

# 3T MRI：泌尿器・男性生殖器腫瘍における撮像

楯 靖

獨協医科大学放射線医学講座

## はじめに

泌尿器・男性生殖器領域では、MRI の優れたコントラスト分解能が質的診断・広がり診断に役立つ。任意の断面を得ることができる点も MRI の強みとされている。しかし、マルチスライス CT を用いたダイナミック造影法による 3 次元的評価で、臨床上の要求に応えることができ MRI を使用しない場合も多い。

MRI 装置を 1.5T から 3T に高磁場化することで、詳細な解剖構造の描出には優れるが、泌尿器・男性生殖器疾患に関して臨床的意思決定に影響を及ぼす MRI 情報が増えたと言える明確なエビデンスはない。我々の施設でも 3T 装置導入後に MRI が撮像される疾患の種類が大きく変化した事実はない。PubMed 上で検索ワードを [3T×(臓器名)] として検索すると、前立腺では 50 件前後の論文がヒットするが、他の臓器は極少数であり、臨床現場の状況と同様である。

我々は前立腺症例に関しては積極的に 3T 装置を用いている。優先的に前立腺症例に使用しているのは、前立腺癌の罹患者が急増していること、CT で得られる局所情報がほとんどないこと、T<sub>2</sub>強調像を薄いスライス厚、高い空間分解能で撮像することで癌の広がり診断に役立つこと、信号雑音比が高いのでダイナミック造影像や、拡散強調像での異常信号も評価しやすいこと、などの点からである。一方で、他の泌尿器・男性生殖器臓器疾患を 3T 装置で撮像す

るか否かの判断は、3T MRI 検査枠の空き具合に左右される。

しかし、前立腺以外の泌尿器・男性生殖器臓器における 3T MRI の有用性・将来性が否定されているわけではない。「3T」という用語はあくまで静磁場強度を表すもので、シーケンスの改善、受信コイル・送信コイルの改良などに代表される「撮像技術の進歩」、疾患の診断法・治療法の変化にともなう「臨床上の要求の多様化」によって、ある日突然「必須の検査法」となる可能性を有している。3T 装置では解剖学的な情報は 1.5T 装置に比して明らかに良好に描出できるので、これをどのように利用するかを疾患ごとに再検討しなければならない。

現在、1.5T 以下の装置を使っている施設でも、機器更新により 3T 装置が導入され、3T 装置 1 台で全領域の検査を行う状況もあり得るだろう。

本稿では、前立腺腫瘍を中心とした泌尿器・男性生殖器腫瘍に関して、画像に求められる情報を述べる。その後、撮像法に関して 3T 用に最適化されたシーケンスを設定できていない領域もあるが、3TMRI の利用例について解説する。

## 前立腺腫瘍

### 1. 求められる情報とモダリティ

前立腺癌の腫瘍マーカーである prostate specific antigen (PSA) によって前立腺癌を

キーワード high magnetic field, proton MR spectroscopy, MR imaging, genitourinary system

疑われ、腫瘍の検出、悪性度の類推、病期診断、治療効果判定、再発・再燃病巣の検出などが画像検査に求められる。これらの評価には、詳細な解剖構造の描出が不可欠であり、CTと経直腸的超音波検査のみでは局所に関する情報は不十分なため、MRIの有用性が高い。

#### 1) 検出

PSA 検診の普及により、生検前に MRI による癌の検出を求められるケースが増えてきた。生検前であれば、癌が疑われる部位を泌尿器科医に伝え、生検時に狙ってもらうことが可能である。特に、前回生検陰性だったが PSA が上昇してきた場合には、確実に癌と診断するために生検前に MRI 検査を行う方がよい<sup>1)</sup>。

#### 2) 病期診断

前立腺癌が強く疑われる、あるいは生検で癌と判明している場合には、正確な病期診断を MRI と CT で行う。前立腺に限局しているか、それとも前立腺被膜外へ進展しているかが治療方針を決定する上で重要である。精嚢浸潤についても、予後を規定する独立した因子であり、正確な評価が求められる。

#### 3) 治療のモニタリング、再発・再燃診断

放射線療法やホルモン療法など保存的な治療が選択された場合、健常な前立腺にも治療の修飾が加わり、通常の T<sub>2</sub> 強調像では癌の存在をはっきり認識し難くなる<sup>2),3)</sup>。このような場合、ダイナミック造影像や拡散強調像、MR spectroscopy (MRS) が役立つ。

#### 2. 3T 用シーケンス例と工夫

① T<sub>2</sub> 強調像：高速スピンエコー法により横断像、冠状断像の 2 方向を撮像する。スライス厚は 3 mm, field of view (FOV) は横断像 200 mm と冠状断像 250 mm, マトリックス数 320 × 320 または 384 × 230 としている。

② T<sub>1</sub> 強調像：高速スピンエコー法により、T<sub>2</sub> 強調像と同様な条件で横断像を撮像する。

③ 拡散強調像：echo planar spin echo (EPSE)

法で、b 値を 1000, 1500 s/mm<sup>2</sup> で撮像。

④ ダイナミック造影：高速 3 次元グラジエントエコー法により、横断方向で造影前、35 秒後、65 秒後、95 秒後に撮像。

⑤ ガドリニウム造影脂肪抑制 T<sub>1</sub> 強調横断像：ダイナミック造影後に撮像。

⑥ プロトン MRS : Point-resolved spectroscopy (PRESS) により 3 次元データを取得する。1 ボクセルあたりの体積は 0.4 cc (6.4 × 6.4 × 10 mm) で、データ補間により 0.2 cc (6.4 × 6.4 × 5 mm) の領域を反映したスペクトルの表示も可能である。3T 環境下では、TE の違いによりクエン酸スペクトルが大きく変化するので、90 ms と 145 ms の 2 種類の TE を用いて測定する<sup>4)</sup>。

前立腺は直腸の前方にあるため、直腸内のガスや直腸の蠕動による影響が大きい。直腸内が空虚な状態が望ましいので、検査前夜に下剤を投与するよう泌尿器科医に依頼している。

#### 3. 正常解剖と疾患例

##### 1) 正常解剖

前立腺内の層構造は T<sub>2</sub> 強調像で明瞭に描出される。背側から外側を占める辺縁域は高信号を呈する。尖部では尿道の腹側にもまわりこむ。辺縁域に囲まれるように存在する中心域と移行域は低信号を示す。射精管周囲の中心域は均一な低信号を呈し、移行域は低信号と高信号が混在しており中心域よりもやや高い不均一な信号を呈する。移行域と辺縁域の境界には、外科的被膜と呼ばれる低信号線が描出される。

