

特集 小児の外科的疾患におけるMRI

1. 胎児と新生児期，乳児期外科的疾患のMRI

山下康行，高橋睦正

熊本大学医学部 放射線科

MR imaging of Fetus, Neonates and Infants

Yasuyuki Yamashita, Mutsumasa Takahashi

Department of Radiology, Kumamoto University School of Medicine

Abstract

Sonography is the screening method of choice for evaluation of the fetus in the pregnant women or newborns. However, there are circumstances in which an alternate imaging modality is needed for additional information. Pelvic magnetic resonance imaging (MRI) during pregnancy and MR imaging of neonates shows promise as a correlative imaging modality in pregnancy because it uses no ionizing radiation, provides excellent soft tissue contrast, and has multiple planes for reconstruction. Recent single shot fast spin echo sequences allow for the evaluation of fetal anatomy in the second trimester or later. These imaging techniques not only provide information on fetal development but also pathologic processes. In neonates and infants, abdominal and pelvic masses are clearly visualized by T1-weighted spin echo and single shot fast spin echo MR imaging.

Key words : Fetus, Neonates, Infants, Abdominal mass, MR imaging

はじめに

胎児期の画像診断法としては多くの場合超音波で十分であるが，近年の超高速のMRIの発達によってMRIによる胎児の画像化が可能となった。また新生児，乳幼児期の画像診断としては中枢神経系以外では単純X線写真と超音波が行われることが多いが，腹部や骨盤部でもMRIが補助的診断目的で行われることもある。本稿ではMRIによる胎児の画像化ならびに新生児，乳児の腹部や骨盤部のMRI診断について概説した。

胎児のMRイメージング

以前は，胎動によるアーチファクトのために

良好なMRI画像が得られないことが多かったため，胎児の診断には限界があった(Fig.1)¹⁻³⁾。そのため，母体への薬物投与による胎児のsedationが行われることもあった^{4,5)}。最近，MRI高速撮像法の進歩によって，胎動によるアーチファクトのほとんど見られない画像を得ることが可能となった。特にMR hydrographyに用いられるHASTE (half Fourier single shot turbo spin echo) 法あるいはSSFSE法 (single shot fast spin echo法) などの強いT2強調画像によって，第2三半期以降の胎児の解剖学的構造を良好に描出できる(Fig.2)⁷⁾。

通常のspin echo法やfast spin echo法では妊娠中期での胎児の画像化はまず無理である。妊娠後期に児頭が固定されるとこれらの撮像

法でも可能となる。我々はT1強調画像としてturbo FLASH法、T2強調画像としてHASTE法を用いている。胎児は一般に各臓器において水分量が多い。ちなみに成人の大脳皮質の含水量は82%、白質は70%であるのに対し、新生児ではそれぞれ87%、90%である。脳の含水量は乳児期に急激に低下し、1歳頃には灰白質の含水量が白質を上回る。そのため、胎児の脳あるいは他臓器を観察する場合、一般にlong echo spaceで比較的長いTEを用いることによって画像のコントラスト並びに分解能が高くなる（我々はecho space = 10.9 msec, ETL = 128, TE = 87 msecを通常用いている）。

胎児の検査では我々は母体に対してphased array coilを用いている。しかし、妊娠週数が進み、腹囲が大きい場合はphased array coilは負担がかかるので、特別にattachmentを設けて、腹部に重量がかからないようにしている。body coilでも撮像可能であるが、胎児の画像

ではSNRがかなり劣化する。

胎児、胎盤の解剖

胎盤は10週以降になるとT2強調画像で子宮壁よりやや高信号の構造物として同定可能である。また胎盤の付着部も明瞭に描出され、胎盤の位置異常（前置胎盤など）や胎盤の腫瘍などもMRIで描出される。また臍帯も低信号のひも状の構造物として同定される。

HASTE法では組織コントラストが良い胎児の画像を得ることができ、12週ぐらいから胎児がはっきりと同定できる。第2三半期の後半では胎児の臓器の解剖が明瞭に描出されるようになる（Fig.2）。特に胎児の脳は良好に描出される（Fig.3）。

胎児の肺は羊水で満たされており、HASTE法では高信号に認められる。心臓は高信号の肺に挟まれて低信号の構造物として認められる。心臓内の構造（心腔など）ははっきりしない。肝

