

## 前立腺MRIの最新動向

北島 一宏<sup>1)</sup>、楯 靖<sup>2)</sup><sup>1)</sup> 先端医療センターPET診療部<sup>2)</sup> 獨協医科大学放射線医学教室Magnetic resonance imaging of the prostate cancer:  
The latest trendKazuhiro Kitajima<sup>1)</sup>, Yasushi Kaji<sup>2)</sup><sup>1)</sup> PET Center, Institute of Biomedical Research and Innovation<sup>2)</sup> Department of Radiology, Dokkyo University School of Medicine

## 抄録

前立腺癌の局在診断と病期診断に関して、MRIの役割を概説した。優れたコントラスト分解能で解剖学的構造を明瞭に描出するT2強調画像を基本とし、ダイナミック造影像、拡散強調画像、MR spectroscopyなどを組み合わせて診断する。近年、高磁場MRI装置として3テスラ装置が臨床に普及し始め、1.5テスラ装置と比較して信号雑音比 (signal noise ratio : SNR) が約2倍近くなり高空間分解能かつ高コントラストの画像を得ることが出来るようになったが、小さな癌の検出能や被膜外浸潤の診断能は未だ十分とは言えない。MRIの限界を知った上で客観的評価を行うことが大切である。

## Summary

We review the role of magnetic resonance imaging (MRI) in the detection and local staging of prostate cancer. The combination of diffusion weighted images (DWI), dynamic contrast images, and proton MR spectroscopy (MRS) is useful for the detection of carcinoma. MRI provides excellent anatomic detail, although the failure to detect tiny carcinoma and capsular invasion remains a significant drawback even using 3-Tesla MRI. Physicians should be aware of the limitations and advantages of MRI.

**Key words** | Prostate cancer, MRI, 3-Tesla, cancer localization, staging

別刷請求先：〒650-0047 神戸市中央区港島南町2-2  
先端医療センター PET診療部 北島 一宏  
TEL : 078-306-1700 (代) FAX : 078-306-4324

## 1. MRIによる前立腺癌の局在診断

従来はスクリーニングとしての直腸診や腫瘍マーカーである血清前立腺特異抗原 (prostate specific antigen : PSA) の測定で異常が検出されると、超音波下での生検が行われ、その後一部の癌症例に病期診断のためのMRI検査が施行されてきた。近年、PSAを用いたスクリーニングの普及などにより、生検前にMRIで癌病巣の検出を要求される機会も増えてきた。以前は辺縁域を中心に6~8箇所程度を採取する系統的生検が行われていたが、必ずしも病巣に命中するとは限らず、全摘標本との対比では系統的6か所生検の感度は50%、陰性適中率は47%に過ぎないという報告もあった<sup>1)</sup>。MRIで局在診断能が向上すれば、標的生検による生検陽性率の改善、生検本数の減少などに役立つ可能性がある。

### (1) T2強調画像の基本と局在診断

T2強調画像は前立腺の解剖を描出できる最も基本的な撮影シーケンスであり、高空間分解能かつ高コントラストの画像を横断像を含め2方向ないし3方向撮像する。信号雑音比 (signal noise ratio : SNR) が低下しすぎない程度の薄いスライス厚 (3~5mm程度)、小さな撮像視野 (field of view : FOV)、高マトリックス数を用いる。高速spin echo法を用いるが、エコートレイン数を多くしすぎるとコントラストが悪くなり、病巣が認識しにくくなるため12以下に留める。前立腺は丸みを帯びた臓器であるため、横断像のみでは尖部や底部の病変の評価はpartial volume effectにより限界があるので、冠状段や矢状段からの観察も大切である。横断像ではスライス厚を薄くした場合、上下方向の撮像範囲が狭くなり、1回の撮像では精囊の高さから前立腺

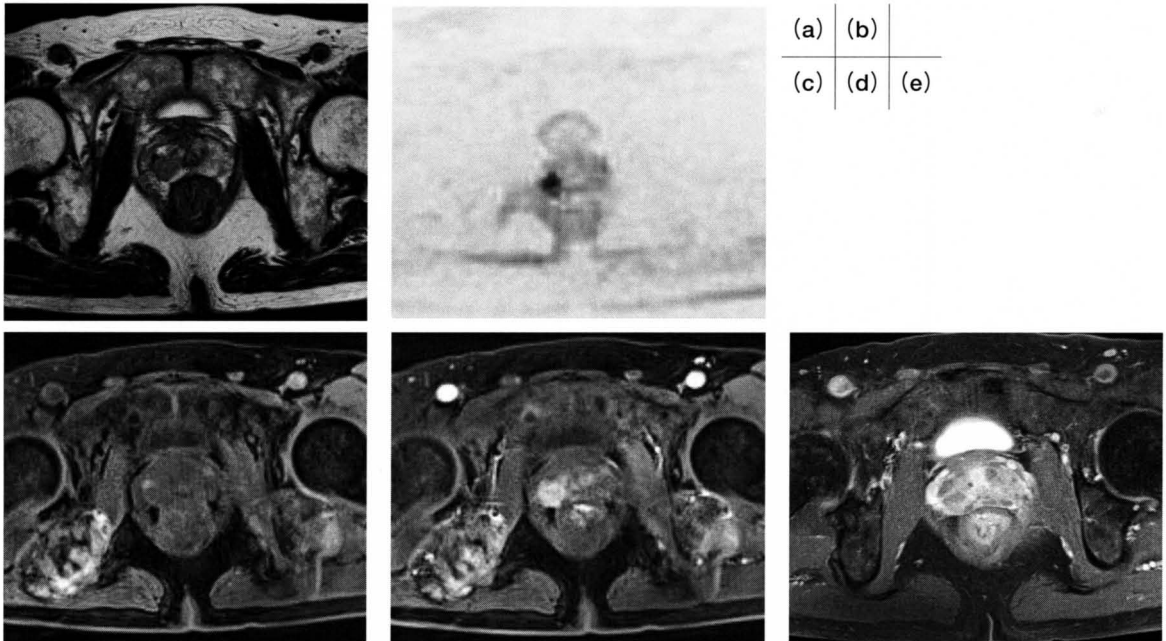


図1. 辺縁域癌 (3テスラMRI装置で撮像)

a) T2強調画像 b) 拡散強調画像 (白黒反転) c) 造影前T1強調画像 d) ダイナミック造影早期相 e) 造影後遅延相  
 a) 前立腺辺縁域の7時~9時方向にT2強調画像で低信号を呈する境界明瞭な領域があり、癌が疑われる。同部位はb) 拡散強調画像で異常信号を呈し (拡散能が低下し)、d) 早期相で早期濃染が、e) 遅延相でwash outが観察され、典型的な癌の像である。生検で同部位からGS : 4+4=8の癌が検出された。

