

肝腫瘍性病変におけるコントラスト検討のための ファントムの作成

阿部保子, 山下康行, 浪本智弘, 高橋睦正

熊本大学医学部放射線医学教室

はじめに

この数年間でのMRI (magnetic resonance imaging) の撮像技術の向上は著しく、従来のスピネコー (spin echo, SE) 法, グラディエントエコー (gradient echo, GRE) 法に加えて、高速スピネコー (fast or turbo spin echo) 法や、より高速化されたGRE法であるTurbo FLASH (fast low angle shot) 法, グラディエントスピネコー法 (gradient-and spin-echo, GRASE) 法, およびエコープラナー (echo-planer imaging, EPI) 法に至る高速、超高速撮像法が開発・応用されるに至っている。特にT₂強調画像において、1回の息止めで撮像可能なTSE (turbo spin echo) 法, HASTE (half-Fourier single shot turbo spin-echo) 法, EPI法等の各種の高速撮像法が可能となった^{1)~4)}。これらの撮像法におけるコントラストはTR, TEの他にecho train length (ETL) やecho spaceなどの種々のパラメータが関与し、その最適化の検討には種々のパラメータの組合せによる撮像が不可欠であるが、臨床例で最適化を行うことはきわめて困難である。そこで、適当なファントムが必要であるが、肝臓の充実性腫瘍のコントラスト検討を目的とした既存のファントムは無かった。我々は、Mitchellらの方法⁵⁾を応用し、硫酸銅とアガロースを

用いて、肝臓、肝細胞癌、肝血管腫、肝囊腫に近いT₁, T₂値を持つファントムを作成し、特に肝細胞癌における有用性を検討したので報告する。

対象及び方法

1. ファントムの作成

アガロース (Signa Chemical Corp. Type1, #A-6013) を蒸留水を用いて0から4% (w/v) の濃度に調整し、硫酸銅を0から4.0 mmol になるように加え、プラスチックチューブに入れ、加温して完全にアガロースが溶解するのを確認して、静置した。また、肝臓の実質は3~5%の割合で脂肪を含む⁶⁾ので、肝実質モデル作成用に、脂肪の割合が5%となるようにIntralipid (大塚製薬, Japan. 1000 ml中に100 g soybean oil, 12 g lecithin と25 g glycerin 含有) を混入して同様に作成した。その後、Siemens Magnetom Vision 1.5 Tを用いてSE法にてTRを800~5000 ms, TEを20~80 msに変えて撮像し、T₁値, T₂値を求めた。その結果を踏まえて、文献^{7)~10)}より得られた適当なT₁値, T₂値を示す濃度の割合を求め、硫酸銅, アガロース, 脂肪を調製して肝臓モデル, 充実性腫瘍モデル, 肝血管腫のモデルファントムを作成した。充実性腫瘍の代表としては肝細

キーワード phantom, liver neoplasm, MR imaging

胞癌に近いものを作成した。また囊腫モデルとして蒸留水を用いた。得られた液体を直径3 cmのプラスチックチューブに注ぎ、肝臓癌モデル、肝血管腫モデルと共に肝臓モデルの中にチューブを横倒しにして沈め、加温して静置した。その上方に植物油を3 cmの厚さに注いで、皮下脂肪モデルとした。ファントム全体のサイズは14×19×12.5 cmであった。

2. ファントムの有用性の検討

次にファントムを用いて各種のT₂強調画像を撮像し、そのコントラストを剖検により得られた肝細胞癌症例の肝臓のコントラストと比較した。また、平成7年6月より平成8年8月に撮像された24才から85才、43例（男29例、女性14例）の肝細胞癌のコントラストと比較した。使用機種はSiemens Magnetom Vision 1.5 Tであり、すべてfield of view (FOV) 34 cm, 256×256 matrix, スライス厚8 mmにて撮像した。各種T₂強調撮像法のその他のパラメーターは我々が臨床例で用いているものを使用した。

a. TSE法, ETL=7: TR/TE=2500/90, バ

ンド幅 130 Hz/pixel

b. TSE法, ETL=15: TR/TE=2500/120, バンド幅 130 Hz/pixel

c. HASTE法: TR/TE=4.2/59, TD=1000 ms, flip angle 140度, バンド幅 650 Hz/pixel

d. EPI法 SE type: TR/TE=∞/47, flip angle 90度, バンド幅 2080 Hz/pixel

e. EPI法 FID type: TR/TE=∞/22, flip angle 90度, バンド幅 2080 Hz/pixel

f. SE法: TR/TE=2500/80, バンド幅 67 Hz/pixel

結 果

試作したファントムから得られたT₁値, T₂値をFig. 1に示す。このデータをもとにTable 1に示す割合で硫酸銅とアガロースを蒸留水で調製し、ファントムを作成した。