T<sub>2</sub> 強調像では、前立腺周囲に低信号の前立腺被膜を認める。また前立腺腹側には、前線維筋間質と膀胱に由来する排尿筋の一部が混じて、厚い低信号構造として認められる。前立腺被膜や前線維筋間質の両外側から腹側には、前立腺周囲静脈叢が T<sub>1</sub> 強調像で低信号、T<sub>2</sub> 強調像で高信号を呈する管状構造として存在する。静脈叢の流速によっては、T<sub>2</sub> 強調像での信号

が変化することもある。拡張した静脈叢を辺縁域と間違えないように注意する。前立腺の背外側(5時および7時方向)で、直腸、肛門挙筋に囲まれた領域は豊富な脂肪で占められている。T<sub>1</sub>強調像では神経血管束はこの脂肪に埋もれた低信号の円形構造物の集合として同定できる。

精嚢は前立腺の上背側に存在し、膀胱に接している。横断像では「ハ」の字型を示す。T<sub>1</sub>強調像では低信号、T<sub>2</sub>強調像ではブドウの房状の形態で内部が高信号、隔壁部分が低信号となり、造影T<sub>1</sub>強調像で隔壁のみ濃染する。精嚢の内側に接して精管膨大部が存在する。

3T装置で骨盤部の撮像を行うと、励起磁場の不均一のため体表を中心に信号むらが生じる<sup>5)</sup>。しかし、前立腺付近では、信号むらはほとんど気にならない。

## 2) 前立腺癌の検出

### a) T<sub>2</sub>強調像

MRIで前立腺癌を検出するためには“T<sub>2</sub>強調像で高信号を呈する健常辺縁域内に存在する低信号腫瘍”を見つけることが重要とされてきた。辺縁域に存在する腫瘍の頻度は高く、この所見は大事である。しかし、良性病変(血腫、炎症など)であっても低信号を呈する場合もある<sup>6)</sup>。また、移行域が主体として存在する腹側に存在する腫瘍も決してまれではない。T<sub>2</sub>強調像の信号強度だけでは良悪は区別できないことが多いので、正常構造物への影響を評価して良性病変か悪性かを判断する。

例えば前立腺中部から尖部にかけての高さで、移行域または腹側にまわりこんだ辺縁域から生じた病巣が前線維筋間質に浸潤していれば、癌の疑いが高くなる。この領域は、急増しているT<sub>1c</sub>腫瘍の発生する頻度が高いとされている<sup>7)</sup>(Fig. 1)。また、移行域と辺縁域の境界にある外科的被膜の破壊を伴って低信号病巣が辺縁域から移行域に連続的に広がる場合は、癌が疑わしい。

### b) ダイナミック造影MRI

ダイナミック造影MRIでは前立腺癌は早期に濃染し(Fig. 1)、後期相でwashoutを呈するパターンが典型的である<sup>8)</sup>。時間分解能が低いダイナミック撮像法であっても、washoutは比較的とらえやすい所見である。

### c) 拡散強調像

拡散強調像は水分子の拡散運動をMRIによって画像化する方法である。前立腺癌病巣は他の臓器の癌と同様に、拡散低下域として描出されることが多い。見かけの拡散係数apparent diffusion coefficient(ADC)値を測定すると、辺縁域のみならず移行域においても、癌病巣は健常部に比較してADC値が低い傾向にある<sup>9)</sup>(Fig. 1)。これらの群間のADC値にはオーバーラップがあるものの、ADC値が高くなっている部分を狙って生検を行うことで、特に移行域で陽性的中率改善の可能性はある。ダイナミック造影とは異なり、造影剤を使うことなく有用な情報が得られることも利点である。

### d) プロトンMRS

プロトンMRSにより、健常な辺縁域には2.6 ppmの位置にクエン酸ピークを同定することができる。一方、前立腺癌細胞は健常前立腺細胞と代謝経路が異なるため、クエン酸の貯留はほとんどない。前立腺癌では旺盛な膜合成と破壊、細胞密度の上昇などを示唆するコリンピーク(3.2 ppm)が増高し、クエン酸ピークは低下する。移行域は腺組織だけでなく線維・筋組織も混在し、辺縁域よりもクエン酸ピークが低下、コリンピークが増高する傾向にあり、癌と良性病変の鑑別は難しい。3T装置で2種類のTE(90 ms, 145 ms)を用いて測定したMRSをFig. 2に示す。90 msではクエン酸ピークは下向き、145 msでは上向きとなる<sup>4)</sup>。前立腺左葉の腫瘍部ではクエン酸のピークの低下が目立つ。145 msの条件で得られた腫瘍部の一つのボクセルを拡大するとコリンピークが増高が明らかである。

## 3) 前立腺癌の局所病期診断

### a) 被膜外浸潤のMRI所見

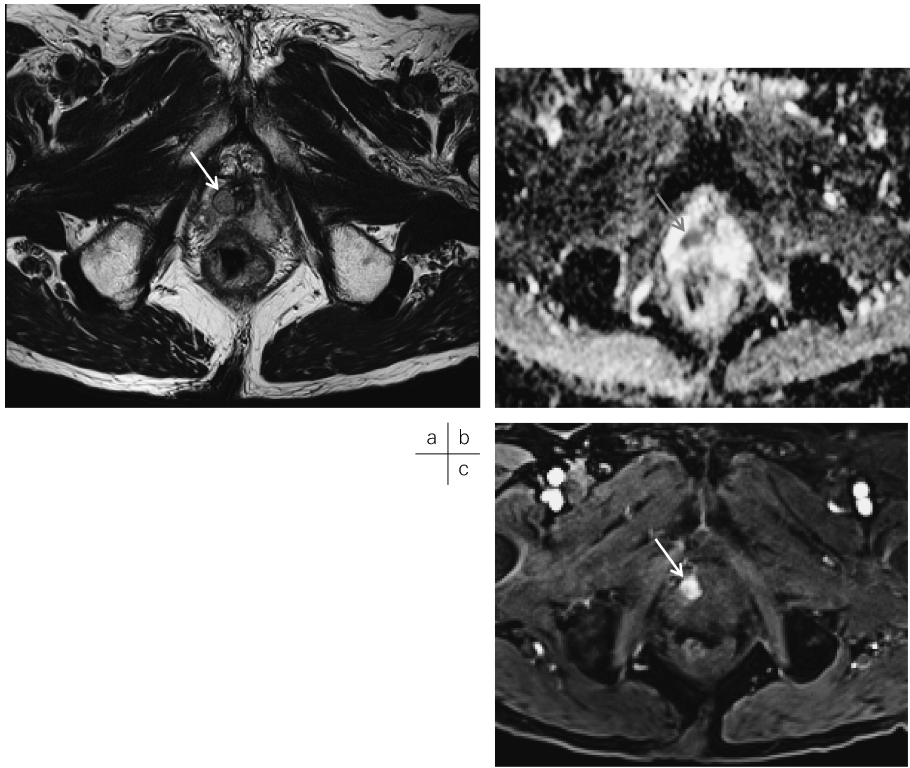


Fig. 1. Prostate cancer at apical portion

a : T<sub>2</sub>-weighted axial image

b : ADC map (b value = 1,000 s/mm<sup>2</sup>)

c : Dynamic contrast enhanced T<sub>1</sub>-weighted axial image with fat suppression (arterial phase)

