

小児泌尿器疾患に対するMRの可能性

宮坂実木子

国立成育医療研究センター 放射線診療部

Possibility of magnetic resonance imaging for pediatric urinary tract disease

Mikiko Miyasaka

Department of Radiology, National Center for Child Health and Development

Abstract Magnetic resonance urography (MRU) fuses superb anatomic and functional imaging in a single test without the use of ionizing radiation. MRU include static MR images that use heavily T2-weighted images and T1-weighted images that are used during the excretory phase of enhancement after administration of an intravenous contrast agent. It has potential to provide a global assessment of the urinary collecting system, parenchyma, and surrounding tissues. MRU with contrast can help to better demonstrate both anatomic and functional aspects.

Urinary incontinence is frequent in children. MR is useful for evaluation of ectopic ureter and spinal cord anomalies. Patients with anorectal malformation (ARM) may have associated anomalies of the lumbosacral spine and urinary tract, including neurogenic bladder. Recent reports suggest that tethered cord is as common in patients with a low lesion as in those with a high lesion. Therefore, some authors recommend MR evaluation of all patients with ARM. Ultrasonography is recommended for screening infants younger than 3 months, followed by MRI to confirm any abnormal findings.

Keywords Congenital urinary anomalies, Urinary incontinence, MR Urography with contrast

はじめに

小児泌尿器疾患は、先天尿路奇形、尿路感染症、腫瘍性疾患など多岐にわたるが、診断過程において画像診断検査の中心は、超音波検査 (US) である。必要に応じて、排尿時膀胱尿道造影 (voiding cystourethrography: VCUG), CT, MR, 核医学検査を選択し施行する。そのなかで、MR Urography (MRU) は、侵襲なく尿路系を描出できる方法として広く用いられている。小児泌尿器疾患にお

いてもMRの有用性は高く、特に、先天性尿路奇形に対して用いられることが多い。近年の技術的進歩に伴い、高速撮像のほか様々な撮像法が可能となり、より詳細な評価が可能となっている。非造影MRUは、静止水が高信号に強調されるT2強調画像である¹⁾。一方、造影MRUは、ガドリニウム造影剤静注後の排泄相のT1強調画像であり、非拡張の尿管を描出することも可能である。また、dynamic studyを行うことによって腎機能評価も可能と言われている^{1~3)}。排尿障害の原因には、

Table 1 Sequences of MR Urography

シーメンス社製 1.5T Aera	
呼吸同期併用, 水分負荷, 利尿剤使用	
・横断像	TSE (T1WI, T2WI)
・冠状断像	HASTE, TrueFISP
・MRU	RARE (single shot), SPACE, 造影後 3D-FLASH
・Dynamic study	3D-FLASH
	0.2mmol/kg, 0.1~0.2ml/sec で注入
・横断像	造影遅延相 3D-FLASH

Magn Reson Imaging Clin N Am 16 : 515-531, 2008

異所開口尿管などの尿路奇形のほか、脊髄病変がある。これらの疾患に対しても、やはりMRが有用である。

本稿では、最近の知見を含め、水腎症(広義)を来す疾患、排尿障害を来す疾患に対するMRの臨床応用について紹介する。

小児泌尿器疾患に対するMR

MRは、放射線被ばくがなく、造影剤を用いることなく高分解能な画像を得ることができ、解剖学的評価が可能であるため、以前より腎尿路系の評価に用いられている。また、腎機能障害やヨードアレルギーのある児にも実施できる点で、CTより有用性は高いと思われる^{1,4)}。一方近年では、造影剤を用いてdynamic studyを行い、解析することにより腎機能的評価も可能で、腎静態シンチグラフィや腎動態シンチグラフィに匹敵する結果が報告されている^{1~3)}。しかし、高速撮像が可能とはいえ、他の検査に比べると検査時間が比較的長いと、年齢によっては、鎮静の必要性があり、CTに比べると検査に対するハードルが高い印象があるのも事実である。そのため、MRの適応を明確にし、限られた時間内で有効な検査が行えるようにプロトコルを作成することが重要と考える。当センターで施行しているプロトコルをTable 1に示す。MRUにおける尿路描出の改善策には、尿量を増加させるための水分付加(点滴または飲水)、利尿剤投与がある。

