

# MRIによる新しい胎児画像 —胎児体表面画像 (MR fetography) の考案—

寺腰博明<sup>1</sup>, 内山勝弘<sup>1,2</sup>, 江良謙一<sup>1</sup>, 大石園美<sup>2</sup>,  
大曾根文雄<sup>1</sup>, 二見 務<sup>1</sup>

<sup>1</sup>帝京大学医学部附属市原病院放射線部 <sup>2</sup>同放射線科

## はじめに

現在, 胎児の画像診断は安全性と簡便性から超音波検査が第一選択として行われている. しかし, 超音波検査において胎児の解剖学的情報が不十分な場合には, 多くの施設でMRI検査が施行されている. 特に最近のMRI装置では, single shot fast spin echo (SSFSE) 法を始めとする高速撮像法が使用可能であるため, 数秒単位の撮像時間で高分解能の画像を任意の方向から得ることが可能となり, 胎児奇形の画像診断において非常に有用な検査法になりつつある<sup>1)~3)</sup>. しかし, その撮像法は薄いスライス厚で多断面を撮像し, 胎児体内の状態を断層画像として得ているのが現状であり, 胎児体表面の状態を知るには複数のMRI画像を観察者の頭の中で再構成する必要があり, 必ずしも容易とはいえない<sup>1)~3)</sup>. このような背景から我々は, 一枚の画像で胎児体表面の輪郭や体内の状態を描出する胎児体表面画像 (MR fetography) を考案し, 臨床的有用性について検討したので報告する.

## 方法および対象

MR fetography の基本原理を Fig. 1 に示す. 極めてTRとTEを長くし, 撮像スライス厚は30~100 mmの厚い条件設定で子宮内の胎児を撮像する. 撮像された画像は強度T<sub>2</sub>強調像であることから, そのシグナルプロファイルは撮像スライス断面内で羊水が多い部分は信号強度が高く, 胎児の存在によって羊水が少ない部分は低信号となる. その結果, 羊水と胎児との間にコントラスト差が生じ, 胎児の輪郭をシルエットとして描出可能になる. 得られた画像は強度T<sub>2</sub>強調像として胎児の輪郭を観察できるが, 更に胎児体表面の立体感を高めるためにグレイスケール反転処理 (invert 処理) を行うことで, MR fetography が得られる.

使用装置はSIGNA Horizon Hispeed LX 1.5T (GE社製), 使用コイルはTORSO-coilである. MR fetographyの撮像はSSFSE法を用いたシングルスライス法により, TR: ∞, TE: 180 ms, matrix: 384×256, FOV: 350×350 mm, スライス厚: 30~100 mmとした. 撮像時間は約2秒であり, 呼吸停止下で撮像を行った.

キーワード MRI, fetus, fetography, hydrography

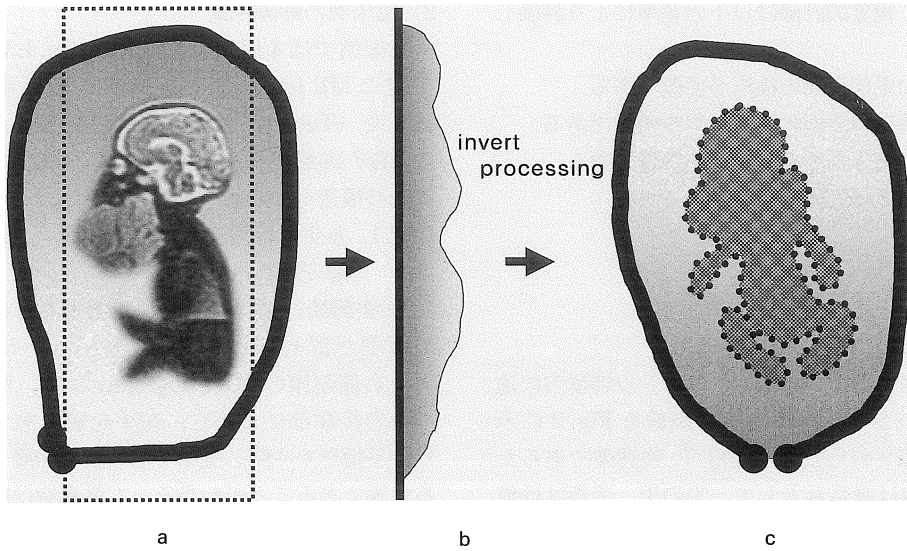


Fig. 1. Schema of MR fetography

a : Setting of the imaging site using SSFSE.

b : Signal profile of a fetus using heavily T<sub>2</sub>-weighted image.

c : MR fetography.

Image of a fetus taken using heavily T<sub>2</sub>-weighted imaging and thick sections. MR fetography findings were obtained using invert processing.

