

女性骨盤部領域における 3T MRI の初期経験

中本裕土, 片岡正子, 小山 貴, 磯田裕義,
富樫かおり

京都大学医学部附属病院放射線診断科

はじめに

超高静磁場装置である 3T MRI は, 中枢神経系で既に明らかにされているように, 1.5T MRI と比較して高い signal-to-noise ratio (SNR) が期待される. さらに SNR の向上によって, 空間分解能や時間分解能の向上も期待できる. 中枢神経外の分野では, 脊椎領域において, これまでの 1.5T の SNR (202 ± 41) と比較して 3T の高い SNR (346 ± 214) が得られ, また 1.5T の 1 mm のボクセルサイズと同様の SNR を保ったままで, 3T では 0.9 mm のボクセルサイズの画像が得られたと報告されている¹⁾. しかしながら, 軀幹部における 3T MRI の臨床応用では, (1)腸管内の空気の存在など, 軀幹部組成の不均一性による磁化率アーチファクトの増大, (2)RF の貫通性の低下に伴う画像の劣化, いわゆる “ B_1 inhomogeneity” の問題, (3) specific absorption rate (SAR) の増大による撮像条件の制限および被験者の不快感の増大, などが問題点として懸念されている. 女性骨盤領域における 3T の報告はまだ限定されており^{2),3)}, 当施設における初期経験について述べる.

3T MRI による女性骨盤 : 1.5T MRI との比較

現在臨床に広く普及している 1.5T の MRI は, 婦人科疾患を評価する際に重要な画像診断法の一つと位置づけられている. 3T を臨床応用する前には, 1.5T との画像の間でどの程度の差が見られるのかを比較しておくことが重要である. そこで 19 人の健常女性に対して 3T と 1.5T の MRI 検査を同日に施行し, 画像を定性的, および定量的に比較検討した. 比較した画像の撮像シーケンスは, fast spin echo T_2 強調画像の横断像と子宮長軸像, および HASTE の子宮長軸像, 拡散強調画像の横断像である. 画像撮像パラメータは Table に示すとおりであり, コイルとしては 3T では 8 チャンネル, 1.5T では 6 チャンネルのフェーズドアレイコイルを用いた. さらに 3T の撮像時には不均一性による画像の劣化を避けるために, 50 g の塩化マンガンが入った 1.6 リットルの水溶液を調整し, 下腹部に置いて撮像した^註. T_2 強調画像におけるスライス厚は 2 mm とした.

画像の定性評価としては, 次の 6 項目について 5 段階 (1 : unacceptable, 2 : poor, 3 : fair, 4 : good, 5 : excellent) で 2 名の放射線科医が独立して点数を与え, その平均を算出した.

(1) 全体的な画質

キーワード MRI, 3T, female pelvis, gynecological cancer

註 この検討の時点では, メーカー推奨の絶縁体パッド (dielectric pad) がまだ提供されていなかった.

Table. Parameters of MR Scanning

	T ₂ -weighted	HASTE	Diffusion-weighted
TR (ms)	3200(3600)	3000	2200
TE (ms)	94(103)	100	80
FOV (mm)	260×195	250×250	200×200
Voxel size (mm)	0.8×0.6×2.0	1.0×1.0×5.0	2.1×1.6×3.0
NEX	2	1	3
Scan time (s)	208	3 s/slice	60
Flip angle (degree)	150	156	n/a
Band width (Hz)	207(172)	781(300)	1302(930)
Turbo factor	13(15)	256	96
iPAT, reductin factor	Yes, 2	No	Yes, 2
B value (s/mm ²)	n/a	n/a	0, 500, 1000

HASTE, Half-Fourier acquisition single-shot turbo spin echo; The Numbers in parentheses show the value in 1.5T when different parameters are used between 3T and 1.5T scanners.

- (2) 子宮の画質
- (3) 子宮筋層と junctional zone のコントラスト
- (4) 子宮内膜と junctional zone のコントラスト
- (5) 子宮頸部の画質
- (6) 卵巣

ただし、(6)については、T₂強調画像の横断像のみの評価とし、T₂強調画像の子宮長軸像、HASTE、拡散強調画像での評価は省略した。

さらに、画質劣化の項目として、

- (7) 不均一性
- (8) 動きによるブレ

の2点について、同様に5段階スケール(1: unacceptable, 2: severe, 3: moderate, 4: mild, 5: absent)で評価した。

健常女性の骨盤部 T₂強調画像の横断像と子宮長軸像、HASTE の子宮長軸像、拡散強調画像の横断像について、3T と 1.5T で撮像した画像を Fig. 1 に、また定性評価の結果を Fig. 2 に示す。3T では、腹壁直下で予想される信号の減弱が見られるが、コントラストはいずれにおいても 3T でやや良好に示される傾向に

あった。いずれの磁場強度においても、膀胱頭側の腸管のぶれが目立つが、これはいずれの撮像前にもブスコパンなどの鎮痙剤を用いていないことによる、腸管蠕動の影響と考えられる。

