

## 動物用 MRI における高速画像再構成実験

市川 修<sup>1</sup>, 巨瀬勝美<sup>2</sup>, 瀬尾芳輝<sup>3</sup>

<sup>1</sup>生理学研究所生体機能研究施設磁気共鳴装置室    <sup>2</sup>筑波大学理工学系

<sup>3</sup>生理学研究所分子生理研究系

報告するものである。

### はじめに

近年、勾配磁場系の高速化を始めとした技術革新により、撮像時間が大幅に短縮され、MRI の新たな応用が開けつつある。それに伴い、データ収集と画像再構成・表示を同時に（並行して）行う、いわゆる MR fluoroscopy (MRF と略) が試みられ始めている。すなわち、高速の勾配エコー法を用い、1 秒に 1 枚程度の撮像・表示を可能としたもの<sup>1)</sup>、エコープラナー法 (EPI) を用いることにより、毎秒 5~10 枚の撮像・表示を可能としたもの<sup>2)</sup>などが報告されている。またごく最近では、MRF が可能な製品も発表されている。

以上のように、MRF は、ごく限られた特別の装置でしか実現されていないのが現状である。しかしながら、MRF は、MR の新たな可能性を切り開くものであり、既設の MR 装置でも実施できるようになることが大いに望まれる。しかし、既設の装置を用いて MRF を行った報告は、これまでほとんど発表されていない<sup>3),4)</sup>。そこで、本研究は、EPI 用に開発された汎用性のある画像再構成装置<sup>2)</sup>を、既設の動物実験用 MRI 装置に接続し、高速画像再構成実験を行った結果を

### 実験装置と対象

画像再構成装置は、Fig.1 に示すように、文献 2 に報告されたものとはほぼ同一であるが、EPI のみならず、高速勾配エコー法、高速スピンエコー法などを用いた大きな画像マトリクスの画像にも対応できるように、主メモリを 256k words 拡張したものである。この装置の最大の特長は、MR 装置との接続に、位相検波後の信号 (2 本) と、信号サンプリングのトリガーの合計 3 本の信号線しか必要としないことである。よって、MR 装置との接続は比較的容易であり、また、本体の動作にはほとんど影響を与えない。画像の出力は、現在のところ NTSC のビデオ信号のみであり、画像の記録はビデオレコーダーで行っているが、ホストコンピュータ (PC) 側へデジタルで信号を転送するインターフェイスは、目下計画之中である。

使用した MRI 装置は、生理学研究所に設置されている、Bruker 社の ABX Biospec 47/40 (静磁場強度 4.7T, 磁石内口径 400mm) であり、本実験では、内径 120mm の能動遮蔽型勾配コイル (BGA-12SL) と、内径 72mm の bird

**キーワード** fast image reconstruction, digital signal processor, fast gradient-echo, MR fluoroscopy, rat

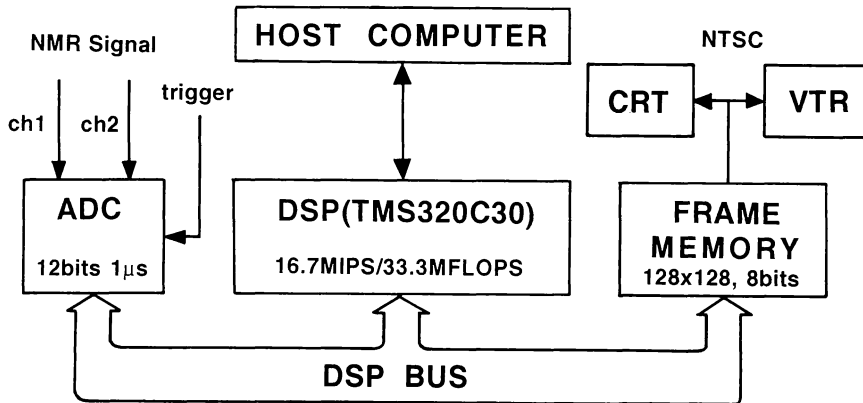


Fig. 1. Block diagram of the fast image reconstruction system. MR signals are sampled with two-channel 12-bit ADCs and the sampled data are transferred to the memory area of the DSP (digital signal processor). The raw data are Fourier-transformed and the modulus are calculated in the DSP. The reconstructed image is stored in the frame memory and displayed on an NTSC video monitor and recorded on videotape.

