

## SSFP 法による胎児異常の MR 診断

天沼 誠, 長谷川 真, 榎本京子, 渡部恒也,  
平敷 淳子

埼玉医科大学放射線医学教室

## はじめに

MRI は放射線被爆がない, 軟部組織間の優れたコントラストが得られるなど胎児の画像診断上多くの利点を有している反面で, 強い磁場, 傾斜磁場の短時間での反転の影響などその安全性については十分に解明されていない。したがって胎児に対する MRI は器官形成期にあたる妊娠 12 週までの期間は避けなければならない<sup>1)</sup>, また, その後においても臨床的にその必要性が認められる場合に限定されなければならない<sup>2)</sup>。

この観点からも検査を施行する以上, 胎児 MRI は他の撮像領域以上に臨床的に有用な情報を与えるものである必要がある。しかし通常のスピネコー法は撮像時間が長く, 胎動, 母体の呼吸に由来する motion artifact のために診断に有効な画像を得ることは必ずしも容易ではない。特に周囲を羊水に囲まれた胎児では T<sub>2</sub>強調画像の有用性が考えられるが, この方法はより長い撮像時間を要するために胎児の MR 像に用いられることはほとんどないのが現状である。一方で高速, 超高速撮像法の導入以来, 短時間で高分解能, 高コントラストの画像を得る試みが種々の方法でなされている。今回, 定常歳差状態 (Steady-state free precession, 以下

SSFP)<sup>3),4)</sup>における時間逆行性エコー信号による高速撮像法を用い, 胎児の T<sub>2</sub>強調画像の短時間撮像を試みた。胎児の異常検出の上で診断の有用な知見が得られたので報告する。

## 対象および方法

対象は 1991 年 5 月より 92 年 11 月までに埼玉医科大学放射線科において MRI を施行した妊婦 19 名, 19 胎児である。超音波検査において胎児異常の評価が困難であったもの, 母体, 胎児の生命維持のためにより正確な情報を必要としたものをその適応とし, informed consent を得た後撮像を行った。在胎期間は 17 週から 39 週で平均 32 週であった。症例の内訳は羊水過多症 4 例, 臍帯ヘルニア 3 例 (うち破裂 1 例), 胎児中枢神経系奇形の疑い 3 例, その他の部位における胎児奇形疑い 3 例, 子宮内胎児発育遅延 2 例, その他 4 例である。

使用装置は Siemens 社製 Magnetom H15SP, 静磁場強度 1.5T で, パルス系列は SSFP 状態における時間逆行性 FID 信号より画像を作成する高速撮像法 PSIF 法 (Siemens: 時間順行性 FID 信号より画像を構成する FISP 法と鏡像的なパルス系列となることにもとづく命名)<sup>5)~7)</sup>である。この方法では理論上, TE は

キーワード MR imaging, fast imaging, fetal anomaly, SSFP

Table 1. Subjective quality assessment of PSIF images

Image quality	Axial	Coronal	Sagittal	Double oblique	Number
Excellent	8	7	10	2	27
Good	5	8	6	3	22
Poor	3	4	3	2	12
Total	16	19	19	7	61

TR の約 2 倍に相当する時間となり、強度の  $T_2$  コントラストが得られる。2 次元データ収集法を 4 例で、3 次元法は 17 例で施行した。2 次元法の撮像パラメーターは TR30-80ms, effective TE (定まった表現はないが次の RF pulse から逆行性に生じると考え、 $TR \times 2 - TE$  と考えられる。以下単に TE と略す) 7ms, flip angle 50-90 度, 3 次元法では TR 17ms, TE 7ms, flip angle 75-90 度を用いた。FOV は 300 ないし 400mm, matrix 数は  $128 \times 256$  とした。3 次元法の slab thickness は 50-70mm, スライス分割数は 8 とした。この条件による 1 スライス内の voxel size は約  $2.5\text{mm} \times 1.3\text{mm} \times 7\text{mm}$  である。1 回の撮像時間は約 20 秒であり、母体の呼吸停止下に撮像を行なった。撮像方向は原則として軸位断、冠状断、矢状断の 3 方向で、胎児の体軸方向に応じて適宜他の断面を付け加えた。 $T_1$  強調像は原則として高速撮像法 (FLASH, TR/TE/FA=70-144/12/80) を使用し、症例により spin echo 法ないしは超高速撮像法 (Turbo FLASH, TR/TE/FA=10/4/10) を用いた。

得られた画像を motion artifact の程度から 3 段階に分けて評価した。すなわち motion artifact が十分抑制され、画像評価が容易であるものを excellent, 軽度の artifact が存在するが画像の評価に影響がないと考えられるものを good, artifact が著明で画像が評価できないものを poor とした。