尖部の高さ程度のスライスしか得られない。従って、冠状断を撮像し、大動脈分岐部以下のリンパ節腫大や骨盤骨の骨転移の有無をチェックすることも大切である。

前立腺癌の約7割は辺縁域に発生する。高齢者の正常な辺縁域はT2強調画像で高信号を呈し、一方で癌は低信号を呈するので、辺縁域癌は比較的検出しやすい(図1)。腫瘤様の形態をとり既存の構造(外科的被膜や前立腺被膜)を超えて発育する腫瘍の診断は容易であるが、サイズが小さい場合はT2強調画像で同じく低信号を呈する炎症性変化、限局性萎縮、出血、前立腺肥大症による圧迫も伴う変化などとの鑑別が問題となる。炎症は導管に沿った形で広がるが多く、線状、楔状など境界が直線状であり、淡い信号低下であれば炎症が疑われる。残りの約3割は移行域に発生する。移行域は前立腺

肥大症の好発部位であり、T2強調画像での信号は低信号と高信号が混在していることが多く、小さな癌が併存していても検出は困難なことが多い。一方、T2強調画像の画質が良く、丹念に解剖学的構造を観察すれば検出できることもある。サイズが大きく内部が無構造の低信号病巣で、被膜様構造を伴わず、外科的被膜や前線維筋間質を破壊して拡がる癌の場合は検出しやすい(図2)。

T2強調画像のみでは癌の局在診断に関する正診率が低く、ダイナミック造影像、proton MR spectroscopy (MRS)、拡散強調画像(diffusion weighted image: DWI)などを追加すると診断能が向上する。また受信コイルについても、phased array coilだけでなく、経直腸コイルを追加して撮像した方が正診率が高いが、どの段階までの精査を目指すかは個々の施設の考え方によるところが

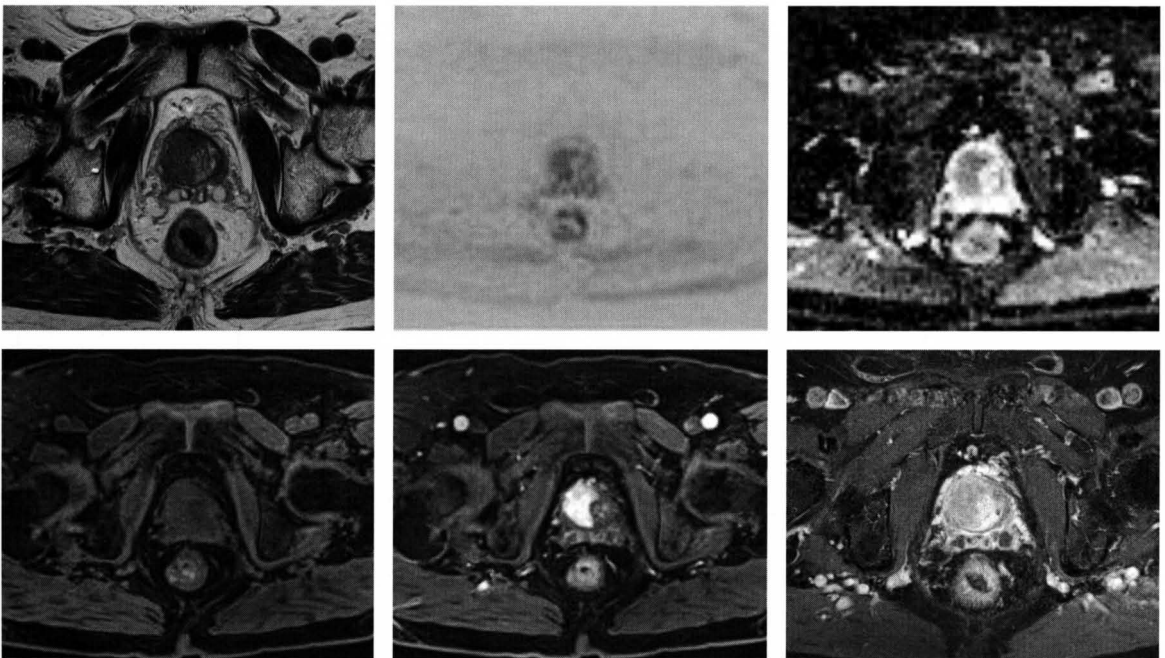


図2. 移行域癌(3テスラMRI装置で撮像)

a) T2強調画像 b) 拡散強調画像(白黒反転) c) ADC map

d) 造影前T1強調画像 e) ダイナミック造影早期相 f) 造影後遅延相

a) 前立腺移行域の右側に被膜様構造を伴わないT2強調画像で無構造の低信号域があり、癌が疑われる。同部位はb) 拡散強調画像で異常信号とc) ADC mapで低信号を呈し(拡散能が低下し)、e) 早期相で早期濃染が、f) 遅延相でwash outが観察され、典型的な前立腺癌の像である。生検が施行され、GS4+5=9の癌が検出された。

(a)	(b)	(c)
(d)	(e)	(f)

大きい。欧米では経直腸コイルを使用している施設が多いが、国内ではphased array coilを用いている施設がほとんどである。経直腸コイルは前立腺とその周囲の限られた範囲の評価にはすぐれるが、侵襲的で時間がかかり、リンパ節転移や骨転移の検出は難しい。Phased array coilは局所に関してはやや劣るものの、広い範囲を観察できるという利点がある。両者を組み合わせたintegrated coil systemを用いることが理想的である。しかし、時間や費用などを考えるとphased array coilを標準として用い、詳細な所見を評価したい場合やMRSを施行する場合は経直腸コイルを使用するのが現実的と考える。

