

## SSFP を使ったアンギオ画像と 脳表面画像の同時撮影

高根 淳<sup>1</sup>, 津田宗孝<sup>1</sup>, 小泉英明<sup>2</sup>, 小山 晋<sup>3</sup>,  
吉田健之<sup>3</sup>

<sup>1</sup>㈱日立製作所計測器事業部

<sup>2</sup>同 中央研究所

<sup>3</sup>㈱日立計測エンジニアリング

### はじめに

脳表面構造の描出は、脳表面近傍の病巣の診断に有効であり、さらに、手術シミュレーションや放射線治療計画を立てる上でも有用性が高い。

脳表面構造の描出法は、片田らにより、long TR-long TE の強度 T<sub>2</sub>強調画像から得る方法が考案され、その臨床応用も報告されている<sup>1)</sup>。また、現在までに幾つかの応用撮影法も開発されており、撮影時間を短縮する目的では SSFP (Steady-state free precession) 状態を利用し、高速に脳表面構造を描出する手法も提案されている<sup>2)~4)</sup>。

ところで最近、脳表面画像と脳表血流を描出したアンギオ画像を合成することが脳外科手術の術前検討に有用であることが報告されている<sup>5)~10)</sup>。しかし、これまでの方法は、脳表面画像とアンギオ画像を別々の手法で撮影していたため、少なくとも二度の撮影が必要であった。そのため、撮影時間の延長や脳表面画像とアンギオ画像の位置ずれが問題となっていた。今回我々は、SSFP 状態に生じる FID 信号及び time-reversed

FID 信号の二つの信号を同時計測することで脳表血流と脳表面構造を同時に描出することができた。また、脳表面構造と脳表血流との相互位置関係を把握するため、両画像の合成を試みたので報告する。

### 対象及び方法

本研究の撮影は、0.5T 超電導 MRI 装置 (日立 MRH-500 Super Scan) を用いて行った。アンギオグラフィの手法としては、撮影時間が短いこと並びに流速の遅い脳表血流に対し流入効果が比較的強いことを考慮し、2D-inflow 法を採用した。撮影は、健常ボランティアの頭部を対象に行い、脳表面画像、アンギオ画像及びその合成画像を作成した。撮影に使用した 2次元の SSFP パルスシーケンスを Fig.1 に示す。

繰返し時間 (TR) が、被検体の緩和時間よりも短い場合に、磁化が定常状態 (SSFP) を形成する<sup>11)~13)</sup>。この状態において、横磁化は高周波パルスの励起直後に FID 信号を、次の高周波パルスの励起直前に time-reversed FID 信号を生じさせる。使用したパルスシーケンスは、高周波パルスでの励起間で横磁化成分の位相コ

**キーワード** MR angiography, brain surface imaging, steady-state free precession

ヒーレンスを保存するため、信号計測後、位相エンコード軸に位相エンコードと逆極性の傾斜磁場を印加する。また、FID信号計測には、rephasingパターンを用いる。頭頂部より連続的に撮影し得られたFID信号とtime-reversed FID信号からの二組の三次元画像に対し、M. I. P. (Maximum intensity projection) 処理を施し、それぞれアンギオ画像、脳表面画像を得た。

撮影条件は、TR=50ms, TE=16/34ms, flip Angle: 70°~90°, matrix: 256×256, スライス厚: 2mm~5mm, FOV: 250mm, 積算: 2回, 撮影枚数: 20枚である。計測時間は、8分32秒である。

