

## 心臓用4チャンネルフェイズドアレイコイルの評価 —S/N比改善の定量的検討—

久保 均<sup>1</sup>, 森谷浩人<sup>2</sup>, 佐久間肇<sup>3</sup>, 荒木昭信<sup>1</sup>,  
竹田 寛<sup>3</sup>

<sup>1</sup>三重大学医学部附属病院中央放射線部 <sup>2</sup>GE 横河メディカルシステム㈱

<sup>3</sup>三重大学医学部放射線医学教室

### はじめに

近年、心臓のMRI検査が次第に増加し臨床的診断法として定着しつつある。これは、k-空間分割スキャン等の高速撮像法の進歩に伴い、心電図同期と呼吸停止撮像を併用して、心臓の形態的撮像や心機能の解析が可能となってきたためである<sup>1)</sup>。しかし、心臓の高速撮像法は短時間撮像を基本とするために、高い signal to noise ratio (SNR) の得られない場合も多く、精度の高い心臓の形態的診断や心機能の評価を行うためには画質が十分でない場合があった。従来から、心臓のMR撮像用コイルについては幾つかの施設において様々な検討がなされてきており<sup>2),3)</sup>、種々の形状のフェイズドアレイコイルが試作されSNRの検討が行われてきている<sup>4),5)</sup>。今回、我々は心臓の撮像におけるSNRを最適化する目的で新たに開発された4チャンネルのフェイズドアレイコイルの有用性を、体幹用フェイズドアレイコイルを含むこれまでのコイルとSNRを用いて評価したので報告する。

### 対象および方法

今回評価した心臓用試作フェイズドアレイコイル(以下、カーデアックコイルと呼ぶ)のデザインはFig. 1のとおりである。1個のコイルエレメントはリン青銅製の幅10 mm、短径140 mm、長径190 mmのループで構成されている。これら2個を、22 mmの重ね合わせで左右に配置し、2個の独立した回路からなる1枚のコイルユニットとした。これら2枚を体の前後からはさみ込むように配置して患者に装着し、合計4個のコイルからの信号をそれぞれ独立したRF受信回路およびAD変換回路に接続した。このコイルの特性は、共振周波数63.7 MHz、無負荷時のQ値220、負荷時インピーダンス50 Ωであった。

各種コイルのSNR特性を評価するため、基礎実験としてのファントムの撮像と、臨床実験として同意を得た健常ボランティア5名の心臓(左室心筋像)の撮像を行った。評価対象としたのは(a)カーデアックコイルと、現在既に製品として出荷され当院でこれまでに心臓のMR撮像に使用してきた次の4種類のコイル、すなわち、(b)胸部および腹部等撮像用4チャンネルトルソフェイズドアレイコイル(以下、

---

キーワード MRI, phased array coil, cardiac imaging, signal-to-noise ratio

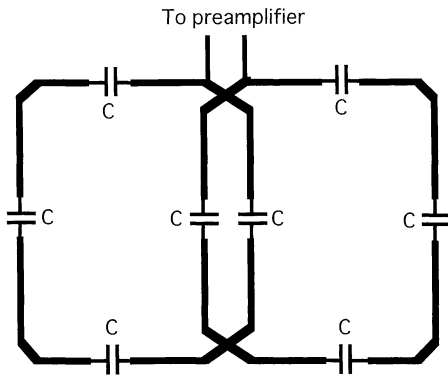


Fig. 1. Schematic diagram of the 4-channel phased array coil (one side). The coil consists of two coil elements with dimensions of 140 mm×190 mm each with an overlap of 22 mm. The coil resistance is 50 Ω, frequency is 63.7 MHz at resonance, Q value is 220 at without resonance.

トルソコイルと記する), (c)5 インチ GP コイルを胸部前面に, フレックスコイルを胸部背面に配置した 2 チャンネルフェイズドアレイコイル (以下, デュアルコイル), (d)シングルチャンネルのフレックスコイルを胸部前面に装着したもの (以下, フレックスコイル), (e)ボディコイル (以下, ボディコイル) である.

MRI 装置は, ファントム実験および臨床実験とも超伝導 MRI 装置 Signa Horizon ver. 5.6 (GE 社製, 1.5 T) を用いた.