On T<sub>2</sub>-weighted image, intermediate signal intensity mass with capsule is depicted in right peripheral zone at apical portion (arrow).

The mass demonstrates low-ADC and early enhancement (arrow).

Despite the existence of capsular structure, prostate biopsy revealed prostate cancer.

T<sub>2</sub>強調像で辺縁域内の低信号病巣により被膜が断裂し不整に外方に膨隆している場合は、被膜外浸潤を強く疑う (Fig. 3)。幅広く病巣と被膜が接している場合にも被膜外浸潤の可能性はあるが、疑いの度合いは前者よりは低くなる。

前立腺の背外側で、直腸、肛門挙筋に囲まれた領域には脂肪が存在する。もし、T<sub>1</sub>強調像で腫瘍から連続した低信号構造により、この脂肪が消失し神経血管束が同定できない場合や、患側の神経血管束が偏位し左右非対称な形態を

呈する場合は、被膜外浸潤が予想される<sup>10)</sup>。

#### b) 隣接臓器浸潤のMRI所見

精囊に癌が浸潤した場合は、T<sub>2</sub>強調像で低信号域として描出され、ガドリニウム造影像で増強効果を呈する。なお、高齢者では精囊液の変性やアミロイドの沈着により、T<sub>2</sub>強調像で低信号を呈することがあり、腫瘍の浸潤を除外するためにはガドリニウム造影が役立つ。

他に前立腺に隣接する臓器としては、膀胱と直腸がある。膀胱と直腸は管腔臓器であり、T<sub>2</sub>強調像で固有筋層が低信号を呈する。前立

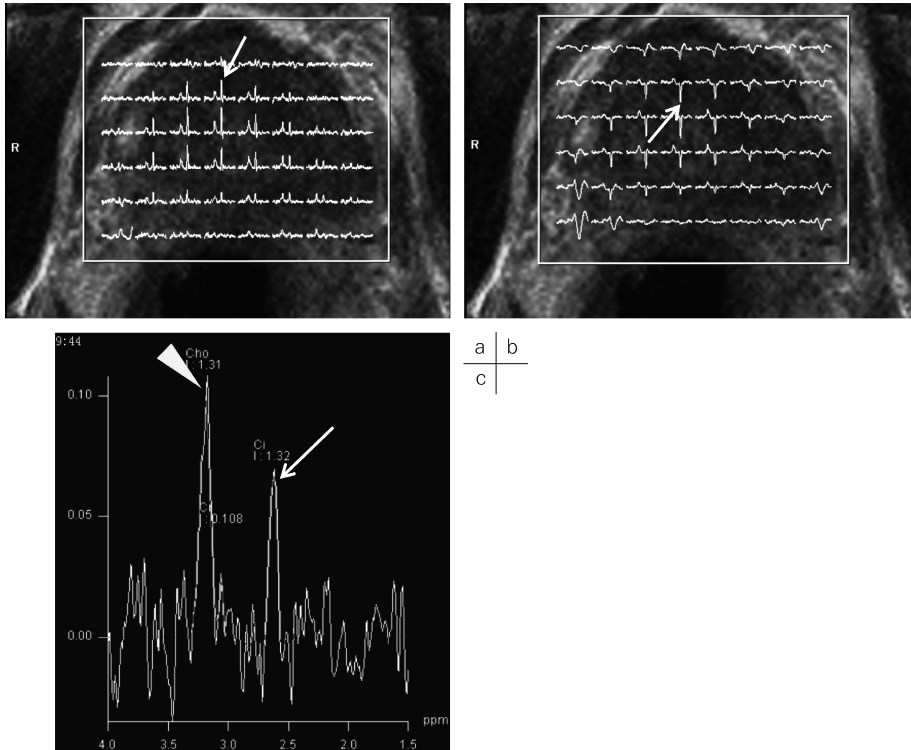


Fig. 2. MR spectroscopic findings of left-sided prostate cancer using a phased-array coil  
 a : 3D-PRESS-CSI (TE = 145 ms) spectral map overlaid on T<sub>2</sub>-weighted image.  
 b : 3D-PRESS-CSI (TE = 90 ms) spectral map overlaid on T<sub>2</sub>-weighted image  
 c : Spectrum in cancer voxel (TE = 145 ms)  
 The shape of citrate peak is affected by TE. The citrate peak is upright with TE of 145 ms, and is inverted with TE of 90 ms (arrow).  
 Spectrum in cancer voxel show elevated choline peak (arrow head) and decrease citrate peak (arrow).

腺癌の浸潤を評価するためには、癌により筋層を表す低信号線が断裂しているか否かを見る。

### 膀胱腫瘍

#### 1. 求められる情報とモダリティ

血尿患者に対して膀胱鏡前に腫瘍の検出目的、あるいは腫瘍がどのような性状かを評価するために画像検査が行われることもあるが、基本的に膀胱腫瘍の検出は膀胱鏡で行われ、画像検査は病期診断を担う。特に壁にどのくらい浸

潤しているか深達度診断が求められる。深達度診断について、大きく膀胱壁外へ浸潤しているものはCTで診断可能だが、壁にとどまる場合は、MRIの方が優れる。

膀胱癌以外の腫瘍の性状評価には、コントラスト分解能に優れたMRIが役立つ。平滑筋腫、褐色細胞腫などの膀胱に生じ得る腫瘍の他に、内膜症性嚢胞が膀胱壁に腫瘤を形成したり、腸管からの炎症が膀胱壁に波及し膿瘍形成を伴ったりすることもある。これらは比較的特徴的なMRI所見を呈することが多い。



Fig. 3. Prostate cancer with extracapsular extension  
T<sub>2</sub>-weighted axial image  
T<sub>2</sub>-weighted image shows low signal intensity lesion in left peripheral zone.  
Disruption of prostatic capsule (arrow) and irregular bulging (arrow head) indicate extracapsular extension.