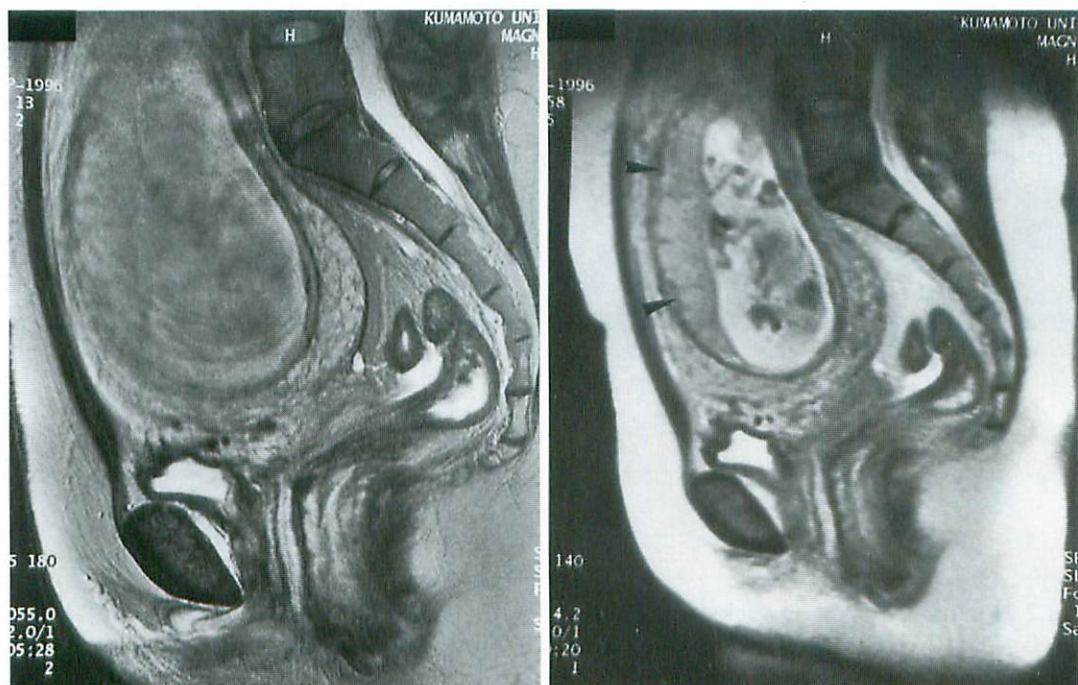


Fig.1 Comparison of fast spin echo imaging with HASTE imaging

Because the acquisition time of fast spin echo is 5 min. 28 sec., fetus is not visualized due to motion artifact. HASTE sequence clearly shows fetus and umbilical cord due to very rapid imaging time (1 sec.) (arrowhead: placenta)

臓は上腹部を占める低信号の構造として認められ、腎臓、脾臓、胆嚢や膀胱も描出可能である (Fig.2)。第3三半期になると、胎児の性別も判別可能となる。

中枢神経系ではHASTE法によって超音波で得られなかった様々の情報が得られる。多くの

場合超音波では脳室とクモ膜下腔の大きさによって脳の発育は評価されていたが、HASTE法により脳溝の発達が明瞭に描出され、その形状、数を評価することにより胎児脳の発育の評価が可能である (Fig.3)。