## (2) ダイナミック造影撮像の基本

ダイナミック造影で前立腺癌は辺縁域由来であっても移行域由来であっても、早期に濃染し後期相でwash outを呈することが多く(図1、2)、T2強調画像で分かりにくい小病変の拾い上げに役立つ。欧米からは時間分解能を優先し、少ない撮像断面数を2~3秒ごとに撮像を繰り返してtracer kinetics modelを用いた詳細な定量評価を行う方法の報告が多いが煩雑である<sup>2,3)</sup>。最近では、MRIコンソール上やワークステーション上で簡便に解析することができるソフトも普及しているが、国内では前立腺全体を20から30秒間隔で複数相撮影して視覚的に評価している施設のほうが多いと思われる。この視覚的な評価方法でも高い診断成績が報告されている<sup>4)</sup>。最新のMRI装置では薄いスライス厚および高マトリクス数を使用したGRE系の3D撮影が可能であり、横断像で撮影する。

## (3) MR spectroscopy (MRS) の基本と注意点

MRSは生体内の化学物質や代謝情報を非侵襲的に、同定および定量できる撮像法である。正常辺縁域では2.6ppmの位置にクエン酸ピークが明瞭に同定できる。一方、前立腺癌では旺盛な膜合成と破壊を示唆するコリンピーク(3.2ppm)が増加し、クエン酸ピークが減少する。経直腸コイルを用いた1.5テスラ装置では辺縁域の場合、(コリン+クレアチン)/クエン酸比(ピーク下面積比)が0.86以上あれば、癌の疑いが強くなるという基準が1996年に既に報告されている<sup>5)</sup>。Wangらは、主要7論文によるmeta-analysis解析を行い、(コリン+クレアチン)

/クエン酸比が0.75以上を癌とした時の感度は82%(95%信頼区間:73%~89%)・特異度は68%(58%~76%)、0.86以上を癌と定義した時の感度は64%(55%~72%)・特異度は86%(79%~91%)と報告している<sup>6)</sup>。移行域では肥大症の影響があり評価が難しいことが多いが、クエン酸ピークが消失しコリンピークしか同定できない場合は癌の疑いが高い。また、MRSでは癌検出以外の情報として、悪性度を評価できる可能性がある。Zakianらは、コリン+クレアチン/クエン酸の値とGleason score(GS:病理学的な悪性度の指標)との間に良好な相関関係を証明している<sup>7)</sup>。以前は、拡散強調画像やダイナミック造影法が普及しておらず、MRSも病変の良性悪性の鑑別に用いられることが多かった。近年は、癌の検出に関しては短時間で情報が得られる拡散強調画像やダイナミック造影法が利用できるのも、ボクセル体積の大きいMRSは生検や治療前の悪性度評価や、ホルモン治療後・放射線治療後の効果判定・再燃診断などに用いるほうが有用性が高いと考えられる。

## (4) 拡散強調画像撮像の基本と注意点

拡散強調画像は水分子の拡散運動を画像化する方法である。他の臓器の癌と同様に、前立腺癌は細胞内および細胞外ともに水分子の拡散能が低下するので、辺縁域癌・移行域癌ともに拡散低下域として描出される。病変の拾い上げに役立つが、必ずT2強調画像やダイナミック造影など他の画像と比較して利用するように心掛ける(図1、2)。拡散強調画像から算出される見かけの拡散係数(apparent diffusion coefficient: ADC)値を測定すると癌部と非癌部のADC値の間に統計学的有意差が存在すると報告されている<sup>8)</sup>が、オーバーラップが存在することを念頭において利用する。また、ADC値を使わない視覚的な評価でも十分な診断能が報告されている<sup>9)</sup>。造影剤を使用することなく3~4分程度で骨盤内全体をカバーできる撮像手法なので、前立腺局所だけでなく、骨転移、精嚢転移、リンパ節の評価も可能である。但し、精嚢については内容液の変性や出血の有無などによって画像が修飾される。また、リンパ節に関しては転移の見られない正常のリンパ節も異常信号を呈するので、リンパ節の位置、数の確認などにとどめ、良悪の鑑別については他のシーケンスを参考にする。拡散強調画像は、

元来SNRが低いので、FOVおよびマトリクス数に余裕を持たせる必要があり、撮像時間が多少延長するが加算回数も5回前後に設定してできるだけSNRを高く保つ工夫をする。我々は3軸印加のSingle-shot EPIを横断像で撮像している。T2強調像と比べやすいようにT2強調像と同じスライス厚・スライス間隔で撮像するという考え方と、できるだけスライス厚を薄くしvolume dataと取得するという考え方がある。大きなb値を用いるほど純粋な拡散強調画像に近づくが、TEの延長や強力な傾斜磁場(motion probing artifact:MPG)を印加することにより発生する渦電流の影響により、SNRが低下したり、歪みなどのアーチファクトが増強し、かえってADC値の信頼性が低下することも考えられる<sup>10)</sup>。b値は、1.5テスラ装置なら800~1,000、3テスラ装置ならSNRに比較的余裕があるので1,000~2,000に設定し、撮像している。

(5) 各種局在診断能について

前立腺癌の検出におけるMRIの有用性を検討し

た文献報告は数多く見られる<sup>4, 9, 11~17)</sup>が、対象集団の病期や数、解析が患者単位か領域単位かそれとも病変単位か、gold standardが全摘標本か生検か、コイルが体幹部phased arrayコイルのみか経直腸コイルも使用されているのか、MRI装置が1.5テスラ装置か3テスラ装置か、小さな病巣も含めるのか否か等の因子により、診断成績は大きく変わってくるので、各論文を比較するには注意が必要である。表1に手術症例のみを検討した過去の論文報告を列挙した<sup>4, 9, 11~16)</sup>。およそT2強調画像のみだと24~66%、ダイナミック造影法だと60~74%、MRSだと77~81%、拡散強調画像だと71~84%程度の感度と報告されており、いずれもT2強調画像単独と比較して、ダイナミック造影法、MRS、拡散強調画像などを追加すると診断能が向上するという報告である。また、生検をgold standardにした患者単位の検討であるが、本邦からTanimotoらがPSA高値により前立腺癌が疑われた83人の存在診断をT2強調画像のみ、T2強調画像と拡散強調画像の組合せ、T2強調画像と拡散強調画像とダイナミック

