体組織の物理学的特性によって大きく左右される。頭部や四肢など生理的律動のない部位では、既にMRIが軟部組織間の識別に有用であることが確認され¹⁾、X線CTスキャンを越える評価を得ている。一方、心大血管系領域のMRIでは、心拍同期を行うため1画像の撮影に最低数分を要し、軟部組織間の識別も他領域ほど容易でない。しかしMRIには、①内腔と壁の識別に造影剤を要しない、②水平断面以外の多様な断面撮影が可能である、③被験体の体型に左右されず高い分解能の撮影が可能である、などの大きな利点がある。したがって心大血管系のMRIは、従来の非侵襲的検査法であるX線CTスキャンや心エコー図、RIの短所を克服しうる新しい検査法として、その発展が期待される。

今回のMRIの検討では、感度の向上と斜方向断面モードの利用により、形態描出と計測の点ではX線CTスキャンや心エコー図に匹敵する結果が得られた。MRIによる心室中隔や左室後壁の壁厚の計測では、心エコー図に比べて過大評価の傾向がみられたが、この差違は、計測対象とした断面の不一致によるものと思われた。断面設定を工夫することで、MRIによっても心エコー図と同等な形態計測が、いずれは可能となると考えられる。

要 約

健常者と心疾患例を対象として心電図同期MRIを行い、MRIの有用性を断層心エコー法と対比して検討した。検討にあたり、MRI装置に以下の改善を加えた。表面コイルを用い、信号受信のS/N比向上を図った。斜方向断面撮影法を開発し、心エコー図法に近似した断面撮影を実施した。再構成法にはback projection法を、パルス列にはSE法を用い、心拍動による断面像のぶれを防止するよう努めた。左室心拍同期MR像を水平および長軸断面で撮影し、壁厚の計測と内腔容積の推定を実施した。

1. 左室長軸断面像では、前壁、下壁、心尖部が明瞭に識別し得た。
2. 左室水平断面像から、心室中隔厚と後壁厚を計測し得た。それぞれを、心エコー図法による計測値と対比した。いずれも相関係数は0.70前後で、強い相関は認められなかった。
3. 左室内腔容積をもとに、左室駆出分画値を算出した。MRIと心エコー図法で左室駆出分画値を対比し、良好な近似を得た。

MRIは、非侵襲的な心機能評価に有用で、心疾患に伴う心筋壁厚の異常の検出にも利用可能と考えられた。

文 献

- 1) Hawkes RC, Holland GN, Moore WS: Nuclear magnetic resonance (NMR) tomography of the brain: A preliminary clinical assessment with demonstration of pathology. *J Comput Assist Tomogr* 4: 577-586, 1980
- 2) Bydder GM, Steiner RE, Young IR: Nuclear magnetic resonance imaging of the brain: 140 cases. *Am J Rentgenol* 139: 215-236, 1982
- 3) Brady TJ, Rosen BR, Pykett IL, McGuire MH, Mankin HJ, Rosenthal DI: NMR imaging of leg tumors. *Radiology* 149: 181-187, 1983
- 4) Kaufman L, Crooks L, Sheldon P, Hricak H, Herfkens R, Bank W: The potential impact of nuclear magnetic resonance imaging on cardiovascular diagnosis. *Circulation* 67: 251-257, 1983
- 5) Gamsu G, Webb WR, Sheldon P, Kaufman L,

- Crooks LE, Birnberg FA, Goodman P, Hinchcliffe WA, Hedgecock M: Nuclear magnetic resonance imaging of the thorax. *Radiology* **147**: 473-480, 1983
- 6) Herfkens RJ, Higgins CB, Hricak H, Lipton MJ, Crooks LE, Lanzer P, Botvinick E, Brundage B, Sheldon PE, Kaufman L: Nuclear magnetic resonance imaging of the cardiovascular system: Normal and pathologic findings. *Radiology* **147**: 749-759, 1983
- 7) Lieberman JM, Aifidi RJ, Nelson AD, Betti RE, Moir TW, Haaga JR, Kopiwoda S, Miraldi FD, Cohen AM, Butler HE, Nara A, Hellerstein HK: Gated magnetic resonance imaging of the normal and diseased heart. *Radiology* **152**: 465-470, 1984
- 8) Crooks LE, Barker B, Chang H, Feinberg D, Hoenninger JC, Arakawa M, Kaufman L, Sheldon PE, Botvinick E, Higgins CB: Magnetic resonance imaging strategies for heart study. *Radiology* **153**: 459-465, 1984
- 9) Lanzer P, Botvinick EH, Shiller NB, Crooks LE, Arakawa M, Kaufman L, Davis PL, Herfkens R, Lipton MJ, Higgins CB: Cardiac imaging using gated magnetic resonance. *Radiology* **150**: 121-127, 1984
- 10) Naito H, Arisawa J, Kimura K, Kozuka T, Kito Y, Ohara K, Fujita T, Nagata S, Redington RW: Evaluation of left ventricular morphology and function by cardiac computed tomographic examination. *J Cardiography* **12**: 425-440, 1982 (in Japanese)
- 11) Mills CM, Crooks LE, Kaufman L, Brant-Zawadzki M: Cerebral abnormalities: Use of calculated T1 and T2 magnetic resonance images for diagnosis. *Radiology* **150**: 87-94, 1984