

肝腫瘍における dynamic helical CT と dynamic MRI の 造影効果の定量的評価

満崎克彦, 山下康行, 緒方一朗, 土亀直俊,
高橋睦正

熊本大学医学部放射線医学教室

はじめに

Helical CT の登場により, 全肝を対象とした呼吸停止下の dynamic CT が可能となり, 肝腫瘍の血行動態の把握や鑑別診断が可能となった^{1)~5)}. また, MRI においても, 従来は腫瘍の形態や信号強度による診断が中心であったが, 高速撮像法の開発により, 全肝を対象とした呼吸停止下の dynamic MRI が臨床に応用され, その有用性も報告され^{6)~8)}, 特に肝細胞癌の描出能については, 全肝 dynamic CT と dynamic MRI の詳細な比較検討がなされている^{9)~11)}. しかし, 肝腫瘍において, ヨード造影剤を用いた dynamic CT と Gd-DTPA を用いた dynamic MRI はそれぞれの造影剤の代謝や分子量も違い, 異なった造影パターンを呈する可能性があり, それを定量的に比較検討した報告はない. 今回我々は, 大動脈と肝実質の造影パターン, 並びに肝腫瘍における dynamic helical CT と dynamic MRI を定量的に比較検討し, 造影パターンの解析を試みた.

対象および方法

対象は, dynamic helical CT と dynamic MRI を1週間以内に施行した肝腫瘍(肝細胞癌15例26結節, 血管腫14例15結節, 転移性肝癌11例22結節)で, 男性21例, 女性19例, 年齢は24~76歳(平均66.6歳)である. 肝細胞癌15例26結節中, 13例21結節は生検にて組織診断が得られ, 残り2例5結節は臨床経過および画像診断にて肝細胞癌の診断を得ている. 転移性肝癌の内訳は, 大腸癌5例9結節, 卵巣癌3例5結節, 胃癌1例3結節, 膀胱癌1例4結節, 平滑筋肉腫1例1結節で, 肝生検又は臨床経過にて転移性肝癌の診断を得ている. 血管腫は全例臨床経過および画像診断にて血管腫の診断が得られている. 各腫瘍の大きさの平均は, 肝細胞癌1.5 cm (0.8~3.5 cm), 血管腫1.6 cm (1.1~4.3 cm), 転移性肝癌2.3 cm (0.9~4.8 cm)であった.

使用CT機種は, GE社 Hispeed Advantageで, 造影剤は非イオン性ヨード造影剤を用いた. 撮影方法は, 最初に1 cm 間隔, 1 cm 厚で, 肝全体の単純CTをaxial scan後, 造影剤2 ml/kgをインジェクターを用いて, 3 ml/s

の注入速度で上腕より一相性に急速静注し、呼吸停止下に全肝を尾側方向に撮影した。Dynamic helical CT は、X線ビーム幅7mm、テーブル移動速度7mm、pitch 1~1.2、scan time 1秒で撮像した。造影剤注入開始後、240秒後まで30秒ごとに撮像し、30秒後、60秒後、240秒後をそれぞれ動脈相、門脈相、後期相とした。全スライスの大動脈、肝実質、および腫瘍のCT値をROIを用いて測定した。

使用MRI機種は、1.5 T system (Magnetom Vision, Siemens) にて、body array coilを用いて撮像した。パルス系列は、FLASH法 (TR/TE/flip angle=150/4.2/75°) で、matrix 128×256、slice thickness 7mm、gap 3mm、slice数15枚、acquisition time 12~15秒であった。まず、造影前のT₁強調像を呼吸停止下に撮像し、Gd-DTPA 0.1 mmol/kgを急速静注し、生理食塩水約10mlでフラッシュすると同時に撮像を開始した。その後、240秒後まで30秒ごとに撮像した。撮像開始30秒後を動脈相、60秒後を門脈相、240秒後を後期相として撮像した。CTと同様に、全スライスの大動脈、肝実質、腫瘍の信号強度をROIを用いて測定した。なおCT値あるいは信号強度は、腫瘍サイズに合わせて、最も面積が大きくなるようにROI設定し測定した。