対象はボランティア 1 例および臨床例 4 例である。臨床例は、超音波検査において胎児異常を指摘され精査目的で MRI 検査を施行した 4 例（多発性腎嚢胞および鎖肛疑い, thanatophoric dwarfism, Dandy-Walker 症候群, 耳介腫瘍疑い）で、妊娠週齢は 25~33 週で平均 29.5 週であった。なお、胎児の MRI 検査に当たっては、妊婦および家族に十分なインフォームドコンセント並びに必要性を説明し承諾を得た上で行ったものである。

検討項目は以下の 1) および 2) である。

#### 1) ボランティアの画像評価

MR fetography の基本原理を確認するため、ボランティアの手指を蒸留水で満たされたポリエチレン容器内に沈め、MR fetography の撮像条件で撮像を行い、得られた画像と invert

処理を行った画像の視覚的評価を行った。なお、ボランティアの手指は開いた状態および閉じた状態で撮像した。

#### 2) 臨床例の画像評価

臨床例 4 例について、MR fetography と (a)~(e) の画像との視覚的評価を行った。

- (a) TE : maximum で撮像した MR fetography
- (b) T<sub>2</sub> 強調像 (マルチスライス法, TR : ∞, TE : 90 ms, スライス厚 5 mm)
- (c) 強度 T<sub>2</sub> 強調像 (マルチスライス法, TR : ∞, TE : 180 ms, スライス厚 5 mm)
- (d) 強度 T<sub>2</sub> 強調像を原画として maximum intensity projection (MIP) 処理を行い、作成した MIP 画像
- (e) 超音波画像

2000 年 1 月 17 日受理 2000 年 3 月 14 日改訂

別刷請求先 〒299-0111 千葉県市原市姉崎 3426-3 帝京大学医学部附属市原病院放射線部 寺腰博明

なお、視覚的評価は以下の基準により評価した。

- ⦿：胎児体表面の描出が明瞭である。
- ＋：胎児体表面の描出がやや明瞭である。
- －：胎児体表面の描出が不明瞭である。
- ×：胎児体表面が同定困難である。

## 結 果

### 1) ボランティアの画像評価

蒸留水で満たされたポリエチレン容器内に沈めたボランティアの手指の画像を Fig. 2 に示す。撮像された画像は強度  $T_2$  強調像であるため蒸留水は高信号として、手の甲、手指は低信号として描出され、手指の開閉している状態や手指の一本一本を明瞭に同定することが可能であった。そして、invert 処理を行った画像では立体感を高めた手指の画像が得られた。

### 2) 臨床例の画像評価

臨床例では4症例の胎児すべてにおいて、明瞭な MR fetography を得ることが可能であった (Table)。胎児体表面の輪郭は、羊水内に浮かぶ胎児がシルエットとして描出され、体内の構造も一部認めることができた。

#### 症例 1. 多発性腎嚢胞および鎖肛疑い 妊娠週齢 33 週

$T_2$  強調像の冠状断、矢状断像で右腎に多数の嚢胞が認められる (Fig. 3a~d, e~h)。正面、右側面像の MR fetography から、胎児は右手を後頭部にまわし、左手を額にあてており、手指をやや閉じ気味で右下肢を伸展している状態であることがわかる。右腎嚢胞は胎児の体を透かして観察できた。また、右側の耳介、肺や縦隔、消化管、膀胱の形態も X 線透視画像のごとく確認することができた (Fig. 3i, j)。当初、超音波検査で指摘された拡張した直腸の

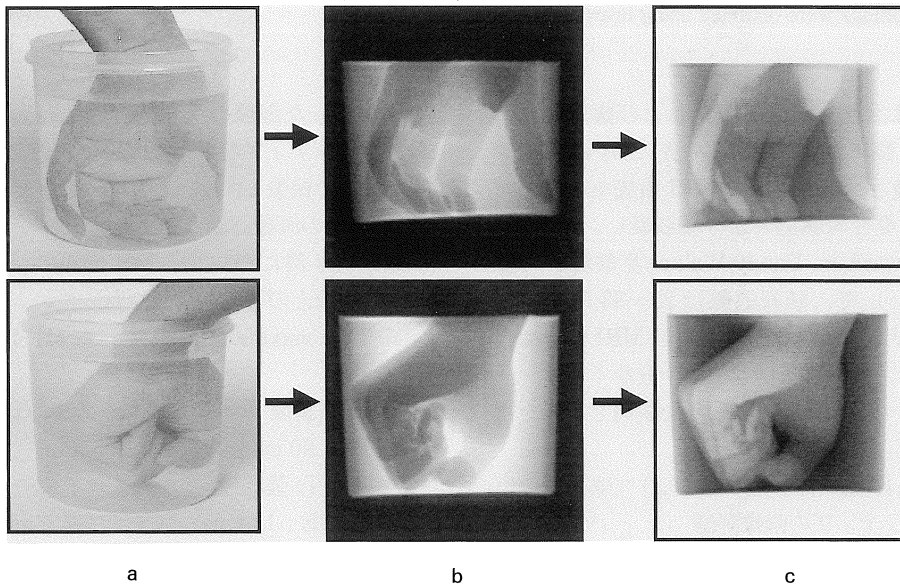


Fig. 2. Hand images of a volunteer  
 a : Volunteer's hands placed in water.  
 b : Heavily  $T_2$ -weighted image of a hand of volunteer.  
 c : Inverted images of Fig. 2b.

Stereoscopic images of hands produced using heavily  $T_2$ -weighted images and invert processing.

