

Low b-value diffusion-weighted MR imaging

渡邊 祐司¹, 永山 雅子¹, 奥村 明¹, 天羽 賢樹¹,
菅 剛¹, 勝部 敬¹, 辰村 愛¹, 柿手 卓¹,
小山 新吾¹, 中谷 航也¹, 小田 一成¹, 吉田 理佳¹,
奥泉 美奈¹, 矢田 晋作¹, Marc Van Cauteren²,
Dianna Geraats², 百々 義廣¹

¹倉敷中央病院放射線科 ²フィリップスメディカルシステムズ

はじめに

腹部領域における拡散強調 MRI は、肝腫瘍の良悪性の鑑別や、慢性膵炎と膵管内乳頭腫との鑑別に用いられてきた^{1)~6)}。ADC 値がその鑑別に重要なことから、比較的大きな b-factor の MPG : motion-probing gradient を用いて EPI 撮像を行う必要がある。しかし、この大きな b-factor の MPG を用いた EPI 撮像は、呼吸や蠕動による動きのアーチファクトや空気-組織境界面の画像のゆがみなどの問題を抱えている^{2),6)}。そこで、パラレルイメージングを利用し、EPI read-out (EPI-factor) を半減することによってアーチファクトや画像のゆがみの少ない EPI 画像が得られる⁷⁾。そして小さな b-factor の MPG を用いることで、組織の拡散強調画像ではなく血流などの流れに鋭敏な画像を得ることができる^{3),8)~10)}。

今回は、腹部独特の小さな MPG を用いた EPI 撮像による black-blood imaging の臨床応用について解説する。

背 景

肝臓の腫瘍の多くは、T₂強調像で高信号、T₁強調像で低信号を呈する。特に T₂強調像

で、腫瘍の検出だけでなく、その性状までも知ることができる^{11),12)}。しかし、小さな腫瘍は、肝臓内の門脈や肝静脈の信号との鑑別が困難である。また、SPIO に代表される鉄粒子製剤を用いた場合でも、血管と小腫瘍との鑑別が困難である¹³⁾。そこで、肝臓内の血管信号を抑制することができれば、肝臓内の小さな腫瘍を血管の信号に悩まされることなく検出できる。また血管周囲のグリソン鞘の病変も正確に検出できる。

これまで用いられている血管信号を抑制する black-blood imaging は、double-IR プレパルスに従来の TSE : turbo spin echo や FSE : fast spin echo に併用する手法である。これは、原理的に1枚ずつスライス撮像しなければならない、また得られる画像も完全には血管信号を抑制できない。同じスライス面内を走行する血管は信号が残存する (Fig. 1)。これらの問題点を解決する方法が、small b-factor の MPG : motion-probing gradient を付加した single-shot SE-EPI sequence の black-blood liver imaging である^{8)~10)}。

撮 像 方 法

拡散強調画像に用いられている MPG は、

キーワード motion probing gradient, diffusion, echo planar imaging, black blood, hepatic tumor

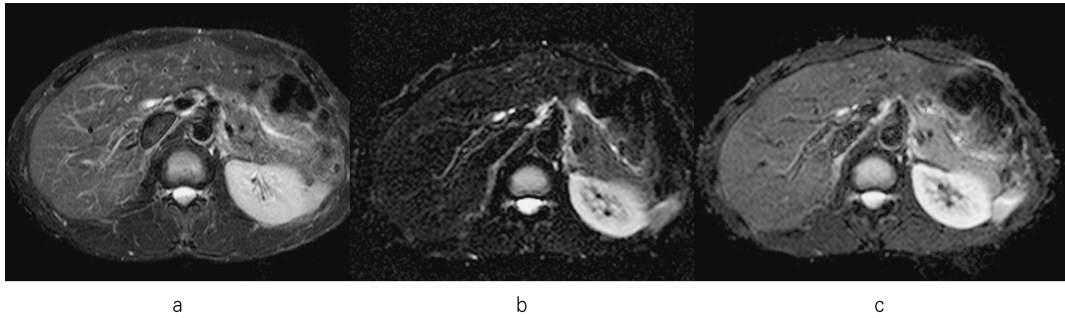


Fig. 1. Comparison of various black blood techniques

a : Double IR FS-TSE method

b : Low b-value SE-EPI without parallel imaging

c : Low b-value SE-EPI with parallel imaging

Suppression of blood flow signal is not seen on double IR FS-TSE image (a). Complete elimination of blood flow signal is obtained with low b-value technique (b, c), though signal intensity of hepatic parenchyma seems very low on black-blood images without parallel imaging (b).