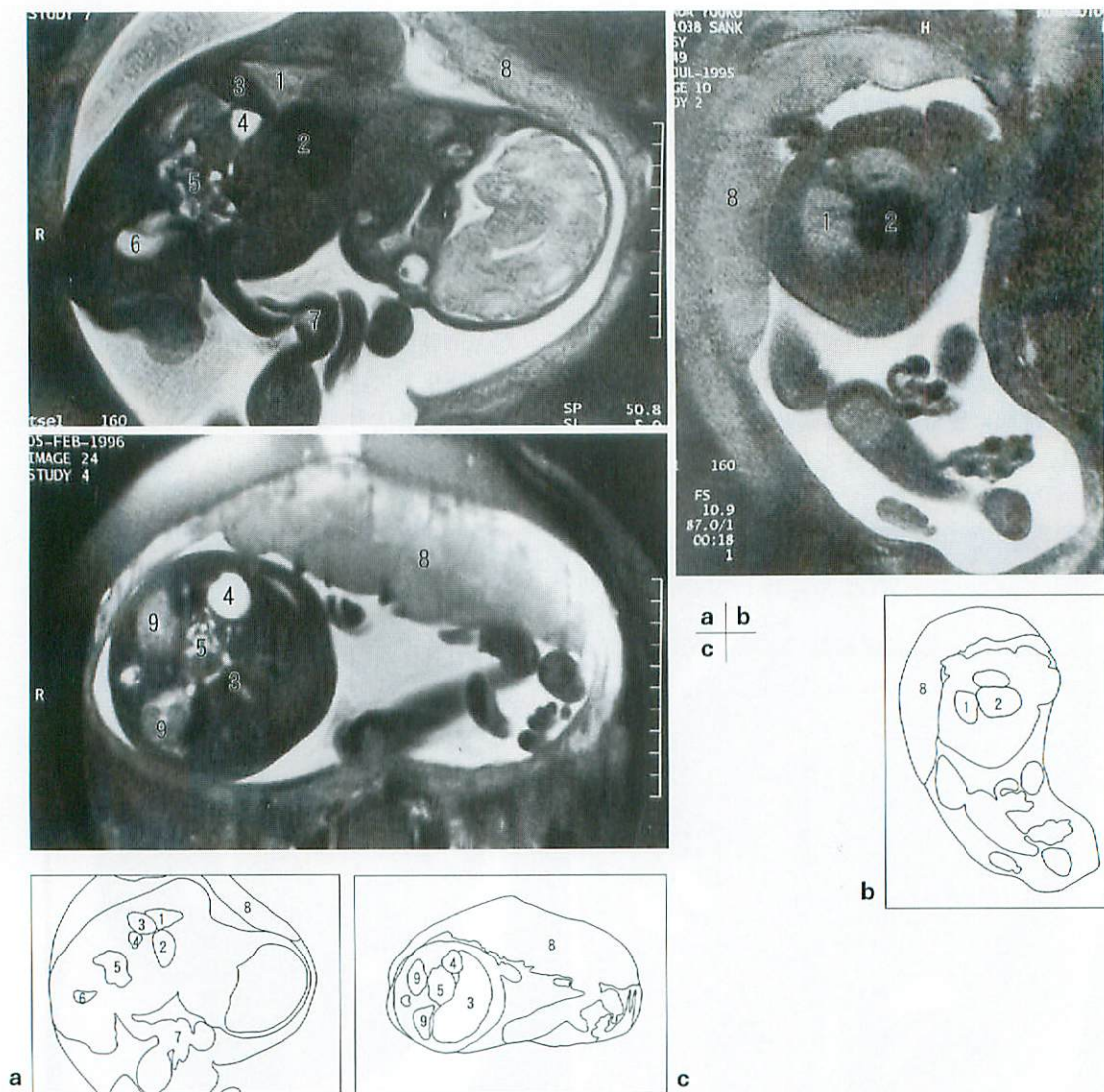
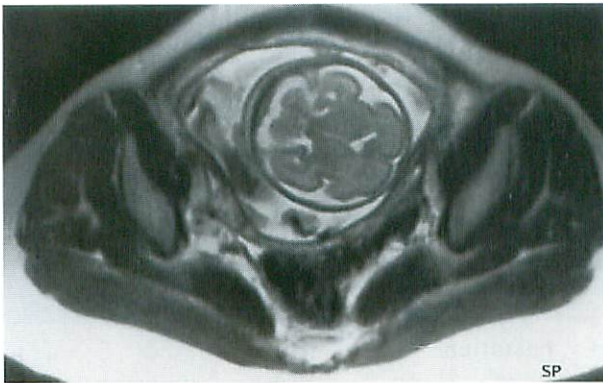


Fig.2 Normal fetus at 36 weeks' gestation

a : Sagittal, b : Axial, chest level, c: Axial, abdominal level

Fetal organs are clearly depicted by HASTE sequence.

1 : lung, 2 : heart, 3 : liver, 4 : stomach, 5 : intestine, 6 : bladder, 7 : umbilical cord, 8 : placenta, 9 : kidney



a
b

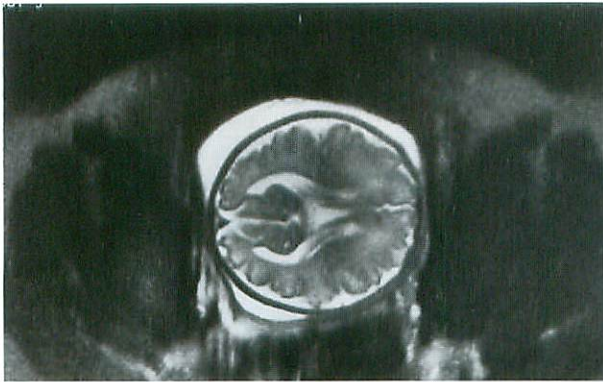
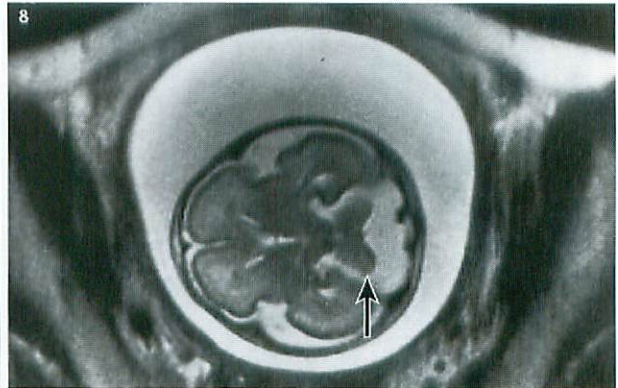
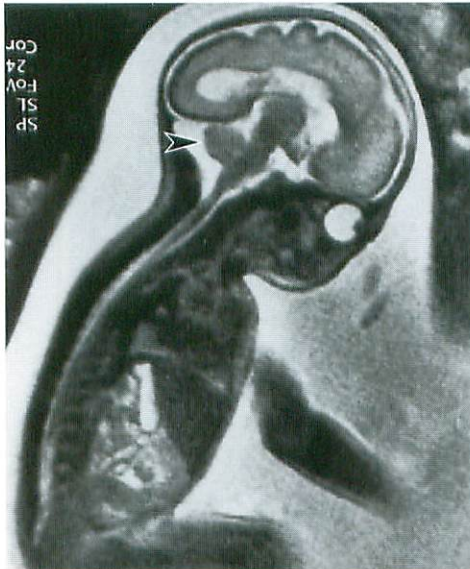


