

Gd-DTPA 造影高速シネ MRI を用いた 左室血行動態の評価

松村憲太郎¹, 中瀬恵美子¹, 川合一良¹, 灰山 徹²,
橋川信忠², 葛西 醇², 武尾和浩³, 清水公治³,
山崎一成³, 河野和宏³

¹京都南病院内科

²同 放射線科

³島津製作所医用機器事業部

はじめに

循環器領域における magnetic resonance imaging (MRI) は、高速イメージング技術の開発とともに、形態診断から機能診断へと発展してきている^{1)~3)}。MRI の最大の特徴は、心臓を任意の断面で撮影でき、正確に左室長軸および短軸断面を描出することができることである。従来の心電図同期心臓シネ MRI は、一心周期の画像を得るのに 10 分前後の撮影時間を必要とし、また呼吸による motion artifact などで画像が劣化しやすい。最近開発された高速シネ MRI は、心電図同期下に 16 心拍までの心拍数で一心周期の画像を得ることができ、息止め撮影を可能にしている⁴⁾。

Gd-DTPA を用いることで良好な左室水平長軸断面での左室像が得られ、心機能解析ソフトを用いて左室血行動態の評価が可能である。左室容積や左室容積変化曲線について、従来の心電図同期シネ MRI と比較するとともに、経静脈的 digital subtraction angiography (IV-DSA) を用いた左室造影との対比より、高速造影シネ MRI の妥当性について検討した。

対 象

息止めシネ MRI 撮影が良好に施行しえた連続 14 例で、高血圧 9 例、虚血性疾患 3 例、冠攣縮性狭心症 2 例である。いずれも二ヵ月以内に IV-DSA を施行した。MRI と IV-DSA の検査の間に、心機能の変化を示唆する新たな病態の出現はなかった。

方 法

1) 高速シネ MRI

装置は 1.5T 超電導型磁気共鳴イメージング装置 (島津 SMT-150X) を用いた。高速シネ MRI のパルス系列は、フリップ角 30 度、TE3.2ms で、TR は rewind pulse を用いない場合は 6ms, rewind pulse (2ms) を用いた場合は 8ms となる。rewind pulse を用いることで画像のコントラストが改善されるため、通常は rewind pulse を用いている。マトリックス 128 (100%)、1 心時相の位相エンコード 8 (100%) あるいは 6 (80%)、スライス厚 1.0cm、加算回数 1 回で、息止めにより撮影を行った。心電図 R 波に

キーワード cardiac cine MRI, high speed cine MRI, Gd-DTPA, left ventricular volume, intra-venous digital subtraction angiography (IV-DSA)

同期して、1時相約50msで必要な時相分繰り返し撮影し一周期の全画像を得た。心拍数60/分で20画像が得られる。データ収集の休止期間中に磁化が回復し、第1時相目の信号強度が増強するフラッシング現象に対しては、ダミーパルスを打ち続ける手法を用いた。

左室水平長軸断面にて、単純法で高速シネMRIを施行し、心電図R波に確実に同期することを確認したのち、Gd-DTPA 0.025-0.05mmol/kgを生理食塩水20mlに希釈し、前腕静脈よりボラスで注入すると同時に、高速シネMRIを息止め下に施行した。循環時間が遅く、Gd-DTPAの左室初期循環が十分とらえられない症例に対してはGd-DTPAの注入時間を少し延長した。またデータ収集中に、心電図周期が不十分であった症例、息止め不十分であった症例は、

3～5分の後、再度施行した。

2) 従来法シネMRI

高速シネMRIと同一の左室水平長軸断面にて従来法のシネMRIを施行した。パルス系列は、フリップ角30度、TE12ms、TR25ms、心電図同期シネモード法により、マトリクス256×256、スライス厚1.0cm、加算回数4回で撮影した。

