

肝の MRI —単純で解ること，造影で解ること—

兼松 雅之

岐阜大学医学部附属病院放射線部

はじめに

本稿では、第 33 回日本磁気共鳴医学会大会において、肝の MRI に関して、「単純で解ること，造影で解ること」と題して話した内容を要約する。単純（造影しない）MRI として、 T_1/T_2 強調像，heavily T_2 強調像，phase-shift MRI，susceptibility-weighted MRI，diffusion-weighted MRI，steady-state coherent imaging，MR spectroscopy，MR elastography を、造影 MRI として、ガドリニウムキレート造影 MRI，超常磁性酸化鉄（SPIO）造影 MRI，脂溶性ガドリニウムキレート造影 MRI，マンガン DPDP 造影 MRI，MR パーフェュージョンを取りあげた。

—単純で解ること—

T_1/T_2 強調像

悪性腫瘍では T_1 、 T_2 緩和時間が延長（ T_1 low, T_2 high）することを Damadian¹⁾ が報告し、30 年以上が経過した。その機序として、細胞内水のオーダリング度の減少が取り上げられたが、多くの放射線科医はむしろ、悪性腫瘍における細胞間質の水分量増加が原因と解釈していると思われる。悪性腫瘍内の新生血管は透過性が高く、血管周囲の間質へ自由水が漏出し

やすい。また、この透過性の亢進は悪性腫瘍ではしばしば強く発現する vascular endothelial growth factor（VEGF）の血管透過性亢進作用によっても促進される（Fig. 1A）。

肝硬変症における低度異形成のような結節では、細胞密度の増加により、細胞間質や Disse 腔の自由水が減少するため、悪性腫瘍とは逆の信号（ T_1 high, T_2 low）を来しやすい。この信号変化は単位容積当たりのタンパク質量が増加することからも説明が可能である（Fig. 1B）。

T_1 強調像でみられる限局的な T_1 高信号には再生結節、異形成、高分化型肝細胞癌、限局性脂肪沈着又は脂肪沈着腫瘍、肝動脈塞栓術、ラジオ波焼灼術、エタノール局注療法等による凝固壊死、腫瘍内出血や出血性嚢胞、メラニン沈着を有する悪性黒色腫転移などがあるが、これらは細胞密度上昇、脂肪沈着、金属沈着、凝固壊死（脱水）、出血、メラニン沈着などによる T_1 短縮によるものである。

肝硬変症における様々な肝細胞性結節と MR 信号の関係は複雑である。肝細胞癌の肝内転移に代表されるような中分化型肝細胞癌は T_1 低信号であるのが相場であり、巨大再生結節から高度異形成は往々にして T_1 等～高信号になる。 T_2 強調像において、巨大生成結節から高分化型肝細胞癌は低信号を示すことがあるが、治療を急ぐべき多血性高分化型肝細胞癌が T_2 低信

キーワード liver, MR imaging, unenhanced study, contrast enhancement

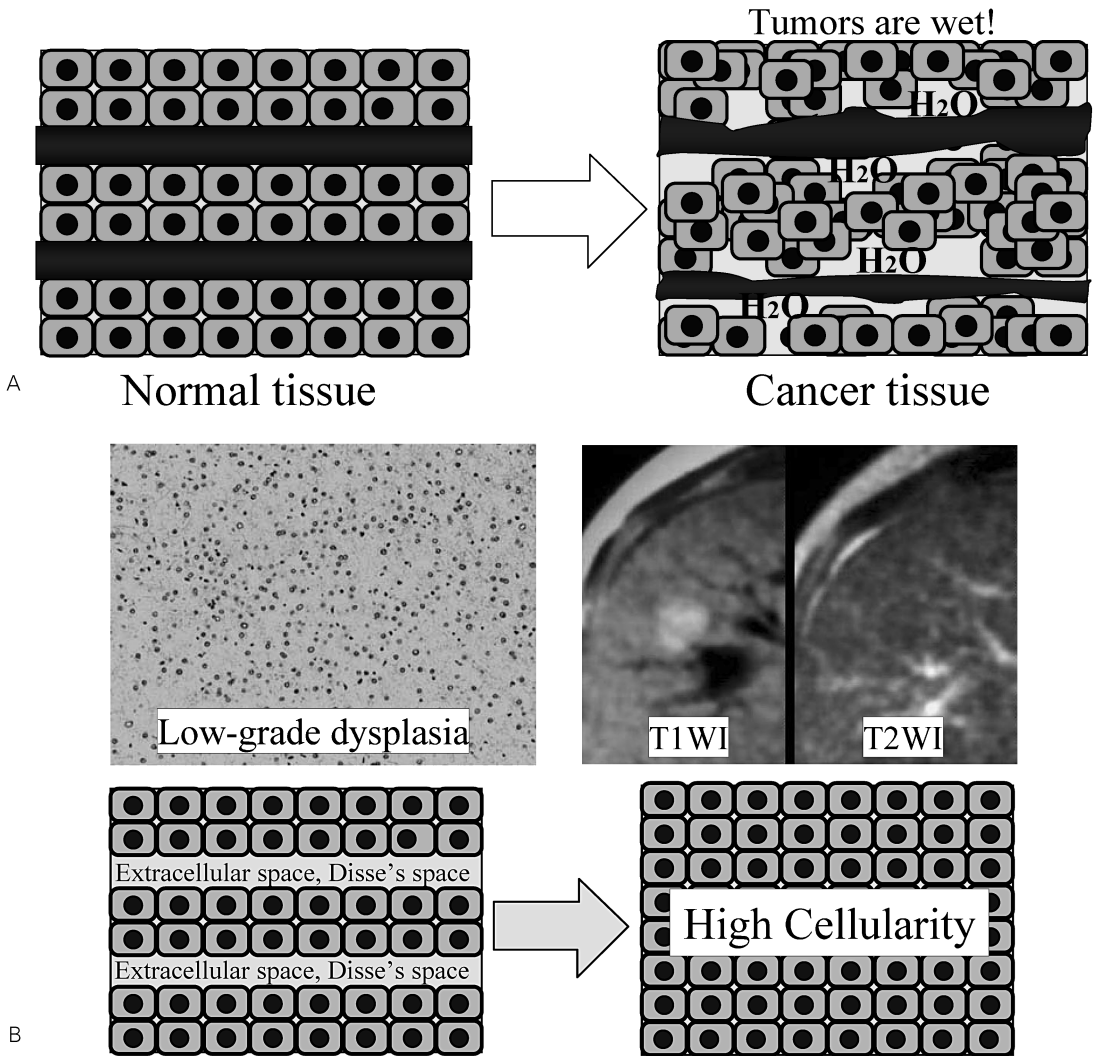


Fig. 1.