## 結 果

19 症例, 計 61 回の撮像における motion artifact の程度を表 1 にしめす。合計 61 回の撮像に対して、アーチファクトの抑制された静止画像が得られたもの 27 回, 診断に差し支えない程度の抑制が得られたもの 22 回であり, 19 例中 18 例ですくなくとも 1 方向の motion artifact の影響のない画像を得ることが可能であった。在胎 20 週の羊水過多症例 1 例のみが 3 方向いずれの撮像においても胎動が著明なためにその評価が不可能であった。

正常 3 次元 PSIF 像 Fig.1 に示す。強度に強調された  $T_2$  コントラストにより水は著明な信号を呈するため、羊水が高信号で描出される。このため通常の  $T_1$  強調画像と比較してはるかに明瞭に胎児輪郭を描出することが可能であった。また、脳脊髄液、硝子体、胃、膀胱が同様に確実に同定可能で、胎児内の諸臓器の位置関係を評価するめやすとなった。反面、脂肪が中程度の信号を呈する以外は軟部組織間のコントラストは一般に不良であった。心臓は拍動による motion artifact のために評価不能であった。

羊水と胎児とのコントラストは体表の観察に (Fig.2, 3) に、脳脊髄液と脳、脊髄とのコントラストは中枢神経系の形態異常の評価に (Fig.4, 5), 液性成分での高信号は嚢胞性病変の検出に有効であった (Fig.5, 6)。実質臓器をはじめ水

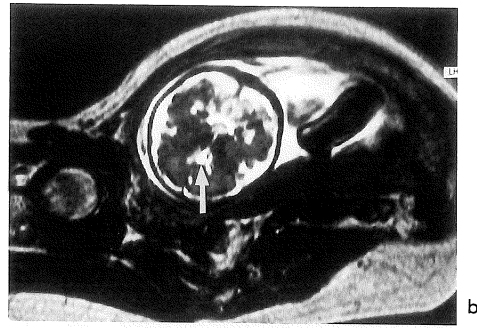
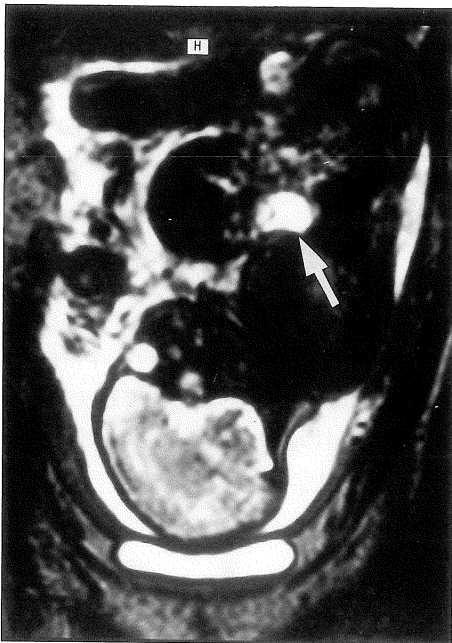


Fig. 1. 3D PSIF images of the normal 33-week fetus. Coronal (a) and axial (b) images. Note strong signal of the amniotic fluid, CSF, vitreous bodies, stomach, and urinary bladder. Cavum septum pellucidum is demonstrated (arrow).

a

b



a

b

Fig.2. Omphalocele. 30 weeks. (a) Sagittal 2D PSIF shows a round protrusion from the fetal anterior abdominal wall. Fluid-filled stomach (arrow) also herniates within the structure. (b) Photography of the baby at birth.