3) 画像処理

左室水平長軸断面で得られた1心周期の全画像に対して、Dodgeら⁵⁾のarea-length法を用いて左室容積を算出した。左室内腔をトラック・ボールで用手的にトレースし、僧帽弁輪中点より最も遠い点を左室長径とした。第1時相を拡張末期、T波終点で最も左室内腔が小さくなった時相を収縮末期とし、それぞれ拡張末期容積係数(EDVI; end-diastolic volume index),

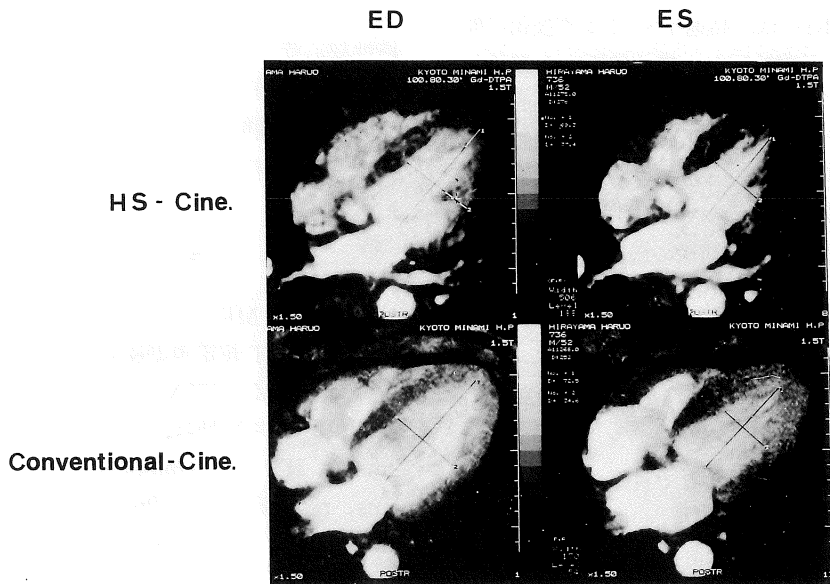


Fig.1. Comparison of horizontal long axis left ventriculography between conventional cine MRI and first pass Gd-DTPA enhanced high speed cine MRI. Left ventricular cavity is clearly visible in first pass Gd-DTPA enhanced high speed cine MRI (upper panel), especially on end-systolic (ES) image. ED : end-diastole ES : end-systole

収縮末期容積係数 (ESVI ; end-systolic volume index), 一回拍出係数 (SI ; stroke index), 左室駆出分画 (EF ; ejection fraction), 最大駆出速度 (PER ; peak ejection rate), 最大充満速度 (PFR ; peak filling rate) を求めた。今回は EDVI, ESVI 及び EF について検討した。

4) 経静脈的 digital subtraction angiography (IV-DSA)

中心静脈に高流量用カテーテルを留置し, iopamidol 370 を 0.4ml/kg, 1 秒間で急速注入し, 右前斜位 30 度, 左前斜位 60 度の 2 方向で IV-DSA 左室造影を施行し, DSA 装置 (東芝 DFP-50A) にデータ収集した。収集条件は matrix256×256, 8bit, 30 フレーム/秒, 13~17 秒間収集とした。Cardiac subtraction が不良な症例は除いた。2 方向左室造影より area-length 法を用いて EDVI, ESVI, SI, EF を求め, また左室長軸像より densitometry 法を用いて左室容積変化曲線を作成し, EF,

PER, PFR を求めた。

結 果

左室水平長軸断面における従来法シネ MRI 画像と高速シネ MRI 画像の比較を示す (Fig.1)。従来法は呼吸, 体動による影響と, 加算画像であるために心腔一心筋境界が不明瞭な場合が多く, 左室乳頭筋の描出も不良であるが, Gd-DTPA 造影高速シネ MRI では, 呼吸による motion artifact は見られず, また心腔一心筋境界は明瞭に描出され, 特に左室乳頭筋や肉柱も良好に描出された。

area-length 法を用いて左室容積変化曲線を求める場合, 従来法シネ MRI では左室輪郭が不鮮明なため, 容積変化曲線が不良な場合が多いが, 造影高速シネ MRI では全心周期にわたって良好に左室輪郭を用手的にトレースすることが可能であり, 良好な容積変化曲線を得ることができた (Fig.2)。特に左室壁運動異常がある症