A: Schema showing the relation between vascular endothelial growth factor (VEGF) expression and vascular permeability in malignant tumors. T₁- and T₂-relaxation times are prolonged due to increased free water permeated from tumor vessels to surrounding matrices in malignant tissue. VEGF promotes the vascular permeability, leading to an increase of free water in tumor matrices.

B: Schema showing the relation between cellularity, extracellular space water, and amount of protein. As the cellularity increases in hepatocellular nodules such as dysplastic nodule or well-differentiated hepatocellular carcinoma, the amount of free water in extracellular spaces is relatively decreased, leading to shortening of T₁- and T₂-relaxation times. The amounts of protein and free water in a unit volume are intrinsically linked to each other.

2006年5月29日受理

別刷請求先 〒501-1194 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学医学部附属病院放射線部 兼松雅之

号を示すことは極めて少なく、T₂強調が低信号を示すうちは治療を急ぐ必要が少ない。

Heavily T₂強調像

エコー時間を長め (>120~150 ms 程度) にとる T₂強調像を heavily T₂強調像と称し、T₂緩和時間が長い体液を強調して描出するのに有益である。このシーケンスを用いれば体液や病変の T₂緩和時間の長短をある程度推測することが可能で、造影せずとも肝細胞癌、肝転

移、血管腫、嚢胞等の鑑別が可能であることが多い (Fig. 2)。Half-Fourier single-shot 法を用いる場合、強い交差緩和 (MTC) 効果により、90 ms 程度のエコー時間でも十分 T₂緩和時間の長短を反映した信号差が得られたが、パラレルイメージング法を併用した同法を用いる場合は、実効 TE より長い時間 (>200~500 ms 程度) でのエコーサンプリングが減少するため、実効エコー時間を 150 ms 程度に設定し

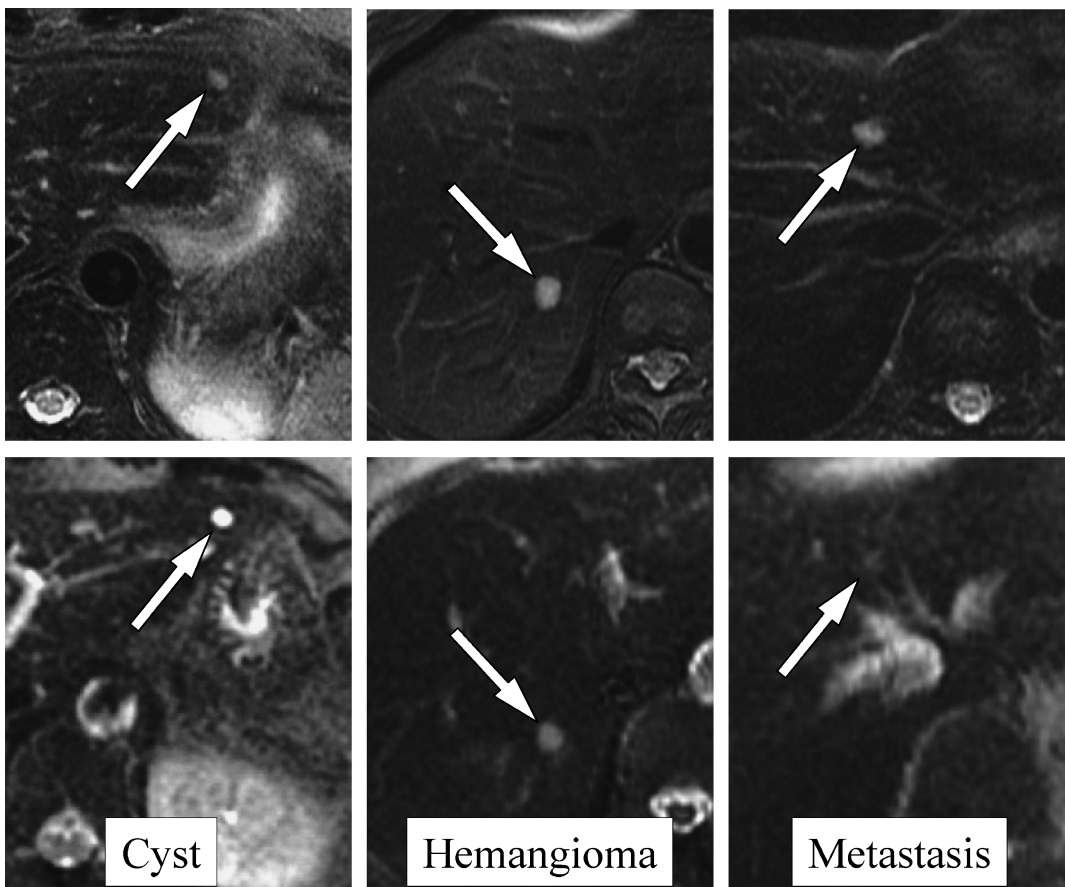


Fig. 2. Differential diagnosis between liver metastasis, cavernous hemangioma, and hepatic cyst with heavily T₂-weighted MR imaging. All lesions (arrows on top-row images) on T₂-weighted fast spin-echo images (echo time of 80 ms) are shown as hyperintense to the same degree. However, lesions (arrows on bottom-row images) on heavily T₂-weighted single-shot fast spin-echo images (echo time of 90-150 ms) are shown with different degree of hyperintensity. Note that the cyst glares much but the metastasis does not, and the hemangioma is intermediately hyperintense.