Table. Image Evaluation of Surface of the Fetus

	MR fetography (TE : 180 ms)	MR fetography (TE : maximum)	multislice		MIP image	US
			T <sub>2</sub> WI (TE : 90 ms)	Heavily T <sub>2</sub> WI (TE : 180 ms)		
Case 1	⊕	+	+	+	×	+
Case 2	⊕	-	+	+	×	+
Case 3	⊕	+	+	+	×	+
Case 4	⊕	-	+	+	×	-

T<sub>2</sub>WI : T<sub>2</sub>-weighted image, TE : echo time

MIP : maximum intensity projection, US : ultrasound

⊕ : Excellent

+

- : Poor

×

所見はMRI検査では認められず、鎖肛ではないことが明らかになった。

#### 症例 2. Thanatophoric dwarfism 妊娠週齢 31 週

本症例では、四肢の短縮が疑われたため多方向から MR fetography の撮像を行った。正面、側面、斜位像の MR fetography から胎児の両側四肢が非常に短く、手指や足趾は認められなかった。体幹部では低形成と思われる胸郭と肺を観察することができた。また、胎児奇形特有とされる羊水が過多である状態や、胎盤からのびる臍帯を明瞭に認めることができた (Fig. 4)。

#### 症例 3. Dandy-Walker 症候群 妊娠週齢 25 週

強度 T<sub>2</sub> 強調像の矢状断像では、小脳虫部および小脳半球、大脳脚から延髄にかけて低形成であることが指摘できる (Fig. 5a~d)。一方、強度 T<sub>2</sub> 強調像を原画とし作成された MIP 画像は、胎児の輪郭が大変不明瞭となり、両下肢の状態も全く把握できない画像であった (Fig. 5e)。TE : 180 ms で撮像された MR fetography 左側面像から、後頭蓋窩内の囊胞構造の状態は児頭を透かして観察することができた。また、胎児の左下肢は屈曲し、右下肢は伸展していることがわかる (Fig. 5f)。これに対して、TE : maximum で撮像した MR fetography

(Fig. 5g) はコントラストが不良で、TE : 180 ms で撮像された MR fetography より胎児の輪郭の立体感が乏しい画像であった。

#### 症例 4. 耳介腫瘍疑い 妊娠週齢 29 週

超音波画像では、右側頭部に不形成な腫瘍が認められる (Fig. 6a)。T<sub>2</sub> 強調像の横断像では右耳介部周辺に腫瘍性病変が疑われた (Fig. 6b~e)。右側面像の MR fetography から、右耳介部周辺に疑われた腫瘍性病変は、右耳介下部にあてた右手指が腫瘍性病変として疑われたと判断された (Fig. 6f)。

## 考 察

胎児の状態を観察する X 線造影検査法としては胎児造影がある<sup>4)~6)</sup>。これは、手技や使用造影剤の違いにより羊水造影 (amniography) と胎表造影 (fetography) に分類され、胎児奇形が疑われた場合に施行されている。胎表造影は羊水穿刺により脂性造影剤を羊水中に直接注入し、24 時間後に X 線撮影を行い脂性造影剤が胎児の体表面に付着した状態を、二重造影像として画像化することで胎児体表面の状態を観察する検査法である。しかし、母体や胎児に対する侵襲性が高いことや、超音波検査の飛躍的な向上によって近年ではほとんど施行



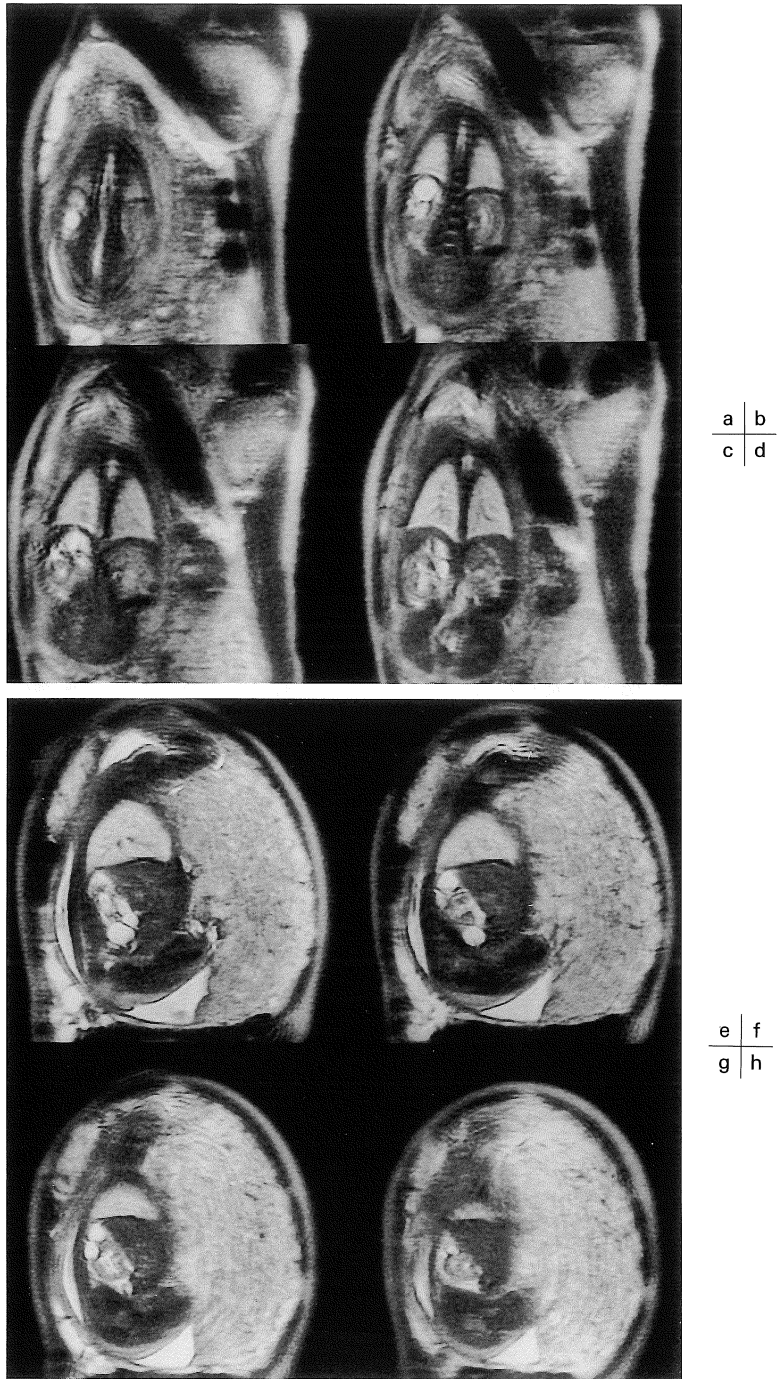


Fig. 3.

