

# 女性骨盤

高濱潤子<sup>1</sup>, 北野 悟<sup>2</sup>, 樋垣 誠<sup>3</sup>, 野儀明宏<sup>3</sup>,  
吉川公彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>奈良県立医科大学放射線科 <sup>3</sup>同中央放射線部  
<sup>2</sup>奈良社会保険病院放射線科

## はじめに

婦人科領域の画像診断に、MRI はもはや必須の検査法である。被曝がない、低侵襲の検査であることに加え、その高い組織コントラストを武器とした優れた診断能力がその理由であり、先人の努力と症例の蓄積により様々な疾患の診断法が既に確立されている。

3T の MRI が脳神経領域を中心に臨床応用され始めた当初は、女性骨盤を含む腹部領域では高磁場ゆえの様々なアーチファクトにより、せっかくの高い信号雑音比は活かせず、必ずしも既存の 1.5T MRI 装置を凌駕するような画像は得られなかった。しかし、近年の 3T の MRI 装置は技術的な改良により、様々な問題はほぼ解決しつつあり、骨盤領域では既に以前ほどの困難さは感じない。すんなりと臨床に應用することが可能であり、むしろその優れたコントラスト、空間分解能で 1.5T MRI を超える有用な画像が得られている。

今回は当院で 2009 年 5 月より導入された 3T MRI 装置の女性骨盤領域の臨床応用を中心に述べる。

## MRI 装置の改良点

骨盤領域の応用における高磁場装置の問題点の一つに、RF penetration の低下に伴う、信

号の不均一性が挙げられる。初期の 3T MRI 装置においては、RF penetration 低下に伴う体表面と深部における flip angle の差違により信号が不均一となる上、SAR も局所的に上昇するなど撮影上の大きな妨げとなっていた。シーケンスの工夫や、誘電パットを用いるなど、様々な工夫は行われていたがいずれも十分とは言えなかったようである<sup>1),2)</sup>。この点を RF transmitter を複層化することにより、対象領域に応じて強度変調し最適化することを技術的に可能とした。近年の 3T MRI 装置の躯幹部における画像の改善が得られている<sup>3)</sup>。当院の装置 (Siemens 社製 MAGNETOM Verio 3.0T) では、導入当初から安定した骨盤領域の画像が得られており、さらに優れた S/N によって今まで以上に詳細で、明瞭な画像が得られるようになった (Fig. 1)。临床上の利用においても RF 送信、シーケンスなどの最適化により 1.5T 装置との違和感を感じることなく、高い S/N を空間分解能に振り分けることが可能になったため、後に述べる 3D-T<sub>2</sub>強調像が临床上利用可能となっている。また、MRS も試験的にはあるが使用しており、良悪性の鑑別や、悪性腫瘍のフォローに臨床応用が期待されている。

## 女性骨盤領域の 3T MRI の撮像法

女性骨盤疾患の MRI で、最も重要なシーケ

キーワード 3T MRI, female pelvis, clinical images, sequences

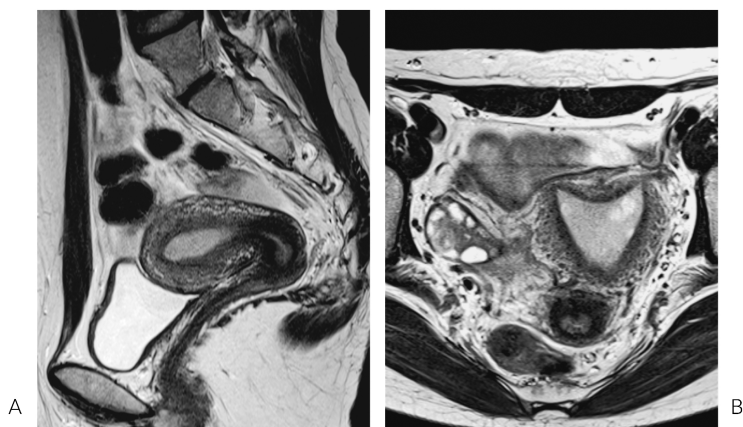


Fig. 1. 26-year-old woman. Normal volunteer.  
3T MR images (T<sub>2</sub>WI FSE, slice thickness = 3 mm)  
A : Sagittal image, B : Axial image.  
Uterine normal zonal anatomy was clearly demonstrated and no significant artifact was appeared.