次に定量評価としては、T₂強調画像と HASTE を対象として、2項目の信号を計測した。まず、次の式で junctional zone のコントラストを算出した。

Uterine zonal contrast

$$= \frac{\text{子宮筋層の信号強度} - \text{junctional zone の信号強度}}{\text{子宮筋層の信号強度}}$$

さらに、腹側脂肪と背側脂肪の信号強度比を算出し、3T における信号減弱の程度を定量的に評価した。

定量評価の結果を Fig. 3 に示す。定性的には拡散強調画像をのぞいて、3T の MRI 画像で junctional zone のコントラストがやや高い傾向にあったが、定量的には統計学的な有意差はなかった。腹側脂肪と背側脂肪の信号強度比は、3T で低値をとる傾向にあり、特に T₂強調画像と HASTE の矢状断像では有意差を認

2006年8月2日受理

別刷請求先 〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町54 京都大学医学部附属病院放射線診断科 中本裕士

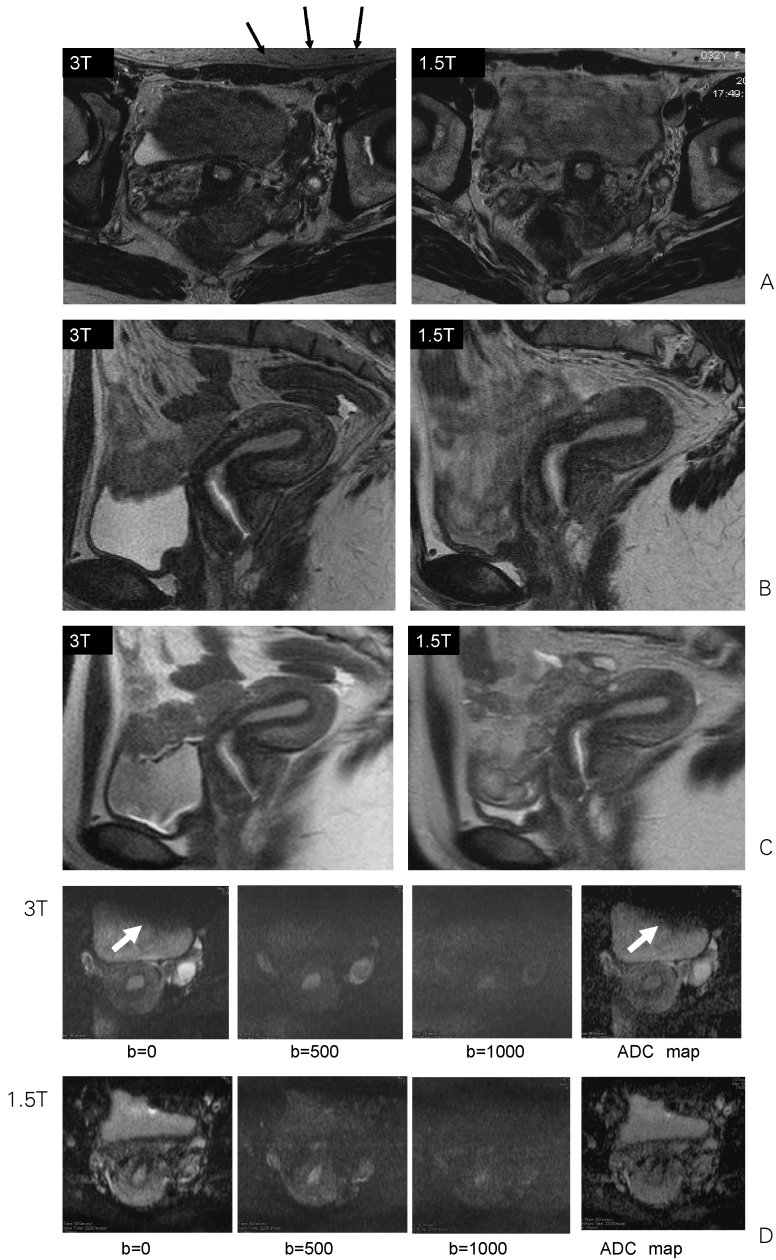


Fig. 1. Axial T2WIs (A), sagittal T2WIs (B), sagittal HASTE images (C), and axial DWIs (D) of the pelvis at 3T and 1.5T are demonstrated. The overall image quality is equal between 3T and 1.5T MR images, although the contrast in cervical structure is considered slightly higher at 3T. Signal intensity of fat is slightly lower in the anterior part of the pelvis at 3T (A, D : arrows).