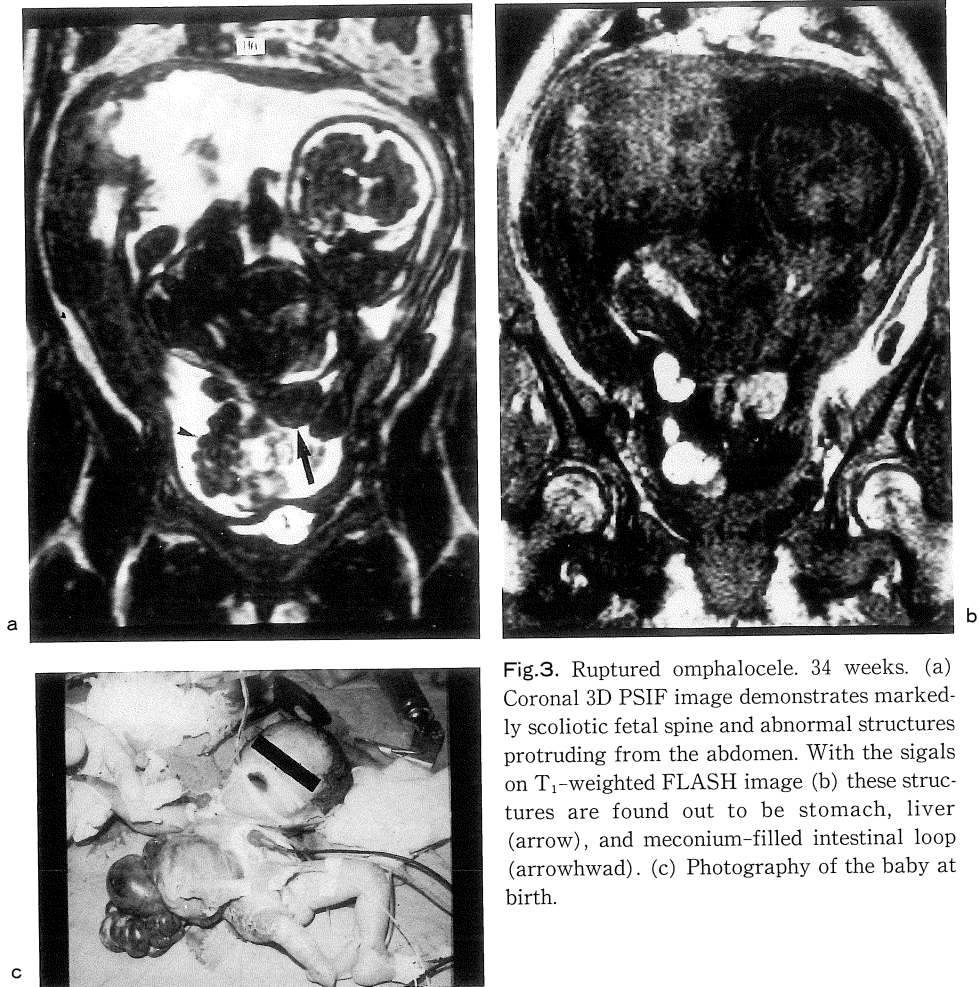


Fig.3. Ruptured omphalocele. 34 weeks. (a) Coronal 3D PSIF image demonstrates markedly scoliotic fetal spine and abnormal structures protruding from the abdomen. With the signals on T<sub>1</sub>-weighted FLASH image (b) these structures are found out to be stomach, liver (arrow), and meconium-filled intestinal loop (arrowhead). (c) Photography of the baby at birth.

分貯留ない臓器の信号の特異性に欠けるため、肝臓、胎便を含んだ腸管などは一様に低信号構造として描出された。これらの諸臓器の同定については T<sub>1</sub>強調画型のパルス系列と比較して明らかに劣っていた (Fig.3 b)。

超音波所見との比較では、羊水過多 (4例)、胎児水腫 (3例) については全例で、中枢神経系の形態異常については3例中2例で異常を描出可能であった。臍帯ヘルニアについては全例 (3例) でその存在を描出可能であったがヘルニア内容の同定については本法のみでの診断はあきらかに超音波法に劣り、T<sub>1</sub>強調像との所見

との比較を必要とした。また、Potter 症候群の2例において囊胞形成型の腎臓の評価には適していたが (Fig.6)、低形成型では腎臓の同定が不可能であった。

#### 考 察

胎児の画像化において MRI は他の診断法にないいくつかの利点を有し、その有用性が報告されている。しかし、胎動の多い胎児において分単位の時間を要するスピネコー法は有効な撮像法ではない。このため、MRI は一般的には簡

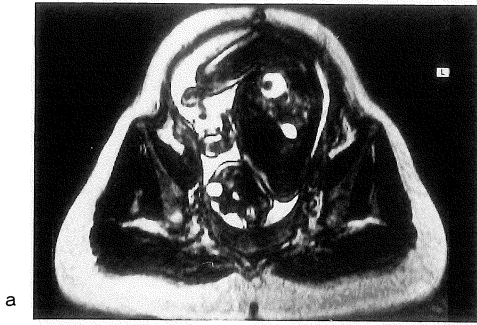


Fig.4. Anencephaly. 33 weeks. Coronal (a) and sagittal (b) 3D PSIF images detect absence of fetal cerebrum above the level of eye balls.