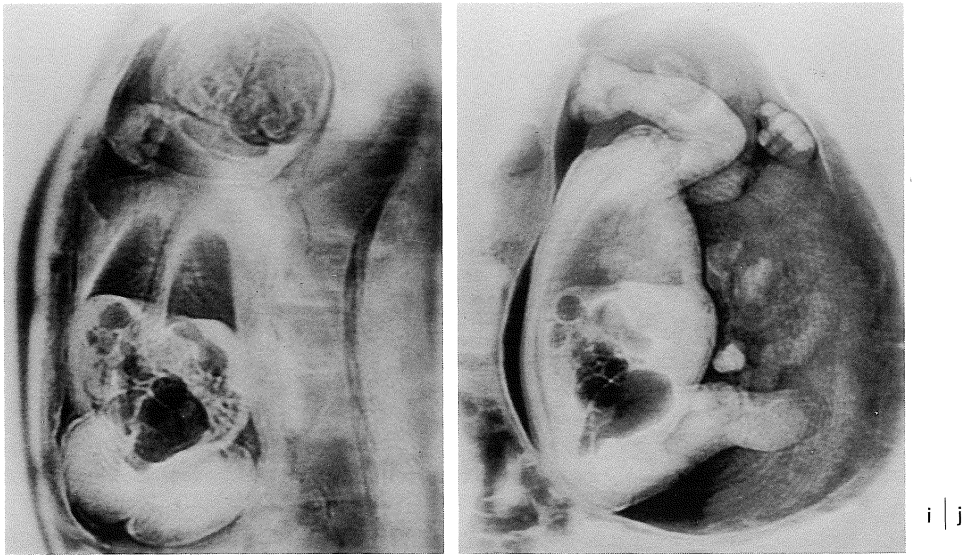


Fig. 3. Multiple renal cysts. Fetus at 33 weeks' gestation (Case 1).  
 a-d : Coronal T<sub>2</sub>-weighted images (TR : ∞, TE : 90 ms). From posterior to anterior.  
 e-h : Sagittal T<sub>2</sub>-weighted images (TR : ∞, TE : 90 ms). From left to right.  
 i : Anterior MR fetography.  
 j : Right lateral MR fetography.

されていない。我々は、羊膜内に存在する羊水が longT<sub>2</sub> 成分であることに着目し、胎表造影に用いる脂性造影剤の代わりに、これを MR hydrography の天然の造影剤として利用することで、短時間かつ低侵襲で胎児の輪郭をシルエットとして描出する MR fetography を考案した。

MR hydrography は、TE の値を極めて長く設定した強度 T<sub>2</sub> 強調像を撮像することで得られる水の静止画像である<sup>7)</sup>。この技法は、1989 年に片田らにより脳表撮像法 (surface anatomy scanning : SAS 法)<sup>8)</sup> が考案されてからパルスシーケンスの高速撮像化が進むとともに様々な領域に応用されてきた。現在では、MR cholangiopancreatography (MRCP)<sup>9)</sup>、MR urography (MRU)<sup>10)</sup> など発展は多岐にわたる。MR hydrography の応用は、従来まで X 線造影検査として確立されてきた検査法に取って代わるまでに至り、全く新たな MRI 検

査法としての体系付がなされている。今回我々が考案した MR fetography も基本原理は MR hydrography の技法によるもので、MR hydrography の体系に含められる最も新しいモダリティといえる。

MR fetography は羊水に囲まれた胎児の全体像が、一枚の画像で描出可能であることから様々な胎児疾患に臨床応用可能と考える。今回我々が経験した症例では、四肢の短縮例や形成不全症例において胎児の外観を理解する上では非常に有用であった。従来法の MRI 検査では 5 mm 前後の薄い断層厚で得られた複数の画像や、様々な方向から撮像した画像を観察する必要がある。しかし、MR fetography では胎児体表面の輪郭を羊水とのコントラスト差によって立体的かつ明瞭に描出することが可能になるため、胎表奇形が疑われる症例に対して有力な画像情報になる。また、胎児の診断に多用されている超音波画像と比較しても胎児の状態を一