女性骨盤部領域における 3T MRI の初期経験

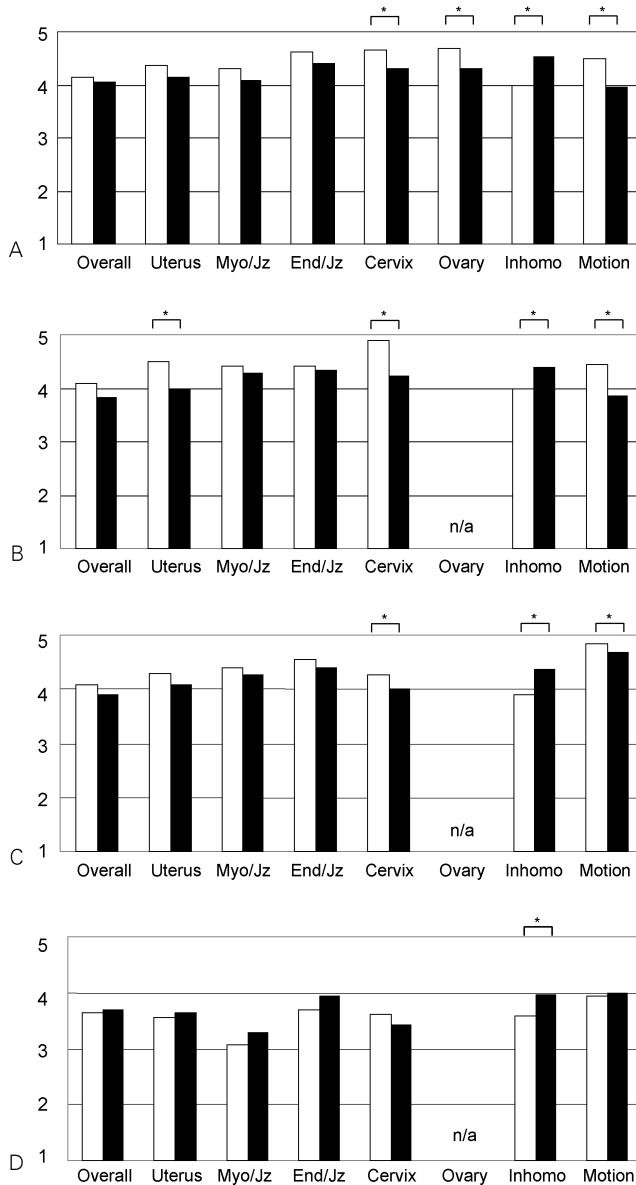


Fig. 2. Qualitative evaluation (image quality and artifact) at 3T (white) and 1.5T (black) MR imaging on axial T₂WI (A), mid-sagittal T₂WI (B), mid-sagittal HASTE image (C), and axial DWI (D). The image quality was graded from 1 to 5; 1. unacceptable; 2. poor; 3. fair; 4. good; 5. excellent. Image inhomogeneity and artifact were also assessed and graded from 1 to 5; 1. unacceptable; 2. severe; 3. moderate; 4. mild; 5. absent. An image scores as 5 for motion artifacts is almost completely free of any motion artifact and thus has an excellent quality. The mean scores of the two readers were used for the analysis as consensus. The asterisks (*) demonstrates the statistical significant difference using a Wilcoxon rank sum test.

Myo/Jz: Contrast between the uterine myometrium and the junctional zone. End/Jz: Contrast between the uterine endometrium and the junctional zone.

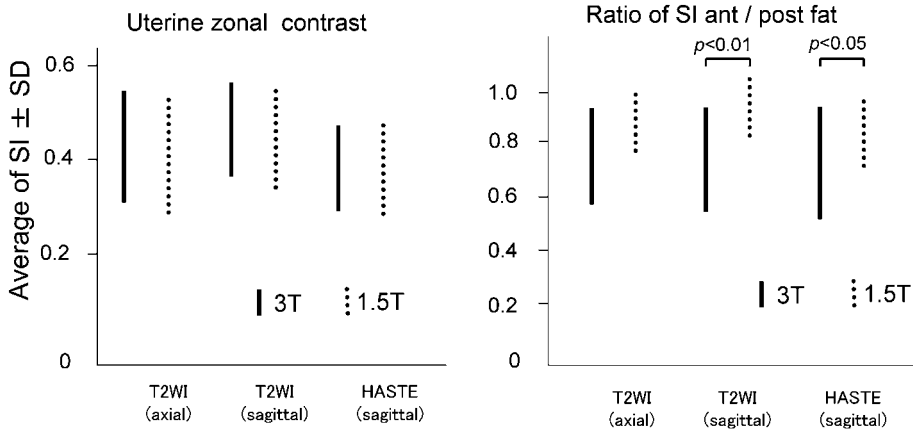


Fig. 3. Quantitative evaluation of uterine zonal contrast (left) and ratio of anterior-to-posterior fat signal intensity (right) at 3T (solid line) and 1.5T (dotted line) MR imaging. The mean value and standard deviation of the signal intensity of difference between myometrium and junctional zone divided by the signal intensity of myometrium are shown in the left, and the mean value and standard deviation of the ratio of anterior-to-posterior fat signal intensity are shown in the right. As to the uterine zonal contrast, no significant difference was found between the two scanners. On the other hand, as to the fat signal, the ratio was significantly lower at 3T on sagittal T₂WI ($p=0.001$) and sagittal HASTE ($p=0.03$).