cage コイル (共鳴周波数 200.15MHz) を用いた。

撮像ファントムは、外径 30mm の NMR 試料管の中に、外径 15mm の NMR 試料管を入れて、その内外に 0.1% 硫酸銅水溶液を満たし、さらにその 2 本の試料管の間に、外径 5mm の NMR 試料管 3 本を固定せずに挿入したものである。なお、この 5mm の試料管の中には、水は入れなかった。また、撮像に用いた動物としては、成体のラット (体長 15cm, 体重 250g) を、内径 62mm 長さ 350mm のアクリル円筒内に、無麻酔で、かつ自由に運動できるように固定せずに挿入したものを使用した。

#### 方法と結果

撮像パルス系列は、TR 20ms, TE 6ms, フリップ角 30° の勾配エコー系列を用いた。位相エンコードの順序は、k 空間の負方向の最大から正方向の最大へと順次スキャンする、いわゆる sequential order を用いた。撮像はこの撮像パル

ス系列を何度も繰り返しながら、各位相エンコード毎にサンプリングトリガーを送り、エコー信号を 8 マイクロ秒毎に 128 データ長で採取し、128 個のエコー信号をサンプリングしては、画像再構成を繰り返すという方法で行った。その結果、データの取得に 2.56 秒、画像再構成に約 0.6 秒を要し、約 3.2 秒に 1 枚の割合で連続的に画像を取得することができた。ファントムとラットを用いてそれぞれ数分間の撮像を行い、画像はビデオテープで記録した。

パルス系列は TR 20ms で規則的に繰り返されているため、画像再構成中の 0.6 秒間はデータが取り込めない。よって、2 枚目以降の画像の k 空間の中心は、1 つ前の画像の k 空間の中心に対し、k 空間全体の約 1/3 ずつ位相エンコード方向にシフトしたものになる。しかしながら、ビデオ信号として出力される再構成画像としては、絶対値 (強度) 画像を用いているため、これによる問題は全く生じなかった。しかし、位相画像を用いる場合には、この事実は考慮する必要がある。

1995年 4月10日受理 1995年 6月27日改訂

別刷請求先 〒444 岡崎市明大寺町西郷中38 生理学研究所分子生理研究系超微小形態生理学部門 瀬尾芳輝

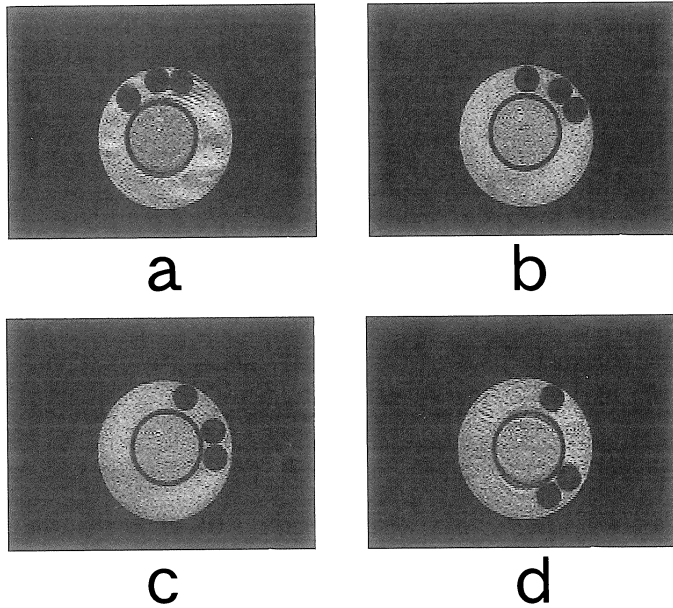


Fig.2. Four successive images of a phantom measured every 3.2s by a gradient-echo sequence with a TR/TE of 20ms/6ms, a flip-angle of 30°, 2-mm slice thickness, 5-cm field-of-view, and 128×128 matrix size.