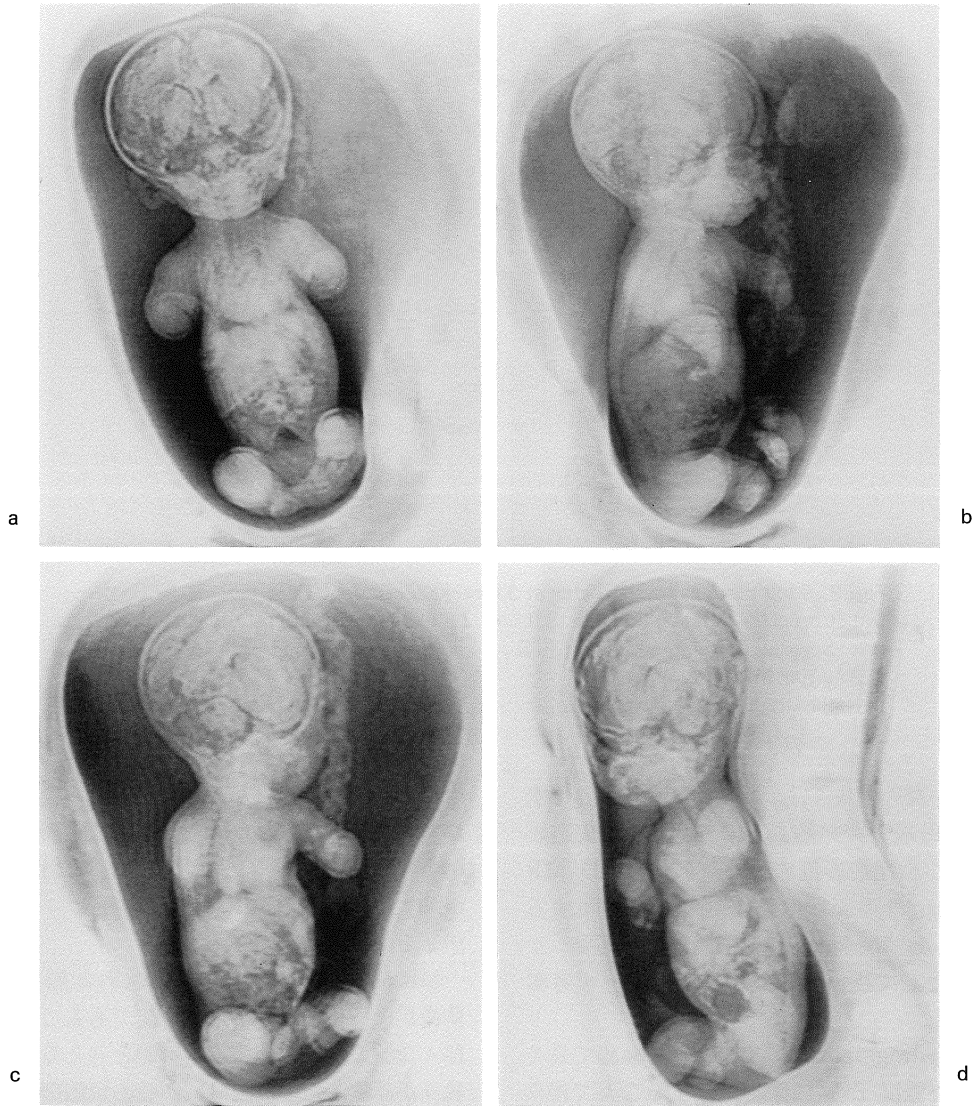


Fig. 4. Thanatophoric dwarfism. Fetus at 31 weeks' gestation (Case 2).

- a : Anterior MR fetography.
- b : Right lateral MR fetography.
- c : Right oblique MR fetography.
- d : Left oblique MR fetography.

目で把握できることから、医学的知識がさほどない被験者において複雑な断層画像で病態説明を受けるよりは、MR fetographyによる優しい画像で説明を受けた方が容易に理解できると

考えられる。最近では、リアルタイムに三次元画像が構築できる三次元超音波診断装置が胎児出生前診断に応用され、胎児体表面の状態が観察されている<sup>11)</sup>。しかし、描出される胎児体