表1. 前立腺癌検出に関する過去の文献報告(手術症例のみの報告)

装置とコイル	対象		T2強調画像	ダイナミック造影	MRS	拡散強調画像
Girouin <sup>4</sup>	1.5T Phase array	46人920領域	感度	24%	60%	
			特異度	98%		
Lim <sup>9</sup>	1.5T 経直腸	52人624領域	感度	67~74%		81~88%
			特異度	77~79%		88~89%
			正診率	77%		86~88%
Futterm <sup>11</sup>	1.5T 経直腸	34人476領域 (0.5cm <sup>3</sup> 以上の病巣のみ)	感度	52~67%	69~74%	77~80%
			特異度	73~74%	96%	84~87%
			正診率	69~71%	90~91%	82~85%
Yoshimitsu <sup>12</sup>	1.5T Phased array	37人222領域	感度	53%		71%
			特異度	60%		61%
Testa <sup>13</sup>	1.5T 経直腸	26人156領域	感度	54%		81%
			特異度	75%		67%
			正診率	61%		76%
Yu <sup>14</sup>	3T Phased array	21人126領域	感度	36%	46%	
			特異度	85%	94%	
Kim <sup>15</sup>	3T Phased array	37人68病変 (0.5mL以上の病変のみ)	感度	66%		84%
			陽性適中率	63%		86%
Heijmink <sup>16</sup>	3T Phased array  経直腸	46人	感度	41~45%		
			特異度	85~86%		
			正診率	76%		
			感度	53~58%		
			特異度	83~86%		
			正診率	76~80%		

造影の組合せの3通りでprospectiveに比較検討した結果、T2強調像のみだと感度73%・特異度54%・正診率64%、T2強調画像と拡散強調画像の組合せで感度84%、特異度85%・正診率84%、T2強調画像と拡散強調画像とダイナミック造影法の組合せで感度95%・特異度74%・正診率86%と報告している<sup>17)</sup>。しかし、前立腺癌のスクリーニングにMRIを用いることはいまだエビデンスが確立しておらず、今後多施設におけるprospectiveな研究が必要である。

## 2. 小さな前立腺癌の局在診断

一般的に前立腺癌は小さな高分化腺癌として始まり、次第にサイズが大きく、分化度が低くなっていく。前立腺癌は特殊な癌で、他の領域の癌と違い、natural historyが長く顕在化しない潜在癌が少なくない。腫瘍容積が $0.5\text{cm}^3$ 以下で、低分化癌を含まず、完全に前立腺被膜内に限局した前立腺癌は一般に、患者の生命や生活を脅かす可能性は低いとされている<sup>18)</sup>。サイズが小さければ小さいほど、また分化度が高ければ高いほど、MRIでの検出率が悪くなることが報告されている<sup>4, 14)</sup>。Girouinらは、phased array coilを用いた1.5テスラ装置と全摘標本との対比で、病巣119個の大きさ別、Gleason score別の検出感度も算出している<sup>4)</sup>。体積 $0.3\text{cc}$ より大きな病巣49個の感度はT2強調画像で57%、ダイナミック造影像で81%だが、体積 $0.3\text{cc}$ 以下の小さな病巣70個の感度はT2強調画像で11%、ダイナミック造影像で27%と極端に悪くなる。GS8以上の病巣9個の感度はT2強調画像で71%、ダイナミック造影像で97%だが、GS7の病巣26個の感度はT2強調画像で65%、ダイナミック造影像で81%、GS6以下の病巣84個の感度はT2強調画像で15%、ダイナミック造影像で34%と極端に悪くなることが報告されている。また、Yuらは、phased array coilによる3テスラ装置と全摘標本との対比で、病巣81個の大きさ別検出感度も算出している<sup>14)</sup>。体積 $0.5\text{cc}$ より大きな病巣26個の感度はT2強調画像で35%、ダイナミック造影像で77%、体積 $0.2\text{cc}$ 以上～ $0.5\text{cc}$ 以下の病巣8個の感度はT2強調画像で38%、ダイナミック造影像で63%、体積 $0.2\text{cc}$ 未満の小さな病巣47個の感度はT2強調画像で4%、ダイナミック造影像で17%と極端に悪くなる。サイズの小さな早期癌の検出率が悪いのは空間分解能の限界が主たる

原因と思われるが、GSが低いほど、辺縁域癌も移行域癌もT2強調像での低信号の度合いが目立たなくなるために、検出しにくいという報告もある<sup>19)</sup>。

## 3. 前立腺癌の局所病期診断 (特にT2とT3の鑑別)

超音波検査下の生検で癌が判明した場合、多くの施設では、Partin Tableをはじめとするノモグラムを用いてリスク評価を行い、治療方針決定に役立てている。これはPSA値、臨床病期(直腸診所見に基づく)、生検で得られたGleason scoreの数字を組み合わせることで、被膜外浸潤や精嚢浸潤やリンパ節転移などの可能性を、具体的な確率として導くことができる表である。簡便に利用できるように3種類の情報で確率を出しているが、30～60%の症例で過小評価となることが報告されている<sup>20)</sup>。Wangらは、経直腸コイルを用いたMRIとMRS所見がノモグラムにどのような付加的情報を与えるかを600名あまりの多数症例で検討した<sup>21)</sup>。MRIおよびMRS所見はノモグラムのみによる予測を有意に改善する情報をもたらし、特に前立腺外への進展のリスクが中等度～高度の群で高いという結果だった。