ンスは T<sub>2</sub> 強調像である。その組織分解能をもってすれば、子宮のいわゆる三層構造-筋層、junctional zone (JZ)、内膜-が明瞭に描出でき、同様に頸部の構造、両側卵巣の描出などを把握できることが可能である。当院での撮影プロトコルを 1.5T, 3T を対比して共に示す (Table)。造影検査は筋腫や腺筋症のフォローを除くと、アレルギーや腎機能低下の症例以外の初診の症例ではほとんどが造影 MRI でオーダーされており、全例で dynamic 造影 MRI を施行している。

造影 MRI を施行する場合、緑内障、冠動脈疾患がないことを問診で確認してから自動注入器の生理食塩水 50 ml 内にブチルスコポラミン (ブスコパン注射液®) 1A を混入し、造影を行うまでの間、0.5 ml/min で持続的に注入している。微量ではあるが、経験上、消化管の蠕動に伴うアーチファクトを軽減するには十分な効果が得られていると考えており、積極的に利用している。合併症のないほぼ全例でルーチンに

用いているが、被験者に不利益を被るような副作用は経験していない。筋肉注射と比較すると被験者にも痛みを強要しないので、抵抗感も少ない。逆に点滴ルートのない単純 MRI の症例では、ブチルスコポラミンは使用していない。

3T MRI で新たに臨床的に利用している撮影法として、3D-T<sub>2</sub> 強調像、磁化率強調画像 (susceptibility weighted image: SWI)、そして、まだ実験段階ではあるが、今後の発展が期待される MR spectroscopy がある。

### 1. 3D-T<sub>2</sub> 強調像

前述のとおり、骨盤領域の撮影方法の基本は T<sub>2</sub> 強調像である。良性の病変から悪性疾患に至る、広い疾患で重要な役割を示す。代表的な疾患である筋腫では、内膜との関係を把握することが治療方針の決定に重要であるし、子宮奇形の症例では、底部の筋層の厚みとくびれの程度で分類が異なり、妊孕能も異なるので、少なくとも 2 方向以上からの観察が必要である。

また、子宮体癌や頸癌における病期分類には筋

2010 年 9 月 1 日受理

別冊請求先 〒634-0027 奈良県橿原市四条町 840 奈良県立医科大学放射線科 高濱潤子

Table. Protocols for Female Pelvis

System	Siemens MAGNETOM Verio 3T (True Form)	Siemens MAGNETOM Avanto 1.5T
T <sub>2</sub> WI (axial, sagittal)	TSE : TR/TE = 4000/89, Matrix = 512/307, FOV = 200 × 200, ETL = 19, slice thickness = 3 mm	TSE : TR/TE = 4000/76, Matrix = 320/320, FOV = 250 × 250, ETL = 7, slice thickness = 3 mm
T <sub>1</sub> WI (axial)	SE : TR/TE = 450/12, Matrix = 320/192, FOV = 200 × 200, slice thickness = 3 mm	TSE : TR/TE = 519/8.7, Matrix = 256/256, FOV = 200 × 200, ETL = 2, slice thickness = 3 mm
DWI (axial)	EPI : TR/TE = 7200/80, Matrix = 128/94, FOV = 300 × 300, slice thickness = 4.5 mm b = 0, 800	EPI : TR/TE = 4000/70, Matrix = 128/128, FOV = 320 × 320, slice thickness = 7.0 mm b = 0, 500, 1000
SPACE (axial)	TR/TE = 2700/287, Matrix = 256/256, FOV = 250 × 250, slice thickness = 1.0 mm flip angle mode = T <sub>2</sub> var	
HASTE (coronal)	TR/TE = 2000/88, Matrix = 320/240, FOV = 280 × 280, slice thickness = 5 mm	TR/TE = 3000/64, Matrix = 256/256, FOV = 250 × 100, slice thickness = 4 mm
3D-VIBE Dynamic scan (pre, 60, 120, 180)	TR/TE = 3.74/1.38, FA = 11, Matrix = 256/256, FOV = 250 × 200, slice thickness = 1.0 mm	TR/TE = 6.0/2.19, FA = 12, Matrix = 256/179, FOV = 250 × 200, slice thickness = 1.2 mm
Gd-Fat sat-T <sub>1</sub> WI (sagittal)	SE : TR/TE = 550/12, Matrix = 256/256, FOV = 250 × 250, slice thickness = 3 mm	TSE : TR/TE = 500/9, Matrix = 320/224, FOV = 250 × 250, ETL = 2, slice thickness = 3 mm