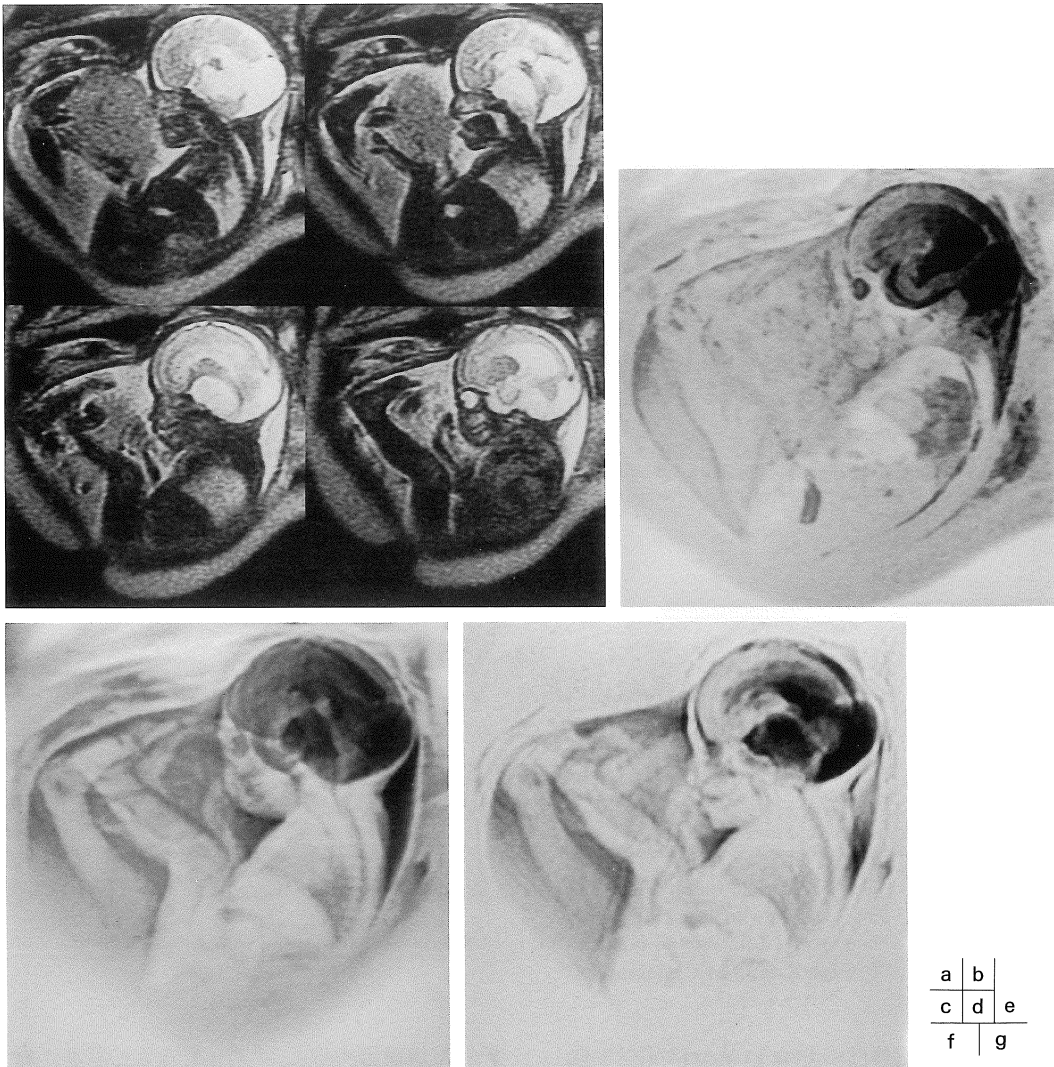


Fig. 5. Dandy-Walker syndrome. Fetus at 25 weeks' gestation (Case 3).  
 a-d : Sagittal heavily T<sub>2</sub>-weighted images (TR : ∞, TE : 180 ms). From right to left.  
 e : Maximum intensity projection image.  
 f : Left lateral MR fetography.  
 g : Left lateral MR fetography (TE : maximum).

表面の観察方向は常にプローブ側であるため、母体腹側の胎児の情報は得られるが、母体背側の胎児の情報は得ることは困難である。これに対し、MR fetography では胎児の周囲に羊水が十分存在する部位であれば、あらゆる方向か

らの胎児体表面の状態を観察することが可能である。

MR fetography は強度 T<sub>2</sub> 強調像に立体感を高めるために invert 処理を行った T<sub>2</sub> reversed 像である。そのため本来、高信号として描出さ

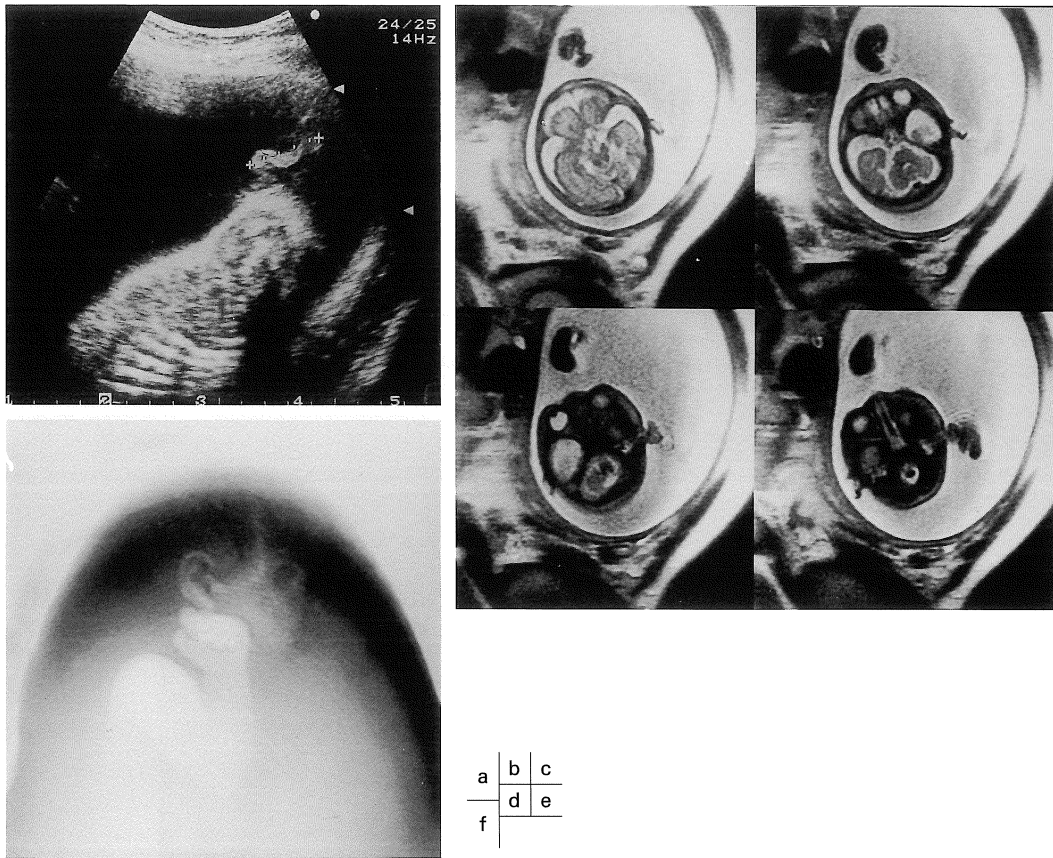


Fig. 6. Auricle tumor suspect. Fetus at 29 weeks' gestation (Case 4).  
 a: Axial view of fetus ultrasound.  
 b-e: Axial T<sub>2</sub>-weighted images (TR: ∞, TE: 90 ms). From top to base.  
 f: Right lateral MR fetography.