前立腺癌の病期診断はTNM分類とJewett分類(ABCD分類)の二つがよく用いられ、治療法と予後に密接に関係する。最新のT分類は、T1が非触知腫瘍(偶発癌T1aが切除組織の5%以下に組織学的に偶発的に発見される。T1bが切除組織の5%を超え偶発的に発見される、T1cはPSA上昇などをもとに針生検により確認される)、T2が触知する腫瘍で前立腺内に限局するもの(T2aが片葉の1/2以内、T2b片葉の1/2を超えるが両葉に及ばない、T2cが両葉に及ぶ)、T3が前立腺を超える浸潤(T3aが被膜外浸潤、T3bが精嚢浸潤)、T4が他臓器への浸潤と規定されている。治療方針は、国および施設によってかなり異なるが、T2以下なら手術か放射線治療、T3以上ならホルモン治療や放射線治療が選ばれることが多く、術前のMRI診断でT2とT3の区別を正しく診断することが放射線科医に求められている。一方ABCD分類は本邦で古くから馴染みのある分類で、Aが偶発癌(T1と同じ)、Bが前立腺に限局している癌(T2と同じ)、Cが被膜外浸潤、精嚢や膀胱頸部や尿道への浸潤、Dがリンパ節転移と遠隔転移と規定されている。Aは

無治療経過観察か手術か放射線治療が選択され、5年生存率はおよそ80~100%、10年生存率はおよそ60~100%、Bは手術か放射線治療が選択され、5年生存率はおよそ70~80%、10年生存率はおよそ50~70%、Cはホルモン治療か放射線治療が選択され、5年生存率はおよそ60~70%、10年生存率はおよそ40%、Dはホルモン治療が選択され、5年生存率はおよそ40%、10年生存率はおよそ30%と報告されている<sup>22)</sup>。

強調像で低信号を呈するので、T2強調画像のみでは診断に苦慮することがある。そのような場合Gd造影法が有用で、T2強調画像で低信号の腫瘤様構造がGdで造影増強効果を呈すれば、転移と確信を持って診断できる。なお、出血などにより造影前の単純T1強調画像でもともと高信号を呈する場合は、造影増強効果の判定はサブトラクションが有用で

局在診断同様に病期診断においても、T2強調画像を注意深く観察するのが基本となる。phased array コイルに加え経直腸コイルを使って撮影した方が正診率がよいと言われている。被膜外浸潤のMRI所見を多変量解析によって検討した報告によれば、直腸前立腺角の鈍化、神経血管束の非対称化が特異度の高い所見として、腫瘍と被膜と接する幅が12mm以上、肥厚した被膜が感度の高い所見として挙げられる<sup>23)</sup>。他にも被膜の断裂、前立腺辺縁の外方への膨隆などの所見もあるが、感度と特異度が共に優れる所見はなく、顕微鏡的な癌の浸潤をMRIで描出することは、困難である。図3に被膜外浸潤を来した症例のMRI像を呈示する。

精囊浸潤のT2強調画像における診断基準は、正常な高信号の中の低信号腫瘤の存在、隔壁の不整な肥厚、精囊と前立腺の間の脂肪層の消失などで、SalaらはT2強調画像だけでもよい成績を報告している<sup>24)</sup>が、加齢に伴う精囊液の減少、出血や慢性炎症、ホルモン治療後、アミロイド沈着などでも精囊はT2

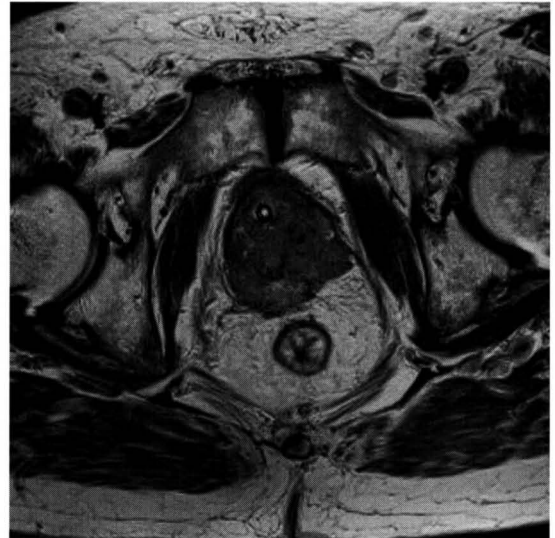


図3. 被膜外浸潤を来した辺縁域癌 (3テスラ MRI 装置で撮像) T2強調画像  
前立腺辺縁域・移行域の両方に占拠する低信号腫瘤があり、左側では明らかに被膜外に浸潤している。生検で同部位からGS:5+5=10の癌が検出された。

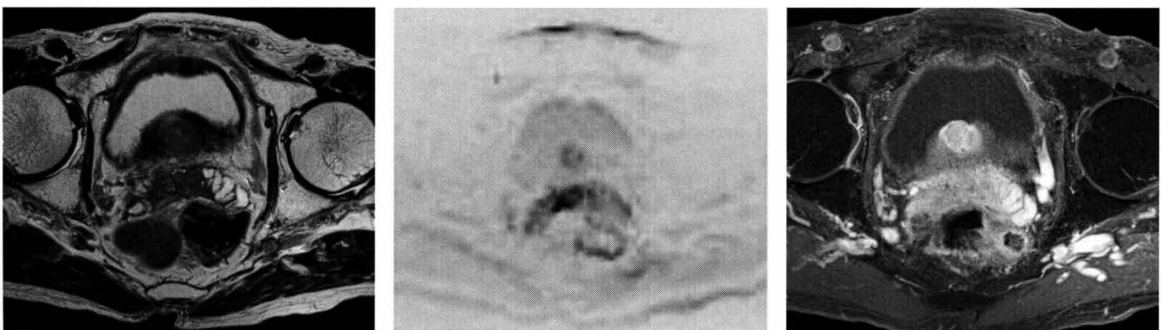


図4. 前立腺癌の精囊浸潤 (3テスラMRI装置で撮像)  
a) T2強調画像 b) 拡散強調画像 (白黒反転) c) 造影後遅延相  
a) T2強調画像で精囊に正中中部から両葉に広がる低信号域が存在し、同部位はb) 拡散強調画像で異常信号を呈し(拡散能が低下し)、c) 造影後遅延相で造影されている。典型的な精囊浸潤の像である。

