

MRI による肝腫瘍診断

堀 雅敏

大阪大学大学院医学系研究科放射線医学講座

はじめに

MRI 装置の進歩は著しい。以前は T₁強調像、T₂強調像を得るのにそれぞれ数分を費やしていたが、やがて一回の呼吸停止下で全肝を撮像する高速撮像法があたりまえのものとなり、引き続いて parallel imaging が普及した。現在では、呼吸停止下の高分解能画像を得るのは容易なこととなっている。また、echo planar imaging (EPI) 法による拡散強調像や steady state gradient echo 法など、従来は十分に臨床応用に供することのできなかつたシーケンスが普通に使えるものになった。2005 年からは本邦でも 3T 装置の臨床応用が始まり、その臨床的特性が盛んに研究されている。造影剤についても、従来の非特異性ガドリニウム造影剤に加えて、網内系造影剤である超常磁性酸化鉄造影剤が利用できるようになった。これにより、Kupffer 細胞機能の面から肝を評価できるようになった。さらに 2008 年には肝細胞をターゲットとした肝細胞性造影剤も本邦で市販されることになり、肝 MRI の新しい可能性が開けるものと考えられる。本稿では、MRI による肝腫瘍診断について最新の情報を交えて解説する。

単純 MRI

非造影の肝 MRI では、他部位と同様に T₁強調像・T₂強調像が基本となる。このほか、最近では EPI 法を用いた拡散強調像や steady-state gradient echo 法が用いられるようになった。

T₁強調像では、以前に主流であった spin echo (SE) 法や fast SE 法が行われることは少なく、gradient echo 法が多用されている。水素原子核の核磁気共鳴周波数は水と脂肪とでは 3.5 ppm 異なっており、gradient echo 法の echo 時間を調節すれば、水と脂肪の信号が同位相で強め合う画像 (in-phase) や逆位相で弱め合う画像 (out-of-phase) など、性質の異なる gradient echo T₁強調像が得られる。In-phase 像と out-of-phase 像の両者を撮像すれば、肝腫瘍内の脂肪を評価することができ、時として鑑別に重要な役割をはたす。したがって、肝 MRI ではこの両者を撮像するのが強く望まれる。現在は、2D gradient echo 法の dual echo 撮像によって、一回の呼吸停止下で全肝の in-phase 像/out-of-phase 像を一度に撮像する方法がよく用いられている。この方法では、全肝の in-phase および out-of-phase 画像を一回の呼吸停止下に位置ずれなく撮像できる。

この総説は、第 34 回日本磁気共鳴医学会大会教育講演「腹部」での講演を中心にまとめたものである。

キーワード MR imaging, liver, neoplasm

一方、 T_2 強調像では、充実性肝腫瘍の検出の点で呼吸停止下撮像法は十分といえず、脂肪抑制の呼吸同期 FSE 法が推奨されている。この方法は撮像に数分間かかるため、必要に応じて呼吸停止下の撮像法（呼吸停止下 FSE, EPI など）が用いられることも多い。ただし、呼吸同期 FSE に比べると、呼吸停止下 FSE では充実性腫瘍の輪郭のぼけ (blurring) が強く、また EPI では空間分解能が低いことやゆがみが大きい点で劣っている¹⁾。

生体内での分子の微細な動きには、分子拡散 (diffusion) と毛細血管網を血液が流れる灌流 (perfusion) とがある。Motion-probing gradient (MPG) と呼ばれる傾斜磁場を印可することにより、分子拡散を反映した画像を取得することができ、拡散強調画像と呼ばれる。通常、腹部では single-shot SE EPI 法が用いられる。この手法では、MPG パルスの強さ b 値 (b -value, s/mm^2) によって画質が変化する。小さな b 値では拡散よりも灌流の影響が強くなる。拡散の影響が強い画像を得るためには、約 $500 s/mm^2$ 以上の b 値が望ましい。以前は、大きな b 値では信号強度が著しく低くなってしまい、高画質での検査ができなかったが、parallel imaging 法の実用化により画質が著しく改善した。拡散強調画像は、肝腫瘍の検出 (Fig. 1) と鑑別に有用と考えられている^{2)~5)}。

Steady-state gradient echo 法 (各社の名称: FIESTA, TrueFISP, Balanced FFE, TrueSSFP など) は、短い間隔で RF パルスを繰り返すことにより縦磁化および横磁化が定常状態となることを利用した撮像法であり、SNR の非常に高い画像が得られるのが特徴である。この画像では水や血液が高信号を示す。肝臓領域では、胆管系や門脈が高信号を呈することから、造影剤を使わずにこれらを評価することが可能である (Fig. 2)⁶⁾。