ないと十分な信号差が得られないことを経験する。

Phase-shift MRI

1.5T MRI 装置では水プロトンと脂質プロトンの歳差周波数に 220 Hz の差が生じるため、グラジエントエコー法で、エコー時間が 4.2~4.4 ms の場合、水および脂質プロトンの位相がそろい in-phase 像が、また 1.9~2.2 ms 当たりでは反対位相となりベクトルの相殺が生じ out-of-phase 像が得られる。両 phase を同時に収集する dual-echo sequence を用いれば、ほぼ同一スライスでの in-phase から out-of-phase への信号低下を検出することで、わずかな脂肪沈着を診断可能である。ただし、皮下脂肪や腹腔脂肪のように脂肪重量比が 7 割を超えるような組織では視覚的な信号低下は得られない。

Susceptibility-weighted MRI

Phase-shift MRI シーケンスはそのまま susceptibility-weighted MRI に用いることができる。鉄、ヘモジデリン、カルシウム、ガス等は局所磁場の攪乱を生じさせ、エコー時間の長い in-phase 像では out-of-phase 像に比較しての信号のじみとしてとらえることができる。日常的には、phase-shift MRI で、鉄沈着再生結節、脾の Gamma-Gandy 体、出血性病変のヘモジデリン沈着、ガスの存在、結石など強いカルシウムの沈着を診断することが可能である。

Diffusion-weighted MRI

組織の中を自由に拡散する水プロトンをエコープラナー法により T_2 強調撮像する際、再収束パルス前後に組み込まれた強い反転傾斜磁場 (motion-probing gradient) にさらすことにより、ある領域で大きく拡散するプロトン群は再収束せず信号を発しないが、拡散が抑制された領域のプロトン群は再収束を果たし強い信号を発する。この撮像法は細胞密度が上昇し、間質の水プロトンの拡散自由度が低下した悪性腫瘍の検出、鑑別に有用であり、近年、頭部以外でも盛んに用いられている (Fig. 3)。見かけの拡散係数 (apparent diffusion coefficient :

ADC) を計測する試みもなされるが、ADC による血管腫と肝転移の鑑別はかならずしも良好でない。脾臓、リンパ節、脊髄などの正常臓器のほか、膿瘍や血腫も拡散の抑制された領域として描出されるので注意を要する。肝では血管腫、転移などは異常信号域として検出されやすいが、肝細胞癌の感度は決して高くない。 T_2 強調像で十分な高信号を示さない凝固壊死の強い転移巣が、拡散強調像で良く描出された例を経験している。また、低い b factor (反転傾斜磁場の強さ) を用いれば、肝内血管やリンパ管の信号を抑制し、肝結節の検出が容易になり、black-blood imaging と呼ばれている。

Steady-state coherent imaging

強力な定常状態 (steady state) で、spin echo, gradient echo, stimulated echo を同期的に収集することで、短時間に強い信号が得るのが steady-state coherent imaging であり、 T_2/T_1 コントラストが得られる。肝 MRI では造影剤を用いず、中樞肝動脈、門脈系、胆膵管が同時に描出可能である。息止め撮像も可能であり、ルーチン撮像に組み入れることで診断の幅が広がる。門脈腫瘍栓、門脈圧亢進症における側副血行路などの描出が可能である。

MR spectroscopy (MRS)

肝においてははまだその有用性が吟味されている段階であるが、移植後の graft-versus-host disease 診断への応用の試みなどが知られている。2005 年、マイアミで開催された ISMRM においては、ペンシルベニア大学から非アルコール性脂肪肝炎 (NASH) 誘発マウスの MRS において、脂肪酸アシルの不飽和化が NASH における壊死性肝炎の重症度を示し、生体指標として有用であるという発表がなされ注目を博した。3T 装置では呼吸停止下での MRS が可能であり、MRS がルーチン肝 MRI に組み込まれる日も遠くない。

MR elastography

50~100 Hz 程度の縦波や横波を季肋下、肋間、肋骨上から肝に与え、反転位相正弦波によ

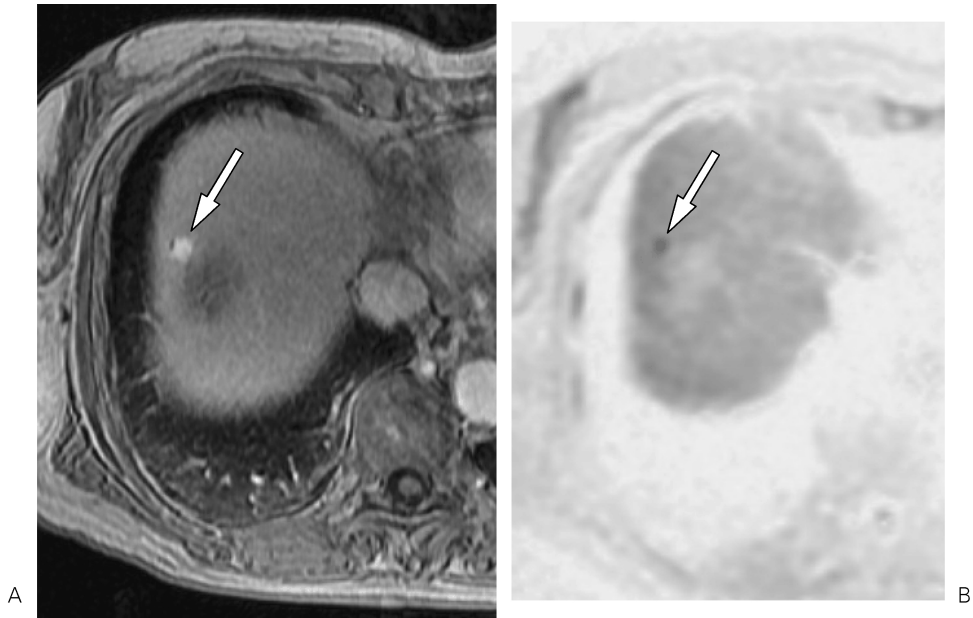


Fig. 3.