## 2. 3T 用シーケンス例と工夫

- ① T<sub>2</sub>強調像：高速スピネコー法により横断像を撮像する。スライス厚 5～6 mm, FOV 300 mm, マトリックス数 384×268。膀胱内腫瘍が認識できない場合は矢状断方向の撮像を追加する。
- ② T<sub>1</sub>強調像：高速スピネコー法により、T<sub>2</sub>強調像と同様な条件で横断像を撮像する。
- ③ 拡散強調像：EPSE 法により b 値 1000 (s/mm<sup>2</sup>) で横断像を撮像。
- ④ T<sub>2</sub>強調斜位像：T<sub>2</sub>強調横断像または矢状断像を基準として、膀胱腫瘍基部の壁に垂直な方向の撮像を行う
- ⑤ ダイナミック造影：高速 3 次元グラジエントエコー法により、横断方向で造影前、35 秒後、65 秒後、95 秒後、125 秒後に撮像。

壁浸潤の評価をする場合は、ケミカルシフトアーチファクトに注意し、必要があれば位相方向、周波数方向を入れ替える。腸管蠕動のアーチファクトも 1.5T 装置よりも強く描出され病変のように見えることもあるので注意する。

## 3. 正常解剖と疾患例

### 1) 正常解剖

膀胱は腹膜の下面、恥骨の背側に存在し、頂部は尿管の遺残物である正中臍索に連続する。左右の尿管口と内尿道口を結ぶ領域を膀胱三角部と呼び、他の膀胱壁に比較して厚い。また、左右の尿管口を結ぶ膀胱三角部後縁にはひだ状の高まりがあり、尿管間稜と呼ぶ。これを小さな膀胱腫瘍と誤認してはならない。膀胱壁は粘膜、粘膜下層、筋層に分かれ、ダイナミック MRI で粘膜・粘膜下層が先に造影され、筋層は緩徐に弱い増強効果を呈する。膀胱周囲には豊富な静脈叢が存在する。膀胱壁の厚さはケミカルシフトアーチファクトにより修飾される (Fig. 4)。

### 2) 膀胱癌

膀胱癌は移行上皮癌が 90% 以上を占める。乳頭状の形態を呈することが多いが、広基性の場合には深い筋層浸潤を伴うことがある。T<sub>2</sub>強調像で膀胱筋層よりもやや高い信号を呈するため、膀胱筋層内に深く浸潤すれば、低信号の筋層が断裂したように見える。筋層を越えて周囲脂肪組織への肉眼的な浸潤がある場合には、脂肪組織の信号が欠損して見え診断が容易だが、軽微な周囲脂肪組織浸潤の診断は困難である。また、ダイナミック造影像では、粘膜および粘膜下層の増強効果を呈する線を基準として、筋層浸潤の有無を判定する。造影剤投与後 90 秒くらいのコントラストが診断に適している。シーケンスのところで述べたが、撮像断面の選択が筋層浸潤の評価に非常に重要である<sup>11)</sup>。拡散強調像は尿に接する腫瘍を良好に検出でき、病期診断にも役立つ可能性がある<sup>12)</sup>。

### 3) 尿管癌

下部尿管癌が尿管口を越えて膀胱内に腫瘍を形成することがある。尿管と膀胱内腫瘍の位置関係を適切な断面で把握するためには、薄いスライス厚による撮像が役立つ。

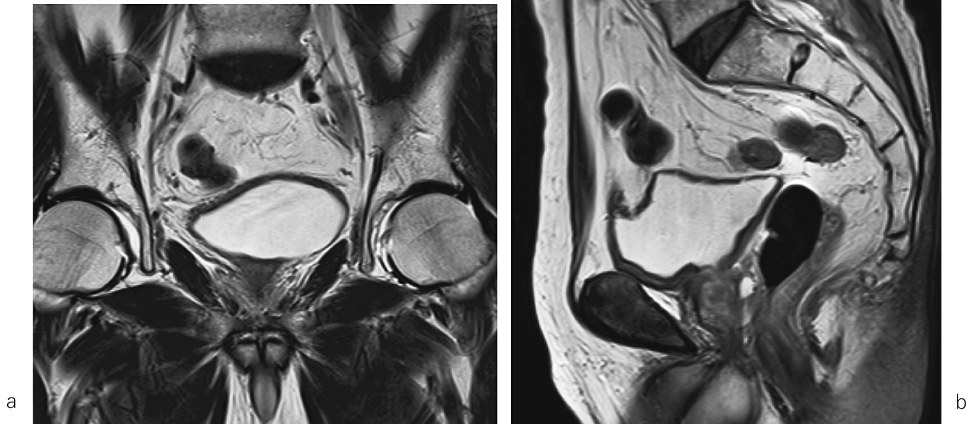


Fig. 4. Changes of bladder wall thickness due to chemical shift artifact  
a : T2-weighted coronal image  
b : T2-weighted sagittal image  
Superior bladder wall is thickened in coronal image, but thin in sagittal image.  
This finding is based on chemical shift artifact.

## 腎 腫 瘍

### 1. 求められる情報とモダリティ

腎腫瘍が疑われる患者に対しては、通常マルチスライスCTを用いてダイナミック造影CT検査が行われる。腎動脈・腎静脈が何本あるか、腫瘍が腎臓内部のどこに局在するかはほとんどダイナミック造影CTで評価可能である。良性・悪性の判断については、富血管性である淡明細胞癌ならばCTで評価できるが乳頭状腎細胞癌は増強効果が弱いので、MRIの方が増強効果を評価しやすい。乳頭状腎細胞癌ではT<sub>2</sub>強調像での低信号も参考になる<sup>13)</sup>。また、静脈内進展の有無、静脈内腫瘍栓の先端の高さ、他の臓器への浸潤などの評価にはCTよりもMRIが分かりやすい場合がある。ただし、息止め撮像が上手くできないと、画質の劣化につながる。

腎実質から生じた腫瘍が腎洞内へ進展した場合と腎盂腫瘍が腎へ浸潤した場合を鑑別することは、治療方針を決定する上で非常に重要である。腫瘍と尿路の関係を把握するために撮像方

向を適切に決定することが求められる。腎盂壁の肥厚や不整な腫瘍形成の有無についてはCT・MRIともに評価可能である。マルチスライスCTの場合、得られたデータを後から任意の方向に容易に再構成し直すことができる。MRIでは、撮影前に方向を決定しなければならないが軟部コントラスト分解能が優れており、腫瘍と正常構造の客観的な評価がしやすい。