造影 MRI

ガドリニウム造影の急速静注と高速撮像法を組み合わせたガドリニウム造影 dynamic MRI では、病変部の造影形態を経時的に観察することができる。これは、病変の質的診断^{7)~9)}や病期診断、存在診断¹⁰⁾に広く利用されている。Dynamic CT と比べ、dynamic MRI はコントラスト分解能に優れる、放射線被曝がない、造影剤による副作用が少ない等の点で優れている。造影剤注入直後に動脈相、1分後に門脈相、2, 3分後に平衡相を撮像する。静脈に注入した造影剤が動脈に到達するまでの時間は患者により異なるため、撮像を開始するまでのタイミングの決定には、test injection 法や大動脈への造影剤到達をリアルタイムにモニタして撮像開始を決定する bolus tracking 法を用いるのが望ましい。撮像シーケンスとしては、3D gradient echo 法あるいは 2D gradient echo 法が用いられる。我々は、3D gradient echo 法の一つである LAVA (Liver Acquisition with Volume Acceleration, GE 社) を用い、高画質の画像を得ている (Fig. 1)。これは肝の dynamic MRI への利用を主な用途として開発されたシーケンスで、高速、高分解能、高い信号対雑音比 (SNR)、良好な脂肪抑制が特徴とされている。MDCT では、早期動脈相と後期動脈相を撮像する場合 (double arterial phase imaging) があるが、現時点では MRI の時間分解能が十分でなく、dynamic MRI での動脈相は 1 相のみ撮像されるのが通常であろう。ただし、空間分解能を下げれば、double arterial phase での撮像は可能である。特殊な撮像シーケンスでは、Reversed centric and centric k-space reordering 技術により、高分解能の double arterial phase 撮像が可能であったと報告されている¹¹⁾。また、空間分解能をさら

2007年12月6日受理

別刷請求先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-2 D1 大阪大学大学院医学系研究科放射線医学講座 堀 雅敏

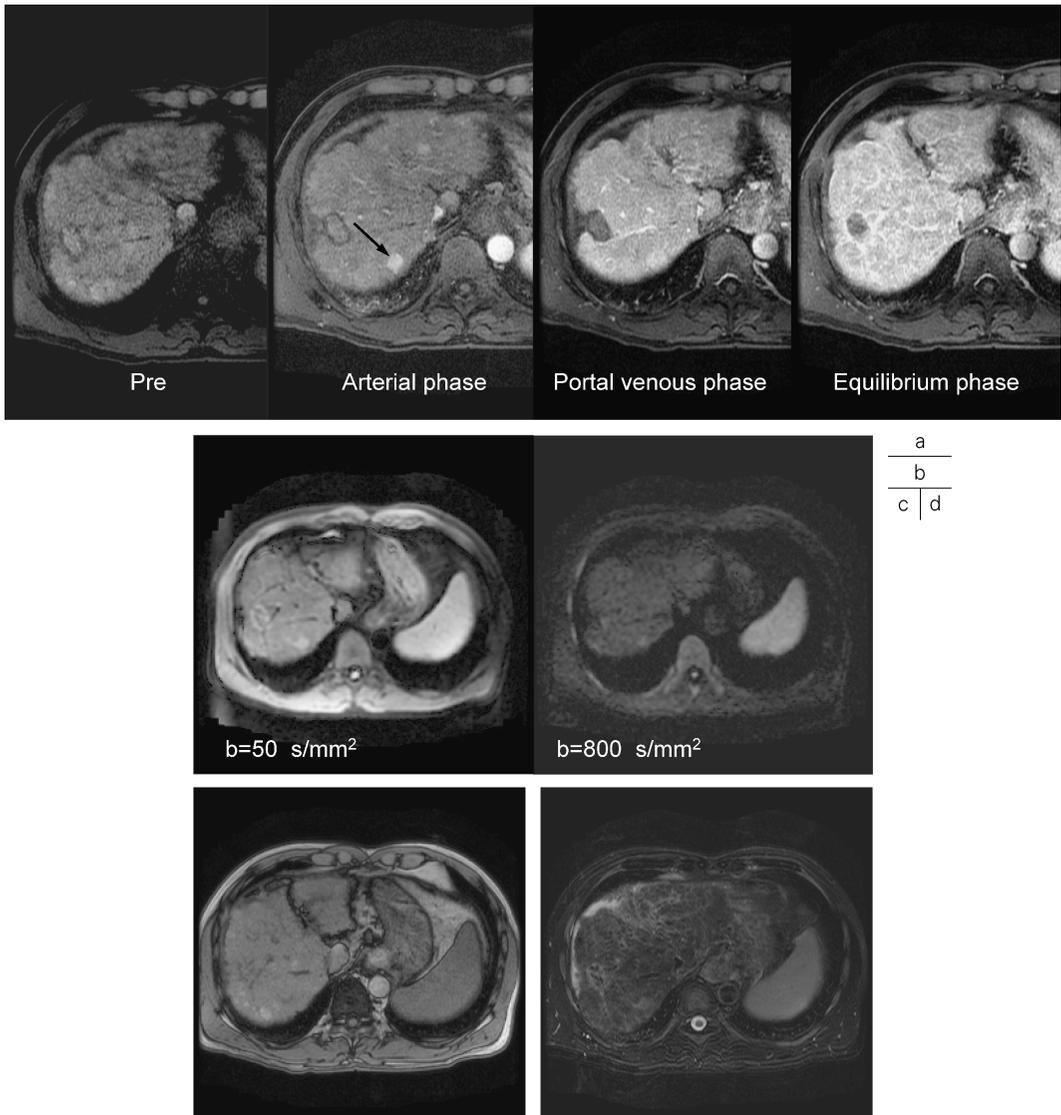


Fig. 1. Hepatocellular carcinoma in a 50-year-old man. Gadolinium-enhanced dynamic MRI (LAVA sequence) shows a hypervascular tumor 1 cm in diameter in the posterior segment of the right lobe of the liver (a, arrow). The lesion is also clearly revealed on diffusion-weighted images (b). However, the lesion can not be seen on both gradient echo T1-weighted (c) and FSE T2-weighted (d) images.