ある。また、phased array coilを使用した3テスラ装置による拡散強調画像の検討では、精嚢浸潤部のADC値は正常な精嚢のADC値よりも有意に低く、T2強調画像に拡散強調画像（ADC map）を追加することでT2強調画像単独と比較して精嚢浸潤の感度・特異度がともに向上することが報告されている<sup>25)</sup>。図4に精嚢浸潤を来たした症例のMRI像を呈示する。

過去のMRIによる文献報告では、被膜外浸潤は感度50～89%、特異度68～96%、正診率56～88%程度、精嚢浸潤は感度50～71%、特異度66～95%程度、Staging（T2以下か、T3以上か）は感度51～

89%、特異度67～98%程度と報告されている<sup>26～30)</sup>が、個々の論文で対象集団の病期や数、MRI装置の磁場強度、ダイナミック造影や経直腸コイルの使用の有無はまちまちであり、比較する際には注意する（表2）。Futtererらは、同一患者を1.5テスラMRI装置を使い、phased array coil単独とphased array coilに経直腸コイルを組み合わせたintegrated coil systemで2回撮影し、経直腸コイルも使用した方が被膜外浸潤とstagingの診断能が向上すると報告している<sup>26)</sup>。比較する際には自らの施設がどの論文の対象・方法と合致するのかを確認してから、参考にするといよい。

表2. 病期診断に関する過去の文献報告

著者	装置とコイル	対象	対象	T2強調画像	T2強調画像 + ダイナミック造影		
					感度	特異度	
Futterer <sup>26)</sup>	1.5T Phased array coil	81人	被膜外浸潤	感度	50%		
				特異度	72%		
	正診率			63%			
	経直腸			感度	57%		
				特異度	96%		
				正診率	80%		
	Phased array coil			Staging	感度	56%	
					特異度	62%	
正診率		59%					
経直腸		感度	64%				
	特異度	98%					
	正診率	83%					
Bloch <sup>27)</sup>	1.5T 経直腸	32人	被膜外浸潤	感度	54～64%	82～91%	
				特異度	86～91%	95%	
Futterer <sup>28)</sup>	1.5T 経直腸	99人	被膜外浸潤	感度	59%	65%	
				特異度	96%	95%	
				正診率	83%	85%	
Futterer <sup>29)</sup>	3T 経直腸	32人	Staging	感度	88%		
				特異度	96%		
				正診率	94%		
Torricelli <sup>30)</sup>	3T Phased array coil	42人	被膜外浸潤	感度	68%		
				特異度	92%		
				正診率	83%		



#### 4. 3テスラMRI装置

3テスラ装置は1.5テスラ装置と比較して、撮像条件と送受信コイルの最適化により、SNRが約2倍近くなり、高分解能かつ高コントラストの画像を撮影することが可能である。T2強調画像で前立腺被膜や腺内の導管構造などの詳細な描出が可能となる<sup>31)</sup>。また拡散強調画像やダイナミック造影画像やMRSについても1.5テスラと比較してvoxelサイズを小さくでき、小さな病変の検出率向上や病態を正確に反映した情報提供に貢献することが期待されている(図2、5)。一方で、磁化率効果の影響も強くなる点では、直腸に隣接する前立腺にとっては不利である。直腸内ガスが存在し、しかも撮像中にガスが移動すると、磁場均一度が損なわれて、前立腺からの信号が全く得られないこともある。直腸内にガスが存在しない状態で検査ができるような前処置が望ましい。

#### (1) 局在診断 (1.5テスラ装置との対比)

1.5テスラ装置と比較し3テスラ装置を用いることで前立腺癌の検出能が向上するか否かに関して、Beyersdorffらは、前立腺全摘術施行前の24人にphased array coilによる3テスラ装置とintegrated coil systemによる1.5テスラ装置を用いてMRIを2回撮像し、両者におけるT2強調画像による病巣検出能を比較検討している<sup>32)</sup>。少数例での検討ではあるが、integrated coil systemによる1.5テスラ装置の方がphased array coilによる3テスラ装置と比較して病巣検出能がやや優れる結果となり、3テスラ装置でも経直腸コイルを使用する必要性を示した。また、Heijminkらは、3テスラ装置を使い、前立腺全摘術施行前の46人にphased array coil単独とintegrated coil systemによる2通りの撮像方法でT2強調画像を3方向撮影し、両者の検出感度を比較検討して3テスラ装置における経直腸