めた。

以上をまとめると、3T の画像では腹壁直下の信号が予想どおり減弱しているが、全体的なコントラストは比較的良好であり、臨床的にも問題なく応用できるのではないかと考えられた。

女性骨盤領域における絶縁体パッドの効果について

3T MRI では RF 周波数が高くなり、生体内への RF penetration が低下するために、体表面および深部で flip angle の差異を生じ、信号強度が不均一となる。そこで、絶縁体のパッドをコイルと体表の間に置き、余分な RF を吸収することで信号強度の不均一性が改善される。このため絶縁パッドが提供されるまでは、塩化マンガン入りの水溶液を water bag として自作し、体表において撮像してきた。このような工夫の有無で画質にどのような相違が現れるのかを調査した。

健康女性 6 人に対し、メーカー推奨の絶縁体パッド (Fig. 4a) を用いた場合、パッドとして塩化マンガン入り水溶液を用いた場合 (Fig. 4b)、さらに絶縁パッドを使用しない場合、の 3 通りの状況で、3T MR 装置を用いて以下のシーケンスで骨盤部を撮像した。

- (1) T₂ 強調画像の矢状断像と横断像 (スライス厚 2 mm)
- (2) T₁ 強調画像の横断像 (スライス厚 3 mm)
- (3) HASTE の矢状断像 (スライス厚 5 mm)

得られた画像に対しては、それぞれ子宮頸部が描出されているスライスを選択し、矢状断像では腹壁下の脂肪、直腸～肛門近傍の臀部脂肪、臀部の皮下脂肪の 3 か所について、また横断像では、腹壁下の脂肪、背側臀部の皮下脂肪、子宮両外側の腹腔内脂肪の 4 か所について、それぞれ信号を計測し、最大信号に対する最小信号を min/max SI of fat として各群を比較した。

T₂ 強調画像、T₁ 強調画像、HASTE の画像

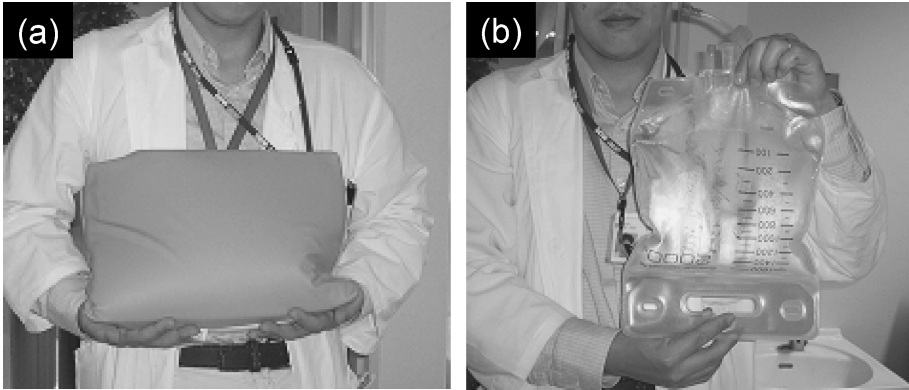


Fig. 4. A dielectric pad (a) and a 1.6-liter water bag with 50 grams of manganese chloride are demonstrated. A dielectric pad is filled with gel, which is widely used in ultrasound.

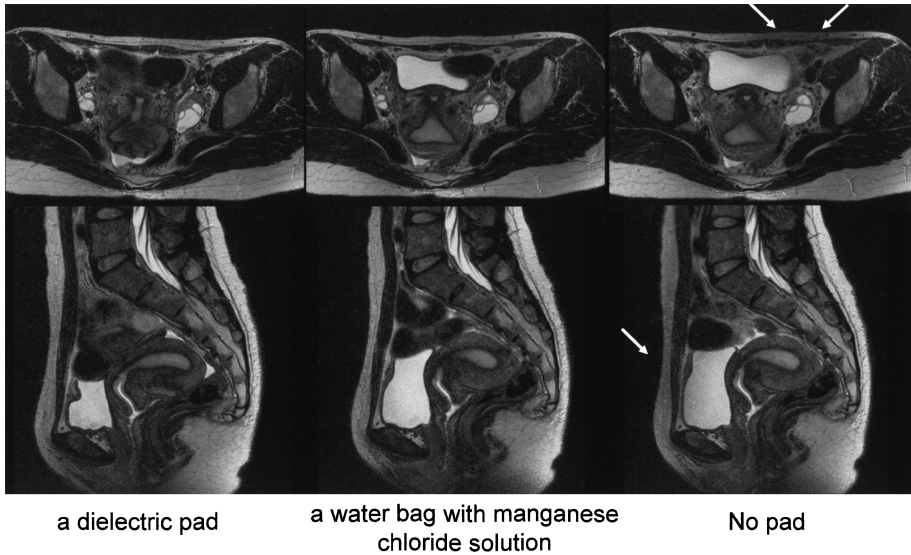


Fig. 5. Axial and sagittal T₂WIs are demonstrated. Without a dielectric pad or a water bag, signal drop is observed (arrows). However, there are no adverse effects around the uterus or ovaries.