sequence を水や血流の流れに敏感にする。すなわち、MPG を diffusion-weighted imaging ではなく、肝臓内の血管信号を抑制するために用いる。このため、MPG の b-factor は大きい必要はなく、むしろできるだけ小さい方が sequence そのものの自由度が高くなる。また、小さな b-factor の MPG を用いた場合、MPG を印加する方向と対向して走行する肝臓内血管の信号抑制が不完全になる可能性があるため、MPG を 3 方向 (isotropic diffusion) にかける^{8)~10)}。

Sequence は 1 回の呼吸停止で肝臓全体を撮像できる T₂-weighted SE-EPI を用いる (Table)。そしてパラレルイメージングを用いて腹部領域の EPI 画像特有の、空気と組織の境界面のアーチファクトや画像のゆがみを少なくする。

このようにして b=0 と b=8 (3 方向) の 4 種類の画像を 14~23 秒の呼吸停止下で撮像し、b=8 の 3 方向の MPG の SE-EPI 画像を加算処理して black-blood SE-EPI imaging を行う。また、TE を 90 と 200 に設定することで

Table. Scan Parameter of Black Blood SE-EPI Sequence

	TE 90	TE 200
TR	2400	3980
TE	90	200
EPI-factor	59	53
Slice	16(10/1, 0)	16(10/1, 0)
Matrix	150×256	144×256
FOV	330	330
Scan time	14 s	23 s
SENSE	(+)2.0	(+)1.6
b-factor	8	8

2 種類の T₂ 強調像を得ることができ、肝臓の腫瘍の良悪性の鑑別が可能となる⁹⁾。

画像の特徴

新しい black-blood SE-EPI liver imaging の画像コントラストは、SE-EPI で得られるコン

2005 年 8 月 3 日受理

別刷請求先 〒710-8602 岡山県倉敷市美和 1-1-1 倉敷中央病院放射線科 渡邊祐司

トラストと同様である。基本的に spin-echo 系の画像であるので、従来報告されているように、TSE : turbo spin echo 系よりも腫瘍のコントラストが高い。また、血管系が全く信号をもたないので、血流によるゴーストアーチファクトが抑制される。つまり、肝臓は実質の信号と肝内胆管の高信号で構成される。

パラレルイメージングは画像コントラストに影響を及ぼさない。また、内蔵型 body coil によるリファレンススキャンを行い、表面コイルに特有の信号の不均一性を自動的に補正することができる⁷⁾。

臨床応用

a) 肝臓内小腫瘍の検出と良悪性の鑑別

Black-blood SE-EPI liver imaging (TE90) は、T₂強調像であるので、肝臓内の腫瘍は、これまで報告されているとおり、多くは高信号に描出される。肝細胞癌 (HCC) や転移性腫瘍は淡い軽度の高信号を、血管腫や嚢胞では明らかな高信号を呈する。また、従来の撮像法では、血管と区別の困難な 1 cm 以下の小さな血管腫も容易に検出することができる (Fig. 2)^{8)~10)}。

しかし、小さな腫瘍では partial volume averaging による効果のため、T₂高信号の程度を正確に評価することが困難である。そこで、TE200 に設定して得られた black-blood SE-EPI liver imaging を用いて、TE90 と TE200 で T₂高信号がどの程度変化するかで、悪性 (HCC, 胆管細胞癌, 転移性腫瘍) と良性 (血管腫や嚢胞) の鑑別を行う (Figs. 3~5)⁹⁾。悪性 (HCC, 胆管細胞癌, 転移性腫瘍) では TE-200 での信号強度は TE-90 の信号強度に比べ 60%以上低下する (Fig. 6)。血管腫では、信号強度の低下は軽度で 0~40%である。嚢胞では、信号強度の低下はほとんどないか軽度でむしろ増加することもある。

腫瘍の鑑別診断の例外は、変性壊死の強い転

移や嚢胞形成を伴う転移性腫瘍と、限局性結節性過形成 (FNH) である。変性壊死や嚢胞形成を伴う転移性腫瘍では、TE-90 の black-blood SE-EPI liver imaging でかなりの高信号を呈し、TE200 と TE90 での信号低下も軽度である。また、FNH は、HCC と同様の信号強度、信号低下を呈する。

アーチファクトとピットフォール

1. Black-blood SE-EPI liver imaging は SE-EPI sequence を用いるので EPI 特有の n/2 アーチファクトがみられる。特に高信号の胆嚢や腹水の n/2 アーチファクトは、肝臓実質上に出現するので、病変と誤診しないように留意を要する。従来の T₂強調像を参考にすることが大切である。