れる羊水や胎児体内の longT<sub>2</sub> 成分はすべて低信号として表現される。通常、胎児は羊水を飲み込んでいるため、肺や消化管内には longT<sub>2</sub> 成分が存在する。したがって、invert 処理を行うことで胎児の肺や消化管が MR fetography では低信号に描出され、まるで肺や消化管に空気が存在している X 線単純写真のように観察可能となるのである。したがって、MR fetography は胎児体表面の輪郭を描出可能にする技法であるが、同時に胎児体内の肺や消化管の状態をも描出する「新しい胎児画像」といえる。羊水造影においても造影剤を燕下した状態の胎

児を X 線撮影すると、「消化管などの状態が撮影できる<sup>5)</sup>と報告されているが、羊水穿刺や造影剤が必要であることから、母体や胎児に対する侵襲性は大きいものである<sup>12)</sup>。これに対して、我々の MR fetography では胎児にとって母体内の体液である安全な羊水を燕下しているため、侵襲なく肺や消化管の状態が描出可能になるものである。

MR fetography で描出される肺の形態は胎児体表面の輪郭内に投影されているため、肺の低形成や、胎児の全体像に対するサイズを検討する場合に有用な情報になると考えられる。現

在, MRI を用いて様々な手法で胎児の肺の体積計測が試みられているが<sup>13)</sup>, 本法で撮像された肺の正面像と側面像から, 簡易的に肺の体積を評価できる可能性がある. また, 消化管においてはガストログラフィンを注入した X 線注腸二重造影のような画像となり, 薄い断層厚で撮像された複数の MRI 画像と比較すると, 一枚の画像で立体的に消化管の走行が把握でき, 胎児の消化管閉塞症例に応用可能である. ただし, MR fetography の肺や消化管の低信号領域は, 胎児の臓器内にあかま空気が存在するかのように観察できるが, あくまで強度 T<sub>2</sub> 強調像に invert 処理を行った羊水が「疑似的に空気を表現」している点に注意を払う必要があることはいままでのない. また, MR fetography は母体内の羊水量によってその画質が左右される点を常に認識しなければならない. したがって, 妊娠末期では羊水が減少するために明瞭な MR fetography が得られないことが予想される. このことは, MR hydrography の技法を応用した画像すべてにあてはまる課題といえよう.

SAS や MRCP を初めとする MR hydrography は, マルチスライス法で得られた複数の強度 T<sub>2</sub> 強調像を原画として MIP 処理することで, シングルスライス法で撮像された画像を上回る情報が得られる場合がある<sup>14),15)</sup>. しかし, MR fetography においては, 強度 T<sub>2</sub> 強調像を原画とし MIP 処理した画像では, 胎児の輪郭が不鮮明な画像となってしまう MR fetography との比較では, それを上回る情報はなかった. 原因として考えられることは, MIP 処理の原画に用いる強度 T<sub>2</sub> 強調像の胎児画像は, SAS や MRCP と比べ撮像断層面に存在する T<sub>2</sub> 成分の分布が非常に多彩であるため, MIP 処理のアルゴリズムによって T<sub>2</sub> 成分の情報量が左右されたためといえる.

MR fetography の撮像に用いた SSFSE 法は, 強度 T<sub>2</sub> 強調像を撮像する場合, TE : 180 ms 若しくは maximum しか選択できない.

シーケンスの特徴として, SSFSE 法の TE : maximum の値はエコートレインレングスの長さが TE を決定する高速撮像シーケンスである<sup>16)</sup>. SSFSE 法のエコートレインレングスは matrix に依存するため, 256×256, 320×256, 384×256 の matrix 設定では, maximum の TE はそれぞれ 734.2, 845.8, 957.4 ms となる. したがって, matrix を変化させると T<sub>2</sub> コントラストが変化する特徴がある. TE : 180 ms の MR fetography では, 胎児体表面の状態が明瞭に表現され, 子宮周辺の情報も加わった画像となった. 一方, 空間分解能を高くするため matrix を 256×256 以上にした場合, maximum の TE は約 1000 ms になる. このためにコントラストが不足し, 胎児の輪郭の立体感が乏しく, 子宮周辺の軟部組織も観察することが不可能な画像であった. これらのことから, 現段階で SSFSE 法による MR fetography の適正 TE は 180 ms が良いといえる. 今後, ソフトウェアの改良によって 180 ms, maximum 以外の TE が設定可能になれば, MR fetography の適正 TE は変化していくものと考えられる.

胎児の動きは母体とは無関係である. したがって, MRI 検査中の胎児が羊水中を動き回りモーションアーチファクトを発生し画質を劣化させる要因になるといえる. このため, 胎児の体動によるモーションアーチファクトを抑制するために鎮静剤等を用いて MRI 検査を行う施設もある. 我々は, 母体と胎児の安全性を考え, 胎児の撮像時には鎮静剤は使用していない. 一般的に高速撮像法によって胎児全体をマルチスライス法で撮像する場合, 撮像時間は 20 秒前後かかってしまう. したがって, この間に胎児の体動が生じれば鮮明な画像が得られないことは日常的に経験する. しかし, MR fetography はシングルスライス法による撮像法であるため, 撮像時間は約 2 秒と短い. このため本法では, 胎児の体動によるモーションアーチファクトの影響が少ない画像が得られ