に下げることにより、より時間分解能の高い撮像を行う試みも行われており¹²⁾、時として有用と思われる。

Gradient echo 法を用いて dynamic MRI を

撮像する場合、in-phase と out-of-phase のいずれを用いるかが問題となる。一般に out-of-phase 画像の方が高コントラストであることから、こちらが dynamic study に有利である。



Fig. 2. Hepatocellular carcinoma in a 55-year-old woman

A mass lesion with portal venous thrombus (arrow) is clearly demonstrated on a steady-state gradient echo image (FIESTA sequence). The image was obtained without injection of contrast material.

しかし脂肪を含んだ hypervascular tumor の場合、いわゆる paradoxical suppression と呼ばれる現象に注意しなければならない¹³⁾。これは、造影されているにもかかわらず、水と脂肪の打ち消し合いが強くなって、信号強度が低下する現象であり、誤診につながり得る。In-phase 画像ではこのような効果はない。前述の dual echo 法で dynamic MRI を行うことによって、高コントラストの out-of-phase 画像を得ながら、paradoxical suppression による誤診を防ぐことができる (Fig. 3)。

ガドリニウム造影剤のほか、肝 MRI では肝特異性造影剤が利用できる。これには、網内系の Kupffer 細胞をターゲットとした超常磁性酸化鉄 (superparamagnetic iron oxide, SPIO) 造影剤と肝細胞性造影剤がある。SPIO 造影 MRI では、一般に TE が 7~10 ms 程度の long TE gradient echo 画像が撮像される。我々は横断像と矢状断像を撮像し、見逃しを防ぐようにしている。さらに、FSE T₂ 強調像や

short TE の gradient echo T₁ 強調像を撮像している。経動脈性門脈造影下 CT (CTAP) や肝動脈造影 CT (CTHA) は、鋭敏であるが侵襲的な検査法である。SPIO 造影 MRI の肝腫瘤診断能は高く、低侵襲ながら、これらに近い良好な診断能が期待できる¹⁴⁾。また、現在用いられている SPIO である ferucarbotran (Resovist®, バイエル薬品) は急速静注が可能であることから、急速静注後に EPI 法による短時間撮像を繰り返すことで、肝腫瘍の血流動態を評価することもある程度可能である (Fig. 4)^{15),16)}。2007 年現在、本邦で薬事認可を受けている肝特異性造影剤は SPIO のみであるが、2008 年には肝細胞性造影剤の一種 Gd-EOB-DTPA が認可される見込みである。

肝臓の 3T MRI

2005 年、全身用 3T MRI 装置が、本邦で承認された。我々の施設では、この直後に 3T MRI 装置を導入し、直ちに肝臓領域での臨床応用を開始した。3T では、1.5T に比べて、SNR が向上する。簡単な理論上、3T での SNR は 1.5T の場合の 2 倍となることが示されるが、実際には種々の理由によりこれより低い値となる¹⁷⁾。我々の検討では、3T での肝実質 SNR は 1.5T と比較して 10~50% 程度高い値を示した。3T では SNR の優位性があるものの、多数の不利な問題も存在する。これらの問題には 1) 高周波の均一性が悪くなる、2) 比吸収率 (SAR) が高くなる、3) 磁化率効果が強い、4) 化学シフトが大きいことなどが含まれる。これらの問題は克服されつつあり、今では日常的な臨床使用において 1.5T に比べてほぼ遜色のない画像が得られるようになった。ただし、1.5T で使用可能なシーケンスのうち、すべてのシーケンスが利用できるとは限らない点で注意が必要である。また、腹水の多い症例では、高周波の均一性が悪く、現在我々が用いている装置では良好な画質を得ることがで