水腎症(広義)

水腎症を来す代表的な疾患は、様々である(Table 2)⁵⁾。水腎症の診断のきっかけとなる症候

Table 2 Causes of urinary tract dilatation⁵⁾

腎盂尿管移行部狭窄(狭義 水腎症)	(ureteropelvic junction stenosis : UPJ)
尿管膀胱移行部狭窄	(ureterovesical junction stenosis : UVJ)
中部尿管狭窄	(mid-ureter stenosis)
膀胱尿管逆流	(vesicoureteric reflux : VUR)
非閉塞性非逆流性巨大尿管	(nonobstructive nonrefluxing megaureter)
重複腎盂尿管	(duplex collecting system), 尿管瘤
(ureterocele), 異所開口尿管	(ectopic ureter)
後部尿道弁	(posterior urethral valve)

は、尿路感染症、血尿、腹部腫瘍、腹痛などであるが、最近では胎児診断による無症候性水腎症⁶⁾の頻度も多い(Fig.1)。

重度な水腎症は閉塞性腎症の原因となり、将来的に腎不全へと至ることがあるため、手術適応を念頭においた経過観察および画像診断検査が必要となる。一般的な手術適応は、症状のあるもの、水腎症が進行したもの、腎機能の悪化したものであり、胎児水腎症の場合は、腎盂拡張が5cm以上、分腎機能が30%以下、排泄遅延のあるものとされている⁶⁾。ただし、胎児水腎症に対する手術適応については、現在も議論の多いところである⁶⁾。胎児水腎症の約半数は、一過性水腎症であり、巨大尿管症の約70%は自然消退するといわれている。手術適応となる腎盂尿管移行部狭窄は、19~25%の頻度とされている⁷⁾。多くの胎児水腎症の中から手術適応例を判別するために画像診断は不可欠であるが、尿路閉塞と非閉塞の判別や新生児、乳児の腎機能の評価はしばしば難しいことがある。

水腎症の形態評価の第一選択はUSで、必要に応じてCTまたはMRで評価する。膀胱尿管逆流の合併の有無については排尿時膀胱尿道造影、機能評価には、^{99m}Tc-DTPA、^{99m}Tc-MAG₃、^{99m}Tc-DMSAを用いた核医学検査が一般的である。ガドリニウム造影剤を静注し、dynamic studyを行うMRでは、crossing vesselなどの血管の評価のほか定量的な腎機能評価を行うことが可能で、核医学検査に匹敵する結果の報告が散見される^{1~3)}。当施設でも、昨年よりシーメンス社の解析ソフト(Patlak-Rutland plot法)を用いてMRによる腎機能評価を試みている(Fig.1)。解析ソフトで得られるデータは、RTT (renal transit time)、CTT (calyceal transit time)、