A: Local tumor recurrence in hepatocellular carcinoma status post transcatheter arterial chemoembolization and radiofrequency ablation therapies combined. An 8-mm early enhancement in the hepatic arterial-dominant phase is noted (arrow). This lesion did not show discrete washout in the portal venous or equilibrium phase, and differentiation from vascular pseudolesion came to an issue.

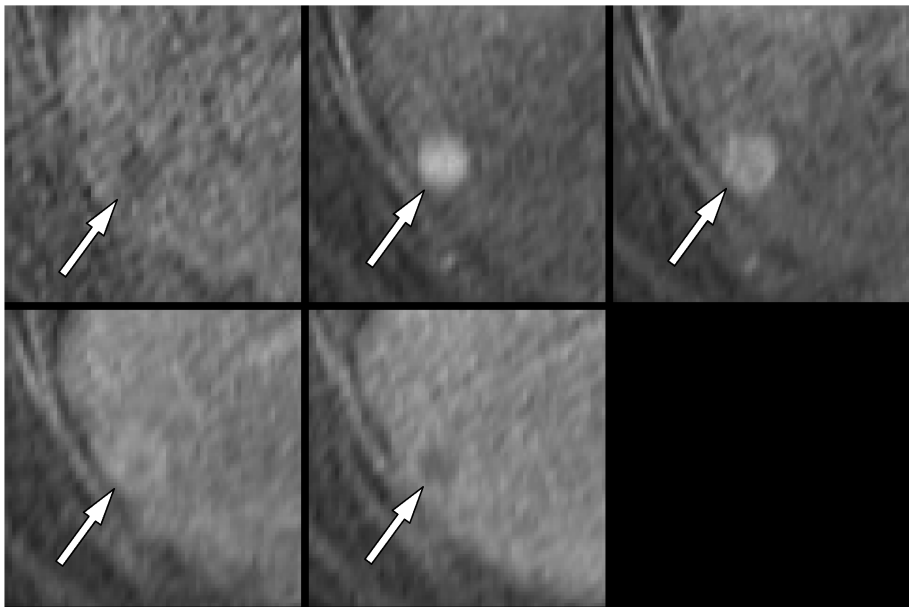
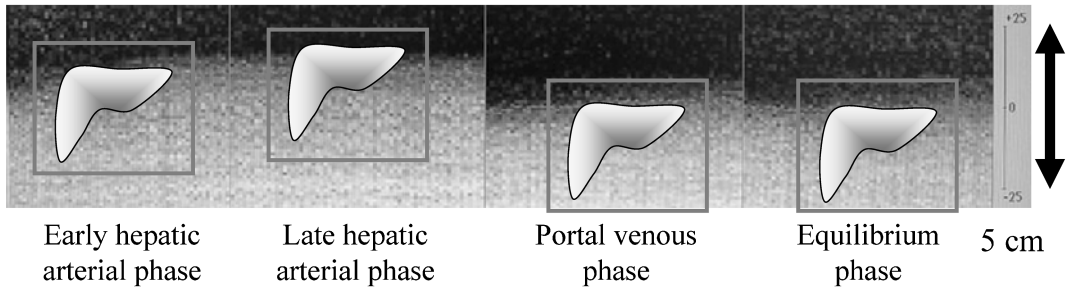
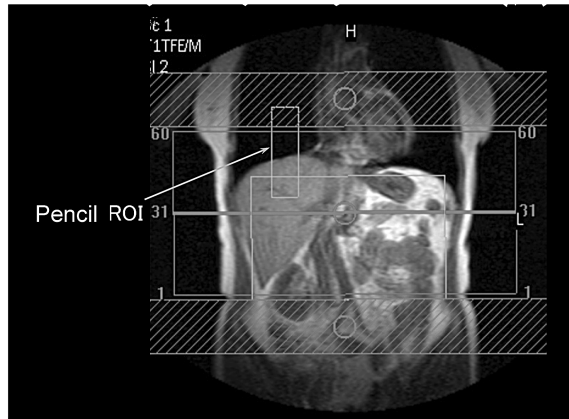
B: Diffusion-weighted echo-planar image with a b factor of 400 s/mm^2 clearly exhibited this small lesion as an area of suppressed molecular diffusion, and the lesion was diagnosed as tumor recurrence.

る傾斜磁場 (sinusoidal displacement encoding gradients) によるスピネコー像を得ることで、肝の粘稠度 (viscosity), 硬度 (stiffness) を反映した MR 像を得られることが報告されている。ただし、振動を与えるデバイスが比較的大きく、撮像に手間を要することから日常臨床に取り入れられるまでには至っていない。肝硬変症の程度に関しては、肝形態や実質のテクスチャから通常の MRI 像でもある程度の診断が可能であり、MR elastography の真の有用性の証明には至っていない。

—造影で解ること—

細胞外液性 gadolinium-chelate 造影 MRI

肝の gadolinium-chelate による細胞外液性造影検査を理解する上で、肝および肝腫瘍の血流動態を知ることは重要である。正常肝、再生結節、異形成結節では内部にグリッソンの三つ組が保たれており、肝動脈、門脈の血流比がおおよそ 2 : 8 に保たれているため、これらが肝動脈相で強く濃染したり、門脈相で明瞭な抜け像を呈したりすることは少ない。しかし、AP シャント、門脈枝閉塞、限局性結節性過形成 (FNH)、肝腺腫などの限局的に強く濃染する病態では、動脈と門脈の短絡、門脈枝の閉塞、