#### 1) ファントム評価

ファントム実験には直径 28 cm の円筒状ファントム (GE 社製, MODEL 46-265622G1) を用いた. ファントム実験における撮像シーケンスは, spin echo (SE) 法および fast gradient echo (FGR) 法を用いた. 撮像条件は SE 法が 500/20 (TR ms/TE ms), FGR 法が 100/10/30 (TR ms/TE ms/ フリップ角), FOV=32 cm, マトリックス=256×192, 受信バンド幅=16 kHz, 加算回数=1 回とした.

それぞれのコイルを用いてファントムの横断像を撮像し, その平面上に測定点を格子状に 3 cm ごとに区切り, それぞれの地点の SNR を計測してその値および分布の状況を三次元的に表示した. なお, SNR は計測地点ごとの関心領域 (ROI) の平均値をファントム外のバックグラウンド領域における ROI 内の標準偏差で除して求めた. ファントム実験における ROI の面積はすべて 20 ピクセルとした. また, 得られた SNR を用いてカーデアックコイルとその他のコイルについて測定点ごとに対応を持たせた t 検定を行い, その有意差を検定した.

#### 2) 臨床評価

臨床実験には k-空間分割スキャンによる呼吸停止下シネ MR シーケンス (FASTCARD) 法を用いた. 撮像条件は 9.7/2.8/20 (TR ms/TE ms/フリップ角), FOV=28 cm, マトリックス=256×128, 受信バンド幅=16 kHz, 加算回数=1 回である.

ボランティアの心臓の撮像は FASTCARD 法を用いて心電図同期下で息止めて行った. まず, スカウト画像を冠状断像で得たあと, 左室中央部の体軸横断像を撮像した. 得られた左室心筋の画像を前壁・中隔・後下壁・側壁の各部分に分け, それぞれの部分において 3 か所ずつ異なる ROI を設定し心筋の各部分の SNR を求めた. ROI の面積はすべて 20 ピクセルとした. ROI の測定には収縮末期の画像を用いた. このデータについてもカーデアックコイルとその他のコイルの SNR を心筋の各部分ごとに対応させて比較し, t 検定により有意差を判定した.

## 結 果

#### 1) ファントム評価

5 種類のコイルの SE 法による SNR 三次元分布図を Fig. 2(a)~(e) に, FGR 法による

SNR 三次元分布図を Fig. 3(a)~(e) に示す。それぞれのグラフの縦軸は SNR を示し、分布図相互間の比較が可能である。トルソコイルと

比較してカーデアックコイルの SNR はファントム表面において極めて高く、ファントム中央部においてもほぼ同様の SNR を示した。デュ

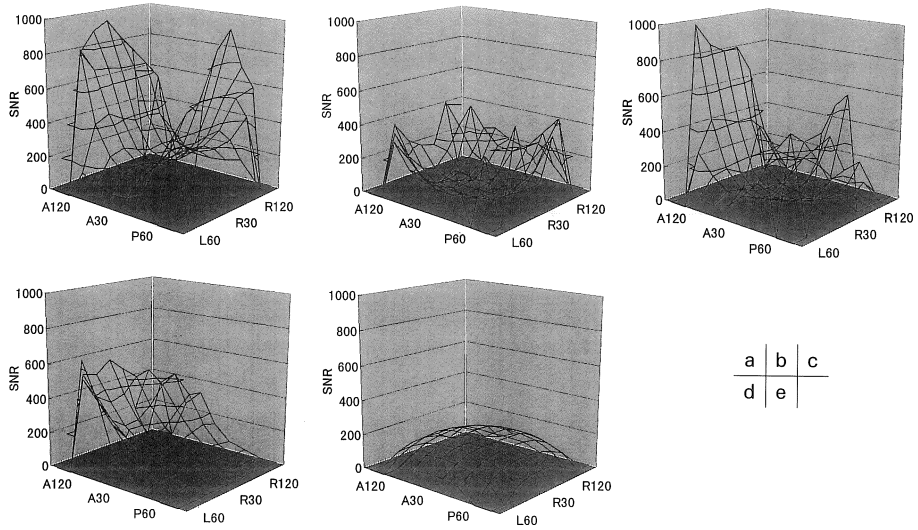


Fig. 2. Three dimensional distribution of SNR through an axial slice at phantom using SE sequence. (a) Cardiac coil (b) Torso coil (c) Dual coil (d) GPflex coil (e) Body coil. SNR of cardiac is significantly higher than the other coils at middle and surface of phantom.