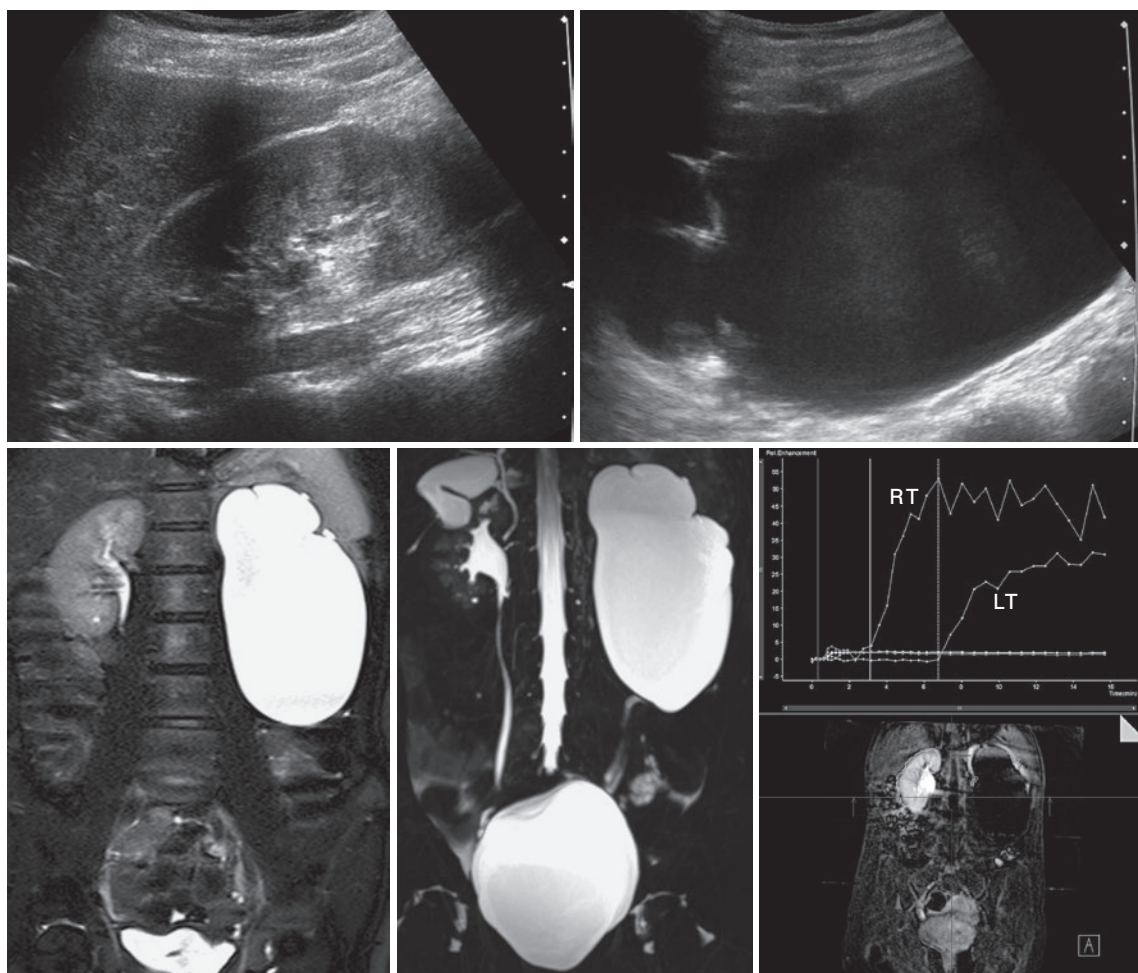


Fig.1 Hydronephrosis

A 10 year-old girl with a left abdominal mass.

a : Right kidney appears to be normal.

b : Severe dilatation of left renal pelvis and calyces with thinning of the parenchyma is identified.

c, d : T2-weighted coronal image (c) shows dilatation of the renal pelvis and calyces with thinning of the renal parenchyma. Left ureter is not visualized. However, left ureter is clearly visualized on coronal MIP (maximum intensity projection) image (d). UPJ obstruction was present.

e : Time curves of contrast excretion. The left kidney presents delayed excretion compared with the right kidney. The vDRF was calculated as L: R 27: 73 and the pDRF as L:R 25: 25. The results were similar to the results of DMSA and MAG3.

a	b
c	d e

分腎機能 (DRF : differential renal function) などである。RTTは、腎皮質から腎盂、上部尿管までの造影剤の移行時間を示したもので、レノグラムの所見に匹敵するとされ、RTT時間により閉塞と非閉塞が分類される (非閉塞型<244sec, 境界型

<245~490sec, 閉塞型>490sec)。CTTは、RTTに類似しているが腎皮質から腎杯への移行時間を示しており、GFRに相関すると言われている。分腎機能については、vDRF (volume DRF) とpDRF (patlak DRF) の2つが算出され、vDRFはDMSA