B

Pre	Early HAP	Late HAP
PVP	EP	

肝静脈の欠落などにより、肝動脈から造影剤が急速に肝類洞や腫瘍（または週形成）類洞に流れ込むため、限局的な強い動脈相濃染を呈する。

被膜を有する多血性肝細胞癌では、三つ組が欠損し、門脈枝の圧迫や浸潤閉塞、肝静脈の欠落や閉塞が生じ、肝動脈から流入した造影剤は腫瘍類洞に一気に流れ込み早期の強い腫瘍濃染を呈する。その後、線維性偽被膜内部を貫通し、腫瘍類洞と腫瘍周囲の非癌肝実質の門脈枝や類洞と交通する細門脈枝を通して、腫瘍類洞内の造影剤が周囲の非癌部類洞に流出するため、これが染み出し（コロナ濃染）像として観察される²⁾。多血性肝細胞癌で抜け像（washout）が明瞭であるのに対し、FNHや肝腺腫では明瞭でないのは、この腫瘍類洞から周囲非癌部類洞への造影剤流出による病巣類洞の洗い出しが起きるか否かの差異によると考えられる。

一般に転移性肝がんが早期濃染を示さないのは、類洞構造をもたないからと考えられる。Folkmanらは組織内では酸素が150 μm しか拡散しないことを報告しているように、がん細胞が類洞に着床し、発育する過程で腫瘍内部は低酸素状態に陥る。これにより低酸素誘導因子（HIF）が発現し、VEGFが産生され、類洞上皮細胞などから新生血管が作られる（angiogenesis）。これらの新生血管に流入した造影剤は血管壁から漏出することにより局所の増強効果をもたらす。転移性肝がんの濃染はこの造影剤漏出の程度により特徴づけられると考えられる。しかし、腎癌の肝転移のように類洞構造を有する転移では肝細胞癌のような早期の強い濃染を呈することが知られている。また、転移性

肝がんの周囲にはリング状濃染が見られることがあるが、癌浸潤によるものではなく、線維性間質反応、炎症細胞浸潤、血管増生、類洞うっ血が原因と考えられている⁵⁾。

海綿状血管腫の濃染パターンに関しては、典型的な辺縁の結節状濃染がおおよそ7割に見られ、早期全体濃染は自験例では17%に見られた。A-Pシャントは血管腫のサイズに関係なく見られるとされ、自験例では14%に見られた。また、bright dot濃染を6%、軽微辺縁濃染を6%に認めた⁵⁾。軽微辺縁濃染型ではしばしば肝転移との鑑別が難しいことがある。血管腫は内部に癥痕性、嚢胞性変化を来すことが知られており、これらの組織変性を理解した読影が必要である⁶⁾。

血管腫の濃染パターンの差異は単に、血管腫を構成する血洞サイズの違いによる血流速度の違いと考えられている。Urhahnらは2秒間隔でgadolinium造影シネMRIを撮像し、全体が同時に染まる海綿状血管腫はなく、すべて一部から染まり始めることを報告している⁷⁾。つまり、時間分解能の高い造影検査を行えば典型的な濃染パターンを捕捉できる機会が増すと考えられる。

近年、パラレルイメージング技術、コイル技術の進歩により、ダブルアーテリアル撮像がルーチン化されつつある。二次元シーケンスは画質が良いが、5 mm以上のスライス厚が必要で、スライス間ギャップも必要なため、小さな肝結節の診断には不利である。三次元シーケンスは画質の面でやや劣るものの、3 mm厚のギャップレス画像を全肝で得ることができ、多

Fig. 4.

A: Prospective adaptive correction using a navigator. A cylindrical navigator is placed in the lung-liver interface over the right hemidiaphragm. The navigator monitors the level of the diaphragm every 200 ms, modifies the frequency of excitation pulse, and tracks the moving liver during imperfect breath holding.

B: Gadolinium-enhanced double hepatic arterial-phase three-dimensional gradient-echo MR imaging of the liver with the use of navigator correction (echo time of 1.1 ms, 15° flip angle, interpolated 3-mm slice thickness, 0-mm intersectional gap, acquisition time of 12 s/60 slices). An 8-mm hypervascular hepatocellular carcinoma is shown in the same level slices, leading to an efficient hemodynamics observation by cine display. Note that the hepatocellular carcinoma shows entire enhancement in the early hepatic arterial phase (HAP), coronal enhancement from the late hepatic arterial to portal venous phases (PVP), and clear washout in the equilibrium phase (EP).

断面再構成像への期待も高まる⁸⁾。また、三次元シーケンスを用いてダブルアーテリアル撮像も可能である。我々はテストボラスのピークから6秒、18秒のダブルアーテリアルコントラストを得る三次元撮像をルーチンに施行している。

3 mm 程度の薄いスライスでの診断が可能になると、小さな肝結節の血流動態も詳細に見えてくるため、シネ表示による観察が有用となる。しかし、呼吸停止撮像では被検者の不完全な、または不均一な呼吸停止により、シネ表示観察におけるストレスを感じることも多い。ナビゲータ技術を用いることにより、この動きを補正することが可能である (Fig. 4)。通常、ナビゲータは右横隔膜をまたぎ肺肝境界に設定され、撮像中の横隔膜位置をモニタし、励起周波数に変更を加えることにより、頭尾方向に運動する肝臓を常に撮像ボリューム内の決まった位置でとらえることが可能になり、小さな病変の血流動態をシネ表示で追いかけることが可能になる (Fig. 4)。