検討項目

1. 測定値を基にtime-densityおよびtime-intensity curveを求め、CTとMRIにおける大動脈と肝実質の造影パターンを比較した。また、造影剤のクリアランスの指標として、Fig. 1のように、peak enhancementと各時相におけるenhancementから、大動脈と肝実質のwash-out ratioを求め、比較検討した。
2. 各腫瘍におけるcontrast enhancement ratio (以下CER)を以下の式から求め、CTと

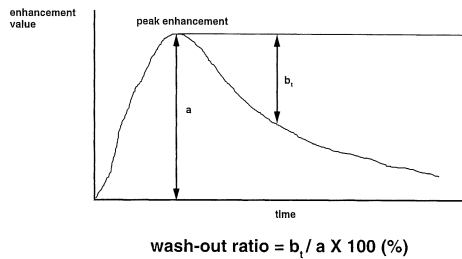


Fig. 1. Wash-out ratio. Wash-out ratio is defined as division of enhancement value (b_t) at a certain time by peak enhancement value (a).

MRIの間で比較検討した。

$$CER = \frac{[(\text{造影後の測定値}) - (\text{造影前の測定値})]}{(\text{造影前の測定値})}$$

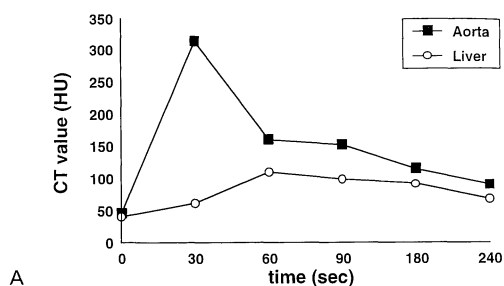
3. 各時相における腫瘍と周囲肝実質とのcontrast比 (contrast index)を以下の式から求め、各modalityごとに比較検討した。

$$\text{contrast index} = \frac{[(\text{腫瘍の測定値}) - (\text{肝実質の測定値})]}{(\text{肝実質の測定値})}$$

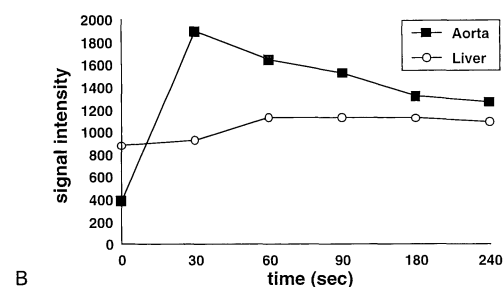
結 果

1. 大動脈と肝実質の造影パターンおよびwash-out ratio

大動脈および肝実質の造影パターンは、peak enhancementまでは、CTとMRIの間に明らかな違いは認められなかった (Fig. 2)が、peak enhancement以降では、大動脈、肝実質共に、MRIの方がCTに比べ、明らかに造影剤のwash-outが遅延していた (Table 1)。特に、肝実質のwash-outが遅延しており、Gd-DTPAの方が、非イオン性ヨード造影剤に比べ、肝実質内に長く留まる傾向がみられた。



Average time density curve of aorta and liver on dynamic helical CT



Average time density curve of aorta and liver on dynamic MRI

Fig. 2. After peak enhancement, enhancement of both the aorta and liver parenchyma persisted on Gd-DTPA than nonionic contrast material. This is more apparent in the liver than in the aorta.