ファントムを撮像し (Fig. 2), 臨床例ならびに剖検例 (Fig. 3) と比較した結果をTable 2に示す。肝臓癌モデルは、臨床例とも剖検例ともそれぞれの撮像法で近い値を示した。

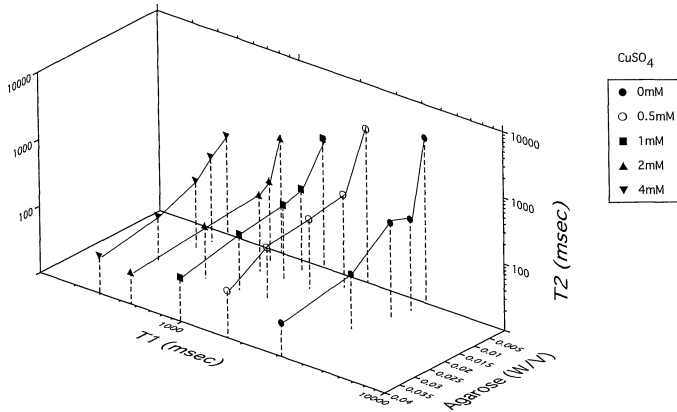


Fig. 1. T₁ and T₂ values for mixtures of agarose gel and copper sulfate. Agarose concentration ranges from 0 to 4.0% weight/volume; copper concentration from 0 to 4.0 mmol.

Table 1. The Population of the Materials for the Phantom

simulating tissue	T ₁ /T ₂ (ms)	copper sulfate (mM)	agarose gel (%)	fat (%)
liver	600/35	2	2	5
hepatocellular carcinoma	800/40	2	2	0
hemangioma	1100/80	1	1	0
cyst	3800/190	0	0	0

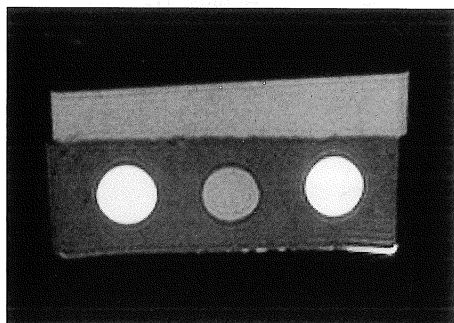


Fig. 2. MR image of a phantom on SE (TR/TE=2500/80) T₂-weighted sequence without fat suppression. The right, middle and left tubes simulate cyst, hepatoma and hemangioma, respectively. All tubes are surrounded by the material simulating the liver above which oil is poured. Both of the cyst-simulating tube and the hemangioma-simulating tube have very high signal intensity. The intensity of the hepatoma-simulating tube is slightly higher than that of the surrounded tissue. A marked truncation artifact is seen around the lesion-simulating tubes and edge of the liver phantom.

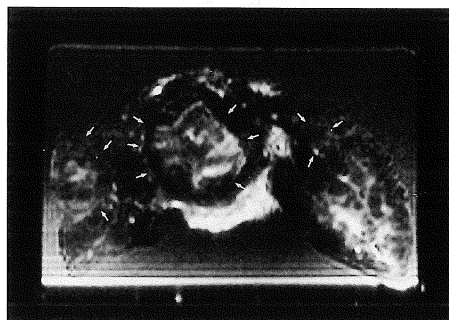


Fig. 3. MR imaging of an autopsy specimen with hepatoma. On T₂-weighted imaging, numerous hyperintense tumors are seen (arrow). Regenerative nodules are depicted as hypointense lesions.

CSE法のみが臨床例よりも若干高いコントラストを呈した。

考 察

近年 TSE 法, HASTE 法, EPI 法などの様

Table 2. Comparison of Contrast-to-Noise Ratio of the Phantom Simulating Hepatoma with Clinical Data and Resected Specimen

Sequence	Average of the clinical study	specimen	phantom
TSE ETL=7	22.3±19.0	35.9	21.7
ETL=15	15.4±12.6	15.3	17.6
CSE	17.9±15.1	40.9	35.3
HASTE	12.3±08.6	17.6	15.1
SE-EPI	28.8±18.4	20.5	24.7
GE-EPI	23.7±18.9	14.7	19.6

TSE: turbo spin echo ETL: echo train length CSE: conventional spin echo SE-EPI: spin echo type echo planar imaging GE-EPI: gradient echo type echo planar imaging HASTE: half Fourier single shot turbo spin echo