肝細胞癌に対するリビオドールを用いた肝動脈塞栓術の効果判定には造影 CT よりも造影 MRI が優れることは周知の事実である。近年、ラジオ波焼灼術 (RFA) が行われることも多いが、RFA による組織変性を鑑みた MRI 読影が必要になる。一般に RFA により三層構造が生じる。最内層は組織欠損やガス、中間相は凝固壊死、最外層は炎症、浮腫、線維化が生じるため、これに相当する MRI 信号が発生する。T₁ 強調像では最内層は低信号、中間層は高信号、最外層が低信号、T₂ 強調像では最内層、中間層は低信号、最外層は高信号になる⁹⁾ (Fig. 5A)。しかし、T₂ 強調像における最外層の高信号は炎症、浮腫、線維化のほか腫瘍再発でも起きるためこの鑑別に造影 MRI が必須となる。早期に濃染し、抜け像 (washout) が見られれば腫瘍再発と判定できる (Fig. 5B)。

血管新生と MRI

肝細胞癌においては T₂ 信号が上昇するは

ど内部での vascular endothelial growth factor (VEGF) 発現が強い¹⁰⁾。これは組織壊死が VEGF の発現を惹起することや、VEGF の発現が血管透過性を亢進し、間質の水分量を増加させることによると考えられる。造影 MRI においては、多血性肝細胞癌での VEGF 発現は弱く、逆に乏血性肝細胞癌での発現は強い¹⁰⁾ (Fig. 6)。これは VEGF の upregulation によると考えられる。つまり、乏血性肝細胞癌では低酸素状態により、低酸素誘導因子 (HIF-1 α) が惹起され、mRNA を介して VEGF が産生され、血管が作られる。この結果、腫瘍には血流とともに酸素がもたらされる (upregulation)。その後、富酸素状態となった肝細胞癌は低酸素誘導因子を介した VEGF 産生を弱めるため、VEGF 活性が抑制されることになる (down-regulation)。

欧米を中心に bevacizumab (AvastinTM) や PTK/ZK などの VEGF 阻害薬の臨床導入が始まり、本邦でもチロシンキナーゼ阻害による VEGF 阻害薬の臨床導入が推し進められている。我々はこれらの VEGF 阻害薬が腫瘍にもたらす生物学的変化、画像所見の変化を学ぶ必要性が生じている。

超常磁性酸化鉄 (SPIO) 造影 MRI

SPIO 造影 MRI は呼吸停止撮像が困難であった 1980 年代から、肝腫瘍の検出を著しく向上させる造影剤として開発され、期待されてきた。肝硬変症例では、肝自体の多結節性、肝機能低下、高分化型肝癌自体への取り込みにより診断能が低下するため積極的に SPIO 造影を施行する施設は減りつつある。しかし、転移性肝がんにおける感度は非常に高く、門脈造影下 CT (CTAP) にとってかわる診断法として定着しつつある。また、肝硬変症においては nodule-in-nodule を呈する比較的早期の肝細胞癌の診断に優れている¹¹⁾。

脂溶性ガドリニウムキレート造影 MRI

Gadolinium-EOB-DTPA, gadolinium-BOPTA などが既に日本以外では広く認可され臨床使用

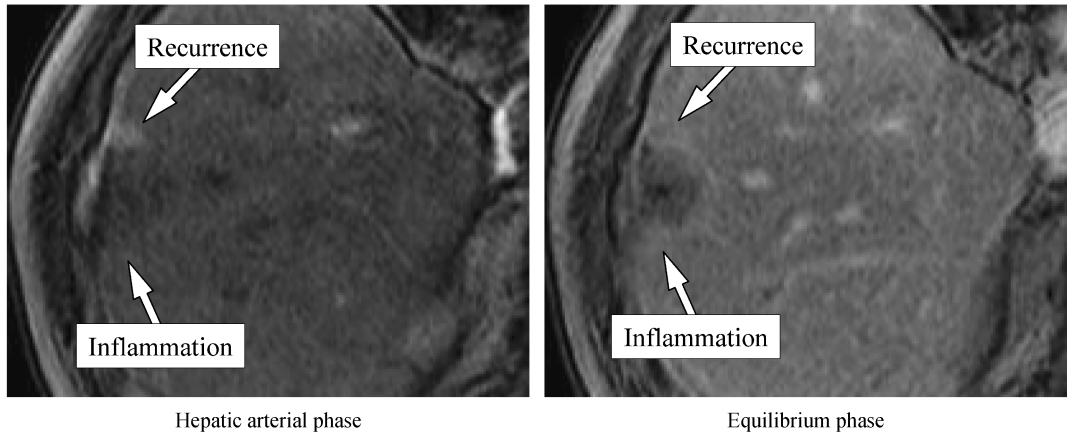
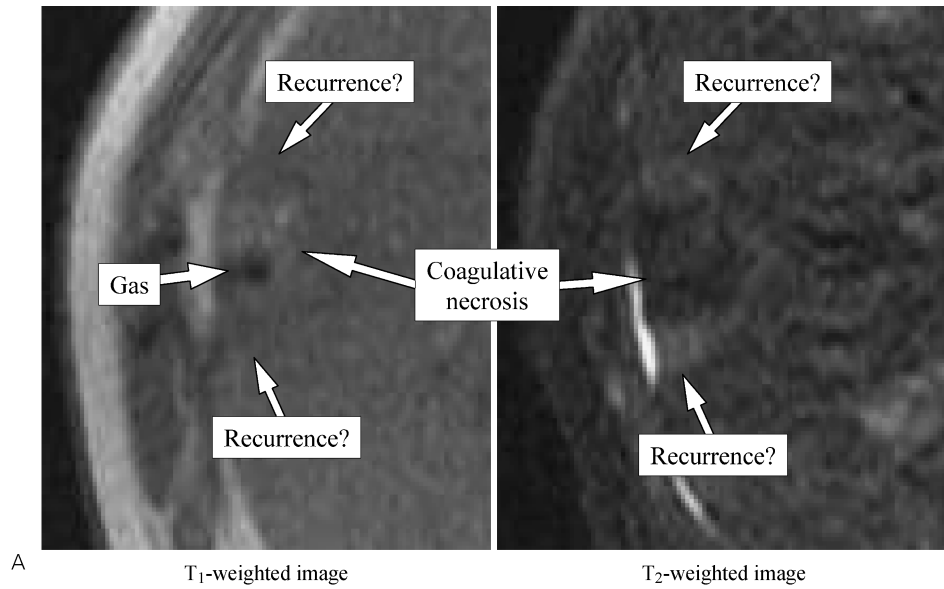


Fig. 5.

