

高速撮影法をフル装備した MRI システム VISART™/EX

VISART™/EX MRI System Featuring Full Lineup of Fast-Scan Techniques

臼井 嘉行
Y. Usui

河本 宏美
H. Kawamoto

葛西 由守
Y. Kassai

MRI (Magnetic Resonance Imaging) システムは、人体の断層像や血管像などを得るために広く使用されている。近年、MRI システムにおいては、新たな画像診断法への応用や診断の質の向上、検査効率の向上などの面から高速撮影法に対する期待が高まっている。当社は、このようなニーズにこたえるために、先に製品化した VISART™ シリーズをベースとして、傾斜磁場系の基本性能をさらに向上させた 1.5T MRI システム VISART™/EX を開発した。この高い基本性能を生かして、VISART™ シリーズですでに高い評価を得ている高速撮影法である FastASE (Fast Advanced Spin Echo) 法をさらに改良するとともに、最新の高速撮影法である Single-Shot EPI (Echo Planar Imaging) 法を装備した。

MRI systems are widely used to obtain cross-sectional images and vascular images of the human body. In recent years, there have been increasing expectations on finding new clinical applications and improving the quality and efficiency of diagnosis through fast-scan techniques.

To meet these requirements, we have enhanced the gradient system of VISART™ and developed a new 1.5T MRI system, the VISART™/EX. Utilizing the high performance of the gradient system, the VISART™/EX features two fast-scan techniques: FastASE (Fast Advanced Spin Echo), a highly recognized technique in the VISART™ system and Single-Shot EPI (Echo Planar Imaging), the newest fast-scan technique.

1 まえがき

MRI システムは、核磁気共鳴現象^(注1)を利用して人体の断層像や血管像を得る画像診断装置である。このシステムには、①優れた組織間コントラストが得られる、②任意方向の断面の画像が得られ、病変部の位置を把握しやすい、③放射線による被ばくがないなどの利点がある。1983年に最初の商用機が発表されて以来、今日、全世界で約12,000台、日本では約3,000台のシステムが稼働している。

MRI システムでは、近年の技術革新により、従来は原理の提案段階であった高速撮影法が次々と実用化されている。そして、その高速性を生かした新たな画像診断法への応用や、診断の質の向上、検査効率の向上などの面で高速撮影法に対する期待が高まっている。

当社は、このようなニーズにこたえ、先に製品化した VISART™ シリーズ⁽¹⁾をベースとして、傾斜磁場系の基本性能をさらに向上させた 1.5T MRI システム VISART™/EX を開発した(図1)。このシステムはすでに高い評価を得ている高速撮影法である FastASE 法をさらに改良するとともに、最新の高速撮影法である Single-Shot EPI 法を装備した。

ここでは、高速撮影法の技術動向と、当社の最高級 MRI

(注1) 核磁気共鳴現象は、強力な磁場のもとに置いた物体に特定の RF (Radio Frequency) パルスを印加すると、その物体内の磁性をもつ原子核が共鳴し、RF パルスを吸収・放出する現象である。