LV-Volume Curve

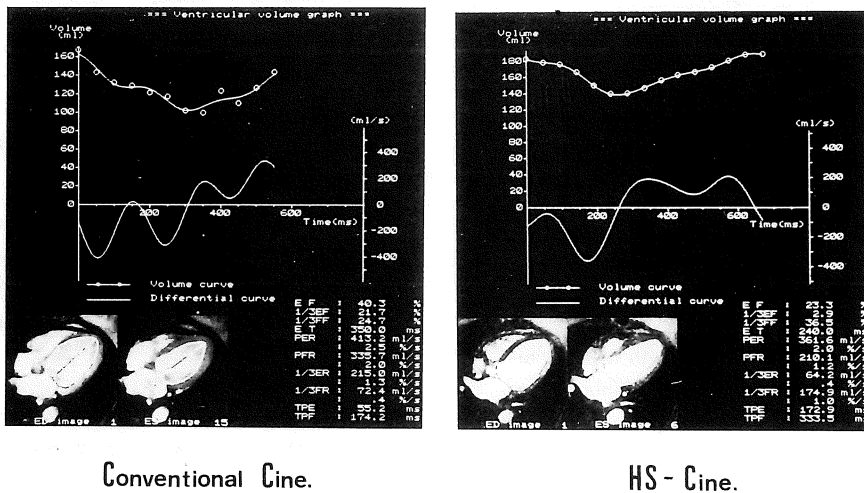
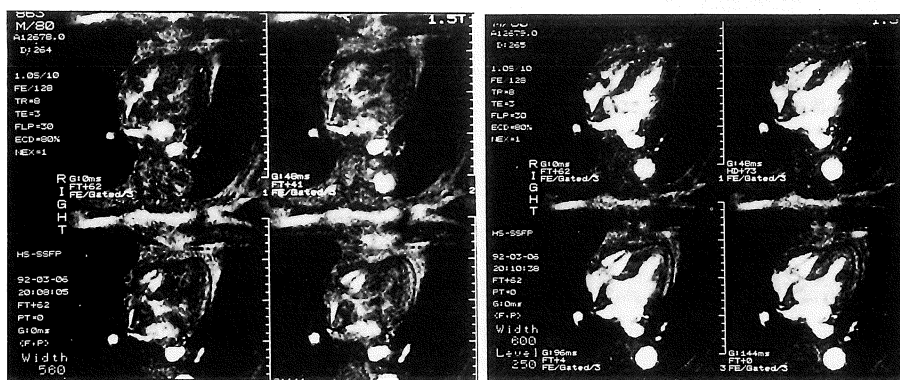


Fig.2. Comparison of left ventricular (LV) volume curve between conventional cine MRI and first pass Gd-DTPA enhanced high speed cine MRI. In particular, LV volume curve was easily and accurately made on high speed cine MRI (right panel).

HS-CINE.



MAT 100
ECD 80
FA 30

Gd-DTPA

Fig.3. Comparison of horizontal left ventricular long axis images by high speed cine MRI between non-enhanced and enhanced images. Left ventricular cavity was not visible on non-enhanced high speed cine MRI (left panel), but clearly visible on Gd-DTPA enhanced high speed cine MRI.