シンチグラフィ、pDRFは、 ^{99m}Tc -DTPAの分腎機能結果に類似するとされている^{1~3)}。これらの解析結果は、手術適応の判定や術後の腎機能回復の予測に有用と言われている^{2,3)}。MRで行う機能評価の利点としては、左右の分腎機能を知ることができるだけでなく、上腎と下腎に分けるなど任意に測定することも可能である (Fig.2)。

非造影MRUと造影MRU

腎尿路系の解剖学的評価や腎瘢痕の有無については、多くの症例が非造影のMRUで、ある程度評価できるが、造影MRUは、さらなる情報を得ることができる。一つは、非拡張尿管の描出である (Fig.2)。造影MRUの排泄相は、T1強調画像であるため、小腸内の腸液などに影響されること

が少ない。そのため、塊状腎や馬蹄腎などの尿管の走行が複雑と推測される疾患や、異所開口尿管の走行および開口部位の同定に有用である。そのほか、動脈相と排泄相の両者を同時に表示するような再構成画像を作成することによって水腎症の原因となる crossing vessel と尿管との関係をわかりやすく示すことができる。

排尿障害に対するMR

排尿障害は、頻尿、排尿時痛、排尿困難、尿失禁などがみられる場合をいう⁸⁾。その原因には、先天性尿路奇形、神経因性膀胱、機能的排尿障害などがあるが、多くは、心理的、機能的な要素であるため、画像診断検査が適応されることは少ない^{8,9)}。しかし、遺尿の原因となる異所開口尿管や

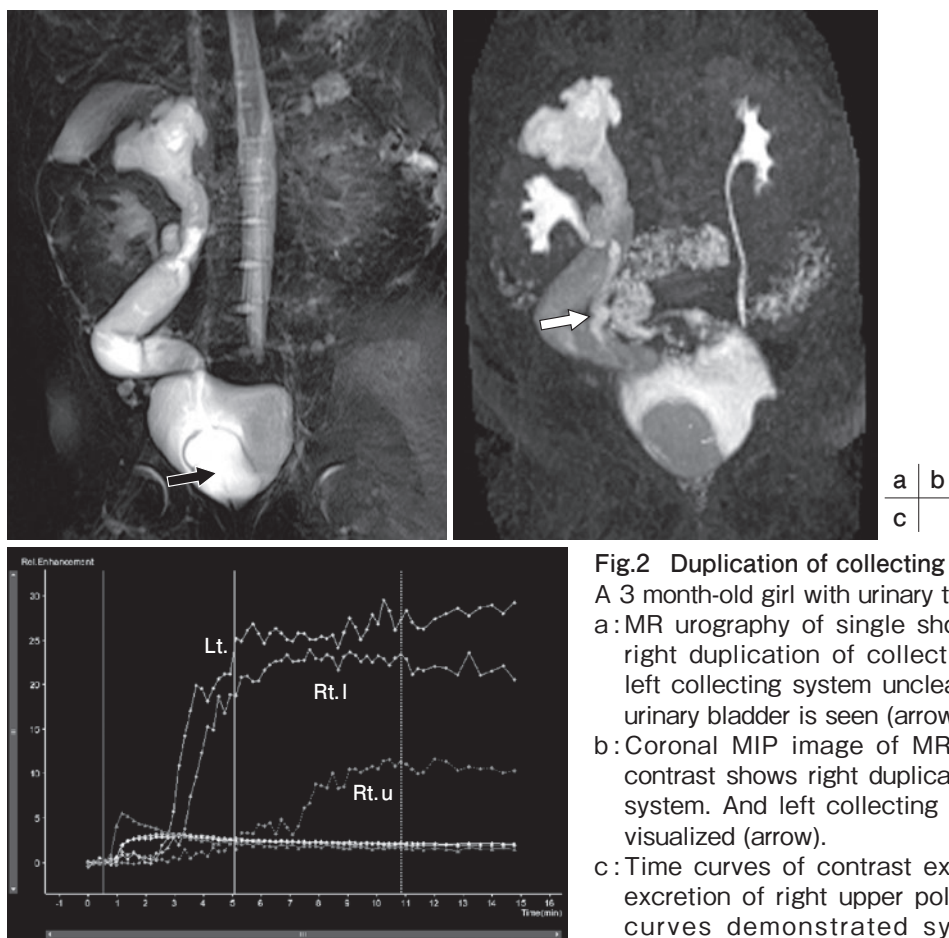


Fig.2 Duplication of collecting system

A 3 month-old girl with urinary tract infection.