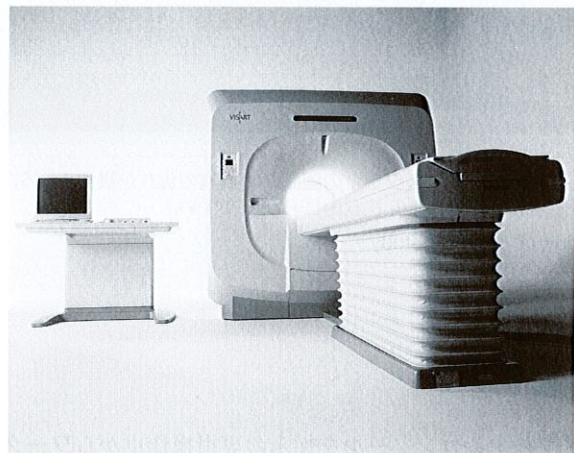


図1. 1.5T MRI システム VISART™/EX VISART™/EX は、高速撮影法をフル装備した 1.5T MRI システムである。

VISART™/EX 1.5T MRI system

システムとして開発した VISART™/EX システムの特長について述べる。

2 MRI システムの概要

MRI システムは、磁石システム、傾斜磁場システム、RF システム、パルスシーケンサ、コンピュータシステムなど

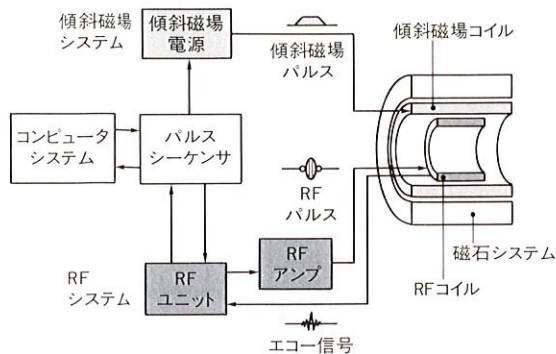


図2. MRIのシステム構成 磁石システム、傾斜磁場システム、RFシステム、パルスシーケンサ、コンピュータシステムから構成されている。

Block diagram of MRI system

から構成されている (図2)。

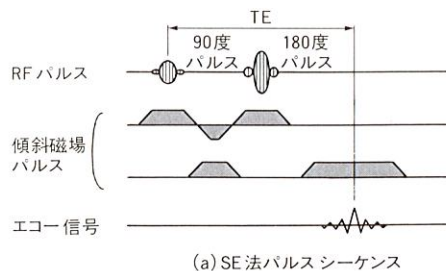
磁石システムが発生する静磁場内に置いた人体に対して、パルスシーケンサが制御する特定のタイミングに従って傾斜磁場パルスとRFパルスを印加する。これにより核磁気共鳴現象を起こし、エコー時間 (TE) 後に人体からエコー信号を放出させる。このエコー信号をRFシステムが受信・検波し、コンピュータシステムが画像再構成処理を行い、断層像を出力する。傾斜磁場パルス、RFパルスの形状や印加のタイミングおよびエコー信号の収集タイミングを規定したものは、パルスシーケンスと呼ばれている。

3 高速撮影法

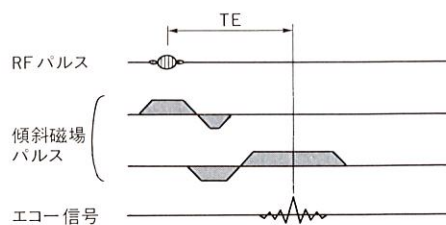
3.1 基本パルスシーケンスとシングルショット化

もっとも基本的なパルスシーケンスは、SE (Spin Echo) 法とFE (Field Echo) 法である。エコー信号を形成させるために、SE法では180°RFパルスを用いるのに対して、FE法ではこれを用いず反転傾斜磁場パルスを用いる (図3)。

どちらのパルスシーケンスも、一度に収集できるエコー信号は一つなので、画像再構成処理のために必要なすべてのデータを取得するには、収集を複数回繰り返す必要がある。



(a) SE法パルスシーケンス



(b) FE法パルスシーケンス

図3. SE法、FE法パルスシーケンス SE法、FE法は、MRIシステムにおけるもっとも基本的なパルスシーケンスである。

Spin Echo/Field Echo pulse sequence

例えば、256×256の分解能の画像を得るためには256回の繰返し収集 (256回のショット) が必要である。高速撮影法の開発にあたっては、一度に収集できるエコー信号の数の増加 (言い換えれば、ショット数の減少) がポイントとなる。