層浸潤や間質浸潤を正確に判断するために、それぞれの体軸に垂直になるように撮影を追加し、T<sub>2</sub>強調像3方向での観察が推奨されている<sup>4)</sup>。しかし、実際は適切なスライス面を得るためには、ある程度画像に精通する必要がある上、子宮がねじれたような形態を取る場合も多く、腫瘍と子宮正常構造が確実に垂直方向に観察できるようにスライス断面を決定するのは至難の業である。MRIのT<sub>2</sub>強調像を、等ボクセルで画像を得ることができれば、撮影後MPRを自由に観察することができ、これらの問題を解決することが可能である。当院では積極的に3D-T<sub>2</sub>強調像を撮影しており、ルーチンに組み込んでいる。ただし、撮影時間が延長してしまうので、特に良性病変などはSPACEを優先させ、T<sub>2</sub>強調像の横断像を省略することもあ

る。3T MRIで等ボクセルでT<sub>2</sub>強調像を撮影す

る方法は、既に各メーカーがそれぞれにシーケンスを開発し、商品化している。1.5TのMRIと比較すると、3T MRIは、2倍のS/Nが得られ、質のよいT<sub>2</sub>強調像の等ボクセル画像を得ることが理論上可能となる。とはいえ、スライス枚数の増加はSARの増加を招くため、高速スピネコー法の収束パルスに可変型のflip angleを用いることでSARの減少、収集時間の短縮が得られる撮影法が開発されている<sup>5)</sup>。我々の使用する装置では、SPACE法(sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolutions: Siemens)を用いており、同様の撮像手法としては、Cube (GE)、VISTA (Phillips)が存在する。Parallel imagingの活用などにより、さらに撮影時間は短縮され、当院で施行している3D-SPACEは約7~8分で撮影している。

3D-SPACEはMPR作成が可能で、有用な

撮影法ではあるが、もともと脳神経領域の撮影法として開発されており、脳実質が評価できるようなコントラストが一定に保たれている部分に実行TEを計算して設定している。実際の骨盤領域でのコントラストが十分かどうか、というのはまだ議論があるところと考える。しかし、当院の経験では、junctional zoneも含めた子宮の三層構造は十分に同定可能であり、子宮内膜がかなり高信号に描出される傾向はあるが、逆に子宮内膜-筋層、内膜-junctional zoneのコントラストは強調され、より明瞭となる傾

向があった。また、腫瘍-組織間のコントラストは、体癌・頸癌などは筋層と内膜の間にある信号であり、ややコントラストは劣る傾向にあるが、視覚的には識別可能な程度となっている (Fig. 2)。

また、SPACE法は、従来のT<sub>2</sub>強調像と比較してかなり水が強調された像となるため、少量の腹水や卵胞が強調されて明瞭に描出される。これは卵巢の同定、少量の腹水の貯留などの検出に優位に働く。さらに3D volume dataであることから、組織の連続性が複数のスライ