Fig.3 Normal development of fetal brain

a : 26 weeks, b : 36 weeks

As with fetal maturation, the sulci become distinct and ventricle and subarachnoid space become smaller. Germinal matrix is identified around 20 to 28 weeks, and three-layering pattern is observed.



a | b

Fig.4 Dandy-Walker variant at 30 weeks' gestation

Sagittal (a) and axial (b) HASTE MR images show hypoplastic cerebellar vermis (arrowhead) and hemispheres (arrow). The posterior fossa is slightly enlarged.



Fig.5 Fetal brain hemorrhage of 36 weeks' gestation

a : HASTE, axial, b : FLASH, axial

a | b

MRI is sensitive in visualizing brain hemorrhage. On T1-weighted FLASH imaging, hematoma shows hypersignal intensity and on HASTE imaging, it is depicted as hypointense intensity (arrow).

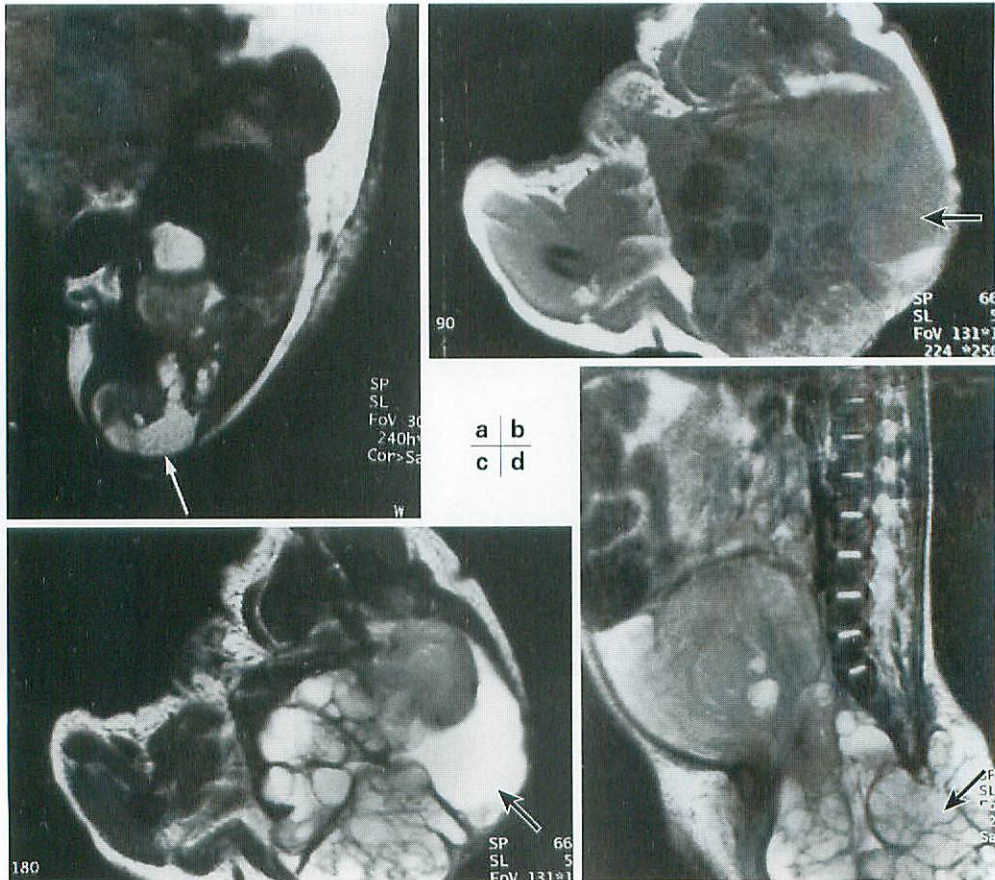


Fig.6 Teratoma in the sacrum before and after birth

a : Fetal HASTE sequence shows multiloculated cystic mass in the sacrum.

b : T1-weighted spin echo, axial

c : T2-weighted fast spin echo, axial

d : T2-weighted fast spin echo, sagittal

MR images after birth also visualize cystic mass (arrow).