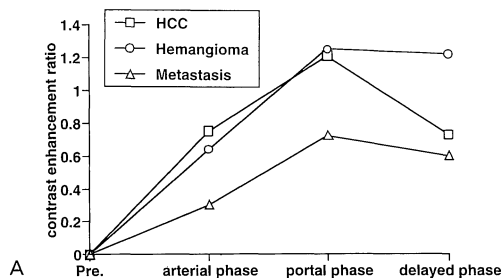
Table 1. Wash-out Ratio of the Aorta and Liver

		60 s	90 s	180 s	240 s
Aorta	CT	57±3.2%	60±3.3%	74±1.9%	86±4.3%
	MRI	16±2.6%	24±1.1%	38±3.2%	41±2.5%
Liver	CT	—	10±2.1%	22±2.1%	56±2.9%
	MRI	—	2±1.2%	7±5.4%	13±2.6%

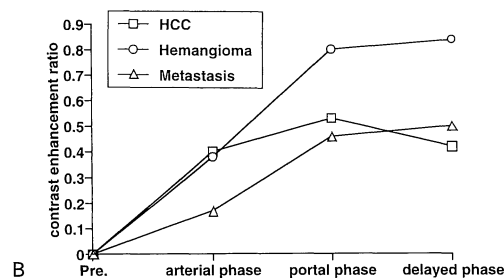
Data are the mean scores±standard deviation.

2. 各腫瘍における CER の検討

CT, MRI 共に、肝細胞癌および血管腫は、転移性肝癌に比べ、比較的早期（動脈相）から造影され、肝細胞癌は、後期相で造影効果が低下したが、血管腫は造影効果が持続していた。転移性肝癌は比較的緩徐に造影されていた。各



Contrast enhancement ratio on dynamic helical CT



Contrast enhancement ratio on dynamic MRI

Fig. 3. The enhancement of HCC and hemangioma was most prominent at the arterial phase, and the enhancement of hemangioma remained to the delayed phase. The enhancement of metastatic tumor gradually increased.

腫瘍の造影パターンは、CT と MRI で明らかな違いは認められなかったが、肝細胞癌の wash-out は CT の方が MRI より強かった。また、肝細胞癌は、門脈相で最も造影効果が強かった (Fig. 3)。

3. 各時相における腫瘍と周囲肝実質との contrast 比の検討

肝細胞癌は、CT, MRI とも動脈相にて最も contrast 比が高かった。また、後期相にて CT では low density となっているのに、MRI の後期相では、周囲肝と同程度の信号強度となっていた。一方、血管腫は、CT および MRI 共に後期相で contrast 比が高いが、特に、MRI の方が CT に比べ高かった。転移性肝癌では、

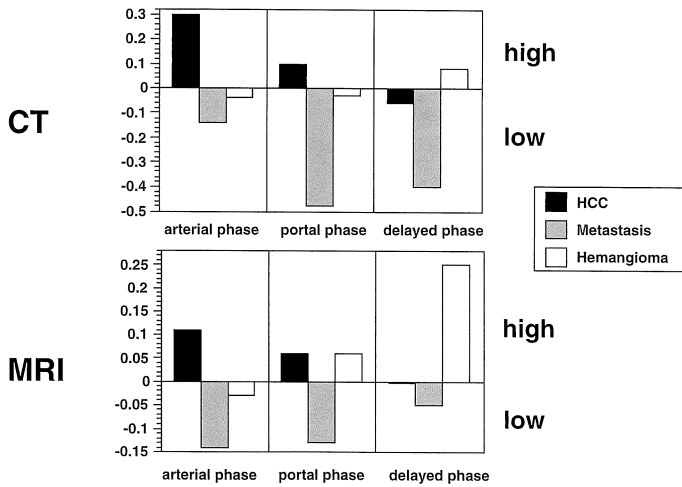


Fig. 4. Contrast index.

The contrast index of the HCC was highest on arterial phase on both CT and MRI, tumor became isointensity on the delayed phase with dynamic MRI. The maximum contrast index of hemangioma was obtained on the delayed phase with dynamic MRI. The contrast index of the metastatic tumor was greatest on the portal phase on both helical CT and dynamic MRI. On delayed phase MRI, the lesion became almost isointensity.

CTの方がMRIよりcontrast比が大きく、特にMRIの後期相でのcontrast比は低く、軽度のlow intensityを呈していた (Fig. 4).