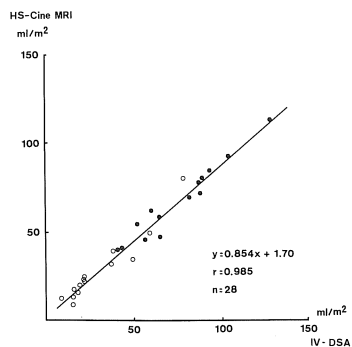


Fig.4. Correlation of left ventricular (LV) volume between first pass Gd-DTPA enhanced high speed (HS) cine MRI and intra-venous digital subtraction left ventriculography (IV-DSA). LV-volume in HS cine MRI was calculated by single plane area-length method, and in IV-DSA was calculated by biplane area-length method. LV-volumetry showed a high correlation between HS cine MRI and IV-DSA. Closed circle : end-diastolic volume index
Open circle : end-systolic volume index

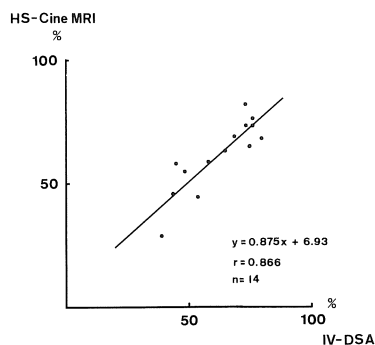


Fig.5. Correlation of left ventricular (LV) ejection fraction (EF) between first pass Gd-DTPA enhanced high speed (HS) cine MRI and intra-venous digital subtraction left ventriculography (IV-DSA). LV-EF showed a high correlation between HS cine MRI and IV-DSA.

例や心不全例、心拍数の変動しやすい症例では、心電図 R 波からより離れた拡張期画像が、従来法では不良な場合が多かったが、高速シネ法では拡張期まで良好であった。

左室水平長軸断面で高速シネ MRI を施行した場合、単純法では心腔内血流信号を描出するこ

とはほとんど出来ないが (Fig.3), Gd-DTPA を急速注入し, 初期循環中に高速シネ MRI を施行すれば, 良好な左室像が得られた (Fig.3).

高速シネ MRI で求めた左室容積 (一方向 area-length 法) と IV-DSA で求められた左室容積 (二方向 area-length 法) との間に, $y = 0.845x + 1.699$ $r = 0.985$ の良好な相関が見られ (Fig.4), また左室 EF も $y = 0.875x + 6.931$ $r = 0.866$ の良好な相関が見られた (Fig.5).

考 察

高速イメージング技術の開発¹⁾により心臓 MRI は発展して来た。しかし, 従来より用いられて来た心臓シネ MRI は, 撮影に長時間を必要とし, 体動, 呼吸による影響や加算画像のため, 左室輪郭が不鮮明であった。また, 最近開発された 180 度パルスを用いた高速イメージング^{2),3)}も, 心時相の最小時間間隔が 125ms までであり, 左室容積変化曲線を正確に求めることは困難である。今回用いた Gd-DTPA 造影高速シネ MRI は, 最小時間間隔 48ms で画像収集が可能であり, 左室容積の算出と容積変化曲線及びその一次微分曲線を得ることが可能であった。左室容積の算出には, Dodge ら⁵⁾の area-length 法があるが, 理想的には true Simpson's rule 法が要求される。MRI を用いた左室容積の算出は多く報告されているが⁶⁾⁻¹⁸⁾, いずれも true Simpson's rule 法で, その精度は優れている^{10),12)-16),18)}。しかし, スピン・エコー法を用いた multislice, multiphase 画像より true Simpson's rule 法を用いて左室容積を算出するには, 撮影だけで 60~90 分という長い検査時間が必要とされ, 実用的でない。一方日常臨床では area-length 法で求めた左室容積や駆出分画で十分有用であり, また左室造影とも比較的良好な相関を示している^{6)-9),11)}。我々の Gd-DTPA を用いた高速シネ MRI の報告は, 他に見られない。左室水平長軸断面での area-length 法による検討でも, IV-DSA 左室造影と良好な相関を