### 2. 3T用シーケンス例と工夫

① T<sub>2</sub>強調像：息止め下に half Fourier single-shot turbo spin echo (HASTE) 冠状断像を撮像。その後、prospective acquisition correction (PACE) 併用高速スピノエコー法による横断像を撮像。スライス厚は4 mm, FOV 350 mm, マトリックス 384×268。腎臓は頭尾方向に長い臓器であるため、上極や下極の腫瘍をどの方向で評価しやすいのか、腎盂と腎腫瘍の関係を見るにはどの方向がよいか、を知るため、最低2方向は撮像する。

② T<sub>1</sub>強調像(in-phase 像, out of phase 像)：息止め下に高速3次元グラジエントエコー Dixon 法で撮像している。スライス厚は3 mm, TE

は 1.23, 2.49 ms と in-phase, out of phase とともに第 1 エコーを取得するようにしている。第 1 エコーを取得するには、高い受信バンド幅が必要だが、FOV や位相エンコード数、specific absorption rate (SAR) との関係から、第 1 エコーを取得できないこともある。また、息止め撮像が十分できない場合は、呼吸同期を併用したり、in-phase 像、out of phase 像を別々に撮像することもある。撮像方向は横断像を基本とするが、腫瘍からの連続性を評価したい構造物(腎盂、副腎、肝臓、腎静脈など)が分かりやすい方向の撮像を追加する。

③ 拡散強調像：EPSE 法により b 値 800 s/mm<sup>2</sup> で撮像

④ ダイナミック造影像：高速 3 次元グラジエントエコー法により撮像。腫瘍の存在位置により、撮像方向を横断にするか冠状断にするかを判断する。

### 3. 正常解剖と疾患例

#### 1) 正常解剖

腎実質は皮質と髄質に分かれ、T<sub>1</sub> 強調像では皮質が髄質よりも軽度高い信号を呈する。皮質には近位尿管、ボウマン嚢が存在し、髄質には遠位尿管や集合管が存在する。腎乳頭は腎杯に開く。血流は髄質よりも皮質の方が多いため、動脈相(皮質髄質相)では皮質は強い増強効果を呈する。腎門部には、動脈、静脈、尿管といった管状構造が存在する。

3T 装置では、励起の不均一性により、左右の腎臓の信号強度が異なることがよくある<sup>5)</sup>(Fig. 5)。信号むらに慣れ、わずかな信号強度の違いを判断する場合には、適切な部位と比較せねばならない。

#### 2) 腎細胞癌

腎細胞癌の 70% 程度を占める淡明細胞癌は、細胞質内に脂質を含むことが知られており、in-phase 像に比べ out of phase 像で信号低下を生じることがあり、診断の一助になる<sup>14)</sup>。ただし、全例で信号低下を生じるわけではなく、また微量の脂肪を含む血管筋脂肪腫との鑑

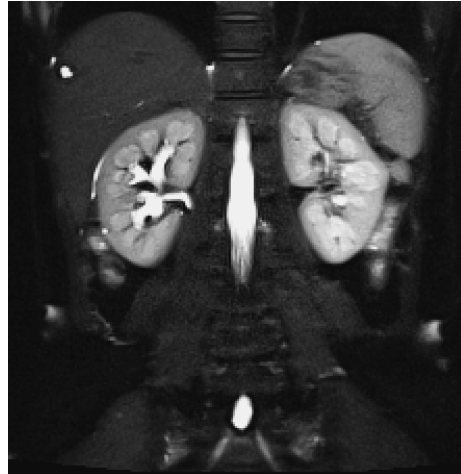


Fig. 5. Inhomogeneity of signal intensity T<sub>2</sub>-weighted coronal image with fat suppression (HASTE)  
The signal intensity of left kidney is higher than that of right kidney.  
This finding is not pathological but due to B<sub>1</sub> inhomogeneity.

別を誤らないように注意する。

Fig. 6 に淡明細胞癌の症例を呈示する。T<sub>2</sub> 強調像で左腎上極から腎門レベルにかけて腫瘍が存在する。腎実質と同等の信号を辺縁部に有し、中心部は壊死を思わせる高信号を呈する。腫瘍の辺縁部には圧排された健常血管を表す flow void が目立つ。左腎摘除術が行われ、淡明細胞癌と判明したが、本症例は out of phase 像での信号低下は見られなかった。

#### 3) 尿路上皮癌

腎盂壁に腫瘍ができた場合、尿管壁の肥厚も評価しなければならない。腎実質からできた腫瘍が腎盂に進展したのか、腎盂腫瘍が腎実質に入り込んだのかによって、治療方針は大きく異なる。血尿あり腎腫瘍を疑う、という依頼情報の場合でも、尿管を丹念に観察する(Fig. 7)。下部尿管腫瘍は、骨盤内の脈管と見誤りそうになるが、3T では広い FOV であっても辺縁まで信号が高いため、よく観察する。



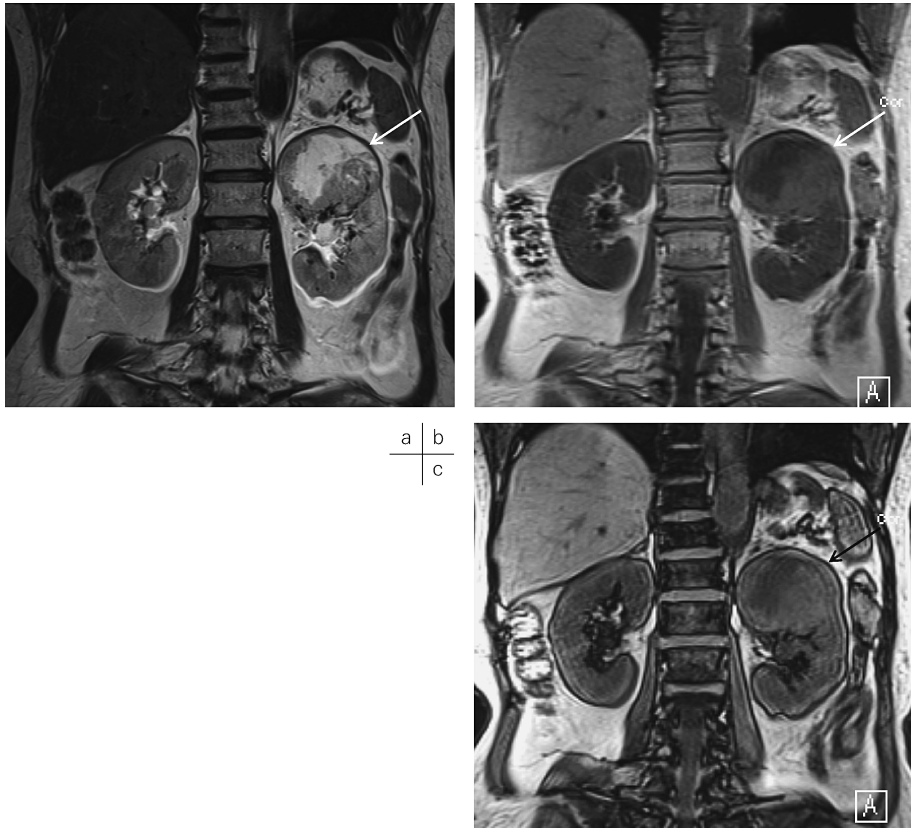


Fig. 6. Left-sided renal cell carcinoma (clear cell type)