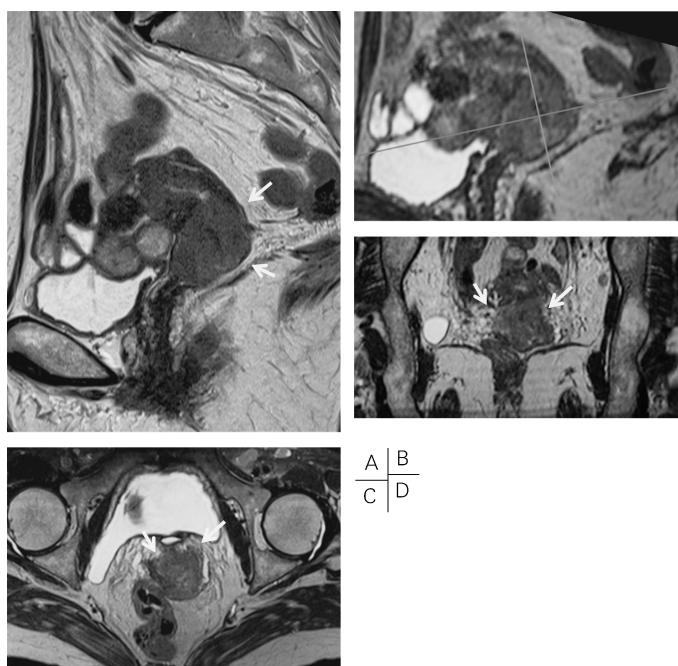


Fig. 2. 68-year-old female. Advanced uterine cervical cancer.  
 A : Conventional T<sub>2</sub>WI showed cervical tumor as relative high intensity mass (arrows) with good contrast.  
 B : Reconstructed sagittal image from 3D-T<sub>2</sub>WI (SPACE) showed oblique plane for demonstrating the orthogonal axis for cervical axis.  
 C : Reconstructed orthogonal oblique 3D-T<sub>2</sub>WI image (SPACE) to the cervical axis showed clearly the frontal parametrial invasion for the vesicouterine ligament (arrows).  
 D : Reconstructed oblique image from 3D-T<sub>2</sub>WI (SPACE) paralleled to the cervical axis showed clearly the lateral parametrial invasion for the cardinal ligament (arrows).



スで追いやすい。これは、画像を viewer 上で paging が可能であるこのシーケンスの一つの大きな長所と考えている。子宮の両側に位置する腹膜の一種で、後腹膜との境界になる広間膜や、卵管を含む付属器構造の同定が容易で、描出能が向上している。実際に屈曲蛇行した拡張卵管や子宮卵巣動脈の同定も明らかに容易となり、臨床的に非常に有用であると実感している。

## 2. 磁化率強調画像

磁性体成分と周囲組織の磁化率差異を利用し

た撮影法であり、頭部の画像診断としては微小出血や微量の鉄沈着の検出や BOLD venography として用いられ、様々な病変の評価に用いられている。骨盤領域では、内膜症性嚢胞と粘液嚢胞腺との鑑別に、出血に伴う鉄沈着を検出することで利用可能との報告がある<sup>6)</sup>。もともと、骨盤領域では、 $T_2^*$ 強調像が用いられていたが、より微量の鉄沈着が検出でき、診断能の向上が得られる可能性がある (Fig. 3)。卵管妊娠などの着床異常の症例でも、胎嚢周囲に少量の出血を伴うことが多いので、応用可能かも