示している。左室造影は垂直長軸断面に近い投影像であり, MRI は水平長軸断面であるが, 後者で左室容積を過小評価する傾向があるが, 相関性は高い¹⁹⁾。

Gd-DTPA を用いない左室水平長軸断面の高速シネ MRI で左室腔を描出することは困難であるが, Gd-DTPA の初期循環中に 16~20 心拍以内で画像収集することで, 良好な左室像が得られることを今回示した。撮像に 10 分前後を要す従来のシネ MRI に比し, 我々の Gd-DTPA を用いた高速シネ MRI は, 一回の息止め下に 1 心周期の画像を約 50ms 間隔で収集することが可能であり, 左室血行動態を評価するのに有用な方法と思われる。また, この高速シネ MRI は心室短軸断面にて, 短時間 (10 分以内) に multislice, multiphase 画像を収集でき, true Simpson's rule 法を用いた左右心室容積を実用的な時間内で求めることが出来る。我々の経験でも true Simpson's rule 法で求めた右室一回拍出量は, 左室一回拍出量に比し過小評価するものの良好な相関を示した。Auffermann ら¹⁸⁾も従来のシネ MRI を用いて同様の結果を報告している。

結 語

1 心時相が約 50ms で, 一回の息止めにて 1 心周期の画像収集が可能で高速シネ MRI を用いて左室容積を求め, IV-DSA 左室造影と比較検討した。Gd-DTPA 造影高速シネ MRI にて, Gd-DTPA の初期循環中に左室水平長軸断面で 1 心周期にわたって画像収集し, area-length 法にて左室容積を求めることが可能であった。IV-DSA 左室造影で求めた左室容積, 左室駆出分画とも良好な相関を示した。従来のシネ MRI では 10 分前後の収集時間が必要とされるが, 本法では一回の息止め時間内で収集可能であり, また Gd-DTPA を使用すれば従来法に比較し, 左室内腔を良好に描出することが出来た。本法は, これまでに報告がなく, MRI を用いて心機能を短時間に評価するうえで, 臨床的にきわめて有用な方法と考えられる。