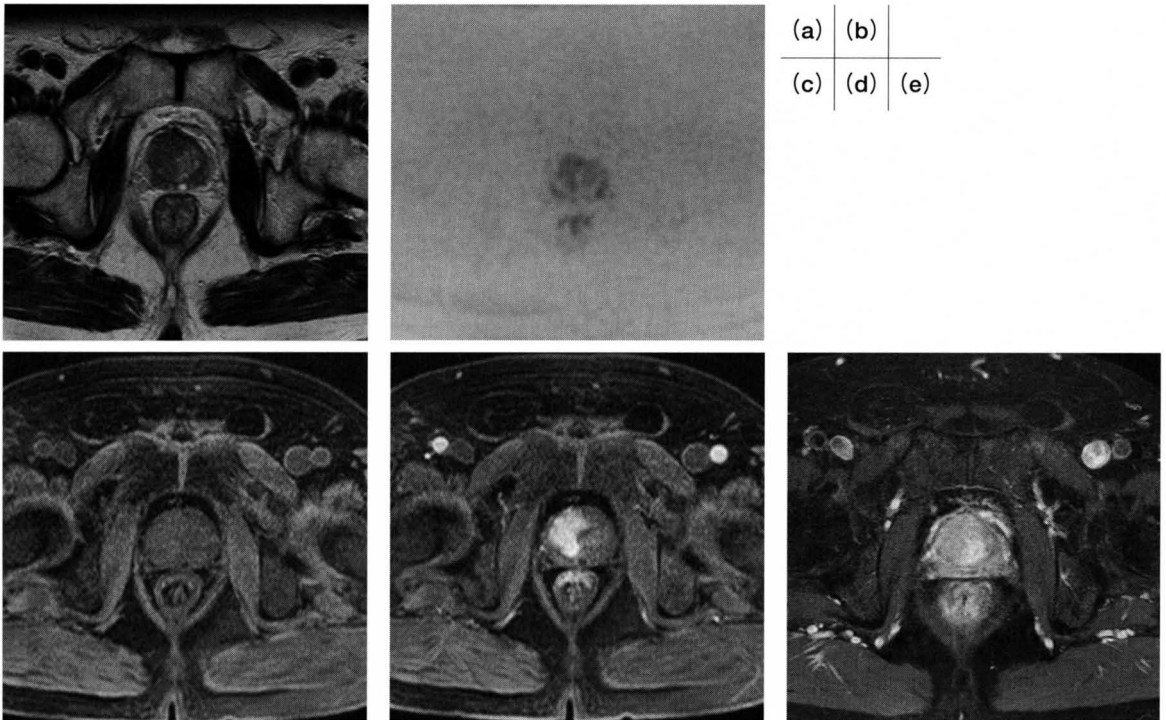


図5. 図2と同じ症例 (1.5テスラMRI装置で撮像)

a) T2強調画像 b) 拡散強調画像 (白黒反転) c) 造影前T1強調画像 d) ダイナミック造影早期相 e) 造影後遅延相

図2とほぼ同様の画像所見を呈し前立腺癌と診断することは可能であるが、T2強調画像、拡散強調画像、ダイナミック造影いずれも、図2の3テスラ装置の画像の方が、空間分解能、SNRともに優れている。

コイルの意義を検討している<sup>16)</sup>。644領域の検出能は、phased array coil単独だと感度41～45%、特異度85～86%、正診率76%であり、integrated coil systemによると感度53～58%、特異度83～86%、正診率76～80%となった。確かに感度と正診率が向上したが、僅かな改善にとどまった。前立腺癌の検出に関して、3テスラ装置では1.5テスラ装置ほど経直腸コイルを使用する意義は少ないのかもしれないが、更なる検討が必要である。以上2つの論文はいずれもT2強調画像の検討であるが、今後は3テスラ装置と1.5テスラ装置間のダイナミック造影法や拡散強調画像やMRSの診断成績の比較検討も必要であろう。

## (2) 病期診断 (1.5テスラ装置との対比)

病期診断に関する3テスラ装置による文献報告も未だ少ない。Beyersdorffらは、前立腺全摘術施行前の22人(T3が5人、T2が17人)にphased array coilによる3テスラ装置とintegrated coil systemによる1.5テスラ装置を用いてMRIを2回撮影し、両者におけるT2強調画像によるstagingを比較検討している<sup>32)</sup>。3テスラ装置と1.5テスラ装置は同じ結果(感度40%、特異度76%)になった。またFuttererらはいずれも手術でT2aであることが判明した6人で、integrated coil systemによる3テスラ装置と1.5テスラ装置のT2強調画像によるstagingの比較を行い、3テスラは6人とも正しくT2aと診断できたが、1.5テスラは6人中1人をstage T3以上にover diagnosisしてしまったと報告している<sup>33)</sup>。今後多数の症例での検討が必要であろう。

## (3) 3テスラ装置による病期診断

Futtererらは、integrated coil systemによる3テスラ装置を使い、32人の術前のstaging(手術でT3以上が8人、T2以下が24人)の成績を検討し、T2強調画像単独で感度88%、特異度96%、正診率94%と良好な成績を報告している<sup>29)</sup>。また、Torricelliらはphased array coilによる3テスラ装置を使い、42人の術前のstaging(手術でT3以上が16人、尖部への浸潤が16人あり)の成績を検討し、経験豊富な診断医だと被膜外浸潤の感度68%、特異度92%、正診率83%で、尖部浸潤の感度81%・特異度62%・正診率69%、精嚢浸潤の感度80%(4/5)、神経血管束浸潤の感度100%(4/4)と良好な成績を報告している<sup>30)</sup>。いずれの報告も1.5テスラ装置と直接比較できるものではないが、感度・特異度ともに良好な成績である。今後多数症例でのダイナミック造影も加味した追試報告が待たれる。また3テスラ装置で、経直腸コイルを使用することで、phased array coil単独と使用してどのくらい病期診断の成績が向上するのにも興味のあるところである。

## おわりに

前立腺癌の存在診断と病期診断にMRIが果たす役割を中心に述べた。MRIは優れたコントラスト分解能で解剖学的構造を明瞭に描出するが、3テスラ装置を使用しても小さな癌の検出能や被膜外浸潤の診断能は満足できる成績ではない。しかし、MRIは他のmodalityにはない可能性を秘めており、病理診断と並ぶ情報が術前に得られるよう研究が活発になることを念願する。

## 参考文献

1. Wefer AE, Hricak H, Vigneron DB, et al. Sextant localization of prostate cancer: comparison of sextant biopsy, magnetic resonance imaging and magnetic resonance spectroscopic imaging with step section histology. *J Urol* 164: 400-404, 2000.
2. 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*, 13: 931~942, 2003.
3. Buckley DL., Roberts C., Parker GJ., Logue JP, Hutchinson CE. Prostate cancer: evaluation of vascular characteristics with dynamic contrast-enhanced T1-weighted MR imaging-initial experience. *Radiology*, 233: 709~715, 2004.
4. Girouin N, Mege-Lechevallier F, Senes AT et al. Prostate dynamic contrast-enhanced MRI with simple visual diagnostic criteria: is it reasonable? *Eur Radiol* 17: 1498-1509, 2007.