異常胎児の診断

HASTE法により正常脳の発育の評価が可能となるのみならず、無脳症、alobar holoprosencephaly, colopocephaly, 水頭症、髄膜瘤、脳梁の無形成や脊髄正中離間症、Dandy-Walker cyst (Fig.4) など、中枢神経系の奇形が診断できる。また胎内での脳出血 (Fig.5) や脳腫瘍の診断も可能である。

一方中枢神経系以外の疾患ではあまり報告は見られないが、横隔膜ヘルニア、胎生期の腫瘍 (Fig.6)、水腎症、四肢の奇形などはMRIで診断可能である。しかし、心奇形などは今のところ診断困難である。今後どのような病態がHASTE法を用いたMRIで描出できるか症例を重ねて検討する必要がある。

胎児MRIの注意点

MRIは電離放射線の被曝がないため比較的安全と考えられるが、妊婦あるいは胎児への安全は確立しているわけではない。胎児に対する影響の可能性としては胎児の細胞分裂の際の染色体断裂の危険性を考慮すべきである。MRIによる影響として、静磁場によるものは2 tesla以下では問題はないと考えられるが変動磁場の影響は染色体に与える影響が強いと思われる。またRF pulseも染色体に対する影響は不明である。特に最近のHASTE法のようにsingle shotのパルス系列では多くのRF pulseを照射するので注意が必要である。いずれにせよ妊娠初期の胎芽に対する影響は未知の点が多く、この時期のMRI検査はさけるべきである³⁾。

新生児期、乳児期のMRIイメージング

小児では超音波検査が安全かつ簡便であるため腹部のスクリーニング検査として行われることが多い。しかし、腸管ガスで腹腔内が十分に観察できない場合や腫瘍が大きく全体像が把握しがたい場合、あるいは超音波で診断が得られない場合、CTやMRIが行われる。一般に小児では脂肪が乏しく造影剤を用いなければコント

ラストが十分でないためMRIが行われることが多いが、MRIでは石灰化が描出できない。

7歳以下の小児のMRIの検査には多くの場合鎮静が必要である。小児のMRIではこの鎮静が鍵を握るといっても過言ではない。その際検査中には呼吸、循環のモニターが必須である。検査を行う場合なかなか思うように鎮静が得られないことも多い。しかし、多少の動きがあっても超高速画像を用いることで臨床上一十分な情報を得られることも多い。

我々は通常T1強調画像にはspin echo法を用いている。これは小児期では呼吸停止が難しく息止めの高速のgradient echo法ではかえってアーチファクトが強く、むしろ時間をかけて撮像するspin echo法の方が分解能が高く画質がよい。もしどうしても鎮静ができない場合はturbo FLASH法で撮像している。このsequenceはコントラストは良いがSN比が悪く若干画質が劣る。

T2強調画像には超高速のHASTE法を用いる。この方法では多少覚醒していても十分読影に耐える画像が得られることが多く、大変役に立っている。しかし、この撮像法では分解能が十分でないためfast spin echo法も撮像するがときに動きによるアーチファクトが強く診断的画像が得られないこともある。

撮像コイルとしては新生児、乳幼児期には成人用の頭部コイルを用いることが多い。小児期には成人に準じて検査が行われるが、いずれにせよ体格に応じて最適のコイルを選択する必要がある。

新生児、乳児のMRI診断

中枢神経系以外で新生児期あるいは乳児期にMRIの対象となるのは腹部や骨盤の腫瘍性疾患のことが多い。以下、代表例について簡単に紹介する。

肝腫瘍の精査にMRIは大変有用である³⁾。小児では肝臓のT1、T2値が成人に比して長いいためT2強調画像ではより強いT2強調が必要である。肝臓に見られる小児期の良性腫瘍としては

血管内皮腫，間葉性過誤腫 (mesenchymal hamartoma)，悪性腫瘍では肝芽腫，成人型の肝細胞癌，胎児性の未分化肉腫が多い。また転移性の腫瘍では神経芽細胞腫，ウィルムス腫瘍，横紋筋肉腫の頻度が高い。