現在では、SE法系、FE法系それぞれに対応して、シングルショット (ショット数=1) で撮影ができる究極的とも言えるパルスシーケンスが実用化されている。

3.2 FastASE法

FastASE法は、シングルショットで撮影ができるSE法系のパルスシーケンスである。この種のパルスシーケンスとしては、86年にJ.Hennigによって提案されたRARE法⁽²⁾があった。しかし、RARE法では画像のコントラストを決める実効エコー時間 (TE_{eff}) が非常に長いため、臨床上の用途が限られるという問題があった。

FastASE法は、この問題を解決するために当社が開発した撮影法である⁽³⁾。図4に、FastASE法の原理を示す。FastASE法では、ハーフフーリエ法を併用したことにより、

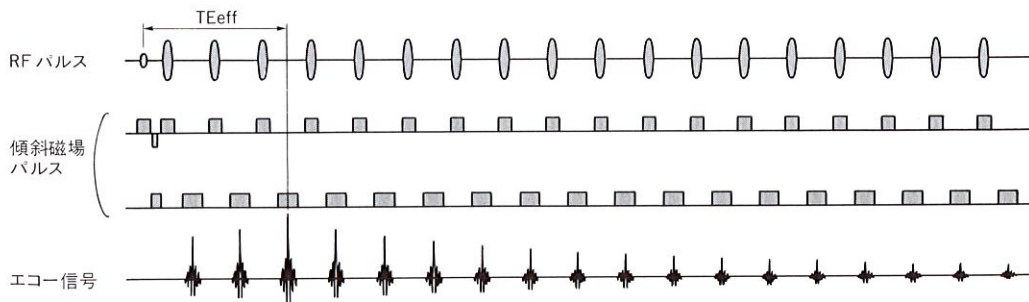


図4. FastASE法パルスシーケンス FastASE法は、シングルショットで撮影ができるSE法系のパルスシーケンスである。

FastASE pulse sequence

実効エコー時間までに十数個から数十個のエコー列さえあれば画像化ができるので、実効エコー時間を短く設定できる(図4では簡単のためにパルスシーケンス全体を数分の1に間引いて示している)。

VISART_{TM}シリーズに搭載したFastASE法によれば、従来十数秒から数十秒かかっていた撮影が最短1秒以下のシングルショットで行える。また、最高512×512の高分解能画像もシングルショットで得られる。さらに、三次元撮影法にも対応している(3D FastASE法)。

FastASE法は、95年に製品化されて以来その有用性が高く評価され、一部の領域では新たな画像診断法としての地位を確立しつつある。例えば、FastASE法を用いたMRCP(Magnetic Resonance Cholangiopancreatography)法は、従来の内視鏡とX線装置を使用したERCP(Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography)法に対してさまざまな利点が認められ、今日では胆管・膵(すい)管の画像診断法として広く定着しつつある。図5に、3D FastASE法によって得たMRCP画像の例を示す。

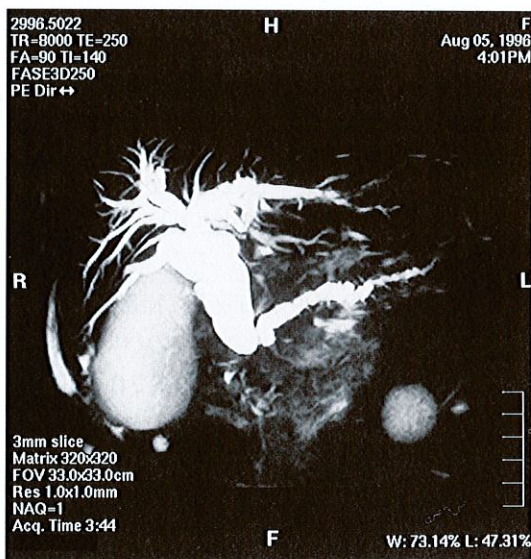


図5. 3D FastASE法の臨床応用例(MRCP) 3D FastASE法を用いたMRCP法は、胆管・膵管の検査法として広く定着しつつある。MR cholangiopancreatography using 3D FastASE