a: MR urography of single shot image present right duplication of collecting system, with left collecting system unclear. Ureterocele in urinary bladder is seen (arrow).

b: Coronal MIP image of MR urography with contrast shows right duplication of collecting system. And left collecting system is clearly visualized (arrow).

c: Time curves of contrast excretion. Delayed excretion of right upper pole is noted. Time curves demonstrated symmetric curve morphology on right lower pole and left kidney.

鎖肛などに合併する脊髄病変などが見逃されることがあるので、注意が必要である。

①異所開口尿管⁵⁾

異所開口尿管には、完全重複腎盂尿管に合併するものと、低形成腎や異形成腎に合併するものがある。異所開口部位は、女児では、膀胱頸部、尿道、膣、膣前庭、ガルトナー管など、男児では膀胱頸部、後部尿道、精管、精囊などである。女児では遺尿で発症するが、男児では繰り返す精巣上

体炎などで発症し、遺尿の症状は少ない。

異所開口尿管を疑う時のUS所見のポイントは、重複腎盂尿管の有無、片腎または異所性腎の有無、膀胱周囲に異常な開口を疑う尿管の有無や膣内の液体貯留の有無である。さらなる精査としてはMRが有用である。異所開口尿管が拡張している場合は、T2強調画像のみでも、開口部位を同定することができるが、拡張がない場合は、造影剤を用いた脂肪抑制3D-T1強調画像を行うと追加情報を得られる可能性がある (Fig.2, 3)。