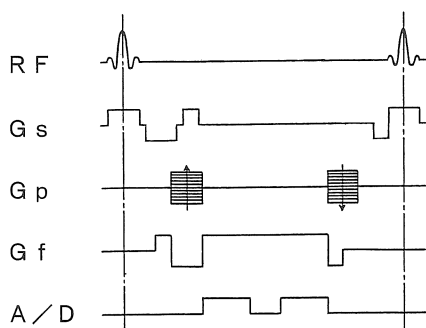


Fig.1. A 2D-SSFP pulse sequence to acquire brain surface angiographic images and brain surface images. Gs, Gp, and Gf are magnetic gradient field pulse for slice selection axis, phase encoding axis, and frequency encoding axis, respectively. To preserve phase coherence of signal data between successive RF pulses, a magnetic gradient pulse whose polarity is reverse to that of phase encoding pulse is applied in the phase encoding axis after signal acquisition. Brain surface angiographic images are obtained from the FID signals just after the excitation of an RF pulse, and brain surface images from the time-reversed FID signals just prior to the excitation of the next RF pulse.

## 結 果

Fig.2に健常ボランティアの頭部画像を示す。aがFID信号から得た画像であり、bがtime-reversed FID信号から得た画像である。両画像ともスライス厚は3mmである。aの画像には血流信号が高信号に描出されており、bの画像には、脳表に存在する脳脊髄液が高信号に描出されている。

頭頂から60mmの領域を厚さ3mmで連続的に撮影した20枚の画像に対し、M. I. P.処理を施した画像をFig.3に示す。aがFID信号から得たアンギオ画像であり、bがtime-reversed FID信号から得た脳表面画像である。aは、2D-inflow法による頭頂近傍のアンギオ画像であり、頭頂に表在する静脈系がほぼ描出されている。bは、M. I. P.処理した後、脳表面構造の陰影を明瞭にするため白黒反転処理を行っている。従来法に比べS/Nは低いが脳表面構造を観察することはできる。

Fig.4にFig.3に示したアンギオ画像と脳表面画像を重み付け加算した画像を示す。二つの画像はステレオ合成されている。一枚の画像上に脳表の構造と血流が描出でき、相互の位置関係を把握することができる。

## 考 察

SSFP状態に生じる二つの信号から得られる画像のコントラストは、それぞれ異なり、FID信号の画像は、主に $T_1/T_2$ 緩和を反映しtime-reversed FID信号の画像は、 $T_2$ 緩和を反映する<sup>14),15)</sup>。これらの信号を計測する高速撮影法は、FAST, CE-FASTとして知られており、さらに二つの信号を同時計測しコントラストの異なる画像を一度に得る方法も報告されている<sup>16),17)</sup>。また、我々は同時計測をアンギオグラフィーに応用し、bright angiogramとblack angiogramを一度

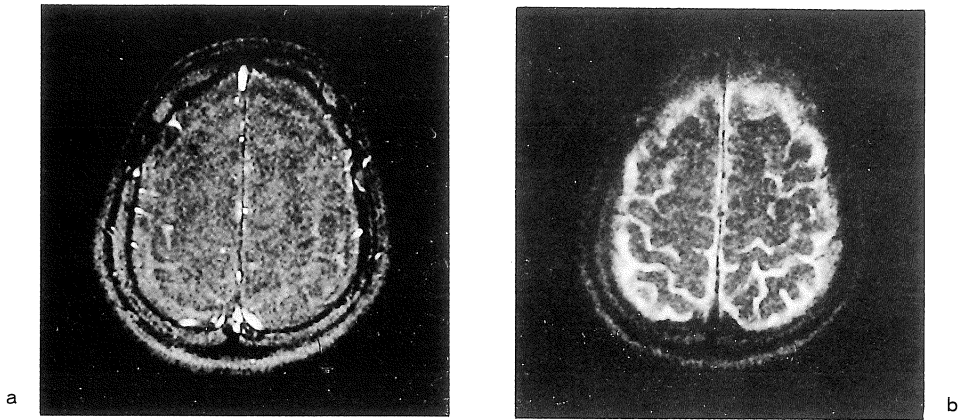


Fig.2. Head images of a healthy volunteer. a : A 3mm thick image obtained from the FID signals. Blood flows are depicted in high intensities due to inflow effects. b : A 3mm thick image obtained from the time-reversed FID signals. Cerebrospinal fluid on the brain surface is depicted in high intensities.