をそれぞれ Figs. 5~7 に示す. 予想された信号の低下はパッドなしで撮像された場合に見られ, 特に T₁ 強調画像で顕著な傾向が見られた. これに対して, HASTE (half-Fourier acquisition single-shot turbo spin echo) では信号低下はあまり目立たなかった. 定量評価の結果を

Fig. 8 に示す. T₁ 強調画像, T₂ 強調画像ではパッドありの場合に比較して, パッドなしの場合の信号低下が明らかであり, T₂ 強調画像の矢状断像におけるパッドなしと塩化マンガン水溶液入りバッグを除くといずれも有意差を認めた. ただし HASTE では定性的に信号低下が

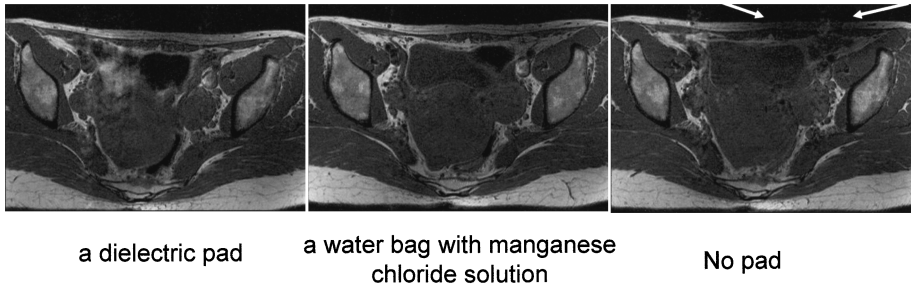


Fig. 6. Axial T1WIs are demonstrated. The focal signal drop around the epigastric region is more prominent without a pad on T1WI, which is more remarkable as compared to the T2WI.

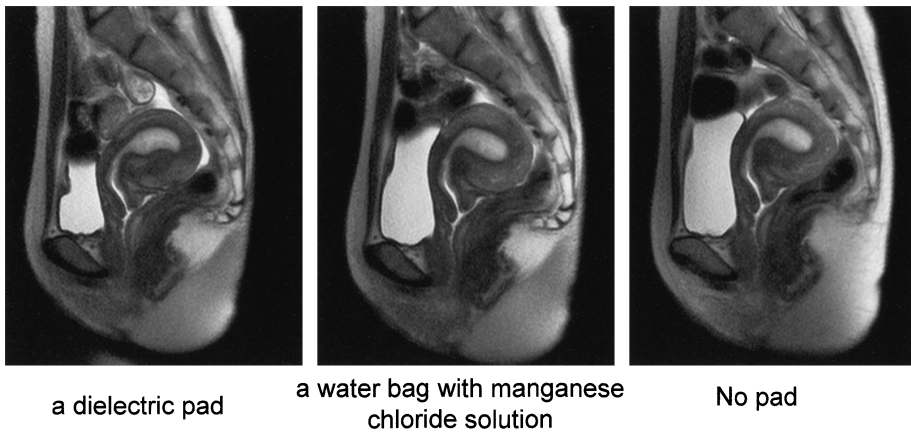


Fig. 7. Sagittal HASTE images are demonstrated. The signal drop is not observed under the three conditions.

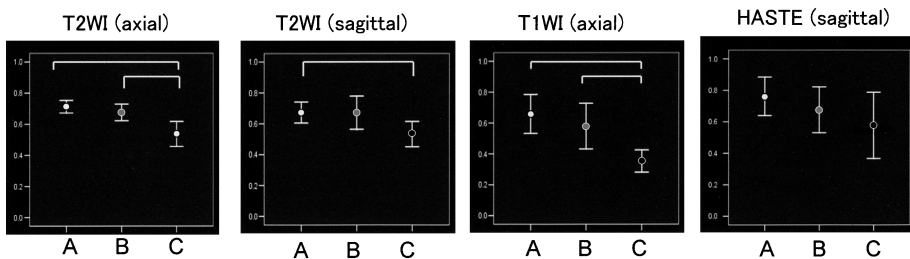


Fig. 8. Ratios of minimum-to-maximum signal intensity (min/max SI) of fat using a dielectric pad (A), a water bag with manganese chloride solution (B), and no pad (C) were compared. The mean value and 95% confidence intervals were shown. Paired t-test with Bonferroni correction showed significant differences in the ratio of SI among the combinations indicated by white lines. The ratio of SI was significantly lower without using pad than those with using a dielectric pad or a water pad (T2WI axial and sagittal, and T1WI axial). No significant differences were found in the ratios between the dielectric pad and the water bag on all sequences. In addition, no significant difference of the ratios of SI was found on HASTE sequence.