5. Kurhanewicz J, Vigneron DB, Hricak H, et al. Three-dimensional H-1 MR spectroscopic imaging in situ of the human prostate with high (0.24-0.7cm<sup>3</sup>) spatial resolution. *Radiology* 198: 795-805, 1996.
6. Wang P, Guo Y, Liu M, et al. A meta-analysis of the accuracy of prostate cancer studies with use magnetic resonance spectroscopy as a diagnostic tool. *Korean J Radiol* 9: 432-438, 2009
7. Zakian KL, Sircar K, Hricak H, et al. Correlation of proton MR spectroscopic imaging with Gleason score based on step-section pathologic analysis after radical prostatectomy. *Radiology* 234: 804-814, 2005.
8. 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* 21: 258-262, 2005.
9. Lim HK, Kim JK, Kim KA, Cho KS. Prostate cancer: apparent diffusion coefficient map with T2-weighted images for detection- A multireader study. *Radiology* 2009;250:145-151
10. Kitajima K, Kaji Y, Kuroda K, et al. High b-value diffusion-weighted imaging in normal and malignant peripheral zone tissue of the prostate: effects of signal-to-noise ratio. *Magn Reson Med* 7: 93-99, 2008.
11. Futterer JJ, Heijmink SWTPJ, Scheenen TWJ, et al. Prostate cancer localization with dynamic contrast-enhanced MR imaging and proton MR spectroscopic imaging. *Radiology* 241: 449-458, 2006.
12. Yoshimitu K, Kiyoshima K, Irie H, et al. Usefulness of apparent coefficient map in diagnosing prostate carcinoma: correlation with stepwise histopathology. *J Magn Reson Imaging* 27: 132-139, 2008
13. Testa C, Sciavina R, Lodi R, et al. Prostate cancer: sextant localization with MR imaging, MR spectroscopy, and <sup>11</sup>C-Choline PET/CT. 244: 797-806, 2007.
14. Yu JS, Chung JJ, Hong SW, et al. Prostate cancer: added value of subtraction dynamic imaging in 3T magnetic resonance imaging with a phased-array body coil. *Yonsei Med J* 49: 765-774, 2008.
15. Kim CK, Park BK, Lee HM, Kwon GY. Value of diffusion-weighted imaging for the prediction of prostate location at 3T using phased-array coil. *Invest Radiol* 42: 842-847, 2007
16. Heijmink SWTPJ, Futterer JJ, Hambrock T, et al. Prostate cancer: Body-array versus endorectal coil MR imaging at 3T-comparison of image quality, and staging performance. *Radiology* 244: 184-195, 2007.
17. Tanimoto A, Nakashima J, Kohno H, et al. Prostate cancer screening: The clinical value of diffusion-weighted imaging and dynamic MR imaging in combination with T2-weighted imaging. *J Magn Reson Imaging* 25: 146-152, 2007.
18. Carter HB, Epstein JI. Prediction of significant cancer in men with stage T1c adenocarcinoma of the prostate. *World J Urol* 15: 359-363, 1997.
19. Wang L, Mazaheri Y, Zhang J, et al. Assessment of biologic aggressiveness of prostate cancer: correlation of MR signal intensity with gleason score after radical prostatectomy. *Radiology* 246: 168-176, 2008.
20. Yu KK, Hricak H. Imaging prostate cancer. *Radio Clin North Am.* 38: 59-85, 2000.
21. Wang L, Hricak H, Kattan MW, et al. Prediction of organ-confined prostate cancer: incremental value of MR imaging and MR spectroscopic imaging to staging nomograms. *Radiology* 238: 597-603, 2006.
22. 佐藤直秀：前立腺癌の予後。伊藤晴夫（編）：前立腺癌のすべて。メジカルビュー社 p.196-200, 2004.
23. 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* 202: 697-702, 1997.
24. Sala E, Akin O, Moskowitz CS, et al. Endorectal MR imaging in the evaluation of seminal vesicle invasion: diagnostic accuracy and multivariate feature analysis. *Radiology* 238: 929-937, 2006.
  25. Ren J, Huan Y, Wang H, et al. Seminal vesicle invasion in prostate cancer: prediction with combined T2-weighted and diffusion-weighted MR imaging. *Eur Radiol* [Epub ahead of print] DOI 10.1007/S00330-009-1428-0.
  26. Futterer JJ, Engelbrecht MR, Jager GJ, et al. Prostate cancer: comparison of local staging accuracy of pelvic phased-array coil alone versus integrated endorectal-pelvic phased-array coils. Local staging accuracy of prostate cancer using endorectal coil MR imaging. *Eur Radiol* 17: 1055-1065, 2007.
  27. Bloch BN, Furman-Haran E, Helbich T, et al. Prostate cancer: accurate determination of extracapsular extension with high-spatial resolution dynamic contrast-enhanced and T2-weighted MR imaging-initial results. *Radiology* 245: 176-185, 2007
  28. Futterer JJ, Engelbrecht MR, Huisman HJ, et al. Staging prostate cancer with dynamic contrast-enhanced endorectal MR imaging prior to radical prostatectomy: experienced versus less experienced readers. *Radiology* 237: 541-549, 2005
  29. Futterer JJ, Scheenen TWJ, Huisman HJ, et al. Initial experience of 3 tesla endorectal coil magnetic resonance imaging and <sup>1</sup>H-spectroscopic imaging of the prostate. *Invest Radiol* 39: 671-680, 2004.
  30. Torricelli P, Barberini A, Cinquantini F, et al. 3-T MRI with phased-array coil in local staging of prostate cancer. *Acad Radiol* 15: 1118-1125, 2008
  31. Kaji Y, Kuroda K, Maeda T, et al. Anatomical and metabolic assessment of prostate using a 3-Tesla MR scanner with a custom-made external transceive coil: healthy volunteer study. *J Magn Reson Imaging* 25: 517-526, 2007
  32. Beyersdorff D, Taymoorian K, Knosel T, et al. MRI of prostate cancer at 1.5 and 3.0T: comparison of image quality in tumor detection and staging. *AJR* 185: 1214-1220, 2005.
  33. Futterer JJ, Heijmink SWTP, Scheenen TWJ, et al. Prostate cancer: local staging at 3-T endorectal MR imaging-early experience. *Radiology* 238: 184-191, 2006.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

### 複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会  
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

### Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619