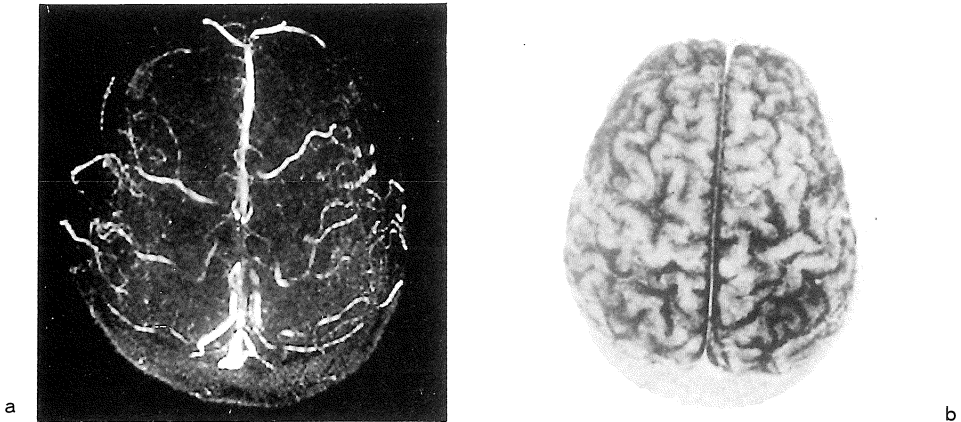


Fig.3. A brain surface angiographic image and a brain surface image. a : An angiographic image after MIP processing on the three dimensional data set obtained from the FID signals. Veins mainly on the brain surface are depicted in high intensities due to the inflow effects. b : A brain surface image after MIP processing on the three dimensional data set obtained from the time-reversed FID signals is further video-reversed. Although the image SNR is rather deteriorated, the brain surface structures can be observed.

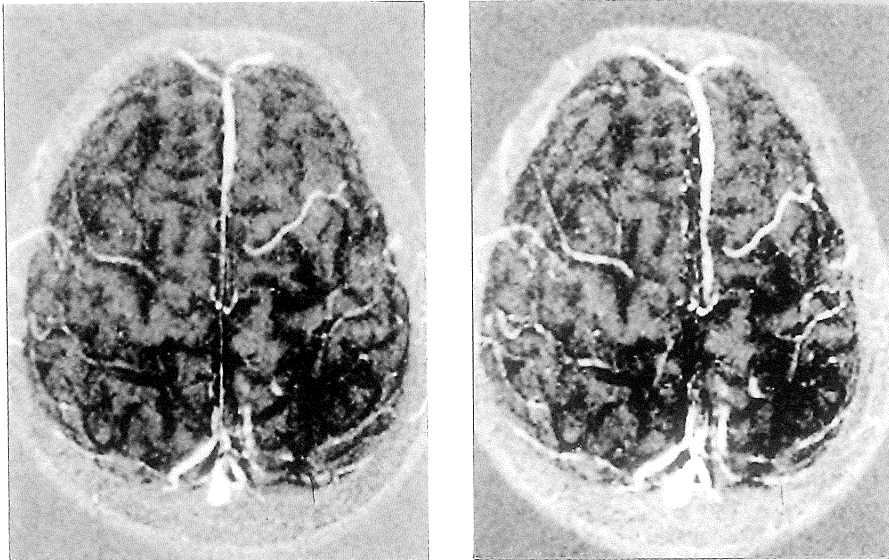


Fig.4. A synthesis image of superimposition of a brain surface angiographic image and a brain surface image. This image is obtained through weighted addition of a brain surface angiographic image and a brain surface image. Spatial relationship between the vasculatures and structures on the brain surface can be observed. This image is further processed for stereo-display to enhance understanding of the spatial relationship.