考 察

CT, 血管造影, 尿路造影等のX線検査に使用される非イオン性ヨード造影剤の作用は直接的であり, ヨードの含有量に比例してX線を吸収し, それが画像上にコントラストとして現れる. 一方, MRI造影剤は画像に間接的に作用する造影剤であり, その濃度と信号強度は必ずしも比例するわけではない^{12),13)}と言われている. 今回の検討で, 大動脈および肝実質の造影パターンは, peak enhancementまでは, CTとMRIの間に明らかな違いは認められなかったが, peak enhancement以降では, 大動脈, 肝実質共に, MRIの方がCTに比べ, 造影剤のwash outが遅延する傾向が認められた. 特に, 肝実質のwash-outが遅延しており, Gd-DTPAの方が, 非イオン性ヨード造影剤に比べ, 肝実質内に長く留まる傾向がみられた. Wash-outが遅延するはっきりとした原因は不明であるが, ヨード造影剤に比べ, Gd-DTPAの方が造影効果が長く続く傾向にあるといわれ

ており^{11),14)}, その原因として, 腎からの排泄率, 分子量の違いなど, 様々な要因が関係しているものと推察される. MRIではGd-DTPAのwash-outが遅延することから, 平衡相の開始がCTに比べ遅れると考えられ, MRIでは, 後期相をより長く設定することが必要と思われた.

肝細胞癌のCERは, 動脈相では高く, 後期相で低くなっているが, 従来から言われているように, 肝細胞癌がほとんど動脈支配であり, 動脈相では濃染し, 後期相では, 腫瘍からの造影剤のwash-out, および正常肝実質への門脈血流からの造影剤の流入により相対的に低濃度になるとされている特徴的の血行動態⁴⁾と一致するものと思われる. ただ, 門脈相にて最大の造影効果が得られたのは, 動脈からの造影剤流入が持続するため, 門脈相で最大の造影効果が得られたと考えられる. 血管腫では, 門脈相, 後期相ともCERは高く, 後期相まで腫瘍濃染が持続する¹⁵⁾ことが定量的にも裏付けられた. 転移性肝癌は, 動脈相での濃染は, 血管腫に比べ遅れており, 後期相で血管腫の濃染に比べ明らかに低くなっていることは, 従来の報告¹⁶⁾と一致している.