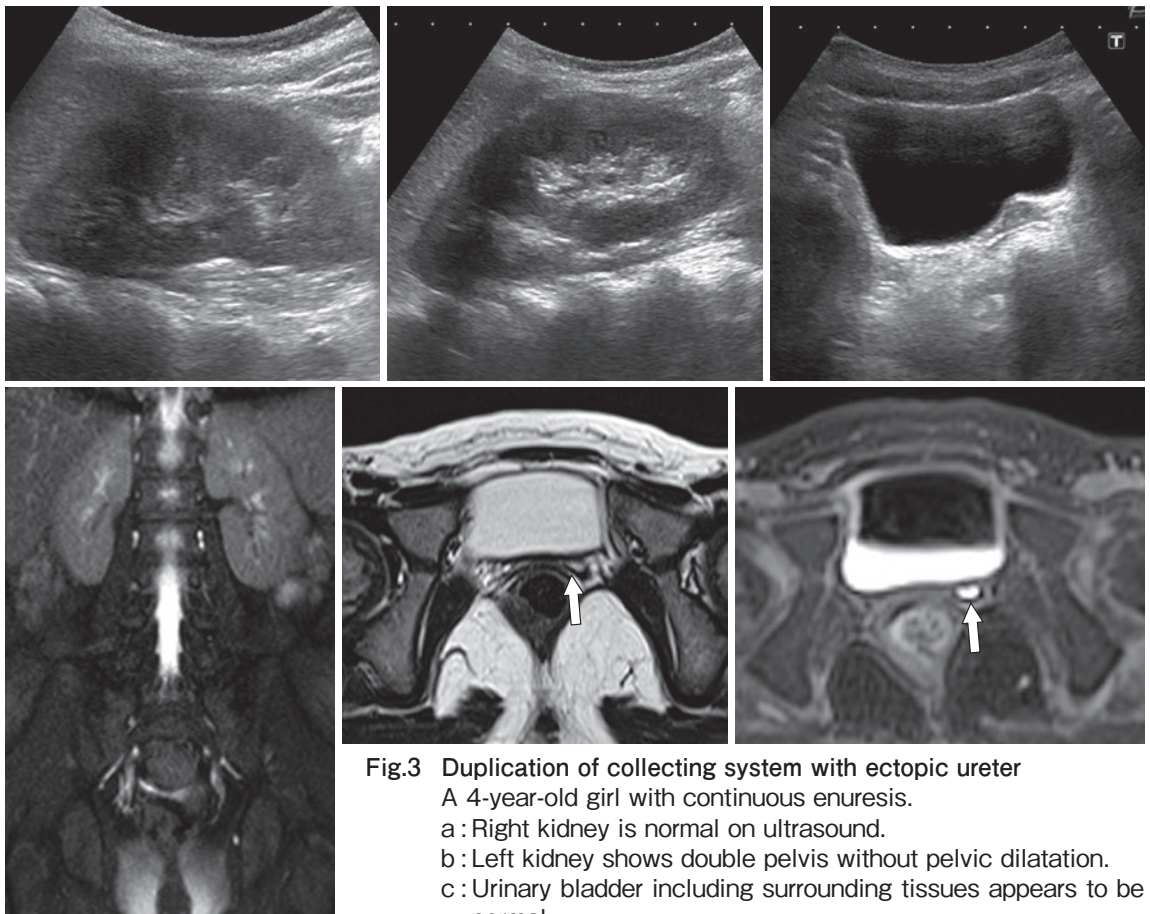


Fig.3 Duplication of collecting system with ectopic ureter

A 4-year-old girl with continuous enuresis.

a: Right kidney is normal on ultrasound.

b: Left kidney shows double pelvis without pelvic dilatation.

c: Urinary bladder including surrounding tissues appears to be normal.

d: Left duplication collecting system without dilatation of ureter is noted on trueFISP coronal image.

e: A small cystic lesion (arrow) is visualized on the left behind the urinary bladder. However, whether this is or is not an ectopic ureter is unclear.

f: Contrast 3D-T1weighted axial image shows contrast excretion of left cystic lesion (arrow), and ectopic ureter onto vagina is diagnosed.

a	b	c
d	e	f

②神経因性膀胱 (neurogenic bladder)

神経因性膀胱は、膀胱機能に関与する中枢から末梢までのいずれかの神経系障害により尿の充満、貯留、尿の排出、随意的な排尿などの機能が円滑に行われない状態をいう¹⁰⁾。神経因性膀胱に

は、脊髄に異常を伴うものが多い (Fig.4)。また、一見基礎疾患のない排尿障害のなかに、脊髄脂肪腫などの潜在性二分脊椎が存在することもあるため、脊髄MRの依頼は増加傾向にある。脊髄病変の評価は、超音波でも可能であり、被ばくもなく

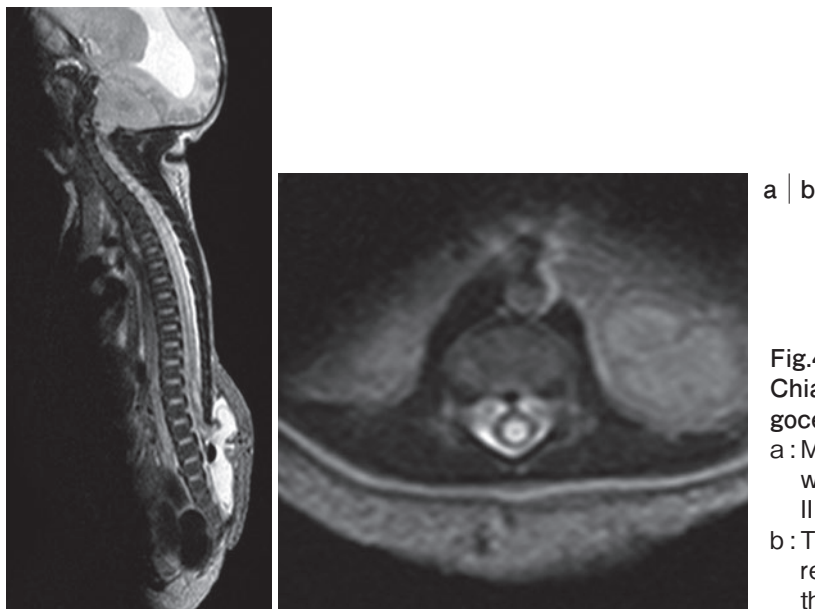


Fig.4
Chiari II associated with meningocele
a: Meningocele is seen on T2-weighted sagittal image. Chiari II is also noted.
b: T2-weighted axial image reveals syringomyelia at the thoracic spine.