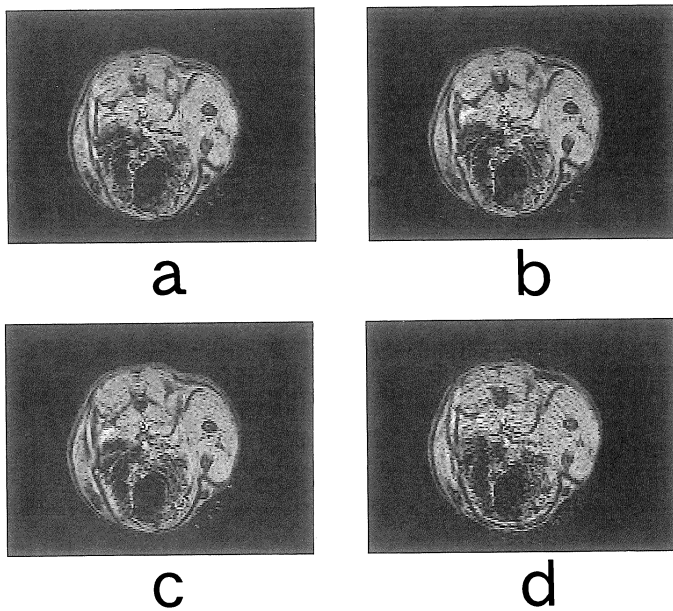


Fig.3. Four successive images of the lower abdomen of a rat measured every 3.2s by a gradient-echo sequence with a TR/TE of 20ms/6ms, a flip-angle of 30°, 2-mm slice thickness, 7-cm field-of-view, and 128×128 matrix size.

Fig.2 は、ファントム全体を、中心軸のまわりに手動でゆっくりと回転させながら撮像した、連続する4枚の画像である。内部の外径5mmのNMR試料管は固定されていないため、不規則な動きを行っているのが見られる。また、k空間のどこで大きな運動があったかによって、モーションアーチファクトの様子が大きく異なることが分かる。Fig.3 は、ラット腰部の連続する4枚の画像である。TR、TEが短いため画像コントラストは低いが、固定していないことによる動きやモーションアーチファクトが描出されている。

## 考 察

本実験では、約3.2秒に1枚の画像を連続的に得ることが出来たが、この画像のリフレッシュレートを向上させるためには、いくつかの手法が考えられる。

まず第一に、勾配エコー法において、TRを短縮することが考えられる。現在の装置では、TRを8ms程度まで短縮することができるが、画像コントラストの点からは、preparation pulseを用いてコントラストを与え<sup>5)</sup>、さらにcentral orderで位相エンコードを行って撮像する手法<sup>6)</sup>が望ましい。しかし、コントラストを付与するための待ち時間や、核磁化の回復を待つための時間も必要なため、この場合も、2~3秒に1枚の撮像が妥当であると考えられる。

次に、EPIを用いることが考えられる。この方法は、 $T_2$ 、 $T_2^*$ 、diffusion、perfusionそしてflowの検出能が非常に高いため、様々な部位におけるfunctionalな撮像に最適である。また、本実験で用いた画像再構成装置では、 $64 \times 64$ 画素のEPI画像に対しては、50ms以下の再構成できることが示されており<sup>2)</sup>、 $128 \times 128$ 画素の画像でも0.5秒程度で再構成することは可能であると思われる。しかしながら、本実験で用いたMRI装置は、4.7Tと磁場が高いため、磁化率の分布による画像歪みが大きく、動物に適用する場合には、特に細心の注意が必要であろう。