肝細胞癌は, CT, MRI共に, 動脈相にて最

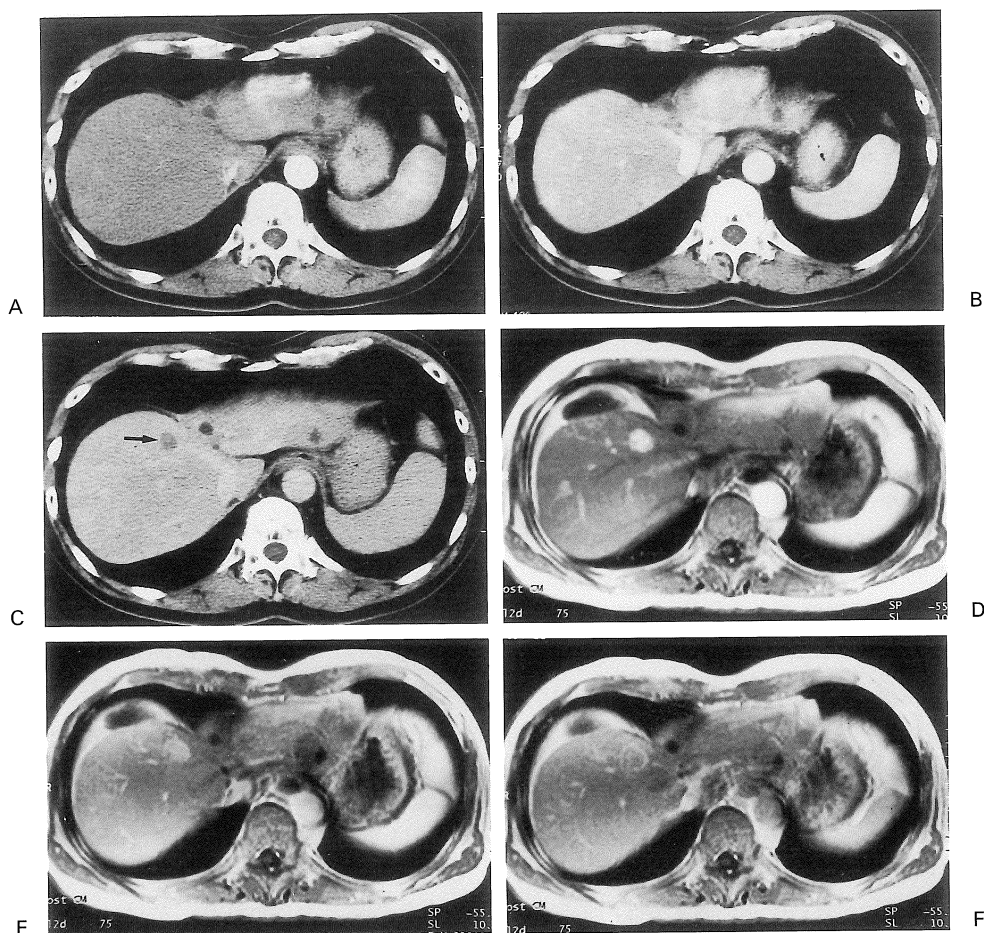


Fig. 5. A 62-year-old female with hepatocellular carcinoma. Arterial phase (A) and portal phase (B) helical CT scans show enhancement of tumor similar to the surrounding liver parenchyma. Delayed phase helical CT scan (C) at same level as (A) and (B) shows hypodense lesion (arrow) in the liver. Dynamic arterial phase on dynamic MRI (D) show distinct enhancement of tumor relative to the surrounding liver parenchyma. Portal phase on dynamic MRI (E) shows slight high intensity, but delayed phase image on dynamic MRI (F) shows the tumor as isointensity. A capsule surrounding tumor is distinctly detected.

も contrast 比が高く、動脈相での腫瘍濃染の検出が有用であると考えられる。これは、動脈相における検出率が高いという諸家の報告^{9),10)}に一致するものと考えられる。特に dynamic MRI の動脈相で肝細胞癌の描出能が良好 (Fig. 5) であり、この理由としては、1) MRI の contrast 分解能が CT より優れている、2)

Gd-DTPA の方がヨード造影剤より感度が高い、3) dynamic MRI は dynamic CT と異なり、多断層面を同時相で撮像するため、撮像タイミングの optimal window が広いなどが考えられる^{9),10)}。一方血管腫は、CT と比較すると、MRI の後期相における肝実質との contrast 比が優れており、血管腫の検出には dynamic

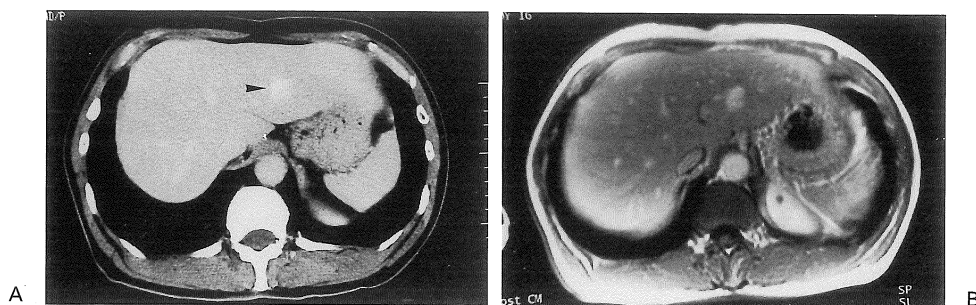


Fig. 6. A 64-year-old male with hemangioma. Delayed phase (A) helical CT scan shows a small tumor (arrowhead) with slight enhancement relative to the surrounding liver parenchyma. Delayed phase image on dynamic MRI (B) at the same level as (A) shows marked high intensity relative to the surrounding liver parenchyma.