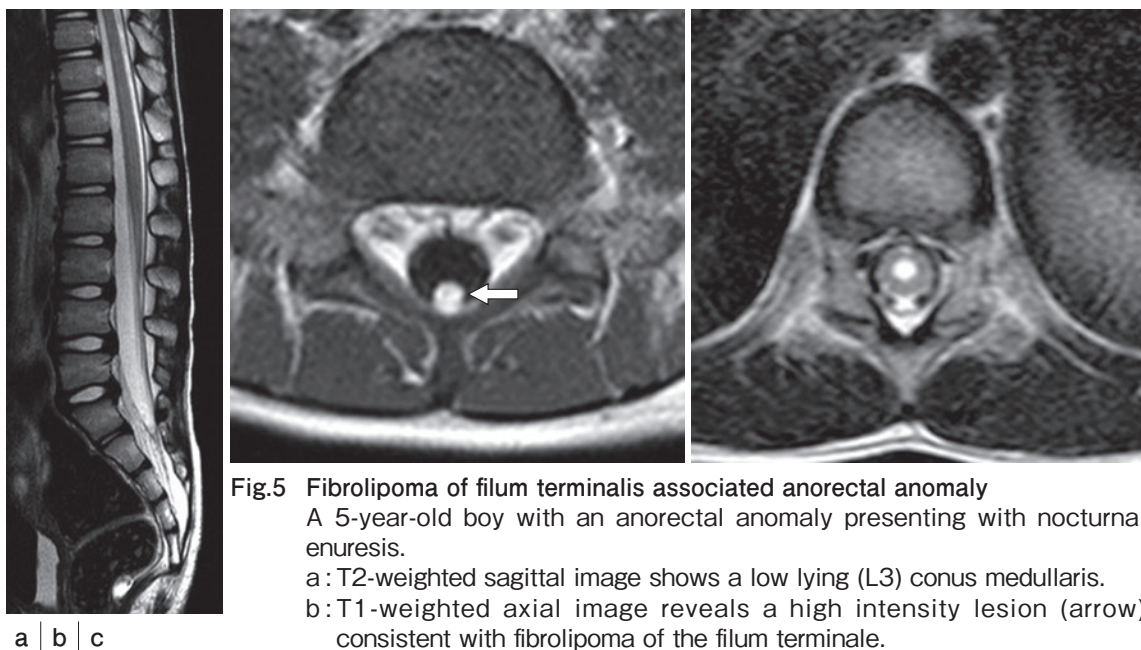


Fig.5 Fibrolipoma of filum terminale associated anorectal anomaly
A 5-year-old boy with an anorectal anomaly presenting with nocturnal enuresis.
a: T2-weighted sagittal image shows a low lying (L3) conus medullaris.
b: T1-weighted axial image reveals a high intensity lesion (arrow) consistent with fibrolipoma of the filum terminale.
c: Syringomyelia is also present on T2-weighted axial image of the mid level of thoracic spine.

比較的容易に検査ができるため、スクリーニングとしての有用性は高いが、十分に観察できる時期は、骨化の未熟な生後3か月までと限られている。

③鎖肛と神経因性膀胱

鎖肛の遅発症状として、排便・排尿障害、下肢症状がある。これらは、係留脊髄症候群など合併する脊髄病変が原因のひとつと考えられ、34%の頻度で見られるといわれる^{11,12)} (Fig.5)。かつては、脊髄病変や椎体奇形の合併は高位鎖肛に多く、低位鎖肛では少ないとされていたが、近年、椎体奇形の有無に関係なく、また低位鎖肛にも高頻度に認めるとの報告が多い^{12~14)}。脊髄病変が原因と考えられる場合は、手術適応となるが、過去の報告によると、症状出現してからでは症状の改善が得られないとの意見もあり、早期診断の重要性が唱えられている¹⁵⁾。そのため、鎖肛を見た場合には、全例、USまたはMRでの精査を行うことが推奨されている^{12~14)}。