MRIによる肝腫瘍診断

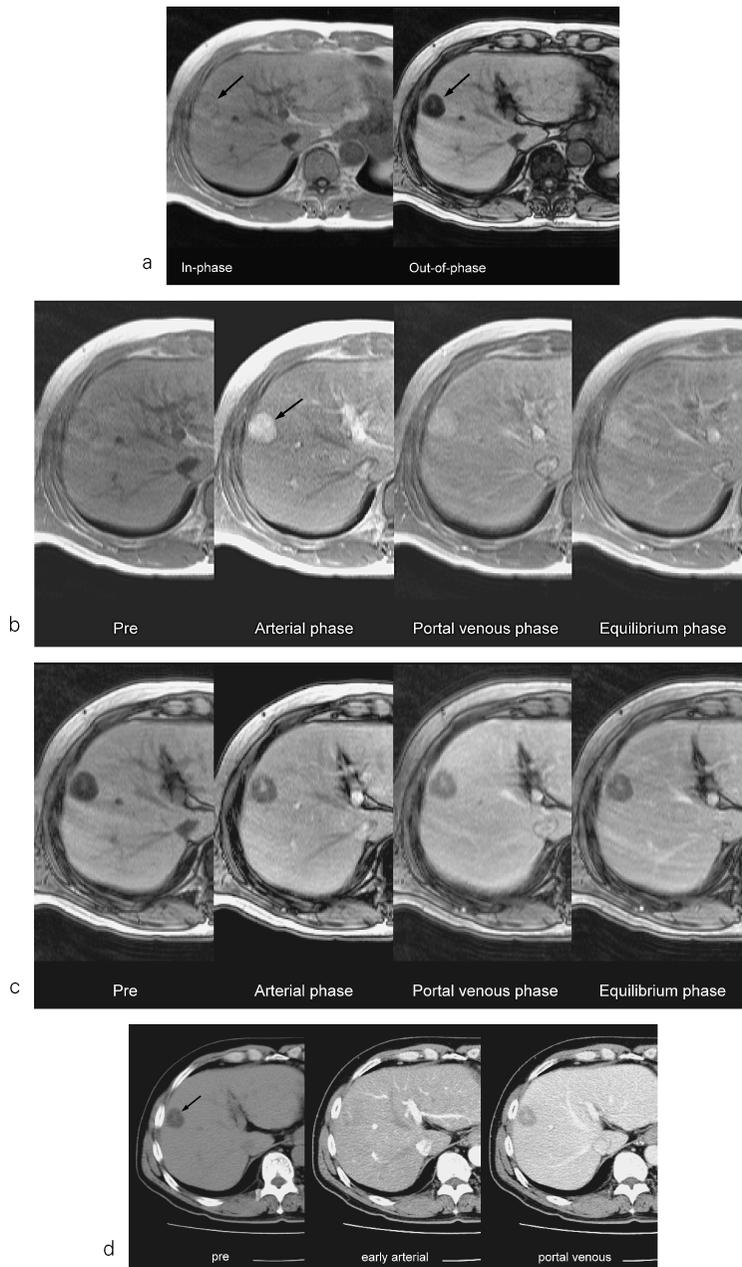


Fig. 3. Hepatocellular carcinoma with fatty component in a 55-year-old man
The nodule in the anterior segment of the liver shows isointensity on the unenhanced in-phase 2D gradient echo T₂-weighted MR image and marked hypointensity on the unenhanced out-of-phase image (arrows in a). The arterial enhancement of the nodule is clearly seen on the in-phase dynamic MR image (arrow in b) but can be hardly seen on the simultaneously obtained out-of-phase image (c). The nodule demonstrates marked low density, showing a marked fatty component on unenhanced CT (arrow in d), and arterial enhancement is clearly seen on dynamic CT (d).

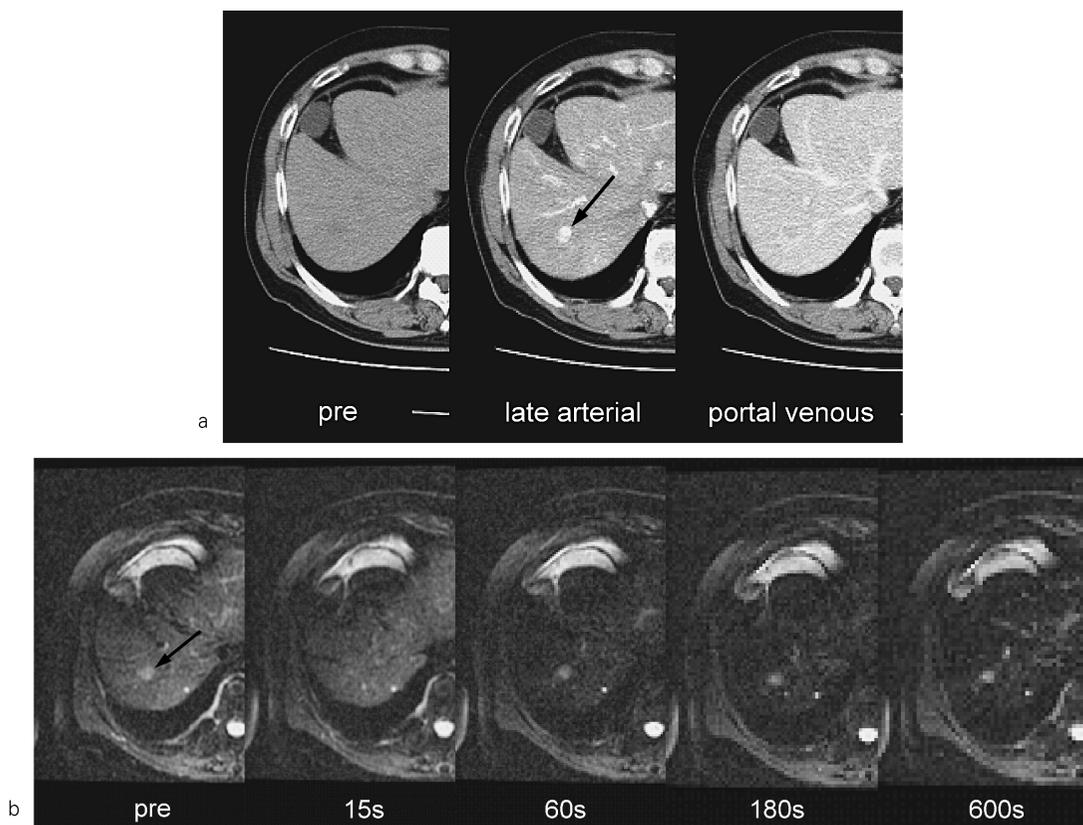


Fig. 4. Small hypervascular hepatocellular carcinoma without ferucarbotran-uptake in the right lobe of the liver in a 67-year-old man

Dynamic CT images show hyperattenuation of the lesion in the late arterial phase and washout of contrast medium in the portal venous phase (arrow in a). Dynamic ferucarbotran-enhanced echo-planar T₂-weighted MR images show that high signal intensity of the lesion (arrow in b) decreased transiently 15 s after ferucarbotran injection, and then rapidly recovered. Images are precontrast, 15, 60, 180, and 600 s after ferucarbotran injection (b).