a : T<sub>2</sub>-weighted coronal image

b : in-phase image (TE=2.45 ms)

c : out of phase image (TE=1.225 ms)

The central part of left renal mass demonstrates high signal intensity and the peripheral part does intermediate signal intensity on T<sub>2</sub>-weighted image (arrow).

However the mass does not show lower signal intensity on out of phase image than that on in-phase image, pathological diagnosis is clear cell carcinoma.

### 副腎腫瘍

#### 1. 求められる情報とモダリティ

副腎では腫瘍の検出，副腎自体の腫大の有無の判断のために，薄いスライス厚での撮影ができるCTでまず評価されることが多い．脂質をはっきりと含有した典型的な副腎腺腫であればCTによる情報で診療を進めることができる．腺腫かどうか判断できない場合にはMRIが用

いられる．また，副腎腫瘍と紛らわしい他の臓器由来の腫瘍も生じることがある．臓器と腫瘍の位置関係から由来臓器を決定する場合，CTのみでは判断できないときにMRIのコントラストが利用される．

#### 2. 3T用シーケンス例と工夫

① T<sub>2</sub>強調像：息止め下に高速スピノエコー法を用いて横断像とHASTE冠状断像を撮像．FOV 360×360 mm，スライス厚4 mm厚．

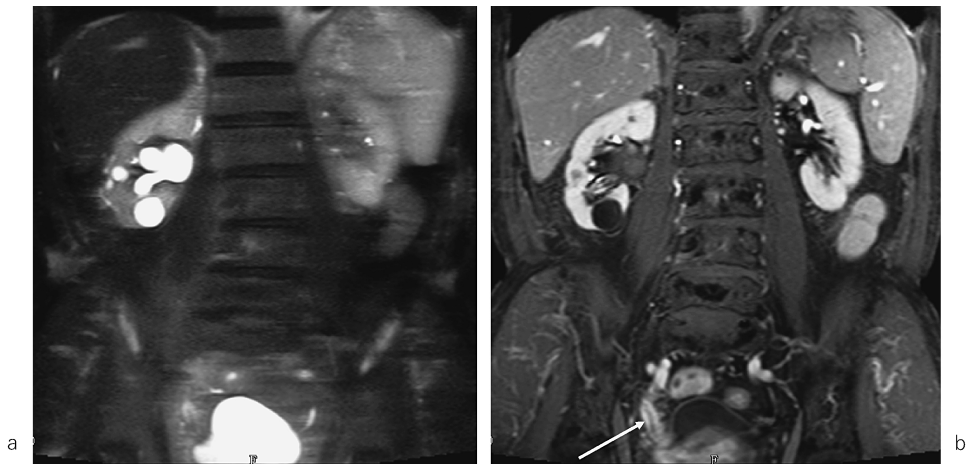


Fig. 7. Right-sided lower ureteral carcinoma  
 a : T<sub>2</sub>-weighted coronal image with fat suppression (HASTE)  
 b : Contrast enhanced T<sub>1</sub>-weighted coronal image with fat suppression  
 Right renal pelvis is dilated. Right lower ureteral wall is thickened and enhanced with contrast (arrow).  
 Note the excellent signal despite the large field of view.

② T<sub>1</sub>強調像 (in-phase 像, out of phase 像) : in-phase 像と out of phase 像を別々に撮像すると、息止めの差による位置ずれが生じやすく、副腎腫瘍のような小さい病変の信号強度を測定する際の信頼性に欠ける。このため、腎の場合と同様に、一回の息止め下に高速 3 次元グラジエントエコー Dixon 法で in-phase, out of phase とともに第 1 エコーを取得するようにしている。撮像方向は横断像を基本とし、スライス厚は 3 mm、腫瘍が見えにくい場合は、冠状断での撮像を追加する。

③ 拡散強調像：EPSE 法により b 値 800 s/mm<sup>2</sup> で撮像。

④ ダイナミック造影像：高速 3 次元グラジエントエコー法により撮像。腫瘍の描出のされやすさにより、撮像方向を横断にするか冠状断にするかを判断する。

### 3. 正常解剖と疾患例

#### 1) 正常解剖

副腎は皮質と髄質に分かれ、皮質は中胚葉、髄質はクロム親和性細胞に由来する。腎上極の

頭側前方に存在し、右副腎は肝臓、下大静脈、横隔膜などに囲まれる。左は横隔膜や腹部大動脈、膀胱、脾臓などに囲まれる。

#### 2) 副腎腺腫

最も頻度の高い副腎腫瘍。

MRI はコントラスト分解能が高いが、副腎腺腫が機能性であるか非機能性であるかの判断はできない。脂肪成分を含む副腎腺腫とそれ以外の腫瘍の区別をすることが役目となっている。副腎腺腫では細胞質内にコレステロールに由来する脂質を豊富に含むことから、out of phase 像で信号低下を生じる頻度が高いことが知られている<sup>15)</sup> (Fig. 8)。大きくなると、出血や変性で画像が修飾されることがある。

副腎の信号を比較するための対象臓器としては、肝臓や脾臓、筋肉があるが、肝臓は脂肪肝のため、筋肉も脂肪と筋が混じっている、脾臓が最も適切と考えられている。ただしヘモジデローシスの場合は、脾臓の T<sub>2</sub>\*減衰が顕著となる<sup>16)</sup>。血管の拍動や腸管蠕動のアーチファクトが副腎腫瘍に重なることもあるので信号の評



Fig. 8. Right-sided adrenal adenoma  
a : T<sub>2</sub>-weighted coronal image (HASTE)  
b : in-phase image (TE = 2.45 ms)  
c : out of phase image (TE = 1.225 ms)  
Right adrenal mass (arrow) shows lower signal intensity on out of phase image than that on in-phase image.  
These findings are indicative of an adrenal adenoma.