3.3 Single-Shot EPI法

Single-Shot EPI法は、シングルショットで撮影ができるFE法系のパルスシーケンスである。図6にSingle-Shot EPI法の原理を示す。一発のRFパルスの後に複数の反転傾斜磁場パルスを印加して、エコー信号を形成させて収集する。

このパルスシーケンスは、77年にP.Mansfieldらによって提案された⁽⁴⁾が、非常に高速なスイッチング性能を備えた傾斜磁場システムを必要とするなど、ハードウェアに高い

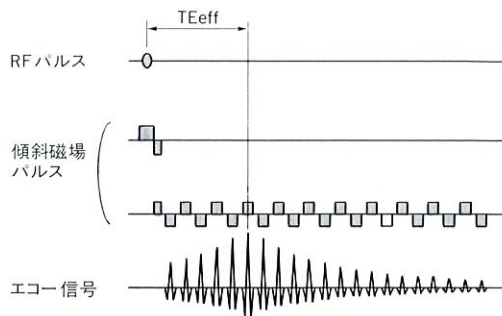


図6. Single-Shot EPI法パルスシーケンス Single-Shot EPI法は、シングルショットで撮影ができるFE法系のパルスシーケンスである。

Single-Shot EPI pulse sequence

性能が要求されたためなかなか実用化しなかった。ところが、近年の技術革新により、この撮影法も実用化されるようになった。

Single-Shot EPI法は、現時点でもっとも高速な撮影(最短数十ms)を提供する撮影法の一つである。この撮影法は静磁場の不均一性による影響を受けやすく、画像ひずみが大いなどFE法の欠点が引き継がれている。しかし、患者の動きによる影響をほとんど受けない撮影速度は、患者の動きが実用化の阻害要因であった臨床応用分野において高い期待を呼んでいる。

4 システムの基本性能および特長

4.1 基本性能

VISART_{TM}/EXは、これらの高速撮影法用パルスシーケンスの実用化に必要な高い基本性能をもっている。

主な仕様を表1に示す。

表1. VISART_{TM}/EXの概略仕様 Specifications of VISART_{TM}/EX

システム	項目	仕様
磁石システム	静磁場強度 静磁場均一性補正法 磁気シールド方式	1.5T 8チャンネルオートシミング法 アクティブシールド方式
傾斜磁場システム	最大傾斜磁場強度 最大スリューレート	25 mT/m 130 mT/m/ms (当社従来比: 2.8倍)
RFシステム	最大出力 受信コイル	20 kW フェーズドアレイコイル (オプション)ほか
パルスシーケンス	512×512のシングル ショット撮影	可能
コンピュータ システム	CPU 日本語処理	64ビットRISC型 可能

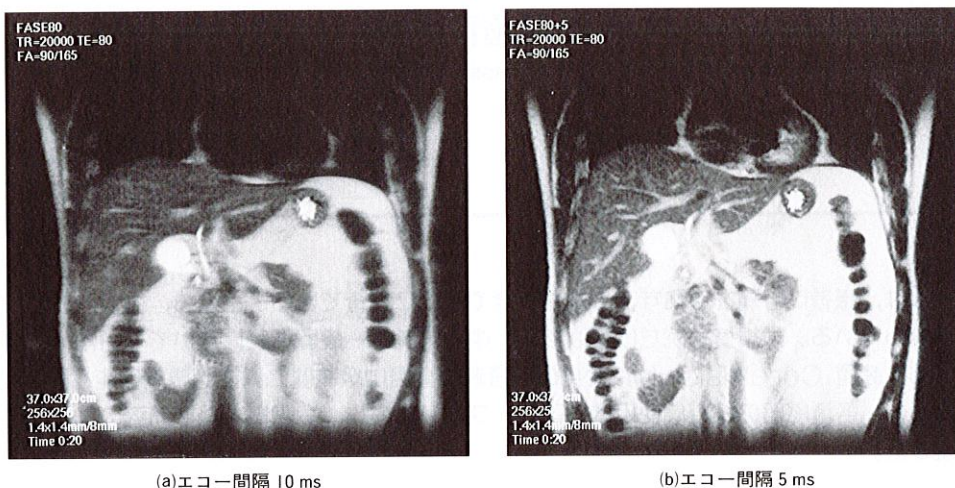


図 7. FastASE 法の画像例 エコー間隔を短縮した FastASE 法(b)を用いると、より高い分解能の画像が得られる。
Example of FastASE