A: Suspected hepatocellular carcinoma recurrence 3 months post radiofrequency ablation therapy. The very center of the ablation area exhibits hypointensity on T1-weighted image due to gas production. The central area causing coagulative necrosis exhibits hyperintensity on T1-weighted and hypointensity in T2-weighted images. The peripheral area causing inflammation, edema, and fibrosis exhibits hypointensity on T1-weighted and hyperintensity on T2-weighted images.

B: Gadolinium-enhanced image shows the small tumor recurrence in the ventral side of the ablation portion as an area of early enhancement in the hepatic arterial phase and washout in the equilibrium phase. The dorsal area does not show any enhancement or washout and was revealed as an area of inflammatory change.

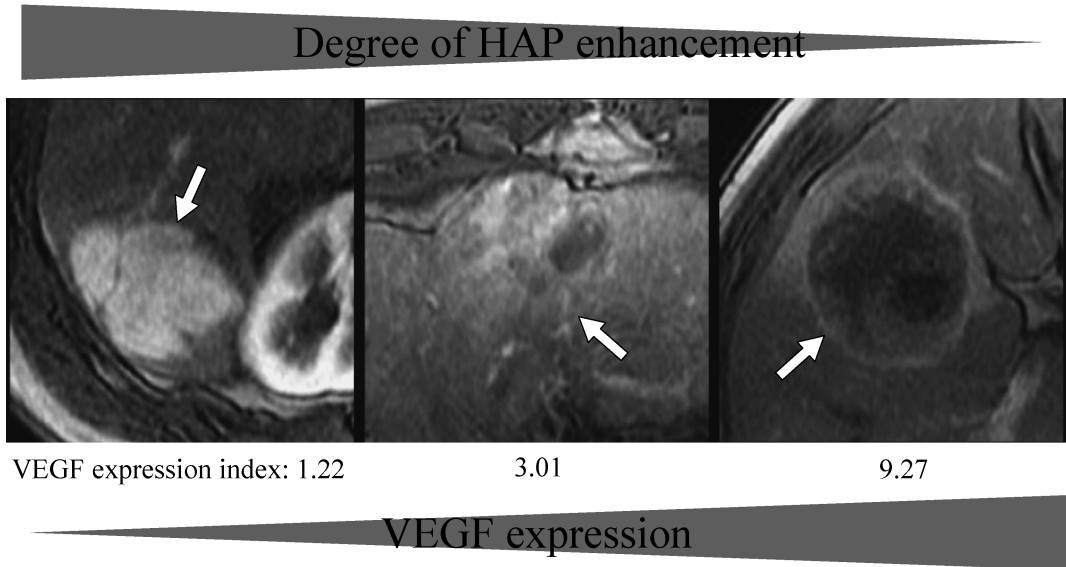


Fig. 6.

A: Relations of hepatocellular carcinoma vascularity and vascular endothelial growth factor (VEGF) expression. VEGF expression was more intense in lesions with scarce arterial vascularity and was weaker in lesions with rich arterial vascularity. This inverse correlation is explained by the upregulation theory of VEGF, that is, hypovascular tumor exposed in hypoxic status produces hypoxia inducible factor (HIF-1 α) that synthesizes VEGF proteins via mRNA induction. Thereafter, the original hypoxic lesion acquires oxygen via new tumor vessels generated by VEGF. Once a hyperoxic status is brought about in the lesion, VEGF expression is weakened by the suppression of upregulation cycle, which is referred to as downregulation. HAP = hepatic arterial phase

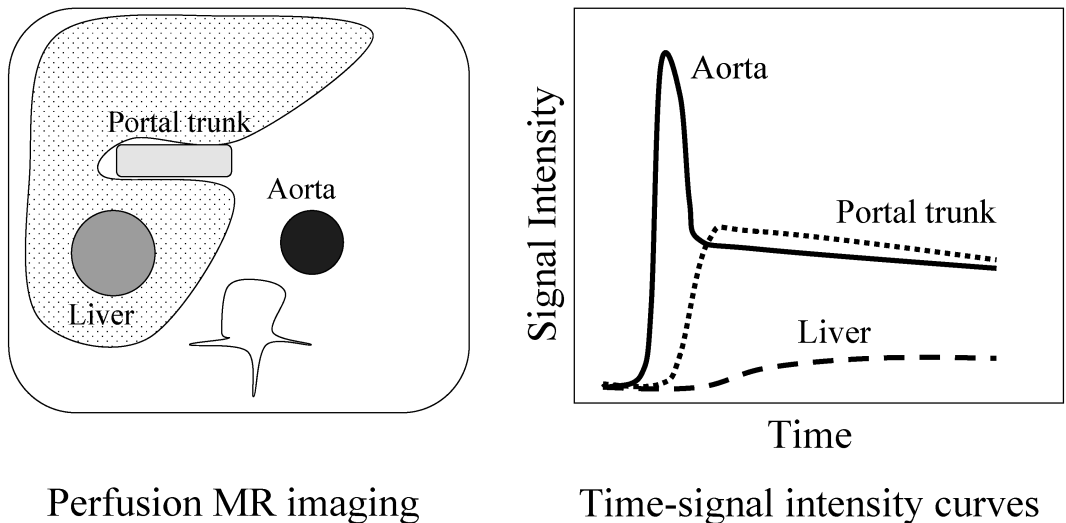


Fig. 7. Time-signal intensity curves are obtained in the abdominal aorta, portal trunk, and hepatic parenchyma. These curves are processed by using dual-input one-compartment model to calculate the total blood volume, hepatic arterial and portal venous fractions, and mean transit time.