る。また、撮像時の呼吸停止における母体の苦痛感の訴えもなかった。

MR fetography は高速撮像法が使用できる MRI 装置であれば、どのような装置でも複雑なテクニックを必要とすることなく胎児体表面の撮像が可能である。そのため、多くの施設で臨床応用され、モディファイされた技法も将来的に出現していくものと思われる。一方、現段階で胎児が MRI 検査中に受ける静磁場および RF パルスによる影響、すなわち安全性は確立しておらず MR fetography においても同様である。しかし、MRI 検査で得られる質的情報が、他の胎児出生前診断法より優れていると判断される場合、被験者に MRI 検査の必要性和リスクを十分に説明し、インフォームドコンセントを得た上で施行すべきである。

## 結 論

MR fetography は、羊水腔内にあたかも造影剤を注入し、X 線撮影したかのような画像が得られ、胎児体表面の輪郭はもとより胎児体内の肺や消化管の状態も同時に描出することが可能であった。また、撮像時間が約 2 秒であるため、妊婦に対しての呼吸停止における苦痛感も少なかった。本撮像法は、従来の MRI による胎児画像とは明らかに異なり、胎児の発育遅延や四肢奇形など様々な胎児疾患に臨床応用可能なものである。

本論文の要旨は平成 11 年 9 月、第 27 回日本磁気共鳴医学会大会（東京）で発表した。

## 文 献

- 1) Levine D, Hatabu H, Gaa J, Atkinson MW, Edelman RR : Fetal anatomy revealed with fast MR sequences. *AJR* 1996 ; 167 : 905-908
- 2) Amin RS, Nikolaidis P, Kawashima A, Kramer LA, Ernst RD : Normal anatomy of the fetus at MR imaging. *RadioGraphics* 1999 ; 19 : 201-214
- 3) Huppert BJ, Brandt KR, Ramin KD, King BF : Single-shot fast spin echo MR imaging of the fetus : a pictorial essay. *RadioGraphics* 1999 ; 19 : 215-227
- 4) Menees TO, Miller JD, Holly LE : Amniography : preliminary report. *AJR* 1930 ; 24 : 363
- 5) McLain CR : Amniography, a versatile diagnostic procedure in obstetrics. *Obst Gynec* 1964 ; 23 : 45
- 6) Wiesehaan PF : Fetography. *Am J Obst Gynecol* 1972 ; 113 : 819-822
- 7) 川光秀昭 : MR hydrography とは—技術的側面から—。臨床画像 1999 ; 15 : 258-265
- 8) 片田和広, 安野泰史, 竹下 元, 古賀佑彦, 神野哲夫, 榊原立雄, 山田和弘, 鈴木宏和, 斉藤繁起 : MRI による脳表面構造撮像法の考案。日磁医誌 1989 ; 9 : 215-225
- 9) Wallner BK, Schumacher KA, Weidenmaier W, Friedrich JM : Dilated biliary tract : evaluation with MR cholangiography with a T<sub>2</sub>-weighted contrast-enhanced fast sequence. *Radiology* 1991 ; 181 : 805-808
- 10) Hattery RR, King BF : Technique and application of MR urography. *Radiology* 1995 ; 194 (1) : 25-27
- 11) 馬場一憲, 井街 宏 : 産科領域における 3 次元超音波の有用性。産婦の世界 1999 ; 51 : 773-779
- 12) Crosby W : Fetal respiratory distress following fetography. *Am J Obst Gynec* 1975 ; 121 : 958
- 13) Baker PN, Johnson IR, Gowland PA, Freeman A, Adams V, Mansfield P : Estimation of fetal lung volume using echo-planar magnetic resonance imaging. *Obstet Gynecol* 1994 ; 83 : 951-954
- 14) 町田好男, 畑中雅彦, 萩原政幸, 杉本 博, 吉田忠候, 片田和広 : マルチスライス画像の重み付け加算による脳表面構造の描出について。日磁医誌 1990 ; 10 : 483-492
- 15) 磯貝 聡, 竹原康雄, 磯田治夫, 金子昌生 : Maximum Intensity Projection (MIP) algorithm と Multiplanar Reformation (MPR) による三次元画像再構成法の MR Cholangiopancreatography (MRCP) への応用。日本臨床 1998 ; 56 : 20-27
- 16) 野崎 敦 : Single Shot Fast Spin Echo (SSFSE) 法。日本臨床 1998 ; 56 : 52-55

## MR Fetography : A New MR Technique for Imaging of the Fetus

Hiroaki TERAKOSHI<sup>1</sup>, Katsuhiko UCHIYAMA<sup>1,2</sup>, Kenichi ERA<sup>1</sup>,  
Sonomi OHISHI<sup>2</sup>, Fumio OHSONE<sup>1</sup>, Tutomu FUTAMI<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Radiological Division, <sup>2</sup>Department of Radiology,  
Teikyo University, School of Medicine Ichihara Hospital  
3426-3, Anesaki, Ichihara, Chiba 299-0111*

MR imaging of the fetus has been performed using thin slice sections to observe the condition of the fetus. It is difficult to image the whole fetus by single shot fast spin echo MR imaging. Then, we designed a new technique that enables to visualize the surface of the fetus. This technique, we named "MR fetography" involves the application of MR hydrography to images of the fetus, and was performed in four fetuses clinically. Moreover, MR fetography was capable of clearly visualizing the image of the lungs and gastrointestinal tract as well as the body surface of the fetus. Our new procedure could be alternative to single shot fast spin echo MR imaging in detecting various fetal diseases.