目立たなかったように、統計的有意差は認めなかった。

この不均一性を改善するその他の試みとしては、カップリングコイルや多チャンネルのコイルを使用することが推奨されているが、これらが日常臨床で使用可能になるまでは、女性骨盤の領域では T₂強調画像が必須であるため、絶縁体パッドあるいは塩化マンガン入り水溶液バッグを用いることが望ましいと思われる。

婦人科腫瘍を中心とした臨床画像

実際の臨床応用における 3T MRI の報告は

まだ非常に限られている。腹壁下脂肪の信号低下は見られるものの、絶縁体パッドや塩化マンガン水溶液入りバッグを用いることでほとんど診断上は問題にならないことに基づく、少なくとも 1.5T の MRI 画像と比較して、大きな問題になることはなさそうである。婦人科疾患が疑われる 23 人の患者を対象に施行した 3T の MRI では、3T の高い SNR によって、小さな筋腫の同定 (2 人)、リンパ節転移の同定 (1 人)、腫瘍の進展範囲を正しく判定 (1 人) できたという初期報告がある³⁾。当施設でもまだその経験は限定的であるが、実際の臨床画像を示す。

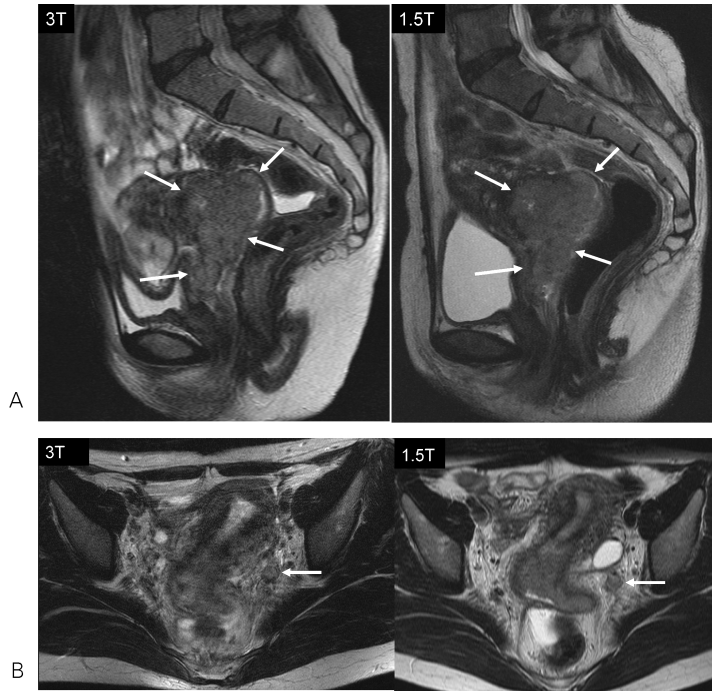


Fig. 9. A 47-year-old female with advanced cervical cancer. Sagittal (A) and axial (B) T₂WIs are demonstrated. A large mass occupying from uterine cervix to vagina is seen (A : arrows), indicating the involvement of lower one-third of the vagina. Left internal lymph adenopathy is depicted in the both axial images (B : arrows). No definite differences are shown between 3T and 1.5T images, resulting in comparable interpretation.

はじめに子宮頸癌であるが、子宮頸癌におけるMRIの診断では、既に存在診断、鑑別診断はついていることが多いため、リンパ節転移の有無とともに、原発巣の進展度の評価を求められることが多い。通常はT₂強調画像で評価することになるが、I b期以上であれば90%以上の症例で原発巣が描出されると言われ、逆に原発巣が明らかであればI b期以上と考えられる⁴⁾。いわゆる“full-thickness stromal invasion”のような、腫瘍が頸部間質辺縁に達している場合の傍組織浸潤は、顕微鏡的浸潤を来することが多く、通常のT₂強調画像のみでの評価

は困難とされる。我々の経験では子宮の描出に関しては視覚的な有意差を認めなかったものの、頸管と頸部間質とのコントラスト、腔壁のコントラストは3Tが優れており、腫瘍の進展度を診断する上での精度向上が期待される。またリンパ節転移の有無の評価についても、画質がほぼ同等であることから飛躍的な診断精度の向上は期待しづらいが、少なくとも診断成績を落とすことはないのではないかと推測される。子宮頸癌症例をFigs. 9~11に示す。