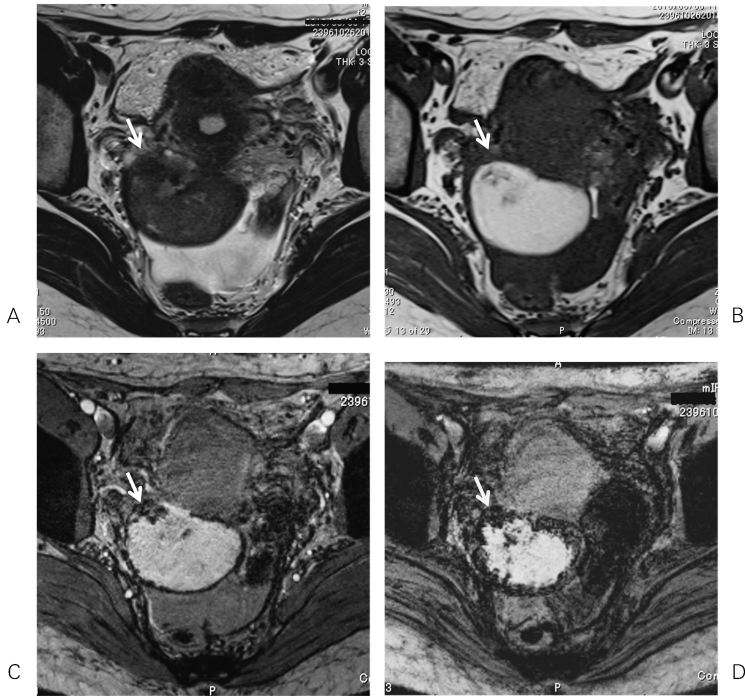


Fig. 3. 36-year-old female. Right ovarian endometriosis.

A : T2-weighted image showed low intensity cystic lesion, so-called as “shading”. The frontal cystic lesion showed relative heterogeneous intensity (arrow).

B : T1weighted image showed high intensity cystic lesion. The relative low intensity lesion was detected and suspected as mural nodule (arrow).

C : Magnitude image of SWI showed low intensity lesion on the cystic wall. The suspicious lesion of the cystic wall showed as gathered signal void (arrow) and was confirmed as blood clot.

D : minIP image of SWI showed enhanced signal void on the cystic wall.

しれない。ただし、磁化率効果の影響を強くうけることから骨盤内に直腸などのガスが多く見られる場合はアーチファクトが問題となり、また、骨盤内はもともと血流が多く、骨盤底部には静脈叢が発達していることから、判別が難しい症例も経験する。内膜症性嚢胞はほとんどの場合、通常の  $T_1$  強調像、 $T_2$  強調像で比較的診断容易であることから、当院ではあまり用いてはいない。

### 3. MR spectroscopy

3T MRI では、ケミカルシフトアーチファクトが 1.5T MRI の 2 倍となるので、MRS にも有利に働き、ピークの分離も向上して先鋭な質の高いスペクトルの取得が可能となる。また、磁場強度が高くなれば、時間分解能を高くすることも可能である。この特性を利用して、1.5T MRI では十分な信号を得ることが難しかった婦人科骨盤領域でも、MRS を用いたいくつか報告がなされている。

頭部領域では、既に多くの物質が同定されており、それぞれの特性と腫瘍との関連が報告されている。また、前立腺においては、亜鉛のクエン酸回路の障害に伴う正常組織内のクエン酸貯留と、細胞膜合成と破壊、細胞密度の上昇などを示唆するコリンを利用し、その比率で癌を鑑別する方法が報告され、実用化されている。

婦人科腫瘍ではいまだ十分な研究は進んでいないが、既に婦人科悪性腫瘍では *in vivo* でも高率にコリンのピークが同定できるとの報告がある<sup>7)~9)</sup>。Okada らは、婦人科領域の悪性腫瘍について、高率でコリンのピークが描出でき、また、乳酸のピークも悪性病変で描出可能であったと報告している<sup>7)</sup>。Mahon らは、子宮頸癌の MRS を *in vivo* と *ex vivo* で比較し、進行子宮頸癌の症例では、癌でなかった症例や、前癌病変の症例と比較してコリンの値が優位に高かったと報告している<sup>8)</sup>。Booth らは、3T の MRI を用いて卵巣癌、子宮頸癌、体癌、陰癌などのコリンのピークの検出能を調べ、良性との比較をしているが、卵巣癌、体癌

では 90% を超える症例でコリンのピークを検出できたが、頸癌では 73% にとどまり、陰癌では対象の 1 例でコリンの検出ができなかったとしている。一方で良性病変でも 89% の症例でコリンのピークを検出していることから、これらに有意差はなかったとの結論となり、今後の方向性については、乳癌などで試みられている治療効果の早期判定に利用可能ではないかと考察している<sup>9)</sup>。