されているが、本邦ではEOBが近々承認される見込みとなっている。共にT₁強調像に用いる陽性造影剤で静注後細胞外液性造影剤として振る舞った後、肝細胞に取り込まれ、胆道に排泄される。EOBに関して、承認見込みとなっている用量は、肝細胞癌診断を見込んだダイナミックMRIにおいてやや不足であることが懸念されている。しかし、肝胆道相が20分前後で撮像可能である点が、90分程度待つ必要があるBOPTAよりも優れている。Mangafodipir trisodium (Mn-DPDP)は欧州、米国、韓国で使用されているが、日本では認可の予定はない。これらの胆道排泄性造影剤を用いたMR cholangiographyの報告もある。

MR perfusion

MRIとgadolinium-chelateを用いて、肝のパーフュージョン検査が可能である。肝パーフュージョン検査に求められる条件として、①全肝、部分肝、肝腫瘍の肝動脈、門脈血流の定量性、②小病変を解析可能な空間分解能、③薬物動態を解析するに足る時間分解能、④正確な濃度解析が可能なトレーサ（造影剤）、⑤肝動脈血流比、平均通過時間、血流量、血流量を正確に導く頑強な薬物動態モデル、⑥腫瘍検索が可能な全肝撮像、⑦従来のモダリティ（CT、MRI、US等）との適合等が求められる。

Van Beersらはdual-input one-compartment modelを用いたsingle-slice perfusion studyを（Fig. 7）、Rusinekらは全肝を3.4秒で撮像する三次元シーケンスとdual-input one-compartment modelにより全肝撮像とパーフュージョン検査の両立を図っている。

ま と め

以上、肝MRIに関して、単純および造影検査で可能な診断について解説した。T₁、T₂強調像が多く的情報をもたらすこと、拡散強調像やcoherent像は有用であること、近い将来MRSに期待できること、ダブルアーテリアルMRI

は肝細胞癌診断に必須であり、MRIでもisotropic imagingの実現を図れること、肝特異性造影剤はMRIの十八番であること、肝細胞癌治療後の効果判定もMRIで行えること、分子病態との関連はまだまだ検討事項があること、perfusion検査実用化の可能性のあることを強調して締めくくる。

文 献

- 1) Damadian R : Tumor detection by nuclear magnetic resonance. Science 1971 ; 171 : 1151
- 2) Ueda K, Matsui O, Kawamori Y, et al. : Hypervascular hepatocellular carcinoma : evaluation of hemodynamics with dynamic CT during hepatic arteriography. Radiology 1998 ; 206 : 161-166
- 3) Folkman J, Cole P, Zimmerman S : Tumor behavior in isolated perfused organs : *in vitro* growth and metastases of biopsy material in rabbit thyroid and canine intestinal segment. Ann Surg 1966 ; 164 : 491-502
- 4) Semelka RC, Cance WG, Marcos HB, Mauro MA : Liver metastases : comparison of current MR techniques and spiral CT during arterial portography for detection in 20 surgically staged cases. Radiology 1999 ; 213 : 86-91
- 5) Kato H, Kanematsu M, Matsuo M, Kondo H, Hoshi H : Atypically enhancing hepatic cavernous hemangiomas : high-spatial-resolution gadolinium-enhanced triphasic dynamic gradient-recalled-echo imaging findings. ur Radiol 2001 ; 11 : 2510-2515
- 6) Yamashita Y, Ogata I, Urata J, Takahashi M : Cavernous hemangioma of the liver : pathologic correlation with dynamic CT findings. Radiology 1997 ; 203 : 121-125
- 7) Urhahn R, Kilbinger M, Drobnitzky M, Manspeine G, Neuerburg J, Gunther RW : Dynamic Gd-enhanced MR imaging of hepatic hemangioma : is high temporal resolution requisite for characterization? Magn Reson Imaging 1996 ; 14 : 31-41
- 8) Holland AE, Hecht EM, Hahn WY, et al. : Importance of small (< or = 20-mm) enhancing lesions seen only during the hepatic arterial phase

- at MR imaging of the cirrhotic liver : evaluation and comparison with whole explanted liver. *Radiology* 2005 ; 237 : 938-944
- 9) Lee JD, Lee JM, Kim SW, Kim CS, Mun WS : MR imaging-histopathologic correlation of radio-frequency thermal ablation lesion in a rabbit liver model : observation during acute and chronic stages. *Korean J Radiol* 2001 ; 2 : 151-158
- 10) Kanematsu M, Osada S, Amaoka N, et al. : Expression of vascular endothelial growth factor in hepatocellular carcinoma and the surrounding liver and correlation with MRI findings. *AJR Am J Roentgenol* 2005 ; 184 : 832-841
- 11) Goshima S, Kanematsu M, Matsuo M, et al. : Nodule-in-nodule appearance of hepatocellular carcinomas : comparison of gadolinium-enhanced and ferumoxides-enhanced magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging* 2004 ; 20 : 250-255

MR Imaging of the Liver: Focusing on Unenhanced and Contrast-enhanced Studies

Masayuki KANEMATSU

*Radiology Services, Gifu University Hospital
1-1 Yanagido, Gifu 501-1194*

This review article summarizes the presentation on MR imaging of the liver given at the 33rd annual meeting of the JSMRM. For unenhanced imaging, discussion included T₁- and T₂-weighted imaging, phase-shift imaging, susceptibility-weighted imaging, diffusion-weighted imaging, steady-state coherent imaging, MR spectroscopy, and MR elastography. For contrast-enhanced study, discussion included MR imaging with gadolinium-DTPA, superparamagnetic iron oxide (SPIO), gadolinium-EOB-DTPA, gadolinium-BOPTA, and manganese-DPDP. The effects of vascular endothelial growth factor (VEGF) on MR imaging findings in hepatocellular carcinomas and the basic concept of MR perfusion study were also described.