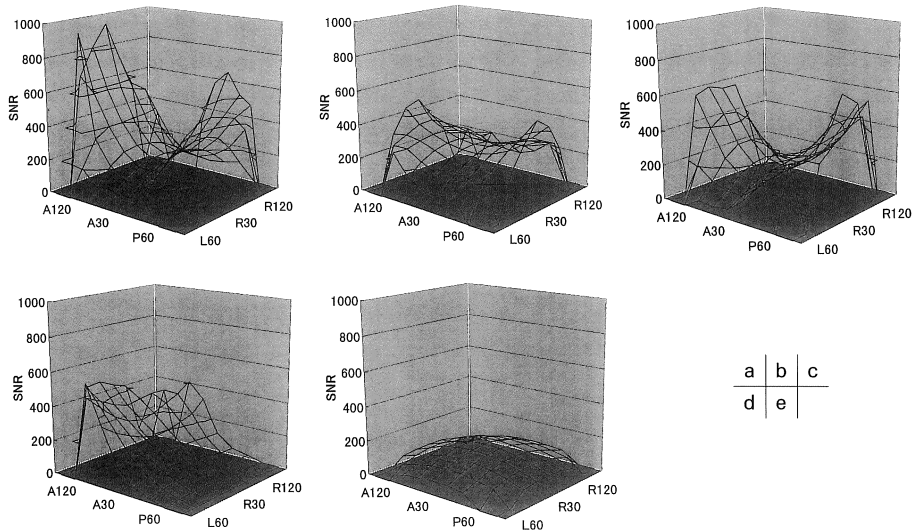


Fig. 3. Three dimensional distribution of SNR through an axial slice at phantom using FGR sequence. (a) Cardiac coil (b) Torso coil (c) Dual coil (d) GPflex coil (e) Body coil. SNR of cardiac is significantly higher than the other coils at middle and surface of phantom.

心臓用 4 チャンネルマルチコイルの評価

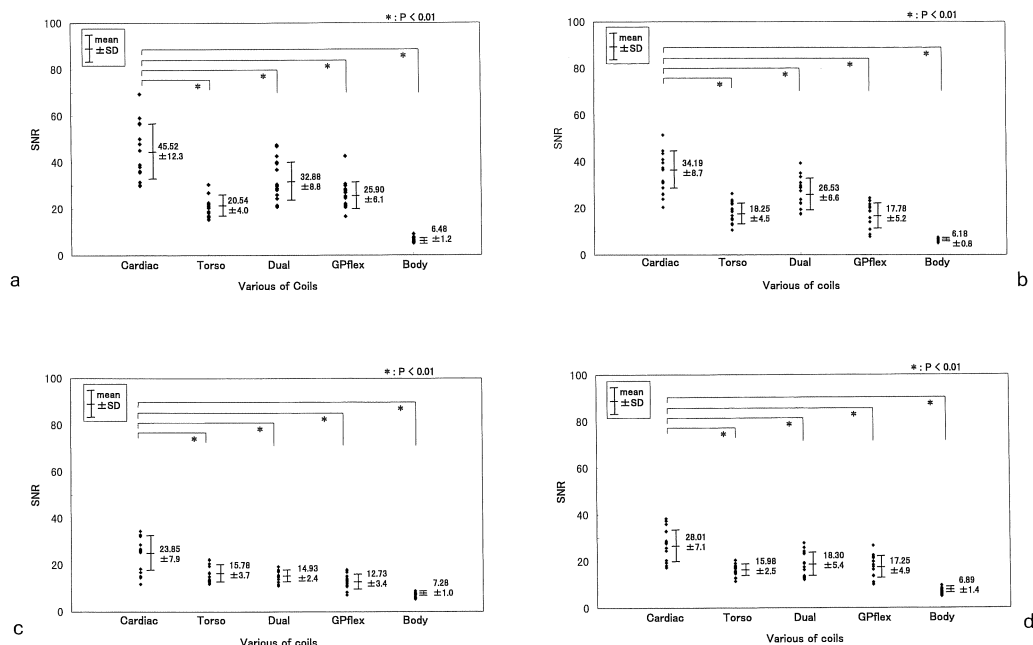


Fig. 4. SNR measured in the left ventricular wall in volunteers by using various kinds of coils. (a) Anterior wall (b) Septal wall (c) Posteroinferior wall (d) Lateral wall. The SNR of cardiac coil is higher than those of the other coils in all segments of the left ventricles.