価には注意する。

また、脂肪の存在がわかりにくい場合は、ダイナミック造影MRI（あるいはダイナミック造影CT）で腺腫は早期に造影され遅延相でwashoutされる像が典型的とされており、診断の確信度を上昇させることができる<sup>17)</sup>。

### 3) 副腎転移

副腎は、肺癌、乳癌、甲状腺、大腸などからの転移を生じやすい臓器である。担癌患者の副腎に腫瘍が発見された場合、転移なのか、腺腫なのかを判断する必要がある。腺腫は上述のごとく、out of phase像での信号低下を生じるも

のが典型的だが、転移の場合には信号低下を生じない点で鑑別可能である。ただし、原発が腎の淡明細胞癌のときは、原発病巣と同様に転移病巣も out of phase像での信号低下を生じることもあるので注意する。

### 4) 副腎褐色細胞腫

副腎褐色細胞腫は、T<sub>2</sub>強調像で高信号、造影像で強い増強効果を呈することが典型的とされている<sup>18)</sup>。副腎髄質由来であり、out of phase像での信号低下はない。若年者での発症あるいは両側性の発症の場合、家族性褐色細胞腫（多発性内分泌腫瘍2型、von Hippel-Lin-

dau 病など)を念頭に置く必要がある。

### 精巣腫瘍

#### 1. 求められる情報とモダリティ

精巣腫瘍が疑われた場合、腫瘍マーカー (AFP,  $\beta$ -hCG, LDH) のチェックと、超音波検査が行われる。充実性腫瘍が疑われた場合には、早急に高位精巣摘除術が行われる。その理由として、悪性精巣腫瘍は短期間に急速に増悪傾向を呈し、リンパ節転移、血行性転移を生じやすいためである。また、時間をかけて病期診断をしたとしても、高位精巣摘除術という最初の治療は変わらないことも理由の一つである。よって、精巣腫瘍で画像による精巣局所の病期診断の意義は低い。治療前に MRI が依頼される理由としては、病期診断よりも悪性か良性の鑑別のためであることが多い。もし、自信をもって良性腫瘍と評価できれば、高位精巣摘除術でなく精巣内腫瘍核出術が施行されることもある。

#### 2. 3T 用シーケンス例と工夫

① T<sub>2</sub>強調像：高速スピネコー法により横断像・冠状断像・矢状断像を撮像する。これらの内、一部は脂肪抑制法を併用する。FOV 220 mm, スライス厚 4 mm. マトリックス数 320 × 320.

② T<sub>1</sub>強調像：高速スピネコー法により、T<sub>2</sub>強調像と同様な条件で横断像を撮像する。

③ 拡散強調像：EPSE 法により b 値 1000 s/mm<sup>2</sup> で撮像。スライス厚 3 mm.

④ 脂肪抑制 T<sub>1</sub>強調造影像またはダイナミック造影像：血流障害や血管原性腫瘍が疑われるときなどはダイナミック造影を行うことがある。撮像方向は、T<sub>2</sub>強調像で病変が明瞭に描出された方向を基本とする。スライス厚 4 mm.

#### 3. 正常解剖と疾患例

##### 1) 正常解剖

精巣は白膜で覆われ、精巣中隔で多数の小葉に分けられる。精巣縦隔に管が集まり、精巣上体管に移行する。精巣は T<sub>2</sub>強調で高信号部分がほとんどで、精巣縦隔が低信号となる (Fig. 9)。精巣上体は精巣縦隔の部分を中心に精巣に寄り添うように存在するベレー帽状の腫瘍



Fig. 9. Normal anatomy of the testis and epididymis

a, b : T<sub>2</sub>-weighted sagittal images.

The mediastinum of testis is visualized as low signal intensity area (arrow). The signal intensity of epididymis is lower than that of testis (arrow head).

で、精巣よりもやや信号が低い。

## 2) 精巣セミノーマ

最も頻度の高い精巣腫瘍である。大きさが小さいときはT<sub>2</sub>強調像で周囲よりも低信号を呈する結節として描出され、造影像で結節間の隔壁様構造が増強効果を呈する。腫瘍が大きくなると結節構造がわかりにくくなることもある。

## 3) 精巣悪性リンパ腫

悪性リンパ腫は精巣腫瘍の5%を占めており、ほとんどが非ホジキンリンパ腫である。60歳以上では、精巣腫瘍の中で悪性リンパ腫の頻度が最も高くなる。精巣悪性リンパ腫は、びまん性、対称性の精巣腫大として描出されるが、腫大のない限局性腫瘤として描出されることもある。また、精巣上体や精索へ進展しやすい。MRIでは、正常精巣に比してT<sub>1</sub>強調像で等信号、T<sub>2</sub>強調像では低信号を呈し (Fig. 10)、造影像では精巣縦隔から放射状に伸びる線状構造が病巣内部に描出されることもある<sup>19)</sup>。これは、正常構造の破壊がないことを表す所見である。鑑別診断はセミノーマだが、

セミノーマで認められることの多い内部の隔壁構造がはっきりしないときは、両者を鑑別することは困難である。

## 4) 精巣類上皮腫

表皮型の重層扁平上皮に覆われた良性腫瘍で、内部は角化物で満たされている。超音波のみでは他の充実性精巣腫瘍との鑑別が困難である。MRIでは、低信号の薄い壁をもった嚢胞性腫瘤として描出され、造影MRIでは壁のみ造影される。内部は角化物を反映した性状で、拡散強調像での高信号が特徴的である。ただし、精巣はもともと拡散強調像で高信号を呈する臓器であるため、拡散強調像のみでは健常部との差はわかりにくい。

## おわりに

本稿を執筆するにあたり臨床症例を改めて見直したところ、3T装置のポテンシャルの高さに改めて気づかされた。前立腺以外の泌尿器・男性生殖器疾患においても、3T装置での検査