きない (Fig. 5)。このような場合、可能であれば 1.5T 装置を用いて検査するようにしている。肝臓では SPIO 造影 MRI も重要であるが、これについても 1.5T とほぼ同様の造影剤量、シーケンスおよびパラメータで、ほぼ同様の画質が得られる¹⁸⁾。また、MRA や MRCP では 3T の方が良好な画像が得られることも多い。今後は、高 SNR や化学シフト増大といった 3T MRI の特長を利用したイメージングの実現が課題となってくるものと思われる。高い SNR はパラレルイメージングの可能性を高め

ることから、高分解能画像・高速撮像法・拡散強調像などの面で、1.5T を上回る有用性が得られることを期待している。

MRI による肝腫瘍診断

1. 肝細胞癌と境界病変

肝細胞癌 (hepatocellular carcinoma, HCC) は、周囲肝実質に比して T₂ 強調像では 90% 強が高信号を示すが、T₁ 強調像では低、等、高信号を示すものが約 1/3 ずつあると報告され

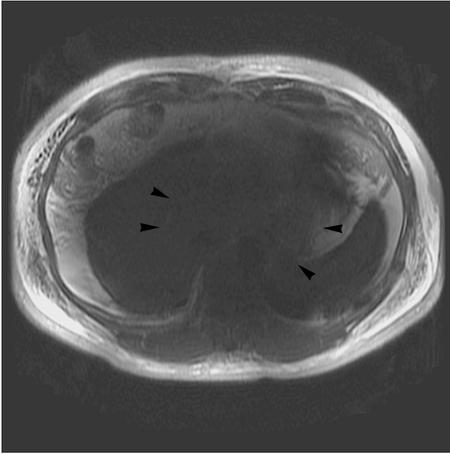


Fig. 5. Severe signal loss artifact seen on MR image in 55-year-old man with liver cirrhosis and ascites at 3.0T

Axial SSFSE image shows severe signal loss in center of image (arrowheads). Fluid accumulation in peritoneal cavity enlarge abdomen and increase electrical conductivity, causing marked artifact.

ている¹⁹⁾。分化度との関連では、比較的高分化な腫瘍ほど T₁強調像で高信号を示すとされている。また高分化型腫瘍は T₂強調 SE 画像で等信号を示すことが多いとも報告されている¹⁹⁾。このように、腫瘍の分化度の違いを単純 MRI で評価できる場合がある。さらに、T₁強調像で低信号、T₂強調像で低信号を示す被膜や腫瘍内部の線維隔壁も診断の助けになる。

ガドリニウム造影剤を用いた dynamic MRI は腫瘍の血流動態を評価することが可能で、肝腫瘍の検出診断、鑑別診断に有用である。古典的な肝細胞癌の場合、多血性 (hypervascularity) を呈する。多血性腫瘍では、造影剤注入直後の動脈相で腫瘍全体がほぼ染まる overall enhancement を示し、門脈相から平衡相で周辺肝実質に比して等から低信号を示す (Fig. 1)。しかし、腫瘍内に壊死があると、壊死部分は動脈相で濃染されず、腫瘍の造影は不均一になる。一方、高分化型の肝細胞癌は乏血性

Table. Sensitivity for Detecting Hepatocellular Carcinomas

SPIO-MR	Gd-MR	Dynamic CT	Reference No.
75	—	71	(28)
95	—	88	(29)
78	94	—	(26)
82	90	—	(27)
—	75	61	(20)
—	85	52	(10)

Data are the percentages of tumor nodules detected by each technique.

(hypovascular) の場合が多く、dynamic MRI では周囲肝実質よりも弱い濃染しか示さない場合が多い。これらの所見は dynamic CT とほぼ同様である。多血性肝細胞癌の検出能について、dynamic MRI と dynamic CT との比較結果が多数報告されている (Table)^{10),20)}。我々の施設では、10年以上前からその時々最新の装置を使った結果をまとめてきたが、どの時点でもこれらの診断能はほぼ同程度であった^{20)~22)}。近年、double arterial phase MDCT に比べ、double arterial phase 3D dynamic MRI の方が、高い検出感度を示したと報告されている²³⁾。しかし、この報告は「MR は偽陽性が多く、Az 値では有意差がなかった」としており、やはり肝細胞癌検出能について、dynamic MRI と dynamic CT は大差がないと考えて良いデータであろう。

SPIO 造影 MRI による肝細胞癌の診断では、転移性肝癌などの場合と異なる事情がいくつかある。第一に、肝細胞癌は慢性肝障害を背景として発生する場合が多いが、慢性障害肝では肝実質の SPIO に対する反応性が健常肝よりも低くなり、また硬変肝では SPIO 取り込みが不均一となる場合も多い²⁴⁾。このため、肝細胞癌の診断は難しくなる。第二に、転移性肝癌は Kupffer 細胞をもたないため、腫瘍部は SPIO 取り込みの完全欠損域となるのに対し、高分化肝細胞癌は Kupffer 細胞を有するため