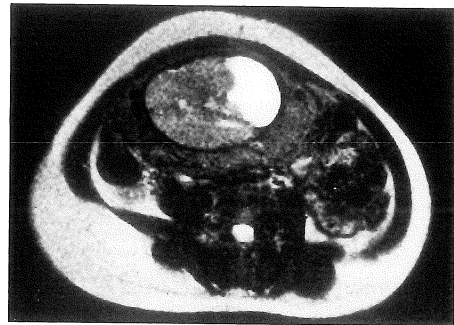
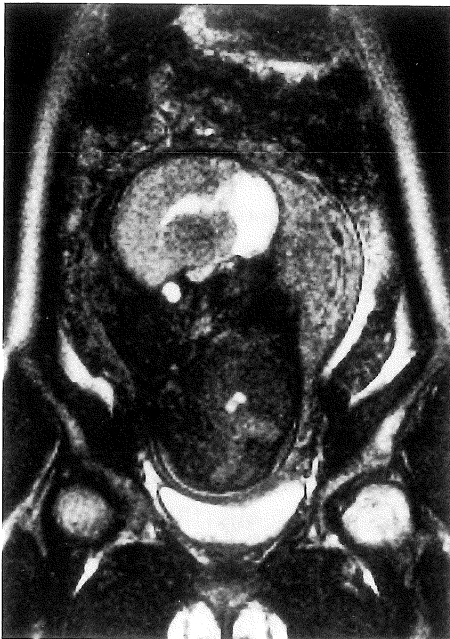


Fig.5. Dandy-Walker cyst. 25 weeks. Sagittal (a) and axial (b) 3D PSIF imaged demonstrate a large fluid-filled structure in fetal posterior fossa, communicating with fourth ventricle.



Fig.6. Potter Syndrome. 30 weeks. (a) Sagittal 3D PSIF image detects ascites in the fetal abdomen. Oligohydroamnios is noted. (b) Coronal image reveals enlarged bilateral kidneys with multiple cystic mass lesions.

便でリアルタイムで観察可能な超音波の補助診断に用いられているのにすぎないのが現状である<sup>8)~10)</sup>。

施設によっては、スピンエコー法による撮像時に pancuronium などの薬剤を投与しているが<sup>11),12)</sup>、技術的な熟練を要すること、MR 本来の利点である非侵襲性が失われることから一般的に用いられる方法ではない<sup>13)</sup>。

今回は SSFP 法による高速撮像法を用い、母体の呼吸停止下での画像化を試みた。今回用いた撮像条件下では 3 次元撮像法を使用すると約 20 秒の呼吸停止で 8 分割された画像が得られる。両側最外側の 2 スライスに折り返しアーチファクトのために読影は困難であるが他の 6 スライスは高い S/N を有する 3 次元画像であり、十分評価が可能であった。胎児の大きさは通常の矢状断および冠状断で全体像が入り、従って 1 回の呼吸停止で撮像が終了することが多い。20 秒

の呼吸停止が可能であるならば 3 次元法は 2 次元法に比較して、検査能率からも有効な方法と考えられた。motion artifact の抑制も効果的であり、たとえ得られた画像が artifact が強く評価困難でも繰り返し施行できる利点がある。20 秒の呼吸停止が不可能な場合にはより撮像時間の短い 2 次元法が望ましいが、3 次元法のパルス系列にも現在短時間化の検討が加えられている<sup>14)</sup>。TR の過度の短縮は FID 成分とエコー成分の干渉を生じ、SSFP そのものを崩す可能性があるためこの短縮には限界があると思われるが、今後はより母体の負担を軽減できる方向に進むことが予想される。在胎 24 週以下の胎児では胎動が強く、より診断が困難であることが指摘されている<sup>15)</sup>。今回の検討でも 20 週の 1 例においていずれの方向から高速撮像法も診断に耐える画像を得ることができなかった。このような症例では超高速撮像法の使用が考慮されるべきで

今後の検討課題と考えられた。

今回の撮像条件下で得られる画像は通常の  $T_2$  強調画像とも異なる独自のコントラストを有し、胎児診断に適したいくつかの特徴を保持していた。胎児と周囲羊水のコントラストは体表の奇形、変形の診断に鋭敏であり、従って臍帯ヘルニア、腹壁破裂などの診断に有効であった。脳脊髄液と脳実質のコントラストは中枢神経系の形態異常の描出に有利と考えられ、胎児の週数によっては透明中隔腔など微細構造の描出も可能であり、中枢神経系の発達異常の評価などへの応用の可能性も示唆された。胎児においては胃が羊水で満たされているため膀胱とともに腹部における諸臓器の位置関係を知るうえでよい指標になった。しかし軟部組織間のコントラストは一般に不良であり、個々の臓器の信号強度の特異性に欠ける点は大きな欠点である。この点を補うためにも  $T_1$  強調型の画像は不可欠と考えられ、我々も FLASH 型の高速撮像法を呼吸停止下に行なうことで良好な  $T_1$  強調画像が得られている。両者の画像所見を比較することにより超音波と同等ないしはそれ以上の所見が得られると考えられた。

