

パラレルイメージング用 8 チャンネルトルソ QD アレイの開発

岡本和也, 町田好男, 市ノ瀬伸保, 内菌真一,
野崎晴司

株式会社東芝医用機器・システム開発センター

目 的

パラレルイメージング (PI 法) は, 今後の高速撮像法のキー技術である^{1)~4)}. そして, PI 法において, SNR やエンコード方向の選択の自由度を左右するアレイコイルは重要な役割をもつ. 今までに様々なアレイコイルが提案されてきたが^{4),5)}, PI 法において要求される以下のような特徴を満たすコイルは, 提案されていない.

(1) 従来より高い SNR 特性

PI 法に用いるコイルでは, エンコード数短縮率 ($1/R$: R は高速化率) および g -ファクターによる SNR 低下をカバーする高い SNR 特性が必要となる.

(2) 3 方向へのアレイコイル配列

PI 法では, コイルを配列させた方向にエンコードの短縮が可能である. 3 方向にコイルを配列させることで, エンコード方向の選択が自由になる.

今回, 上記要求を満たす 8 チャンネルのトルソ QD アレイコイル “QD トルソ SPEEDER” を開発したので報告する.

方 法

本コイルには以下のような構成上の特徴をもたせた.

(1) X,Y,Z 方向にそれぞれ 2 列にコイルを配列

した 8 チャンネルアレイコイルとした. これによりエンコード方向の選択の自由度を向上させた.

(2) 表面コイルとして, 矩形と 8 字型の表面コイルを組み合わせた QD 型コイルを採用した. これにより, 被検体の中心から周辺に向けて高 SNR な画像を得ることが可能となった. コイルを Z 方向に配列することも, 被検体中心 SNR の向上や Z 軸方向に広い FOV を得るのに有効となっている.

本コイルの SNR の特徴は, 同じ大きさの 4 チャンネルのリニアアレイコイルと比較して次のように説明できる. まず, コイルの体軸方向の長さが短く (短軸化) になっていることにより, 中心における SNR が向上する. これは, アレイコイルの Z 方向の長さを変数としてアレイコイルの中心の SNR を計算機シミュレーションすることで確認できる. 次に, コイルの短縮によって狭くなった体軸方向の FOV を広くするため, 体軸方向にアレイコイルを配列する. 短軸の場合の SNR プロファイルが二つ並ぶことになるため, はじめの 4 チャンネルリニアアレイの場合と比べて, 中心の 70% 以上の SNR をもつ領域を 1.5 倍に広げることができる. 最後に, 表面コイルとして QD コイルを採用する. これにより, 中心から表面コイルに向けて得られる SNR プロファイルは格段に向上し, コイル周辺の SNR 向上率は 2 倍以上となる.

本コイルは 8 チャンネルの信号出力があるが,

キーワード phased array, parallel imaging, QD surface coil, torso, 8-channel receiver

8チャンネルレーザシステムだけでなく、チャンネル選択/合成ユニットと組み合わせることで4チャンネルレーザシステムでも使用できる。例えば、心臓撮像の場合には体軸方向に広い視野はいらぬため、Z軸方向の頭側にある4つのQD表面コイルを選択する。また、腹部など広いFOVが必要な場合には、8つのコイルからの信号を4チャンネルに束ねて出力する。その場合には、X方向に並んだコイルの信号を合成する場合とZ方向に並んだコイルの信号を合成する場合の2通りの選択が可能である。前者の場合は、X方向にコイルが配列されないことになるため、X方向をエンコード方向に選ぶ coronal 撮像をする場合にPI撮像が難しくなるといった欠点がある。しかし、一つのコイルの体軸方向の長さは変わらないため、中心軸上のSNRは8チャンネルの場合とほぼ同等となる。後者の場合は、Z方向に並んだコイルの信号を合成するため体軸方向に長いコイルとなってしまう、その分SNRが低下する。しかし、X,Y方向にコイルが配列されているためアキシャルおよび coronal 撮像ともにPI法を適用でき、PI撮像上の不便は少ない。このように、撮像対象に従って最も適当なコイル構成を選択することで、4チャンネルシステムでも本コイルの特徴を生かした撮像が十分可能である。

QDトルソ SPEEDER の実際の構成は以下のようになっている。

本コイルは、使用上の利便性を考慮して上下二つのユニットにわかれており、被検体を挟むように取り付けられる。上下のユニットにはそれぞれ4個のQD表面コイルが含まれており、各QD表面コイルは矩形コイルと8字型コイルからなる。つまり合計16個の表面コイルからできている。それぞれのコイルは低入力インピーダンスのプリアンプに接続されたのうち、矩形コイルと8字型コイルからの信号が

クアドラチャ合成され、8チャンネルの信号として出力される。すべての表面コイルは、能動的にデカップリングできるため、本コイルをセッティングしたままで全身用コイル画像とアレイコイル画像のデータを別々に収集できる。プリスキャンとして各々の画像を得て、前者で後者を割り算処理することにより、PI法による撮像に必要な各表面コイルの感度マップを得ることができる。