に、腫瘍部が種々の程度の SPIO 取り込みを示し得る。このことから、SPIO 粒子取り込みの有無を判定するだけで良い転移性肝癌の診断に比べ、肝細胞癌の診断は複雑になる。一方で、分化度の違いによって肝細胞癌への SPIO 取り込みの程度が異なることは、腫瘍の分化度を推定する手がかりになる。ガドリニウム造影に対して SPIO 造影 MRI が優れている点は、多血性腫瘍と動脈門脈シャント (AP shunt) との鑑別が良好に行えることである。AP shunt では、動脈血流が門脈に短絡しているため、ガドリニウム造影剤を用いた dynamic MRI の早期相で、短絡部末梢の非腫瘍肝実質が濃染して描出される。この非腫瘍性の濃染部は多血性腫瘍との鑑別がしばしば難しい。慢性障害肝では、非腫瘍性の AP shunt が多発することが知られているが、SPIO 造影 MRI では非腫瘍性の AP shunt が SPIO 取り込み低下域として描出される頻度は少なく²⁵⁾、腫瘍と血流異常との鑑別が容易となる。肝細胞癌検出における SPIO 造影 MRI とガドリニウム造影 dynamic MRI/dynamic CT との診断能比較も多く報告されている (Table)^{26)~30)}。大まかにはこれら 3 者の診断能はほぼ同程度と考えている。

肝硬変では前癌病変と考えられる異型性結節 (dysplastic nodule) が多発する。こうした結節では、結節内に周囲肝実質と同程度あるいは周囲肝実質よりもやや多い Kupffer 細胞を有する³¹⁾。これを反映し、周囲肝実質に比べて SPIO 取り込みの亢進を示す傾向がみられる³¹⁾。しかし、高分化肝細胞癌と比較すると、SPIO 取り込みの程度にオーバーラップが多く、有意差はみられないことから、SPIO 造影 MRI によって高分化肝細胞癌と境界病変を厳密に鑑別するのは困難と現在のところ考えられている。こうした異型性結節については、単純 MRI、ガドリニウム造影 MRI でも高分化肝細胞癌との鑑別は困難な場合が多い。ただし、結節の中に悪性変化がみられると、その部分が T₂強調像で高信号を示し、dynamic MRI の動

脈相で濃染されるようになることがある。こうした場合には、悪性変化の早期観察が可能である³²⁾。

2. 胆管細胞癌

胆管細胞癌は二次的な線維化の強い腫瘍であり、線維化の程度や分布で信号や造影形態が異なる。細胞成分が比較的多い medullary subtype は T₂強調像で高信号を示し、線維化の強い scirrhous subtype では軽度の高信号を示す。Medullary subtype では、腫瘍辺縁は細胞成分が多く、造影 MRI の動脈相で周辺肝実質よりも濃染される。一方、scirrhous subtype では、造影の程度は周囲肝実質よりも弱い。腫瘍中心部の線維化の強い部分は、間質に造影剤が徐々に染み込むため、平衡、晚期相で濃染される。

3. 転移性肝腫瘍

転移性腫瘍は、一般に T₁強調像で低信号、T₂強調像で高信号を示す。MRI では、1) T₂強調像で無構造、不均一な高信号、2) T₂強調像で高信号の腫瘍の中に更に高信号の部分を含む (target sign)、3) T₂強調像で腫瘍周辺を取り巻く高信号 (halo sign)、4) T₁強調像と T₂強調像の間で、腫瘍の形、大きさが異なる、などの特徴的な所見が挙げられている。ただし小さな腫瘍や hypervascular な腫瘍は、T₂強調像で肝血管腫なみの高信号を示す場合がある。血流の比較的少ない腫瘍の場合、dynamic MRI では一般に動脈相から平衡相でドーナツ状の ring enhancement を示し、平衡相から晚期相にかけて徐々に濃染が中央に移行していく。一方、hypervascular な腫瘍の場合は、動脈相で濃染するが、門脈、平衡相にかけて徐々に濃染が消失していく。転移性肝腫瘍の診断には造影 CT が用いられることが多いが、造影 CT に SPIO 造影 MRI を併用することで診断能の向上が認められる³³⁾。

4. 血管腫

肝血管腫は、T₁緩和、T₂緩和が長く、T₁強調像で低信号、T₂強調像で著明な高信号を示

す。ただし、内部に血栓、壊死、出血、線維化があると信号は不均一になることがあり、信号パターンは特異的ではない。Dynamic MRIでは、比較的早期に腫瘍辺縁部に球状濃染(peripheral globular enhancement)がみられ、門脈～平衡相で腫瘍の内部に向かって造影剤が広がっていく(spreading phenomenon)といった特徴的な造影パターンを示し、鑑別に極めて有用である。

ま と め

MRIによる肝腫瘍診断について解説した。多血性肝細胞癌について、造影MRIは造影CTとほぼ同等の検出能を有すると考えられる。ガドリニウム造影剤、SPIO造影剤、肝細胞特異性造影剤を用いた造影MRIでは、腫瘍の性状についてそれぞれ異なる情報を得ることができ、鑑別診断等に有用である。今後は、3T MRIの肝臓への応用や肝細胞特異性造影剤による造影MRIの経験が多くなることと思われる。肝MRIの新たな進歩が期待される。