MRIの後期相が有用と考えられた (Fig. 6). 特に比較的小さな血管腫は動脈相でよく濃染される¹⁷⁾ため、肝細胞癌との鑑別において後期相が重要となる。転移性肝癌では、CTにおいて門脈相で最も contrast 比が優れていたが、肝実質が最も造影される門脈相での腫瘍の detectability が良好であるという報告¹⁵⁾と一致すると考えられる。後期相の contrast 比が低く、特に MRI でその傾向が顕著であった (Fig. 7) が、この原因として、大腸癌の肝転移のような中心部に線維化を伴いやすい病変では、完全な凝固壊死に陥った場合と異なり、間質部に微量ながら造影剤が分布し、更に、腫瘍部とは異なり Gd-DTPA のクリアランスが極めて遅いと推測されており¹⁸⁾、また、周囲肝実質からの Gd-DTPA のクリアランスも遅いため、後期相における contrast が低下すると考えられた。

病変の拾い上げに関して、肝細胞癌、肝血管腫の診断においては dynamic study は必要と思われるが、転移性肝癌の診断には、hypervascular metastasis を除けば dynamic study は必ずしも必要ではないと考えられ、門脈相あるいは後期相で十分と思われる。Dynamic MRI では aorta 等の flow artifact により肝左葉の一部が描出されにくいことがあるが、現段階では肝細胞癌、肝血管腫の検出能に関しては

dynamic CT より勝っていると考えられ、また、T₁, T₂ 強調像, chemical shift image を加味することによって分化度の推察や脂肪成分、出血の有無等の、病変の characterization も推察可能となり有用である。肝細胞癌に対する TAE の治療効果判定では、dynamic CT にてリピオドールは高濃度に描出されるため、リピオドール残存部位周囲の評価が難しいが、dynamic MRI はリピオドールに影響されることなく残存腫瘍を描出することが可能であり¹⁹⁾、MRIの方が有用と考えられる。ただ、MRIでは石灰化病変の検出が困難であり、石灰化の頻度の高い大腸癌等の転移性肝腫瘍の読影に注意が必要である。肝腫瘍の診断においては、CT, MRIのそれぞれの特性を習熟して使い分ける必要があると思われる。

結 語

1. Gd-DTPAの方が、非イオン性ヨード造影剤に比べ、肝実質内に長く留まる傾向がみられた。
2. 肝細胞癌は、動脈相にて最も contrast 比が高く、CT, MRI共に、動脈相での腫瘍濃染の検出が有用と思われた。血管腫は、MRIの後期相で肝実質との contrast 比が優れており、