血管内皮腫は腹部腫瘤あるいは心不全を契機として発見されることが多い。孤立性の腫瘤をつくる場合と小病変が多発する場合がある。画像所見も境界明瞭な肝腫瘤で栄養血管や灌流静脈を認めることがある。信号強度やGd-DTPAによる造影のパターンは成人で見られる海綿状血管腫と類似しており，T2強調画像で著明な高信号を呈する (Fig.7)。肝芽腫は分葉状の充実性腫瘤で，3歳以下に多く，90%以上の例でアルファフェトプロテインが高値を示す。5歳以上になると成人型の肝細胞癌や胎児性の未分化肉腫が見られる。画像所見は類似するが，肝細胞癌は肝炎やチロジン血症， α 1-antitrypsin欠損と合併することがある。またアルファフェトプロテイン陽性のことが多い。一方胎児性の未分化肉腫ではアルファフェトプロテイン陰性である。良性の腫瘍としてはMesenchymal hamartomaが挙げられる。組織上線維隔壁を有する境界明瞭な嚢胞性の腫瘤でT2強調画像では嚢胞部は高信号，線維隔壁

は低信号を呈する。

近年総胆管嚢腫や先天性胆道閉鎖症などの小

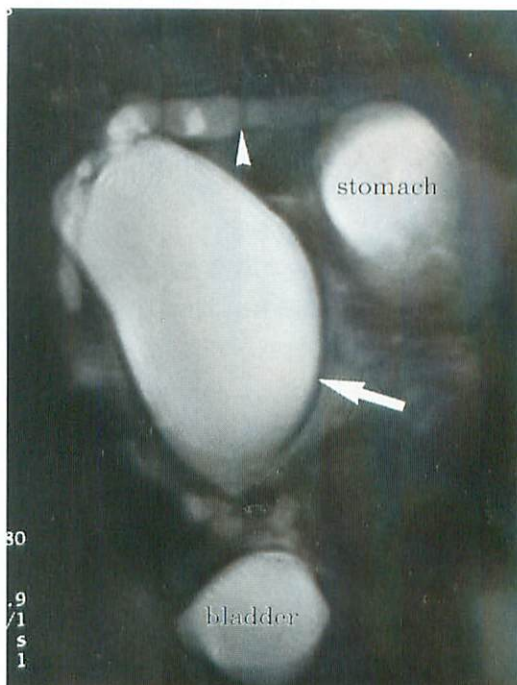


Fig.8 Choledochal cyst in a 5 months old boy

MRCP with HASTE sequence visualizes cystic dilatation of the common bile duct (arrow) and intrahepatic biliary tree dilatation (arrowhead).



Fig.7 Hemangioendothelioma in a 14 days old girl

a : T1-weighted spin echo, axial, b : T2-weighted HASTE, coronal

A large mass is seen in the right lobe of the liver. It is hypointense on T1-weighted spin echo image and irregularly hyperintense on T2-weighted image.

Operation was done after MR imaging.

a | b

児の胆道系の異常に対してMRCPが行われ、一定の成果が報告されている¹²⁾。乳児期には必ずしも全例に総胆管が描出できるわけではないが、拡張した総胆管は描出可能である (Fig.8)。

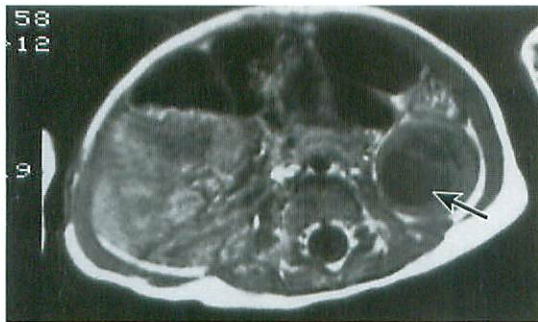
非腫瘍性の腎病変としては水腎症, multicystic dysplastic kidney, polycystic disease などがMRIの検査の対象として挙げられる¹³⁾。多くは超音波で診断可能であるが、MRIによって付加的情報が得られる。水腎症は腎盂尿管移行部狭窄や重複腎盂尿管, prune belly syndrome, VURなど様々な疾患が原因となるが、その原因検索にはMR urographyも補助診断として有用である (Fig.9)。また腎の嚢胞性疾患の診断にMRIは非常に鋭敏である¹²⁾。腎、副腎あるいは後腹膜腫瘍の診断にMRIが用いられることが多い。MRIでは横断像のみならず冠状断や矢状断が可能であるため

病変の進展、多臓器への浸潤などの評価が容易である。



Fig.9 Congenital hydronephrosis of the left kidney

MR urography with HASTE sequence visualize congenital hydronephrosis at the left kidney probably due to vesicoureter reflux.



a	
b	c



Fig.10 Wilms tumor in a 9 months old boy

a : T1-weighted spin echo, b : T2-weighted spin echo

c : post Gd-DTPA enhanced T1-weighted spin echo

A mass with cystic component is seen in the left kidney on T1 and T2-weighted MR imaging (arrow). After contrast enhancement, the mass shows hypointensity relative to the normal kidney. The right kidney is previously removed (arrow).