文 献

- 1) Hori M, Murakami T, Kim T, Kanematsu M, Tsuda K, Takahashi S, Takamura M, Hoshi H, Nakamura H : Single breath-hold T₂-weighted MR imaging of the liver : value of single-shot fast spin-echo and multishot spin-echo echoplanar imaging. *AJR Am J Roentgenol* 2000 ; 174 : 1423-1431
- 2) Namimoto T, Yamashita Y, Sumi S, Tang Y, Takahashi M : Focal liver masses : characterization with diffusion-weighted echo-planar MR imaging. *Radiology* 1997 ; 204 : 739-744
- 3) Ichikawa T, Haradome H, Hachiya J, Nitatori T, Araki T : Diffusion-weighted MR imaging with a single-shot echoplanar sequence : detection and characterization of focal hepatic lesions. *AJR Am J Roentgenol* 1998 ; 170 : 397-402
- 4) Kim T, Murakami T, Takahashi S, Hori M, Tsuda K, Nakamura H : Diffusion-weighted single-shot echoplanar MR imaging for liver disease. *AJR Am J Roentgenol* 1999 ; 173 : 393-398
- 5) Nasu K, Kuroki Y, Nawano S, Kuroki S, Tsukamoto T, Yamamoto S, Motoori K, Ueda T : Hepatic metastases : diffusion-weighted sensitivity-encoding versus SPIO-enhanced MR imaging. *Radiology* 2006 ; 239 : 122-130
- 6) Fuchs F, Laub G, Othomo K : TrueFISP-technical considerations and cardiovascular applications. *Eur J Radiol* 2003 ; 46 : 28-32
- 7) Ohtomo K, Itai Y, Yoshikawa K, Kokubo T, Yashiro N, Iio M, Furukawa K : Hepatic tumors : dynamic MR imaging. *Radiology* 1987 ; 163 : 27-31
- 8) Van Beers B, Demeure R, Pringot J, Defalque D, Geubel A, Gigot JF, Jamart J : Dynamic spin-echo imaging with Gd-DTPA : value in the differentiation of hepatic tumors. *AJR Am J Roentgenol* 1990 ; 154 : 515-519
- 9) Murakami T, Mitani T, Nakamura H, Hori S, Marukawa T, Nakanishi K, Nishikawa M, Kuroda C, Kozuka T : Differentiation between hepatoma and hemangioma with inversion-recovery snapshot FLASH MRI and Gd-DTPA. *J Comput Assist Tomogr* 1992 ; 16 : 198-205
- 10) Yamashita Y, Mitsuzaki K, Yi T, Ogata I, Nishiharu T, Urata J, Takahashi M : Small hepatocellular carcinoma in patients with chronic liver damage : prospective comparison of detection with dynamic MR imaging and helical CT of the whole liver. *Radiology* 1996 ; 200 : 79-84
- 11) Kanematsu M, Goshima S, Kondo H, et al. : Double hepatic arterial phase MRI of the liver with switching of reversed centric and centric K-space reordering. *AJR Am J Roentgenol* 2006 ; 187 : 464-472
- 12) Ito K, Fujita T, Shimizu A, Koike S, Sasaki K, Matsunaga N, Hibino S, Yuhara M : Multiarterial phase dynamic MRI of small early enhancing hepatic lesions in cirrhosis or chronic hepatitis : differentiating between hypervascular hepatocellular carcinomas and pseudolesions. *AJR Am J Roentgenol* 2004 ; 183 : 699-705
- 13) Mitchell DG, Stolpen AH, Siegelman ES, Bolinger L, Outwater EK : Fatty tissue on op-