肝腫瘍における造影効果の定量的評価

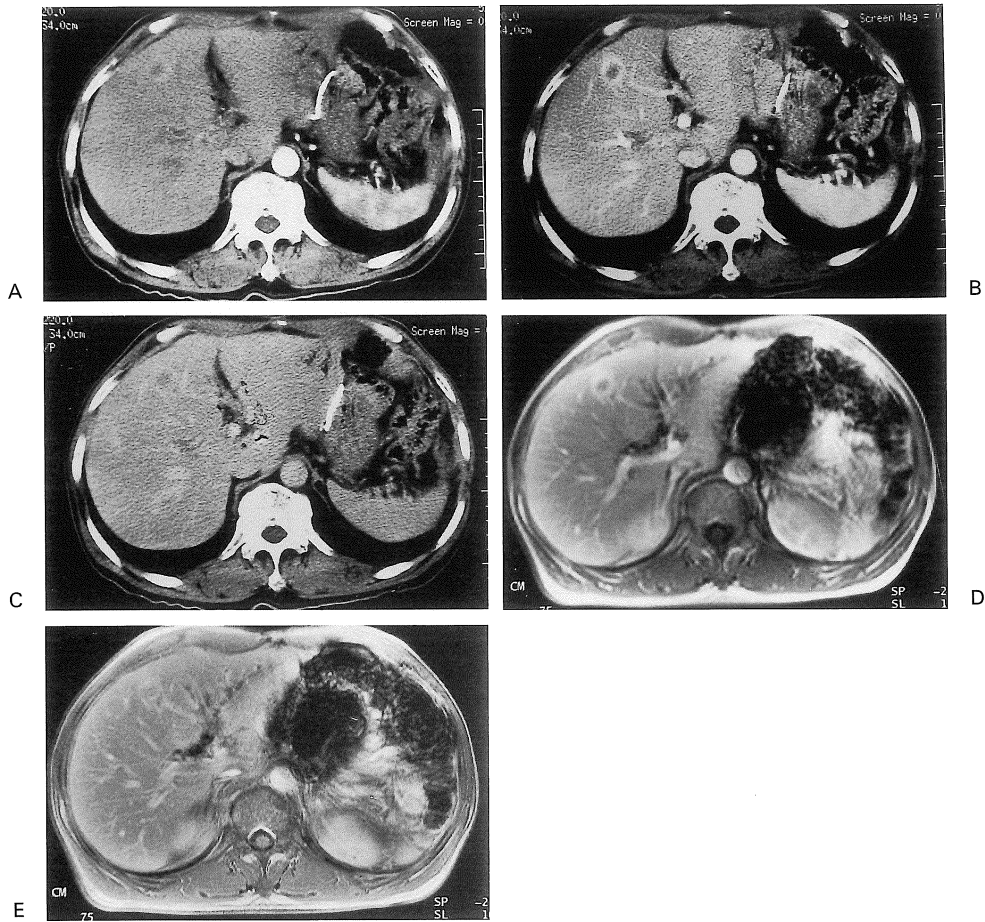


Fig. 7. A 60-year-old male with metastatic tumor from colon carcinoma. Arterial phase (A), portal phase (B) and delayed phase (C) on dynamic helical CT. Portal phase (B) on dynamic helical CT shows a hypodense tumor with ring enhancement more distinctly than that on arterial phase (A) or delayed phase (C). Portal phase (D) and delayed phase (E) scan on dynamic MRI. Delayed phase (E) scan on dynamic MRI shows isointensity relative to the surrounding liver parenchyma.

血管腫の検出には dynamic MRI の後期相が有用と考えられた。

3. MRI の後期相では、肝細胞癌と転移性肝癌では、コントラストが低く、動脈相および門脈相をあわせた血行動態の把握が必要と思われた。

文 献

- 1) 市川太郎, 森山紀之, 高安賢一, 村松幸男, 若尾文彦, 岩田良子, 山田達哉: 肝細胞癌の診断における helical scanning CT の有用性. 臨床放射線 1992 ; 37 : 649-654
- 2) 市川太郎, 森山紀之, 高安賢一, 村松幸男, 石川 勉, 縄野 繁, 寺内隆司, 若尾文彦, 山田