おわりに

先天性尿路奇形、排尿障害に対するMRの活用について紹介した。MRは、解剖学的評価に有用であることは周知のとおりであるが、造影MRUは、機能評価のほか、非拡張尿管の描出が可能であり、より詳細な情報を得ることができる。症例を選んで施行する価値があると思われる。また、造影MRUによる腎機能評価は、今後、核医学検査に代わる検査となる可能性があるが、日常診療で用いるためには、さらなる検討が必要と思われる。そのほか、排尿障害については、腎尿路系だけではなく、脊髄病変の有無にも注意を配る必要があり、その評価にはMRが主軸となるが、新生児期早期においてはスクリーニングとしてUSも有用であることを追記したい。

●文献

- 1) Grattan-Smith JD, Jones RA : MR urography in Children. *Pediatric Uroradiology* 2nd, Ed by Fötter R. Berlin, Springer, 2008, p17-35.
- 2) Grattan-Smith JD, Jones RA : Magnetic Resonance Urography in Children. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2008 ; 16 : 515-531.
- 3) Grattan-Smith JD, Little SB, Jones RA : MR urography evaluation of obstructive uropathy. *Pediatr Radiol* 2008 ; 38 : S49-S69.
- 4) 後閑武彦, 河原正明, 横内順一, 他 : MR Urography. *映像情報メディカル* 2009 ; 41 : 997-1000.
- 5) Avni FE, Hall M, Collier F, et al : Anomalies of the renal pelvis and ureter. *Pediatric Uroradiology* 2nd, Ed by Fötter R. Berlin, Springer, 2008, p89-121.
- 6) Hiorns MP, Gordon I : Upper urinary tract dilatation in newborn. *Pediatric Uroradiology* 2nd, Ed by Fötter R. Berlin, Springer, 2008, p237-250.
- 7) Nguyen HT, Herndon CD, Cooper C, et al : The society of fetal urology consensus statement on the evaluation and management of antenatal hydronephrosis. *J pediatr Urol* 2010 ; 6 : 212-231.
- 8) 村上睦美 : 第20章 腎泌尿・生殖器疾患. 標準小児科学, 前川喜平, 辻 芳郎監修. 東京, 医学書院, 2000.
- 9) 島 博基, 高橋 悟, 山崎雄一郎, 他 : 小児の排尿障害. *小児外科* 2004 ; 36 : 1101-1207.
- 10) Fötter R : Neurogenic bladder in infants and children. *Pediatric Uroradiology* 2nd, Ed by Fötter R. Berlin, Springer, 2008, p315-325.
- 11) Hollwarth ME, Sorantin E : Urinary problems associated with imperforated anus. *Pediatric Uroradiology* 2nd, Ed by Fötter R. Berlin, Springer, 2008, p165-173.
- 12) Kim SM, Chang HK, Lee MJ, et al : Spinal dysraphism with anorectal malformation : lumbosacral magnetic resonance imaging evaluation of 120 patients. *J Pediatr Surg* 2010 ; 45 : 769-776.
- 13) Glonka NR, Haga LJ, Keating RP, et al : Routine MRI evaluation of low imperforate anus reveals unexpected high incidence of tethered spinal cord. *J Pediatr Surg* 2002 ; 37 : 966-969.
- 14) Miyasaka M, Nosaka S, Kitano Y, et al : Utility of spinal MRI in children with anorectal malformation. *Pediatr Radiol* 2009 ; 39 : 810-816.
- 15) O' Neill BR, Yu AK, Tyler-Kabara EC : Prevalence of tethered spinal cord in infants with VACTERL. *J Neurosurg Pediatr* 2010 ; 6 : 177-182.