々の高速スキャンが開発されつつあるが、肝疾患への臨床応用においては、腫瘍と肝臓のコントラストはまだ最適化が十分成されているとは言いがたく、定型的な撮像法はない。肝嚢胞や肝血管腫などの嚢胞性疾患では T_2 値が長いいため TSE 法や HASTE 法でも高いコントラストが得られるが、充実性の肝腫瘍、ことに肝臓癌においては肝嚢胞や肝血管腫に比して組織の T_2 値が比較的短いため、TSE 法では周囲肝とのコントラストがつきにくいことはしばしば経験している。このため TR, TE, echo space, ETL, バンド幅, 脂肪抑制の付加などについて最適化を行う必要がある。これを目的として我々は肝臓, ならびに肝腫瘍をシミュレーションしたファントムを作成した。 T_2 値のみのシミュレーションであれば作成は容易であるが、実際にはコントラストには T_1 値も影響する。また MTC 効果なども考慮しアガロースと硫酸銅を様々な割合で調合して腫瘍のファントムを作成した。

肝臓癌モデルは、呼吸停止下の撮像に用いられる各種の T_2 強調撮像法で肝細胞癌の組織及び臨床例に近いコントラストを呈し、ファントムによるコントラストの検討が可能であると考えられた。CSE 法では、ファントムのコントラストが高くなっているが、これは臨床における CSE 法においては呼吸によるアーチファクトのため SN 比やコントラストが低下したためと考えられる。固定したファントムを用いた場合は、特に呼吸停止可能な撮像法のコントラストの検討に適すると考えられた。呼吸下の撮像法をシミュレーションする場合はファントムを何らかの形で動かす必要がある。

EPI 法の実施については、機械の制約によって冠状断撮像が不可能な場合があり、本ファントムのように臨床と同じ撮像面で撮像できる形態が要求される。今回は脂肪層を作成するために腫瘍ファントムチューブを横向きに入れたのであるが、今後脂肪層を必要としない際にも同方向でのファントム作成が望まれると考え

る。

今後はこのファントムを用いて様々なパルス系列において T_2 強調画像の最適化を進めていきたい。

文 献

- 1) Low RN, Francis IR, Sigeti JS, Foo TK: Abdominal MR imaging : Comparison of T_2 -weighted fast and conventional spin-echo, and contrast-enhanced fast multiplanar spoiled gradient-recalled imaging. *Radiology*, 186 : 803-811, 1993.
- 2) Low RN, Hinks RS, Alzate GD, Shimakawa A : Fast spin-echo MR imaging of the abdomen : Contrast optimization and artifact reduction. *J Magn Reson Imaging*, 4(5) : 637-645, 1994.
- 3) Reimer P, Ladebeck R, Rummeny EJ, et al. : Initial feasibility studies using single-shot EPI for the detection of focal liver lesions. *Magn Reson Med*, 32(6) : 733-737, 1994.
- 4) Naganawa S, Jenner G, Cooper TG, Potchen EJ, Ishigaki T : Rapid MR imaging of the liver : Comparison of twelve techniques for single breath-hold whole volume acquisition. *Radiat Med*, 12(6) : 255-261, 1994.
- 5) Mitchell MD, Kundel HL, Axel L, Joseph PM: Agarose as a tissue equivalent phantom material for NMR imaging. *Magnetic Resonance Imaging*, 4 : 263-266, 1986.
- 6) Schaffner F : Nonalcoholic fatty liver (5ed.), in *Bockus Gastroenterology*, vol. 3, ed. by Haubrich WS, Schaffner F, Berk JE, WB Saunders Company, Philadelphia, 1995, pp2246-2253.
- 7) Ohtomo K, Itai Y, Furui S, et al. : Hepatic tumors : Differentiation by Transverse Relaxation Time (T_2) of Magnetic Resonance Imaging. *Radiology*, 155 : 421-423, 1985.
- 8) Ohtomo K, Itai Y, Yoshida H, et al. : MR Differentiation of Hepatocellular Carcinoma from Cavernous Hemangioma : Complementary Roles of FLASH and T_2 Values. *AJR*, 152 : 505-507, 1988.
- 9) Goldberg MA, Saini S, Hahn PF, Egglin TK, Mueller PR : Differentiation between hemangio-

mas and metastases of the liver with ultrafast MR imaging : Preliminary results with T₂ Calculations. AJR, 157 : 727-731, 1991.

10) Foley WD, Kneeland JB, Cates JD : Contrast op-

timization for the detection of focal hepatic lesions by MR imaging at 1.5 T. AJR, 149 : 1155-1160, 1987.

Development of a Phantom Simulating Liver Neoplasms for Evaluation of Tissue Contrast

Yasuko ABE, Yasuyuki YAMASHITA, Tomohiro NAMIMOTO,
Mutsumasa TAKAHASHI

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

We have developed a phantom simulating various liver neoplasms for the evaluation of tissue contrast on T₂-weighted MR imaging. The phantom simulates normal liver tissue, hepatoma, hemangioma and cyst, and is composed from various amounts of agarose, copper sulfate and fat. The T₂ values of the phantom were similar to those with resected specimen and clinical studies.