アルコイルは前胸部において、カーデアックコイルとはほぼ同様の高いSNRを示したが、ファントム中心部分に向かうにつれて急速にSNRが低下していた。ボディコイルは均一性に優れていたがそのSNRはいずれの地点においてもカーデアックコイル、トルソコイルに及ばなかった。

カーデアックコイルとその他のコイルについて、測定点ごとに対応させたt検定を行ったところ、カーデアックコイルは他のすべてのコイルに比して有意にSNRが高かった ( $p < 0.01$ )。

## 2) 臨床評価

心筋の各部分におけるSNRをFig. 4(a)~(d)に示す。また、ボランティアデータの中から1例を選び、異なるコイルにおける同一断面像をそれぞれFig. 5(a)~(e)に示す。カーデアックコイルとその他のコイルのSNRを心室

壁の各部分ごとに比較しt検定により有意差を判定すると、前壁・中隔・後下壁・側壁のすべての部位において、カーデアックコイルのSNRは他のコイルに比して有意に高かった ( $p < 0.01$ )。特に、胸部の中心部に位置し高SNRを得ることが困難な中隔や後下壁においても、他のコイルに比して有意にSNRが高かった。SNRの平均値を比較すると、カーデアックコイルは他のコイルに比して1.3倍(中隔:デュアルコイル)から最大7.1倍(前壁:ボディコイル)のSNRを示した。

## 考 察

心臓は、胸部の横断面でみると胸壁直下から体中心部まで存在する臓器である。また、常時呼吸性拍動性に動いているため撮像には短時間撮像が要求され、その結果SNRは低下する。

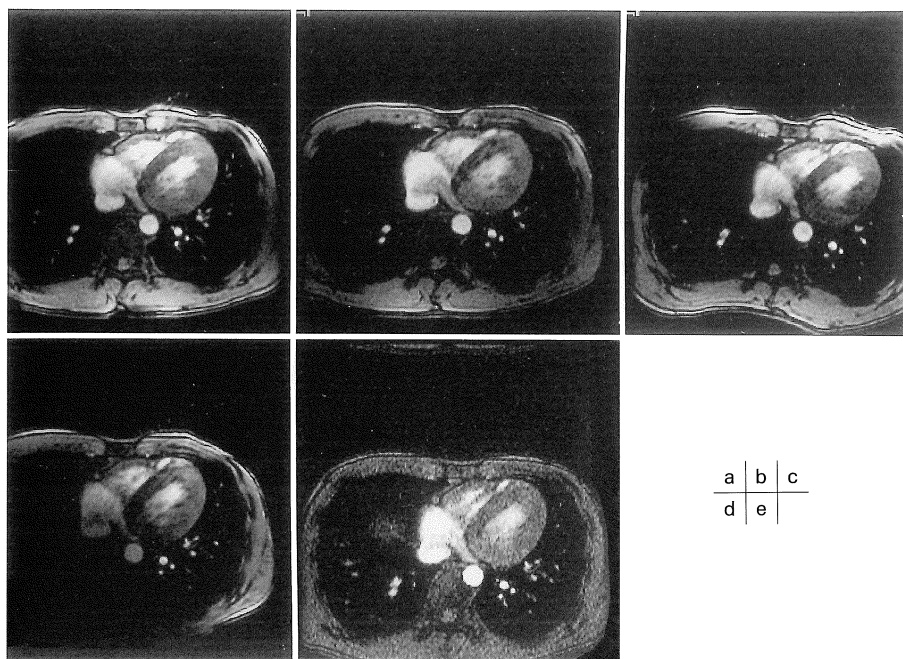


Fig. 5. Axial images of a healthy volunteer heart using various kinds of coils. (a) Cardiac coil (b) Torso coil (c) Dual coil (d) GPflex coil (e) Body coil.