腎腫瘍で新生児に見られるものはcongenital mesoblastic nephromaが多いが、それ以降の小児の腎腫瘍の大部分はウィルムス腫瘍である。ウィルムス腫瘍の画像所見は多彩である。腫瘍内に嚢胞を伴うことが多く (Fig.10), T1強調画像では低信号, T2強調画像では不規則な高信号を呈することが多いが, 非特異的である。またMRIによってリンパ節腫大, 血管の圧排や浸潤が評価される。MRIは超音波やCTよりも病変の進展の評価に優れていると報告されている^{13,14)}。その他腎にはclear cell sarcoma of the kidney (CCSK), malignant rhabdoid tumor of the kidney (MRTK) などが悪性腫瘍として見られるがMRI所見から, ウィルムス腫瘍との鑑別は難しい。また悪性リンパ腫や白血病も腎を侵す。

副腎並びに後腹膜腔では神経芽細胞腫が圧倒的に多い。副腎原発が多いが, 後腹膜, 骨盤からも発生する。画像診断上の特徴は石灰化であるが, MRIでは検出はまずできない。尿中の

VMA合わせて診断することであまり診断が困難なことはないが, 画像診断上手術可能かどうかの判断が重要である。腫瘍は比較的均一な内部構造を呈することが多いが, 腫瘍が大きくなると出血や壊死を伴い画像所見に反映される。血管や臓器への進展はMRIのT1強調画像でよく評価できる¹⁵⁾。ウィルムス腫瘍に比して浸潤性であり, 脊柱管内に進展してdumbel typeとなることもあり, MRIが診断に有用である¹⁶⁾。また肝臓や骨, 骨髄への転移の診断にもMRIは有用である。新生児期には副腎出血との鑑別が問題となるがMRIでは出血は特徴的な信号強度を呈するので診断は容易である。

奇形腫は仙骨部並びに後腹膜腔に見られることが多い (Fig.6)。脂肪や石灰化, 歯, 骨を含み, MRIでも特徴的な所見を呈する。充実性成分と嚢胞性成分が混在する。画像診断における確診は脂肪を検出することであり, 高信号の領域が脂肪抑制画像で抑制されることによって証明される。鑑別として前方に发育した髄膜

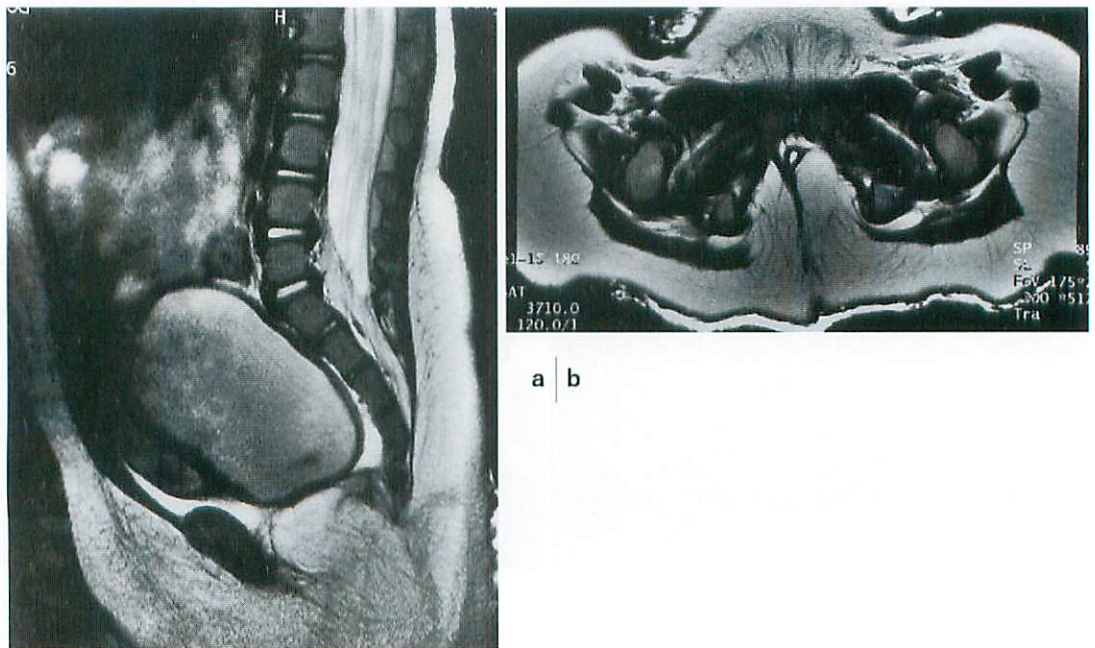


Fig.11 Imperforate anus and cloaca in a 10 months' old girl

a : T2-weighted fast spin echo sagittal, b : T2-weighted fast spin echo axial

On T2-weighted imaging, imperforate anus is seen and rectum and genitourinary tract form a cloaca. The levator muscle is hypoplastic.