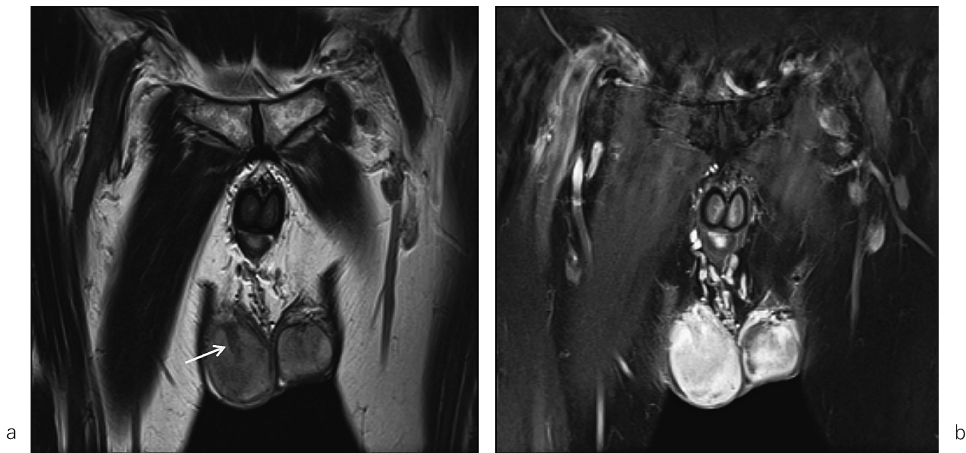


Fig. 10. Secondary malignant lymphoma of bilateral testes

a : T<sub>2</sub>-weighted coronal image

b : Contrast enhanced T<sub>1</sub>-weighted coronal image with fat suppression

On T<sub>2</sub>-weighted image, the signal intensity of bilateral testes are decreased and the mediastinum of testis are thickened (arrow). These lesions are enhanced inhomogeneously with contrast.

が望ましい場合は多数あると思われるが、1.5T 装置と比較した客観的な研究報告は少ない。例えば、3T 装置により空間分解能を高めることで1.5T 装置よりも早い段階、小さい段階で癌と診断できるかどうかを考える場合、MRI 装置の問題なのか、ソフトウェアの問題なのか、生体の特性上の問題なのか、病理診断上の問題なのか、等に切り分けた上で議論し対策を講じていく必要がある。

## 文 献

- 1) Lawrentschuk N, Fleshner N : The role of magnetic resonance imaging in targeting prostate cancer in patients with previous negative biopsies and elevated prostate-specific antigen levels. *BJU Int* 2009 ; 103 : 730-733
- 2) Pucar D, Shukla-Dave A, Hricak H, et al. : Prostate cancer : correlation of MR imaging and MR spectroscopy with pathologic findings after radiation therapy-initial experience. *Radiology* 2005 ; 236 : 545-553
- 3) Mueller-Lisse UG, Vigneron DB, Hricak H, et al. : Localized prostate cancer : effect of hormone deprivation therapy measured by using combined three-dimensional 1H MR spectroscopy and MR imaging : clinicopathologic case-controlled study. *Radiology* 2001 ; 221 : 380-390
- 4) Scheenen TW, Gambarota G, Weiland E, et al. : Optimal timing for *in vivo* 1H-MR spectroscopic imaging of the human prostate at 3T. *Magn Reson Med* 2005 ; 53 : 1268-1274
- 5) Soher BJ, Dale BM, Merkle EM : A review of MR physics : 3T versus 1.5T. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2007 ; 15 : 277-290
- 6) White S, Hricak H, Forstner R, et al. : Prostate cancer : effect of postbiopsy hemorrhage on interpretation of MR images. *Radiology* 1995 ; 195 : 385-390
- 7) Takashima R, Egawa S, Kuwao S, et al. : Anterior distribution of stage T1c nonpalpable tumors in radical prostatectomy specimens. *Urology* 2002 ; 59 : 692-697
- 8) Rouviere O, Raudrant A, Ecochard R, et al. : Characterization of time-enhancement curves of benign and malignant prostate tissue at dynamic MR imaging. *Eur Radiol* 2003 ; 13 : 931-942
- 9) Sato C, Naganawa S, Nakamura T, et al. : Differentiation of noncancerous tissue and cancer lesions by apparent diffusion coefficient values in transition and peripheral zones of the prostate. *J Magn Reson Imaging* 2005 ; 21 : 258-262
- 10) Yu KK, Hricak H, Alagappan R, et al. : Detection of extracapsular extension of prostate carcinoma with endorectal and phased-array coil MR imaging : multivariate feature analysis. *Radiology* 1997 ; 202 : 697-702
- 11) Narumi Y, Kadota T, Inoue E, et al. : Bladder tumors : staging with gadolinium-enhanced oblique MR imaging. *Radiology* 1993 ; 187 : 145-150
- 12) Takeuchi M, Sasaki S, Ito M, et al. : Urinary bladder cancer : diffusion-weighted MR imaging-accuracy for diagnosing T stage and estimating histologic grade. *Radiology* 2009 ; 251 : 112-121
- 13) Shinmoto H, Yuasa Y, Tanimoto A, et al. : Small renal cell carcinoma : MRI with pathologic correlation. *J Magn Reson Imaging* 1998 ; 8 : 690-694
- 14) Outwater EK, Bhatia M, Siegelman ES, et al. : Lipid in renal clear cell carcinoma : detection on opposed phase gradient-echo MR images. *Radiology* 1997 ; 205 : 103-107
- 15) Outwater EK, Siegelman ES, Huang AB, et al. : Adrenal masses : correlation between CT attenuation value and chemical shift ratio at MR imaging with in-phase and opposed-phase sequences. *Radiology*. 1996 ; 200 : 749-752
- 16) Merkle EM, Schindera ST : MR imaging of the adrenal glands : 1.5T versus 3T. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2007 ; 15 : 365-372
- 17) Chung JJ, Semelka RC, Martin DR : Adrenal adenomas : characteristic postgadolinium capillary blush on dynamic MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 2001 ; 13 : 242-248
- 18) Rha SE, Byun JY, Jung SE, et al. : Neurogenic tumors in the abdomen : tumor types and imaging characteristics. *Radiographics* 2003 ; 23 : 29-43
- 19) 松尾義朋 : 男性外生殖器腫瘍の画像診断. 画像診断 2001 ; 21 : 537-545

## **Magnetic Resonance Imaging of the Male Genitourinary System at 3T**

Yasushi KAJI

*Department of Radiology, Dokkyo Medical University School of Medicine  
880 Kitakobayashi, Mibu-machi, Shimotsuga-gun, Tochigi 321-0293*

Magnetic resonance (MR) imaging of the prostate at both 1.5 and 3 tesla is useful for localizing and staging prostate cancer. Except for prostate study, little has been published comparing 1.5- and 3-T MR imaging of the genitourinary system in male subjects. Nevertheless, the same advantages and disadvantages that apply to other areas of the body apply to genitourinary imaging at 3T. This review presents the current data on MR imaging of the prostate and the author's impressions about MR imaging of other genitourinary organs at 3T.