このような中で形態と機能をより高精度に評価するためには、感度が良く均一性の優れたコイルが必要となる。我々の施設ではこれまで種々のコイルを心臓のMRIに用いてきたが、ボディコイルは均一性は良いがSNRは悪く、その他の表面コイルもボディコイルと比較すると良好な画質を提供するものの均一性が不十分であったり（フレックスコイル、デュアルコイル）、SNRと均一性がそれほど十分でなかったり（トルソコイル）と、なかなか臨床で用いるのに適当なコイルがなかった。今回試作評価したコイルのSNRは、これまで我々の施設で用いてきたすべてのコイルを上回っており、均一度もボディコイルほど良くはないが中心部のSNRが十分に良いために臨床では他のコイルと比較して有用であると考えられた。このカーデアックコイルを用いることにより、従来よりSNRの良い心臓のMR画像の撮像が可能となると思

われる。また、SNRの向上に伴って、今まで以上の短時間撮像が可能となってくるため、TRを短縮し時間分解能を向上させたより精度の良い心臓の形態診断や心機能情報の取得が期待される。今回、コイルの評価尺度としてはSNRを用いたが、ファントム実験および臨床実験の結果が同一の傾向を示したことより、評価基準として用いて妥当であったと思われる。MR画像の画質評価のパラメータとしては、コントラストノイズ比も用いられる。コントラストノイズ比は異なるパルスシーケンス間の病変描出能を評価する際には有用であるが、サーフェスコイルやフェイズドアレイコイルによるMR画像では、コントラストの比較対象となる組織の信号強度が位置によって異なるため、今回のコイルの評価には適していないものと判断した。今回の検討では各コイルに対して同じシーケンス、パラメータを用いており、計

測の容易さを考えても今回コイルの性能を比較評価する上でSNRは適切なパラメータであると考えられた。

コイルに関しての今後の課題としては、目的部位に応じたよりSNRの高いなおかつ均一度の良いコイルの開発、コイル感度不均一による信号強度変化を補正するアルゴリズム、ソフトウェアの開発が挙げられる。

## 結 論

今回試作した心臓用4チャンネルフェイズドアレイコイルは、従来のコイルに比してSE法およびFGR法において均一性の向上と著明なSNRの向上を認めた。また、FASTCARD法を用いた息止め撮像では、左室心筋のすべての領域において有意なSNRの向上を認め、心臓の撮像に有効であった。

## 文 献

- 1) 佐久間肇, 河田七香, 野村新之, 竹田 寛, 中川毅, 柴田宗宏, 中野 赳: MRIによる冠血流計測. 日磁医誌 1997; 17: 175-183
- 2) Zahi AF, Thomas JC, Leon A: An improved quadrature phased-array coil for MR cardiac imaging. MRM 1995; 34: 186-193
- 3) Chris DC, Charles RW, Walter GO, Elias AZ, Elliot RM: A phased array coil for human cardiac imaging. MRM 1995; 34: 92-98
- 4) Cecil EH, Mark JD, Bernard FK, Richard LE: Pelvic imaging with phased-array coils: quantitative assessment of signal-to-noise ratio improvement. JMRI 1992; 2: 321-326
- 5) 浪本智弘, 山下康行, 阿部保子, 高橋睦正: 体幹用CP型phased array coilの基礎的, 臨床的評価. 日磁医誌 1997; 17: 229-235

## **Evaluation of a 4-channel Phased-array Coil for MR Cardiac Imaging : Quantitative Assessment of Signal to Noise Ratio Improvement**

Hitoshi KUBO<sup>1</sup>, Hiroto MORIYA<sup>2</sup>, Hajime SAKUMA<sup>3</sup>,  
Akinobu ARAKI<sup>1</sup>, Kan TAKEDA<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Central Radiology Division, Mie University Hospital  
2-174 Edobashi, Tsu-shi, Mie 514-8507*

*<sup>2</sup>Application Research Gr., GE Yokogawa Medical Systems, Ltd.*

*<sup>3</sup>Department of Radiology, Mie University School of Medicine*

Recently, the utility of cardiac MR imaging has been increasing for morphological and functional analysis of the heart. However, since the image acquisition time is substantially shortened with recent fast cardiac MR sequences, it is often difficult to obtain a good signal to noise ratio (SNR) in fast cardiac MR imaging. The purpose of the current study was to optimize the design of a 4-channel multi-coil array for cardiac MR imaging, and to compare the performance of this new coil array with that of other product coils by evaluation of the SNR in a phantom and in healthy volunteers. In the phantom study using SE and FGR sequences, the cardiac coils provided significantly better SNR values than those for the other coils, not only in the peripheral part but also in the center of the phantom ( $p < 0.01$ ). When the SNR values were calculated for the anterior, septal, posteroinferior and lateral walls of the volunteer hearts, the SNR values obtained using the cardiac coil were significantly better than those with any of the other coils evaluated in all 4 myocardial segments ( $p < 0.01$ ). These results suggest that the new 4-channel cardiac multi-coil array is useful for MR imaging of the heart.