結果・考察

画像試験の結果を以下に示す。

まずファントム撮像で、コイルのカップリングやSNR特性を評価した。コイル間のカップリングが存在すると、コイルの独立性が悪くなり、パラレルイメージングの特性を劣化させる。結果として、各コイルの画像は各コイルの位置に応じた画像となっており、コイル間のカップリングがよく抑制されていることを示した。アキシャルおよび coronal 断面のSNRプロファイルも計算機シミュレーションとよく一致した。次に、アキシャルおよび coronal 断面でPI法による撮像を試みた。エンコード方向はそれぞれ、A-P (Y方向) と R-L (X方向) である。両断面ともに $R=2$ (エンコード数を $1/2$) まで良好な画像が得られ、coronal 撮像では $R=3$ でもアーチファクトの少ない画像を取得できた。続いてボランティア撮像を行ったが、ファントム撮像の結果と同様で、 $R=2$ まで問題なく、腹部 coronal や心臓撮像では $R=3$ でも良好な画像が得られることが確認できた。腹部 coronal ではさらに $R=4$ の撮像も試みたが、大きな画質の劣化はみられず4倍速撮像も可能であった。PI法による撮像では、一般にエンコード方向に並んだコイル数だけ高速化できるとされている。本コイルも R-L 方向には2列しか並んでいないため、 $R=3$ や4

では大きな画質劣化が起こるはずである。しかし本コイルで使用している QD 表面コイルは、R-L 方向に大きく位相が変化するため、これを A-P 方向に向かい合わせて配置した場合でも R-L 方向にある程度感度(位相)の独立性を保っている。結局、R-L 方向について4つのコイルが感度の独立性をもって配置されていると考えることができ、これがコロナル撮像において $R=3$ や 4 でも画質劣化が少ない理由といえる。

結 論

8チャンネル QD 表面コイルからなる“QD トルソ SPEEDER”は、エンコードの自由度を上げるとともに SNR の低下をカバーでき、PI 撮像用アレイコイルとして腹部や心臓の撮像に好適な特性を有するといえる。高速化率は、2倍 ($R=2$) まではエンコード方向を選ばずに実行でき、エンコードの方向によって3倍 ($R=3$) さらに4倍速撮像 ($R=4$) も可能である。今後、2D-PI 撮像を行うことでさらなる高速撮像も可能になると考えられる。

文 献

- 1) Carlson JW, Minemura T: Imaging time reduction through multiple receiver coil data acquisition and image reconstruction. *Magn Reson Med* 1993; 29: 681-688
- 2) Ra JB, Rim CY: Fast imaging using subencoding data sets from multiple detectors. *Magn Reson Med* 1993; 30: 142-145
- 3) Sodickson D, Manning WJ: Simultaneous acquisition of spatial harmonics (SMASH): fast imaging with radiofrequency coil arrays. *Magn Reson Med* 1997; 38: 591-603
- 4) Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P: SENSE: sensitivity encoding for fast MRI. *Magn Reson Med* 1999; 42: 952-962
- 5) Haans PCHA. Synergy body coil optimal design for SENSE imaging. In: Proceedings of the ISMRM, 8th Annual Meeting, Denver, 2000; 557
- 6) Okamoto K, Hamamura Y, Machida Y. Torso array coil with eight QD-surface coils for parallel imaging. In: Proceedings of the ISMRM, 10th Annual Meeting, Honolulu, 2002; 859

Torso Arrays with Eight QD Surface Coils for Parallel Imaging

Kazuya OKAMOTO, Yoshio MACHIDA, Nobuyasu ICHINOSE,
Shinichi UCHIZONO, Seiji NOZAKI

*Medical Systems R&D Center, Toshiba Co.
1385 Shimoishigami, Otawara-shi, Tochigi 324-8550*

Array coil technology has an important role in parallel imaging, a key technology in fast imaging methods. While various array coils have been proposed, they have not met the following two requirements. First a high SNR, which covers the SNR degradation by encoding reductions (shortened acquisition time), and second a flexibility in encoding directions for various imaging planes.

We propose a torso array coil with eight QD surface coils that satisfies the previously mentioned requirements. In this array coil two coils are lined in all X, Y, Z directions. This makes it possible to flexibly select encoding directions in parallel imaging. It is also useful for obtaining a wide FOV for a sagittal and coronal image to align the coils along the Z direction in the case of torso imaging. This array coil is appropriate for both 4 and 8 channel receiver systems through signal selecting or combining devices.

Phantom and volunteer images were obtained to evaluate the performance of this array coil. In phantom imaging, good unfolded images up to “Factor 2” could be obtained. Although it was difficult to perform parallel imaging of more than “Factor 2”, it was satisfactory to apply that to coronal imaging. In volunteer images, all unfolded images up to “Factor 2” were artifact-free and had good quality. Unfolded coronal images with a reduction factor 3 and 4 in one encoding direction were acceptable. Cardiac images with a reduction factor 3 could also be obtained with a reasonable SNR and acceptable quality. This torso array coil shows excellent performance in parallel imaging and is suited for advanced (fast or high-resolution) torso and cardiac imaging.