- posed-phase MR images : paradoxical suppression of signal intensity by paramagnetic contrast agents. *Radiology* 1996 ; 198 : 351-357
- 14) Tanimoto A, Wakabayashi G, Shinmoto H, Nakatsuka S, Okuda S, Kuribayashi S : Superparamagnetic iron oxide-enhanced MR imaging for focal hepatic lesions : a comparison with CT during arteriportography plus CT during hepatic arteriography. *J Gastroenterol* 2005 ; 40 : 371-380
 - 15) Ichikawa T, Arbab AS, Araki T, Touyama K, Haradome H, Hachiya J, Yamaguchi M, Kumagai H, Aoki S : Perfusion MR imaging with a superparamagnetic iron oxide using T₂-weighted and susceptibility-sensitive echoplanar sequences : evaluation of tumor vascularity in hepatocellular carcinoma. *AJR Am J Roentgenol* 1999 ; 173 : 207-213
 - 16) Hori M, Murakami T, Kim T, et al. : Hemodynamic characterization of focal hepatic lesions : role of ferucarbotran-enhanced dynamic MR imaging using T₂-weighted multishot spin-echo echo-planar sequence. *J Magn Reson Imaging* 2006 ; 23 : 509-519
 - 17) Merkle EM, Dale BM : Abdominal MRI at 3.0 T : the basics revisited. *AJR Am J Roentgenol* 2006 ; 186 : 1524-1532
 - 18) Chang JM, Lee JM, Lee MW, Choi JY, Kim SH, Lee JY, Han JK, Choi BI : Superparamagnetic iron oxide-enhanced liver magnetic resonance imaging : comparison of 1.5T and 3.0T imaging for detection of focal malignant liver lesions. *Invest Radiol* 2006 ; 41 : 168-174
 - 19) Kadoya M, Matsui O, Takashima T, Nonomura A : Hepatocellular carcinoma : correlation of MR imaging and histopathologic findings. *Radiology* 1992 ; 183 : 819-825
 - 20) Kim T, Murakami T, Oi H, Matsushita M, Kishimoto H, Igarashi H, Nakamura H, Okamura J : Detection of hypervascular hepatocellular carcinoma by dynamic MRI and dynamic spiral CT. *J Comput Assist Tomogr* 1995 ; 19 : 948-954
 - 21) Noguchi Y, Murakami T, Kim T, et al. : Detection of hypervascular hepatocellular carcinoma by dynamic magnetic resonance imaging with double-echo chemical shift in-phase and opposed-phase gradient echo technique : comparison with dynamic helical computed tomography imaging with double arterial phase. *J Comput Assist Tomogr* 2002 ; 26 : 981-987
 - 22) Noguchi Y, Murakami T, Kim T, et al. : Detection of hepatocellular carcinoma : comparison of dynamic MR imaging with dynamic double arterial phase helical CT. *AJR Am J Roentgenol* 2003 ; 180 : 455-460
 - 23) Kim YK, Kim CS, Chung GH, Han YM, Lee SY, Chon SB, Lee JM : Comparison of gadobenate dimeglumine-enhanced dynamic MRI and 16-MDCT for the detection of hepatocellular carcinoma. *AJR Am J Roentgenol* 2006 ; 186 : 149-157
 - 24) Elizondo G, Weissleder R, Stark DD, Guerra J, Garza J, Fretz CJ, Todd LE, Ferrucci JT : Hepatic cirrhosis and hepatitis : MR imaging enhanced with superparamagnetic iron oxide. *Radiology* 1990 ; 174 : 797-801
 - 25) Mori K, Yoshioka H, Itai Y, Okamoto Y, Mori H, Takahashi N, Saida Y : Arteriportal shunts in cirrhotic patients : evaluation of the difference between tumorous and nontumorous arteriportal shunts on MR imaging with superparamagnetic iron oxide. *AJR Am J Roentgenol* 2000 ; 175 : 1659-1664
 - 26) Tang Y, Yamashita Y, Arakawa A, Namimoto T, Mitsuzaki K, Abe Y, Katahira K, Takahashi M : Detection of hepatocellular carcinoma arising in cirrhotic livers : comparison of gadolinium- and ferumoxides-enhanced MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1999 ; 172 : 1547-1554
 - 27) Pauleit D, Textor J, Bachmann R, Conrad R, Flacke S, Layer G, Kreft B, Schild H : Hepatocellular carcinoma : detection with gadolinium- and ferumoxides-enhanced MR imaging of the liver. *Radiology* 2002 ; 222 : 73-80
 - 28) Hori M, Murakami T, Kim T, Tsuda K, Takahashi S, Okada A, Takamura M, Nakamura H : Detection of hypervascular hepatocellular carcinoma : comparison of SPIO-enhanced MRI with dynamic helical CT. *J Comput Assist Tomogr* 2002 ; 26 : 701-710
 - 29) Kang BK, Lim JH, Kim SH, Choi D, Lim HK,

- Lee WJ, Lee SJ: Preoperative depiction of hepatocellular carcinoma: ferumoxides-enhanced MR imaging versus triple-phase helical CT. *Radiology* 2003; 226: 79-85
- 30) Kim YK, Kwak HS, Kim CS, Chung GH, Han YM, Lee JM: Hepatocellular carcinoma in patients with chronic liver disease: comparison of SPIO-enhanced MR imaging and 16-detector row CT. *Radiology* 2006; 238: 531-541
- 31) Imai Y, Murakami T, Yoshida S, et al: Superparamagnetic iron oxide-enhanced magnetic resonance images of hepatocellular carcinoma: correlation with histological grading. *Hepatology* 2000; 32: 205-212
- 32) Winter TC 3rd, Takayasu K, Muramatsu Y, Furukawa H, Wakao F, Koga H, Sakamoto M, Hirohashi S, Freeny PC: Early advanced hepatocellular carcinoma: evaluation of CT and MR appearance with pathologic correlation. *Radiology* 1994; 192: 379-387
- 33) Onishi H, Murakami T, Kim T, et al: Hepatic metastases: detection with multi-detector row CT, SPIO-enhanced MR imaging, and both techniques combined. *Radiology* 2006; 239: 131-138

MR Diagnosis of Liver Tumors

Masatoshi HORI

*Department of Radiology, Osaka University Graduate School of Medicine
D1, 2-2, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871*

Magnetic resonance (MR) imaging is useful for detecting and characterizing liver tumors and is employed widely clinically. Its use with extracellular or with liver-specific contrast material enables investigation of the morphologic, hemodynamic, and functional nature of focal hepatic lesions. Liver tumors often show characteristic MR imaging findings that permit their accurate diagnosis. We herein describe the technique and role of MR imaging for diagnosing liver tumors.