に得る方法を提案した<sup>18),19)</sup>。

今回の研究は、二つの信号の同時計測技術を血流画像と脳表面画像の同時撮影に応用したものである。本研究の対象とした脳表血流は流速が遅いため、3D-inflow法では、流入効果が弱くなり適さない。また、遅い血流の描出に比較的優れている subtraction法や phase contrast法は、計測時間が長くなる問題がある。これらの問題に対し、2D-inflow法は、遅い血流にも流入効果が強く計測時間も短い。さらに、3次元的に撮影することができるため、立体的な位置関係を把握することがもできる。

FID信号から得た画像は、スライス面内に流入する血流を高信号に描出している。ただし、流入効果より描出しているため、脳表の血流ばかりでなく脳内部の血流をも描出してしまふ。これに対し、time-reversed FID信号から得た画像は、強度の $T_2$ 強調を示し脳表面の脳脊髄液を高信号領域として描出している。しかし、ア

ンギオ画像の流入効果をも高めるためスライス厚が薄く、time-reversed FID信号からの画像のS/Nは低くなっている。

アンギオ画像と脳表面画像を得るためにFID信号から得た画像とtime-reversed FID信号から得た画像のそれぞれに対しM. I. P.処理を施した。アンギオ画像は、流入効果による描出法のため脳表に表在する静脈系のみを選択的に描出することはできないが、得られた画像には、ほぼ表在の静脈系が描出されている。脳表面画像は、従来のlong TR-long TEを利用した画像に比べS/Nの面で劣るものの主要な脳回、脳溝の検出は可能である。

脳表血流と脳表面構造との相互関係を得るために、M. I. P.処理により得られたアンギオ画像と脳表面画像に対し、重み付け加算処理による合成を行った。従来行われていた様にアンギオ画像と脳表面画像を別々に撮影する方法では、両画像の位置のずれが問題となっていた。しか

し、本方法では一度に両画像を撮影するため、被検体の動きによる位置ずれは生じない。また、薄いスライス面内への流入効果による描出のため、位相変化による位置の誤差も少ない。そのため、合成画像においては、主要な血流と脳表構造との位置ずれは、ほとんど認められない。

さらに、立体的な位置関係を把握するため、ステレオ合成による表示を行った。2D-inflow 法により三次元的に画像を得ているため、任意角度からの再構成処理が行える。ステレオ表示や任意角度からの再構成画像を観察することで脳表構造と脳表血流との立体的な位置関係が、より明瞭になると考える。

本方法は、一度の計測で脳表血流と脳表構造を描出する画像を同時に得ることができる。また、両画像の重ね合わせ合成やステレオ表示等の立体視から相互位置関係の把握が可能であり、脳外科手術の術前シミュレーションに有用であると考える。

## 結 論

(1) SSFP 状態に生じる FID 信号と time-reversed FID 信号を利用し、脳表アンギオ画像と脳表面画像を同時に取得した。

(2) 脳表アンギオ画像と脳表面画像の重ね合わせ合成やステレオ表示から相互の位置関係の把握が可能であった。

尚、本稿の要旨は、第 20 回日本磁気共鳴医学会大会において発表した。

## 文 献

- 1) 片田和広, 安野泰史, 竹下 元, 他: MRI による脳表面構造撮像法の考案. 日磁医誌, 9 : 215-225, 1989.
- 2) 片田和広, 竹下 元, 安野泰史, 他: 高速  $T_2$  撮像法 (STERF) を用いた脳表撮像法. 日磁医誌, 9 : S-2, 105, 1989.
- 3) 高根 淳, 宮元嘉之, 武田隆三郎, 他: 緩和時間を強調した高速撮影法の応用. 日磁医誌, 9 : S-2, 172, 1989.