一方、子宮体癌では深達度を評価するのに造影剤が用いられており、増強効果の強い子宮筋

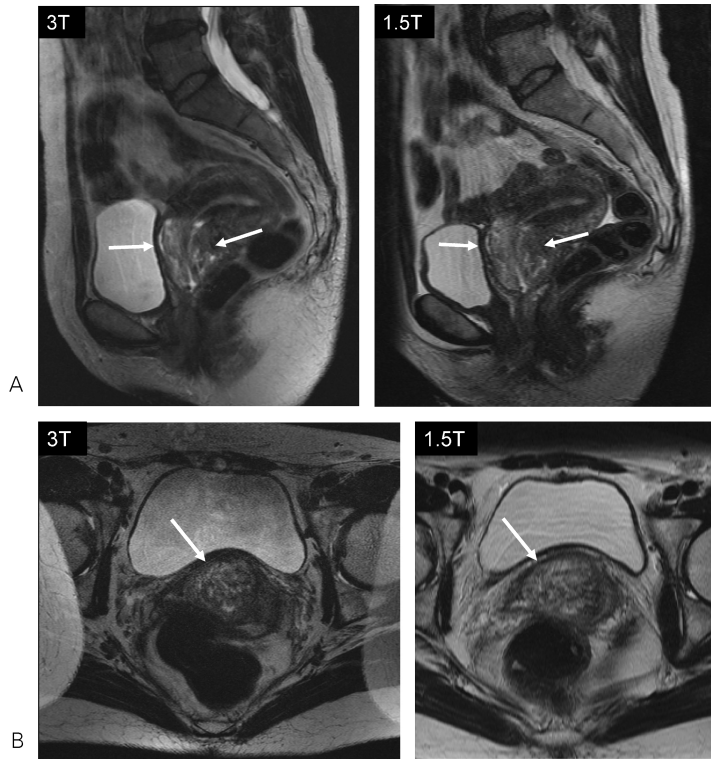


Fig. 10. A 48-year-old female with cervical cancer (adenocarcinoma). Sagittal (A) and axial (B) T₂WIs demonstrate a heterogenous mass in the uterine cervix (arrows). Since butyl scopolamine was not used at 3T, the bowel was blurred at 3T. In an axial image, the primary tumor is more clearly described with high contrast at 3T, while inhomogenous signal is remarkable within the bladder at 3T.



Fig. 11. A 35-year-old female with cervical cancer (mucin-producing adenocarcinoma). Sagittal T₂WIs demonstrate a large mass in the uterine cervix, with multiple spotty or linear high signals (arrows). Fluid collection is observed within the vagina (arrowheads) probably because of the characteristics of tumor. Since there were 6 days interval between the examination of 1.5T and 3T, the status of the endometrium is different: however, the primary tumor is almost equally depicted.

層と弱い腫瘍とのコントラストが筋層浸潤の判定に役立つ⁵⁾。T₁強調画像では B₁ inhomogeneity がより顕著であることから、造影剤を用いた場合の信号の不均一さが、体表近くの病巣の検索においてはマイナスに作用する可能性は否定できない。しかしながら、この信号低下は、比較的深部にある子宮体癌の原発巣の筋層浸潤評価に関しては、さほどの影響を及ぼさないかもしれない。子宮体癌の症例を Fig. 12 に示す。

卵巣癌やその他の腫瘍については、現時点でまだ経験がない。しかしながら、前述のようにほぼ同等の画質を有することから、診断精度においてもこれまでと同様の診断成績が得られるのではないかと推測される。今後のデータの蓄積を待ちたい。卵巣癌の場合には術前の原発巣の質的診断、病期診断とともに、術後の再発診断や化学療法の効果判定という役割を担っている。癌性腹膜炎などによる腹水がある場合には SAR の影響を受けやすいため、熱感に伴う不

快感の有無についても検討を行う必要がある。

ま と め

SN の向上というメリットよりは、躯幹部の不均一性からくるアーチファクトの増大や SAR の増大など、デメリットが懸念されていた 3T の MRI であるが、我々の初期経験では特に診断の妨げとなる深刻な画質の悪化は見られず、臨床に支障を来す有害事象もこれまでのところ経験していない。Ferumoxtran-10 (USPIO:ultrasmall superparamagnetic iron oxide) を造影剤に用いた前立腺癌のリンパ節転移の評価では、3T の方が 1.5T に比べて画質が良好であったという結果が報告され⁶⁾、子宮癌の病期診断などでも同様に診断精度の向上につながる可能性がある。さらに、BOLD (blood oxygen level dependency) 信号を用いた functional MRI による神経活動の評価は、超高磁場装置で有利とされているため⁷⁾、躯幹