瘤、直腸のduplication cyst、神経芽細胞腫や悪性リンパ腫が挙げられる。

リンパ管腫は稀な良性の腫瘍で腫瘍ではなくリンパ管の发育異常と考えられている。画像上は単房性あるいは多房性の嚢胞性腫瘍である。

尿路系で最も多い小児期の腫瘍は横紋筋肉腫で、膀胱、尿道、前立腺に見られる。4歳以下と15から19歳の男児に多い。浸潤性发育を示すが、MRIでの所見は非特異的であるが、進展範囲の評価にMRIは有用である¹⁷⁾。骨盤腔には女兒であれば様々な卵巣の嚢腫や腫瘍が見られる。

直腸肛門奇形の補助診断としてもMRIが用いられる¹⁸⁾。骨盤部は呼吸による影響が少ないため乳幼児期でも比較的详细な観察が可能である。この疾患では泌尿生殖器が脊椎の奇形も合併することが多く、多方向の断面が得られるMRIは有用である。術前に肛門挙筋が十分に発達しているか (Fig.11)、また術後の便失禁や便秘などの排泄機能異常に対し、形成した直腸が肛門挙筋を正しく貫通し、周囲の筋束が均一に取り巻いているかどうかの評価にMRIは有用である¹⁹⁾。

●文献

- 1) Angtuaco TL, Shah HR, Mattison DR, et al : MR imaging in high-risk obstetric patients : a valuable complement to US. *Radiographics* 1992 ; 12 : 91-109.
- 2) Weinreb JC, Lowe TW, Santos-Ramos R, et al : Magnetic resonance imaging in obstetric diagnosis. *Radiology* 1985 ; 154 : 427-432.
- 3) Powell MC, Worthington BS, Buckley JM, et al : Magnetic resonance imaging (MRI) in obstetrics. II. Fetal anatomy. *British Journal of Obstetrics & Gynaecology* 1988 ; 95 : 38-46.
- 4) Weinreb JC, Lowe TW, Cohen JM, et al : Human fetal anatomy : MR imaging. *Radiology* 1985 ; 157 : 715-720.
- 5) Lowe TW, Weinre J, Santos-Ramos R, et al : Magnetic resonance imaging in human pregnancy. *Obstet Gynecol* 1985 ; 66 : 629-633.
- 6) Stark D, McCarthy S, Filly R, et al : Pelvimetry by magnetic resonance imaging. *Am J Obstet Gynecol* 1985 ; 163 : 1256-1260.
- 7) Yamashita Y, Namimoto T, Abe Y, et al : MR imaging of the fetus by a HASTE sequence. *Am J Roentgenol* 1997 ; 168 : 513-519.
- 8) Kier R, McCarthy SM, Scoutt LM, et al : Pelvic masses in pregnancy : MR imaging. *Radiology* 1990 ; 176 : 709-713.
- 9) Boechat MI, Kangarloo H, Ortega J, et al : Primary liver tumors in children : comparison of CT and MR imaging. *Radiology* 1988 ; 169 : 727-732.
- 10) Miyazaki T, Yamashita Y, Tang Y, et al : Single-shot MR cholangiopancreatography of neonates, infants, and young children. *Am J Roentgenol* 1998 ; 170 : 33-37.
- 11) Dietrich RB, Kangarloo H : Kidneys in infants and children : evaluation with MR. *Radiology* 1986 ; 159 : 215-221.
- 12) Hilpert PL, Friedman AC, Radecki PD, et al : MRI of hemorrhagic renal cysts in polycystic kidney disease. *Am J Roentgenol* 1986 ; 146 : 1167-1172.
- 13) Belt TG, Cohen MD, Smith JA, et al : MRI of Wilms' tumor : promise as the primary imaging method. *Am J Roentgenol* 1986 ; 146 : 955-961.
- 14) Kangarloo H : Magnetic resonance imaging of Wilms tumor. *Urology* 1986 ; 28 : 203.
- 15) Dietrich RB, Kangarloo H, Lenarsky C, et al : Neuroblastoma : the role of MR imaging. *Am J Roentgenol* 1987 ; 148 : 937-942.
- 16) Siegel MJ, Jamroz GA, Glazer HS, et al : MR imaging of intraspinal extension of neuroblastoma. *J Comput Assist Tomogr* 1986 ; 10 : 593-595.
- 17) Fletcher BD, Kaste SC : Rhabdomyosarcoma. *Urol Radiol* 1992 ; 14 : 263.
- 18) McHugh K, Dudley NE, Tarr P : Pre-operative MRI of anorectal anomalies in the newborn period. *Pediatr Radiol* 1995 ; 25 : 33.
- 19) Sato Y, Pringle KC, Bergmsn RA, et al : Congenital anorectal anomalies : MR imaging. *Radiology* 1988 ; 168 : 157-162.