文 献

- 1) Haase A, Frahm J, Matthaei D, Hancike W, Merboldt KD : FLASH imaging. Rapid NMR imaging using low flip angle pulses. *J Magn Reson*, 68 : 258-266, 1986.
- 2) Atkinson DJ, Burstein D, Edelman RR : First-pass cardiac perfusion : Evaluation with ultrafast MR imaging. *Radiology* 174 : 757-762, 1990.
- 3) Manning WJ, Atkinson DJ, Grossman W, Paulin S, Edelman RR : First-pass nuclear magnetic resonance imaging studies using Gadolinium-DTPA in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 18 : 959-965, 1991.
- 4) 武尾和浩, 清水公治, 大原博志, 山崎一成, 藤田明德 : High speed STAGE を用いた心臓の息止めシネ撮影. *日磁医誌* 12 (Suppl- I) : 216, 1992.
- 5) Dodge HT, Sandler H, Baxley WA, et al. : Usefulness and limitation of radiographic methods for determining left ventricular volume. *Am J Cardiol*. 18 : 10-24, 1966.
- 6) Rehr RB, Malloy CR, Filipchuk NG, et al. : Left ventricular volumes measured by MR imaging. *Radiology* 156 : 717-719, 1985.
- 7) Stratemeier EJ, Thompson R, Brady TJ, et al. : Ejection fraction determination by MR imaging : Comparison with left ventricular angiography. *Radiology* 158 : 775-777, 1986.
- 8) Moegelang J, Thomsen C, Mehlsen J, Braeckle G, Stubgaard M, Henriksen O : Evaluation of left ventricular volumes measured by magnetic resonance imaging. *Europ Heart J* 7 : 1016-1021, 1986.
- 9) Buckwalter KA, Aisen AM, Dilworth LR, John Manchini GB, Buda AJ : Gated cardiac MRI : Ejection fraction determination using the right anterior oblique view. *Am J Radiol* 47 : 33-37, 1986.
- 10) 渡辺幹夫, 細田泰之, Longmore DB : 心電図同期 MRI 心画像による左右心室容積および心機能の定量的評価. *J of Cardiology* 16 : 343-352, 1986.
- 11) Just H, Holubarsch C, Friedburg H, et al. : Estimation of left ventricular volume and mass by magnetic resonance imaging : Comparison with quantitative biplane angiocardiography. *Cardiovasc Intervent Radiol* 10 : 1-4, 1987.
- 12) Sechtem U, Pflugfelder PW, Higgins CB, et al. : Cine MR imaging : Potential for the evaluation of cardiovascular function. *Am J Radiol* 148 : 239-246, 1987.
- 13) Utz JA, Herfken RJ, Heinsimer JA, et al. : Cine MR determination of left ventricular ejection fraction. *Am J Radiol* 148 : 839-843, 1987.
- 14) Sechtem U, Pflugfelder PW, Gould RG, Cassidy MM, Higgins CB : Measurement of right and left ventricular volumes in healthy individuals with cine MR imaging. *Radiology* 163 : 697-707, 1987.
- 15) van Rossum AC, Visser FC, Sprenger M, van Eenige ML, Valk J, Roos JP : Evaluation of magnetic resonance imaging for determination of left ventricular ejection fraction and comparison with angiography. *Am J Cardiol* 62 : 628-633, 1988.
- 16) Buser PT, Auffermann W, Higgins CB, et al. : Noninvasive evaluation of global left ventricular function with use of cine nuclear magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* 13 : 1294-1300, 1989.
- 17) Suzuki J, Usui M, Takenaka K, et al. : Cardiac magnetic resonance imaging in evaluation of anatomical structure and function of the ventricles. *Jpn Circul J* 54 : 283-287, 1990.
- 18) Auffermann W, Wagner S, Higgins CB, et al. : Noninvasive determination of left ventricular output and wall stress in volume overload and in myocardial disease by cine magnetic resonance imaging. *Am Heart J* 121 : 1750-1758, 1991.
- 19) 岡村正博, 近藤 武, 安野直子, 他 : MRI による左室容積の算出-Modified Simpson 法による検討-. *日磁医誌* 10 : 345-356, 1990.

Assessment of Left Ventricular Hemodynamics by Gd-DTPA Enhanced High Speed Cine MRI

Kentaro MATSUMURA¹, Emiko NAKASE¹, Ichiro KAWAI¹,
Tohru HAIYAMA², Nobutada KIKKAWA², Atsusi KASAI²,
Kazuhiro TAKEO³, Kouzi SHIMIZU³, Kazunari YAMASAKI³,
Kazuhiro KOHNO³

¹*Department of Internal Medicine, Kyoto Minami Hospital
8 Minaminakano-cho, Nishishichijo, Shimokyoku, Kyoto 600*

²*Department of Radiology, Kyoto Minami Hospital*

³*Medical Systems Division, Shimadzu Corporation*

To assess the validity of Gd-DTPA enhanced high speed cine MRI in left ventricular (LV) volumes and ejection fraction (EF), high speed cine MRI was compared with intra-venous digital subtraction left ventriculography (IV-DSA) in 14 patients. All patients underwent conventional cine MRI and Gd-DTPA enhanced high speed cine MRI, simultaneously. The pulse sequence of high speed cine MRI were TR 8 ms (TR 6 ms plus rewind pulse 2 ms), TE 3.2ms, matrix 128, phase encode 8 or 6 and NEX 1. Comparison with LV-volume showed a high correlation ($y = 0.854x + 1,699$, $r = 0,985$) between high speed cine MRI and IV-DSA. To make left ventricular volume curve by area-length method in cine MRI, manual tracing of LV-cavity was more difficult in conventional cine MRI-method than enhanced high speed cine MRI-method. In conclusion, first pass-Gd-DTPA enhanced high speed cine MRI, using the horizontal long axis approach and the multiphase study, is an accurate highly reproducible method of evaluating LV-volumetry.