- 4) Takane A, Koizumi H : MR imaging of brain surface using steady-state free precession. Magn Reson Med, 25 : 344-348, 1992.
- 5) 市之瀬伸保, 町田好男, 徳永 裕, 他: 頭部表在静脈系の MRA 像と SAS 画像の重ね合わせについての検討. 日磁医誌, 11 : S-2, 398, 1991.
- 6) 小倉祐子, 片田和広, 安野泰史, 他: Operative view からの造影 MR angiography と脳表像の併用による手術シミュレーション. 日磁医誌, 11 : S-2, 210, 1991.
- 7) 小倉祐子, 片田和広, 藤沢和久, 他: 造影 MR angiography と SSFP によるマルチスライス SAS 像の合成表示における臨床的有用性. 日磁医誌, 12 : S-2, 130, 1992.
- 8) 百島裕貴, 樋口順也, 志賀逸夫: RARE による脳表撮像法と Phase Contrast 法による脳表血管像の投影. 日磁医誌, 12 : S-2, 133, 1992.
- 9) 小倉祐子, 片田和広, 藤沢和久, 他: 造影 MR angiography と脳表像の合成表示の臨床的有用性について. 日磁医誌, 12 : 334-340, 1992.
- 10) 小倉祐子, 片田和広, 藤沢和久, 他: 造影 MR angiography と SSFP を用いた multi slice SAS 像の立体合成表示の臨床的有用性について. CI 研究, 15 : 79-84, 1993.
- 11) Ernst R R, Anderson W A : Application of Fourier transform spectroscopy to magnetic resonance. Rev Sci Instr, 37 : 93-102, 1966.
- 12) Freeman R, Hill H D W : Phase and intensity anomalies in Fourier transform NMR. J Magn Reson, 4 : 366-383, 1971.
- 13) Matsui S, Kuroda M, Kohno H : A new method of measuring  $T_2$  using steady-state free precession. J Magn Reson, 62 : 12-18, 1985.
- 14) Gyngell M L, Palmer N D, Eastwood L M : The application of steady-state free precession (SFP) in 2D-FT MR imaging. 5th Soc Magn Reson Med : 666, 1986.
- 15) Zur Y, Stokar S, Bendel P : An analysis of fast imaging sequence with steady-state transverse magnetization refocusing. Magn Reson Med, 6 : 175-193, 1988.
- 16) Redpath T W, Jones R A : FADE-A new fast imaging sequence. Magn Reson Med, 6 : 224-234, 1988.
- 17) Bruder H, Fischer H, Graumann R, et al. : A new

- steady-state imaging sequence for simultaneous acquisition of two MR images with clearly different contrasts. *Magn Reson Med*, 7 : 35-42, 1988.
- 18) 高根 淳, 津田宗孝, 小泉英明: SSFPを使った bright & black 3D MR angiography の基礎検討. *日磁医誌*, 12 : 55-60, 1992.
- 19) Takane A, Tsuda M, Koizumi H : Simultaneous bright and black 3D angiography using steady-state free precession imaging. *Radiology* 181 (P) : 357, 1991 [RSNA Abstracts].

### **Simultaneous Imaging of MR Angiographic Image and Brain Surface Image Using Steady-State Free Precession**

Atsushi TAKANE<sup>1</sup>, Munetaka TSUDA<sup>1</sup>, Hideaki KOIZUMI<sup>2</sup>,  
Susumu KOYAMA<sup>3</sup>, Takeyuki YOSHIDA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instrument Division, Hitachi, Ltd.*

*882 Ichige Katsuta Ibaraki 312*

<sup>2</sup>*Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.*

<sup>3</sup>*Hitachi Instrument Engineering, Ltd.*

Synthesis of a brain surface image and an angiographic image representing brain surface vasculatures can be useful for pre-operational contemplation of brain surgery. Both brain surface images and brain surface vasculature images were successfully acquired simultaneously utilizing both FID signals and time-reversed FID signals created under SSFP.

This simultaneous imaging method has several advantages. No positional discrepancies between both images and prolongation of scan time are anticipated because of concurrent acquisition of the two kinds of image data. Superimposition and stereo-display of both images enable understanding of their spatial relationship, and therefore afford a useful means for pre-operational simulation of brain surgery.