本装置を使用した研究としては、いくつかのものが考えられる。まず、第一にinterventional MRIとしての使用である。この場合、再構成画像は、磁石の近くにおいた液晶ビデオモニタなどを使用すれば、画像を見ながら対象への操作が可能であるが、磁石のボア径が小さいため、動物に対しては、特別なマニピュレーターを開発する必要があるであろう。第二に、時間変化は速いものの、長期間にわたる撮像が必要な場合である。すなわち、消化管等の非周期的運動を行う臓器の長時間の観測などに適している。このような撮像は、既存のMR装置では、バッファメモリやハードディスクの容量の制約上、ほとんど不可能である。第三に、貴重な動物を用いた実験、条件を再現することが難しい実験、そして実験中に条件を変更しながら実験パラメータを決定しなければならない実験などへの適用が考えられる。このような実験を従来の装置で行うことは、非常に効率が悪かったが、本装置を用いれば、これらの実験の効率が飛躍的に向上することが期待される。

## む す び

本実験において、既設の装置でも、高速画像再構成装置を接続することにより、MRFを実現できることが示された。このような装置を用いることにより、動物実験において、新たな実験の可能性が期待される。現状では、高速画像再構成には、DSP (Digital signal processor) やアレイプロセッサなどの高速の演算装置が不可欠であるが、最近のマイクロプロセッサの飛躍的な高速化を見ると、パーソナルコンピュータを用いて高速画像再構成を行うことも、遠くない将来であると思われる。

## 文 献

- 1) Wright RC, Riederer SJ, Farzaneh F, et al. : Real-time MR fluoroscopic data acquisition and

- image reconstruction. *Magn Reson Med*, 12, 407-415, 1989.
- 2) Kose K, Inouye T : A real-time NMR image reconstruction system using echo-planar imaging and a digital signal processor. *Meas Sci Technol* 3, 1161-1165, 1992.
  - 3) Gmitro AF, Ehsani A, Bercham T : True real-time reconstruction of MR images. Abstract book of 2nd annual meeting of the Society of Magnetic Resonance, 23, 1994.
  - 4) Cox RW, Jesmanowicz A, Hyde JS : Real-time functional magnetic resonance imaging. *Magn Reson Med*, 33, 230-236, 1995.
  - 5) Haase A : Snapshot FLASH MRI. Applications to  $T_1$ ,  $T_2$ , and chemical shift imaging. *Magn Reson Med*, 13, 77-89, 1990.
  - 6) Holsinger AE, Riederer SJ : The importance of phase-encoding order in ultra-short TR snapshot MR imaging. *Magn Reson Med*, 16, 481-488, 1990.

## Fast Image Reconstruction Experiments Using Small-Bore MRI for Animals

Osamu ICHIKAWA<sup>1</sup>, Katsumi KOSE<sup>2</sup>, Yoshiteru SEO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Laboratory for Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy,*

<sup>3</sup>*Department of Molecular Physiology, National Institute for Physiological Sciences  
38 Myodaiji, Okazaki 444*

<sup>2</sup>*Institute of Applied Physics, University of Tsukuba*

Fast image reconstruction experiments were done using a high-speed image processor utilizing a digital signal processor chip (TMS320C30, Texas Instruments Inc) and a 4.7 T MR imager for animals (Biospec 47/40, Bruker Medizintechnik GmbH). An image refresh time of 3.2s for a 128×128 matrix image was achieved using a fast gradient-echo sequence with a TR/TE/flip-angle of 20ms/6ms/30°. MR images of a phantom and a rat were obtained repetitively and recorded on videotape over a long period. This system shows great promise for interventional MRI and also for the study of non-phasic motion such as movements of the gastrointestinal tract.