検査の安全性、簡便性などから考えて今後とも胎児の画像診断に超音波が主流であることには変わりはないと思われる。しかし、より客観的で診断価値の高い画像が短時間で得られるようになれば、この領域で MRI のはたす役割は増大していくものと考えられる。

本論文の要旨の一部は、第 20 回磁気共鳴医学会（札幌、1992 年 10 月）において発表した。

## 文 献

- 1) National (British) Radiological Protection Board : Revised guidelines of acceptable limits of exposure during NMR clinical imaging. Br J Radiol, 56 : 974-977, 1983.
- 2) US Food and Drug Administration : Magnetic resonance diagnostic device : panel recommenda-

tion and report of petitions for MR reclassification. Fed Reg, 53 : 7575-7579, 1988.

- 3) Zur Y, Stokar S, Bendel P : An analysis of fast imaging sequences with steady-state transverse magnetization refocusing. Magn Reson Med, 6 : 175-193, 1988.
- 4) Pats S. Steady-state free precession : An overview of basic concepts and applications. Adv Magn Reson Imag, 1 : 73-102, 1989.
- 5) Bruder H, Fisher H, Graumann R, Deimling M : A new steady-state imaging sequence for simultaneous acquisition of two MR images with clearly different contrasts. Magn. Reson Med, 7 : 35-42, 1988.
- 6) Gyngell ML : The application of steady-state free precession in rapid 2DFT NMR imaging : Fast and CE-Fast sequences. Magn Reson Imag, 6 : 415-419, 1988.
- 7) 森本耕治, 青木佳子, 崔 秀美, 宮田俊明, 原一夫 : MR cholangiography. 日医放会誌, 51 : 833-835, 1991.
- 8) Hill MC, Lande IM, Larsen JW Jr : Prenatal diagnosis of fetal anomalies using ultrasound and MRI. Radiol Clin North Am, 26 : 287-307, 1988.
- 9) Williamson RA, Weiner CP, Yuh WT, Abu-Yousef MM : Magnetic resonance imaging of anomalous fetuses. Obstet Gynecol, 73 : 952-956, 1989.
- 10) Benson RC, Colletti PM, Platt LD, Ralls PW : MR imaging of fetal anomalies. AJR, 156 : 1205-1207, 1991.
- 11) Toma P, Lucigrai G, Doderio P, Lituania M : Prenatal detection of an abdominal mass by MR imaging performed while the fetus is immobilized with pancuronium bromide. AJR, 154 : 1049-1050, 1990.
- 12) Angtuaco TL, Sbab HR, Mattison DR, Quirk JG Jr : MR imaging in high-risk obstetric patients : A valuable complement to US. Radiographics, 12 : 91-109, 1992.
- 13) Copel JA, Grannum PA, Harrison D, Hobbins JC : The use of intravenous pancuronium bromide to produce fetal paralysis during intravascular transfusion. Am J Obstet Gynecol, 158 : 170-171, 1988.
- 14) Shirakawa T, Ohta A, Mizuuchi N, Shimoi M, Morimoto K : Improvement in Three-dimen-

sional MR-cholangiography using rapid PSIF sequence. Book of abstracts. SMRM 11th annual meeting, 4404, Berlin 1992.

15) Powell MC, Worthington BS, Buckley JM,

Symonds EM : Magnetic resonance imaging in obstetrics. II. Fetal anatomy. Br J Obstet Gynecol, 95 : 38-46, 1988.

## MR Evaluation of Fetal Abnormalities by SSFP Sequence

Makoto AMANUMA, Makoto HASEGAWA, Kyoko ENOMOTO,  
Tsuneya WATABE, Atsuko HESHIKI

*Department of Radiology, Saitama Medical School  
38 Morohongo, Moroyama, Iruma-gun, Saitama 350-04*

We examined the feasibility of fast SSFP MR imaging with time-reversed FID signal for detecting fetal abnormality. Its strong  $T_2$ -weighted contrast enabled to clearly differentiate fetal part from the amniotic fluid and detect some fluid-filled organs. Although the sequence is very sensitive to motion, short imaging time (20 seconds) with breath-holding minimized motion-related artifacts and provided high quality images. It was also possible to image repeatedly in arbitrary slice orientations within a reasonable examination time. This technique was particularly useful to demonstrate gross fetal anomalies of the body surface and CNS without need for a potentially harmful fetal anesthesia. However, due to poor soft tissue contrast supplemental  $T_1$ -weighted images were mandatory.