4.2 FastASE 法

VISART_{TM}/EX は、エコー間隔 (エコー信号の時間間隔) をさらに短縮化した FastASE 法を装備している。エコー間隔の短縮により、さらに撮影時間が短縮されるだけでなく、ボケの少ないより高い分解能の画像が得られる。図 7 にエコー間隔の長短による比較画像例を示す。(a)がエコー間隔 10 ms、(b)がエコー間隔 5 ms の場合を示している。エコー間隔の短縮により、分割能が大幅に向上していることがわかる。

4.3 Single-Shot EPI 法

VISART_{TM}/EX は、Single-Shot EPI 法の臨床応用である Diffusion イメージング法、Perfusion イメージング法、MR 脳機能イメージング法を装備している。

図 8 に Single-Shot EPI 法を用いて得た頭部の画像例を示す。

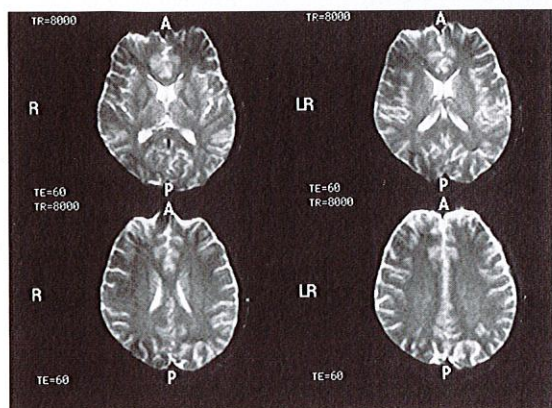


図 8. Single-Shot EPI 法の画像例 Single-Shot EPI 法を用いた頭部の画像例。

Example of Single-Shot EPI

5 あとがき

VISART_{TM}/EX は、最新の高速撮影法である FastASE 法、Single-Shot EPI 法をフル装備した MRI システムである。これは当社 MRI システムの最高級機として、高い診断能力、高い検査効率、高い将来性を備えた顧客満足度の高い装置であると自負している。今後、FastASE 法を応用したあらたな画像診断法の価値が高く評価され、このシステムが画像診断装置として医療に貢献していくことを期待している。

文 献

- (1) 白井嘉行, 他: 超電導 MRI システム VISART_{TM}, 東芝レビュー, 50, 8, pp.631-634 (1995)
- (2) J.Hennig, et al: RARE imaging: a fast imaging method for clinical MR, Magn. Reson. Med., 3, pp.823-833 (1986)
- (3) Y.Kassai, et al: 3D Half-Fourier Fast SE for Heavy T2-weighted Imaging, 4th ISMRM meeting abstract
- (4) P.Mansfield: Multi-planar image formation using NMR spin echoes, J.Phys. C., 10, 3, pp.55-58 (1977)



白井 嘉行 Yoshiyuki Usui

那須工場 医用機器第四技術部主務。
MRI システムのシステム開発・設計に従事。
日本磁気共鳴医学会会員。
Nasu Works



河本 宏美 Hiromi Kawamoto

那須工場 医用機器第四技術部主務。
MRI システムの傾斜磁場系の開発・設計に従事。
Nasu Works



葛西 由守 Yoshimori Kassai

医用機器・システム技術研究所 開発第二担当主務。
MRI システムのパルスシーケンスの開発に従事。
ISMRM 会員。
Medical Engineering Lab.