子宮体癌、あるいは頸癌の MRI の臨床的な役割としては、通常は既に組織診や細胞診で病理組織学的に良悪性診断は確定していることが多いことから、ほとんどの症例では良悪の鑑別ではない。むしろ、局所の深達度、転移巣の検出などである。そういった意味からは頸癌、体癌における MRS を用いた良悪性の鑑別には大きな意義はないかもしれない。しかし、手術前に化学療法の実行される場合もあり、あらかじめ早い段階で化学療法や放射線治療の効果判定が可能であれば、臨床的に有用性は高いと考えられ、今後の研究が望まれる。また、平滑筋腫と平滑筋肉腫の鑑別においては、既に形態学的な画像診断法では限界があることは明白である。これらの鑑別にも用いることができれば、临床上非常に有用であろう。当院ではまだ母数は少ないものの、いくつかの肉腫の可能性のある症例で MRS を施行している (Fig. 4)。しかし、良性、悪性の鑑別にはいまだ問題があるようだと感じている。

### 1.5T MRI と 3T MRI の使い分け

婦人科領域で今まで撮影した範囲では、1.5T 装置と比較して、3T 装置での検査が特にデメリットとなる症例は経験していない。優れた S/N を活かした画像は明瞭であり、得られる情報も多いことから、可能な限り 3T 装置での検査をお願いしている。

妊婦の撮影には 1.5T 装置を用いている。腫大した子宮や大量の羊水などは 3T MRI に

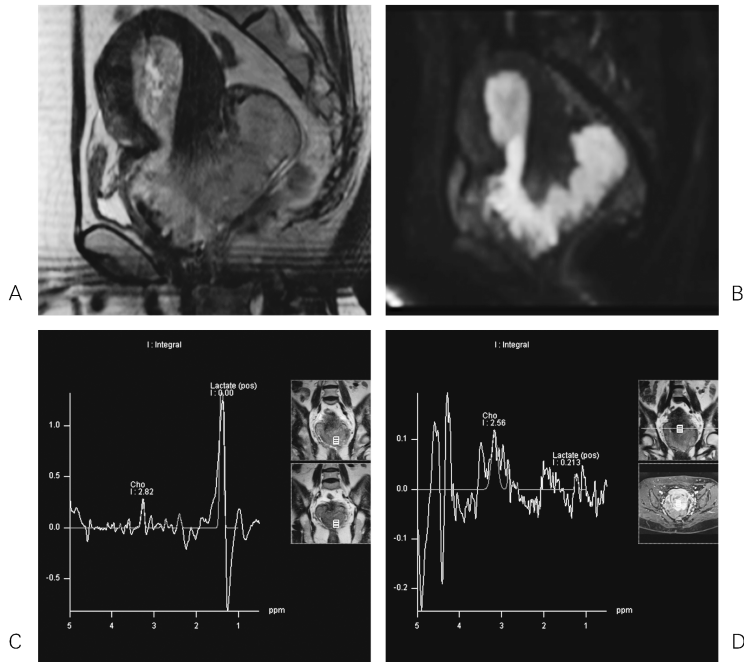


Fig. 4. 54-year-old female. Cervical malignant tumor with endometrial invasion. (Histopathologically, undifferentiated adenocarcinoma was suspected.)

A : Reconstructed sagittal image of SPACE sequence (3D-T<sub>2</sub>WI). The bulky tumor arising from uterine cervix occupied fornix vagina and also invaded the endometrium of the corpus.

B : MPR reconstruction of DWI (b=800). The bulky tumor showed very high intensity and the margin of cervical stroma was clearly demarked.

C : MR spectroscopy of the tumor showed Choline and high lactate peak.

D : MR spectroscopy of the cervical margin which showed relative high on T<sub>2</sub>WI and low intensity on DWI. Clinically the tumor invasion was suspicious for relative high SI on T<sub>2</sub>WI but DWI and Gd-dynamic MRI (unshown) appeared as same SI of normal stroma. The MRS showed no remarkable Choline and lactate peak. The marginal lesion of the uterine cervix showed high SI on T<sub>2</sub>WI was considered as normal edematous stroma.