- 達哉 : Helical Scanning CT の上腹部への臨床応用. 日医放会誌 1991 ; 51 : 942-949
- 3) Kalender WA, Seissler W, Klotz E, Vock P : Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continous transport, and continous scanner rotation. Radiology 1990 ; 176 : 181-183
 - 4) Kihara Y, Tamura S, Yuki Y, Kakitsubata S, Sugimura H, Kakitsubata Y, Watabe K : Optimal timing for delineation of hepatocellular carcinoma in dynamic CT. J Comput Assist Tomogr 1993 ; 17 : 719-722
 - 5) Mitsuzaki K, Yamashita Y, Ogata I, et al. : Multiple-phase helical CT of the liver for detecting small hepatomas in patients with liver cirrhosis : contrast-injection protocol and optimal timing. AJR 1996 ; 167 : 753-757
 - 6) Taupitz M, Hamm B, Speidel A, Demling M, Branding G, Wolf KJ : Multisection FLASH method for breath-hold MR imaging of the entire liver. Radiology 1992 ; 183 : 73-79
 - 7) Ito k, Choji T, Nakada T, Kurokawa F, Okita K : Multislice dynamic MRI of hepatic tumors. J Comput Assist Tomogr 1993 ; 17 : 390-396
 - 8) 井上悦男, 藤田 眞, 黒田知純 : 全肝同時 dynamic MRI による肝腫瘍の診断. 腹部画像診断 1995 ; 15 : 34-42
 - 9) Yamashita Y, Mitsuzaki K, Yi T, et al. : 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
 - 10) Oi H, Murakami T, Kim T, et al. : Dynamic MR imaging and early-phase helical CT for detecting small intrahepatic metastases of hepatocellular carcinoma. AJR 1996 ; 166 : 369-374
 - 11) 張 岩, 内田政史, 西村 浩, 他 : 小型肝細胞癌の全肝 dynamic CT と dynamic MRI—腫瘍検出率, 形態描出の比較検討. 臨床放射線 1997 ; 42 : 439-444
 - 12) Nelson KL : Basic principals. In : Enhanced Magnetic Resonance Imaging. St. Louis, USA : Mosby, 1989 ; 57-73
 - 13) 吉川宏起, 大久保敏之, 谷岡久也, 竹下不二雄, 久松克次 : コントラスト造影剤. 臨床成人病 1991 ; 21 : 31-43
 - 14) 廣橋伸治, 田仲三世子, 打田日出夫, 伊藤高広, 尾辻秀章, 岩崎 聖, 大石 元 : 肝疾患に対する MRI 造影剤の有用性. 画像診断 1990 ; 10 : 1330-1338
 - 15) Yoshida H, Itai Y, Ohtomo K, Kokubo T, Minami M, Yashiro N : Small hepatocellular carcinoma and cavernous hemangioma: differentiation with dynamic FLASH MR imaging with Gd-DTPA. Radiology 1989 ; 171 : 339-342
 - 16) Hamm B, Fischer E, Taupitz M : Differentiation of hepatic hemangiomas from metastases by dynamic contrast-enhanced MR imaging. J Comput Assist Tomogr 1990 ; 14 : 205-216
 - 17) 緒方一朗, 山下康行, 畑中義美, 他 : 肝血管腫の MRI 所見 : 腫瘍径との関係. 日磁医誌 1997 ; 17 : 12-19
 - 18) 角谷眞澄, 松井 修, 吉川 淳, 蒲田敏文, 高島 力 : 診断と治療における造影 MRI の役割—臨床への応用. 日獨医報 1994 ; 39 : 342-360
 - 19) Murakami T, Nakamura H, Tsuda K, et al. : Treatment of hepatocellular carcinoma by chemoembolization : evaluation with 3DFT MR imaging. AJR 1993 ; 160 : 295-299

Quantitative Analysis of Liver Tumor Enhancement with Dynamic Helical CT and Dynamic MR Imaging

Katsuhiko MITSUZAKI, Yasuyuki YAMASHITA, Ichiro OGATA,
Naotoshi TSUCHIGAME, Mutsumasa TAKAHASHI

*Department of Radiology, Kumamoto University School of Medicine
1-1-1 Honjo, Kumamoto-shi, Kumamoto 860-8556*

We evaluated quantitatively the enhancement pattern of the aorta, normal liver and liver tumor on dynamic helical CT and dynamic MRI. Triple-phase (arterial, portal and delayed phase) dynamic helical CT and MRI of the whole liver were obtained in 22 patients with hepatocellular carcinoma, 15 patients with hemangioma and 26 patients with metastatic tumors. We calculated the contrast index defined as division of enhancement value at a certain time by peak enhancement value, and contrast enhancement ratio (CER) on a CT value and MR signal intensity of tumors on each phase.

The enhancement pattern of liver tumors was similar to that of normal structure. But it significantly differed on the delayed phase. After the peak of the enhancement, the enhancement of both the aorta and liver parenchyma lasted on dynamic MRI longer than that of dynamic helical CT.

The contrast index of the hepatocellular carcinoma was the highest on arterial phase on both CT and MRI. Tumor became iso intensity on the delayed phase with dynamic MRI, while wash-out of contrast material was seen on CT. The contrast index of hemangioma was greatest on the delayed phase MRI. On delayed phase MRI, metastatic tumors became isointensity.