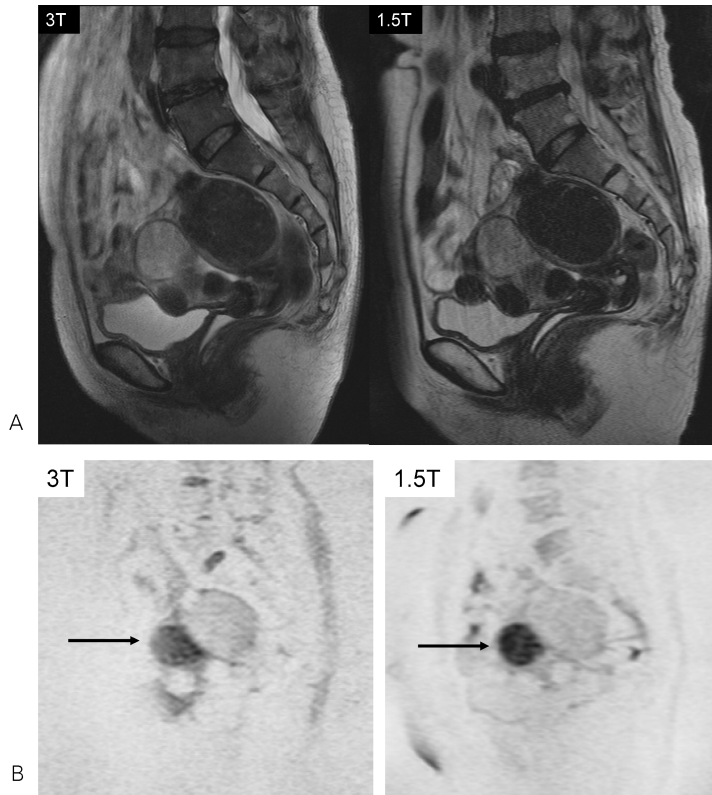


Fig. 12. A 62-year-old female with endometrial cancer. Sagittal T₂WIs (A) show a endometrial cancer in the uterus without definite invasion to the adjacent tissue. No apparent difference of image quality regarding the endometrial cancer and multiple fibroids are seen between 3T and 1.5T, although the bowel is blurred at 3T because butyl scopolamine was not used. Sagittal DWIs with a b-value of 1000 (B) also show abnormal signal, corresponding to the endometrial tumor (arrows).

部での応用で新たな展開が期待できるかもしれない。3T ならではの長所を生かした、新たな画像診断の開発に向け、症例数の増加とともに知見を増やしていく必要がある。

謝 辞

この項を準備するにあたり、山口大学医学部放射線医学講座、岸本佳子先生に貴重な助言をいただきました。ここに深謝いたします。

文 献

- 1) Rodegerdts EA, Boss A, Riemarzik K, Lichy M, Schick F, Claussen CD, Schlemmer HP : 3D imaging of the whole spine at 3T compared to 1.5T : initial experiences. *Acta Radiol* 2006 ; 47 : 488-493
- 2) Morakkabati-Spitz N, Gieseke J, Kuhl C, Lutterbey G, von Falkenhausen M, Traeber F, Zivanovic O, Schild HH : 3.0-T high-field magnetic resonance imaging of the female pelvis : preliminary experiences. *Eur Radiol* 2005 ; 15 : 639-644

- 3) Morakkabati-Spitz N, Gieseke J, Kuhl C, Lutterbey G, von Falkenhausen M, Traber F, Park-Simon TW, Zivanovic O, Schild HH : MRI of the pelvis at 3T : very high spatial resolution with sensitivity encoding and flip-angle sweep technique in clinically acceptable scan time. *Eur Radiol* 2006 ; 16 : 634-641
- 4) Fujiwara K, Yoden E, Asakawa T, et al. : Negative MRI findings with invasive cervical biopsy may indicate stage IA cervical carcinoma. *Gynecol Oncol* 2000 ; 79 : 451-456
- 5) Kinkel K, Kaji Y, Yu KK, Segal MR, Lu Y, Powell CB, Hricak H : Radiologic staging in patients with endometrial cancer : a meta-analysis. *Radiology* 1999 ; 212 : 711-718
- 6) Heesakkers RA, Futterer JJ, Hovels AM, van den Bosch HC, Scheenen TW, Hoogeveen YL, Barentsz JO : Prostate cancer evaluated with ferumoxtran-10-enhanced T₂*-weighted MR imaging at 1.5 and 3.0T : early experience. *Radiology* 2006 ; 239 : 481-487
- 7) Turner R, Jezzard P, Wen H, Kwong KK, Le Bihan D, Zeffiro T, Balaban RS : Functional mapping of the human visual cortex at 4 and 1.5 tesla using deoxygenation contrast EPI. *Magn Reson Med* 1993 ; 29 : 277-279

3T MR Imaging of the Female Pelvis : Initial Experiences

Yuji NAKAMOTO, Masako KATAOKA, Takashi KOYAMA,
Hiroyoshi ISODA, Kaori TOGASHI

*Department of Diagnostic Radiology, Kyoto University Graduate School of Medicine
54 Shogoin kawahara-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8507*

Many reports have described the advantages of using 3T rather than 1.5T magnetic resonance (MR) imaging in neuroscience, but its use in imaging the body is controversial and challenging. We report and discuss our initial experience. Although we expected to observe inhomogeneity of signal intensity, especially in the epigastric region, the adverse effect was modest in evaluating uterus and ovary. Otherwise, 3T MR imaging can potentially provide excellent images of the uterine cervix and ovaries on high-resolution T₂-weighted images. Use of a dielectric pad or water bag with manganese chloride helps decrease the inhomogeneity caused by poor radiofrequency (RF) penetration. In our institution, clinical application of 3T MR imaging for gynecological tumors has been limited, but according to our preliminary results, the quality of the images has been almost comparable to that of images obtained using a conventional 1.5T MR scanner. Scanning limitations caused by remarkably increased specific absorption rate (SAR) have not been encountered. However, more clinical cases are necessary to determine conclusively the disadvantages of clinical use. Metastasis to the lymph node from prostatic carcinoma has been reported to be more accurately diagnosed by 3T MR imaging used with Ferumoxtran-10 (ultra-small particles of iron oxide [USPIO]). As a contrast material, USPIO could be used effectively in 3T MR imaging for future staging, even in gynecological cancers. In addition, 3T MR imaging is promising for functional MR imaging, including blood oxygen level dependency (BOLD).