としてはアーチファクトの原因となり、マイナス要因となる。誘電パットを用いるのも難しいので、あえて3Tで撮影する必要はないと考えている。また、MRI検査の胎児への影響は証明されていないが、1.5T装置の方がより安全性は高いであろうという推論にも基づいている。

前述のとおり、単純MRIでは抗コリン性剤を用いずに検査しているので、腸管のモーションアーチファクトが強くなる可能性が高く、1.5T MRIでも撮影している。また、上腹部まで達するような巨大な嚢胞性腫瘍は、penetration artifactが高度となりがちであるので、1.5TのMRI装置に割り振っている。

磁化率効果が高くなるため、多量の腸管ガスを伴う症例では拡散強調像でのアーチファクトが問題となる。卵巣癌は腹膜播種での再発が多く、術後フォローアップの症例は腹膜播種結節を検出するのに拡散強調像が重要な役割を果たしている。拡散強調像でのアーチファクトは全症例で見られるわけではなく、また、腸管ガスの量は予測不能であるが、特に卵巣癌の術後フォローの症例などは安定して拡散強調像が撮影できる1.5T装置で撮影することが多い。

### ま と め

3T MRIの女性骨盤領域への適応は、既に臨床レベルとなり、その特性を活かして従来よりもS/Nの良い画像が得られている。形態学的なアプローチとして、より空間分解能の高い3D画像が得られるようになったことに加え、今後はMRSなどの新しい技術の応用も期待される。

### 文 献

- 1) Hussain SM, van den Bos IC, Oliveto JM, Martin DR: MR imaging of the female pelvis at 3T. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2006; 14: 537-544, vii
- 2) Kataoka M, Isoda H, Maetani Y, et al.: MR imaging of the female pelvis at 3 Tesla: evaluation of

image homogeneity using different dielectric pads. *J Magn Reson Imaging* 2007; 26: 1572-1577.

- 3) Willinek WA, Gieseke J, Kukuk GM, et al.: Dual-source parallel radiofrequency excitation body MR imaging compared with standard MR imaging at 3.0T: initial clinical experience. *Radiology* 2010; 256: 966-975
- 4) Kinkel K, Frei KA, Balleyguier C, Chapron C: Diagnosis of endometriosis with imaging: a review. *Eur Radiol* 2006; 16: 285-298
- 5) Mugler JP, 3rd, Bao S, Mulkern RV, et al.: Optimized single-slab three-dimensional spin-echo MR imaging of the brain. *Radiology* 2000; 216: 891-899
- 6) Takeuchi M, Matsuzaki K, Nishitani H: Susceptibility-weighted MRI of endometrioma: preliminary results. *AJR Am J Roentgenol* 2008; 191: 1366-1370
- 7) Okada T, Harada M, Matsuzaki K, Nishitani H, Aono T: Evaluation of female intrapelvic tumors by clinical proton MR spectroscopy. *J Magn Reson Imaging* 2001; 13: 912-917
- 8) Mahon MM, Cox IJ, Dina R, et al.: (1) H magnetic resonance spectroscopy of preinvasive and invasive cervical cancer: *in vivo-ex vivo* profiles and effect of tumor load. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19: 356-364
- 9) Booth SJ, Pickles MD, Turnbull LW: *In vivo* magnetic resonance spectroscopy of gynaecological tumours at 3.0 Tesla. *BJOG* 2009; 116: 300-303

## **Female Pelvic MR Imaging on 3T System: Clinical Application**

Junko TAKAHAMA<sup>1</sup>, Satoru KITANO<sup>2</sup>, Makoto HIGAKI<sup>3</sup>,  
Akihiro NOGI<sup>3</sup>, Kimihiko KICHIKAWA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Radiology and* <sup>3</sup>*Central Department of Radiology, Nara Medical University*  
*840 Shijo-cho, Kashihara, Nara 634-0028*

<sup>2</sup>*Department of Radiology, Nara Social Insurance Hospital*

Recent technical advances in 3-tesla magnetic resonance (MR) imaging systems have improved female pelvic imaging and are overcoming various artifacts. Excellent signal-to-noise ratio permits high quality clinical images. In this review, we discuss the protocol for MR imaging of the female pelvis at 3T, focusing on 3-dimensional T<sub>2</sub>-weighted images (SPACE). In addition, we present the new challenging application of MR spectroscopy for malignant gynecological tumors.