2. EPI 特有の空気-組織境界面のゆがみや高信号帯のアーチファクトがみられる。特に横隔膜面や、胃-大腸ガスの周囲に強く出現する。病変と誤診したり、逆に病変がマスクされてしまう可能性がある。従来の T₂強調像を参考にする必要がある (Fig. 7)。

b) グリソン鞘の評価

肝グリソン鞘は、肝動脈、門脈、神経、胆管とリンパ管を包む線維鞘で腫瘍や炎症の進展に重要な役割を果たしている。このグリソン鞘の病変は、MR では門脈周囲の T₂高信号として描出されるが、門脈や胆管も高信号として描出される¹³⁾。このためグリソン鞘、門脈周囲の病変の検出は困難なことがある。Black-blood T₂-SE-EPI imaging は、血流に鋭敏な low b-factor の MPG を印加することによって、血流信号を抑制し、門脈周囲の病変の評価が容易である。胃癌、大腸癌、膵癌、胆管胆嚢癌などでは、肝臓への転移は、血行性転移だけでなく、門脈周囲のリンパ管に沿った進展を来す (Fig. 5)。Black-blood T₂-SE-EPI imaging では、この進展は門脈を取り囲む高信号として描出される。高信号が門脈の両側の辺縁に沿って広がっているため、拡張した胆管との鑑別は容易である。グリソン鞘の高信号は、悪性腫瘍の進展だ

Low b-value diffusion-weighted MR imaging

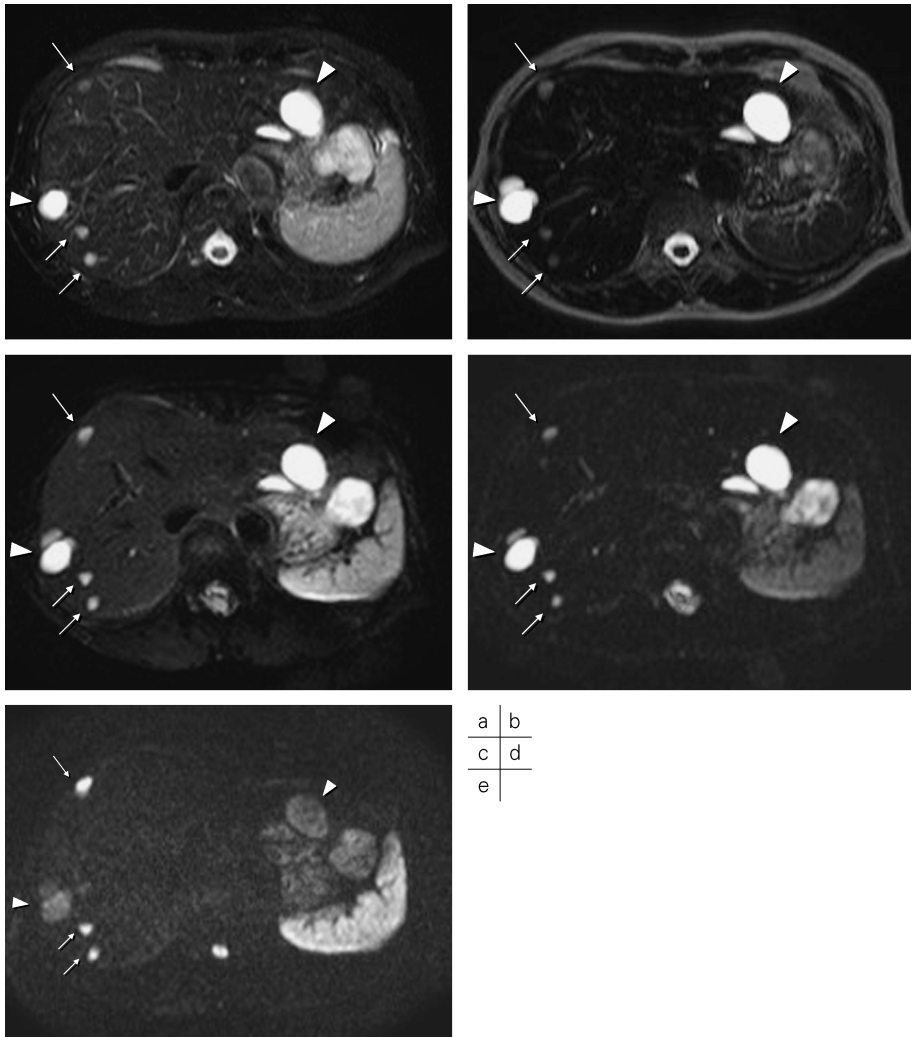


Fig. 2. Hepatic hemangiomas and cysts

a : FS-TSE image

b : Heavily T₂-weighted image

c : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 90 ms

d : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 200 ms

e : Diffusion-weighted image (b=800)

Hepatic hemangiomas (arrows) and cysts (arrowheads) are seen as high signal intensity on FS-TSE (a) and low b-value SE-EPI image with TE 90 (c). Signal intensity difference between hemangioma and cyst is conspicuous on heavily T₂-weighted image (b), low b-value SE-EPI image with TE 200 (d) and diffusion-weighted image (e) as well.

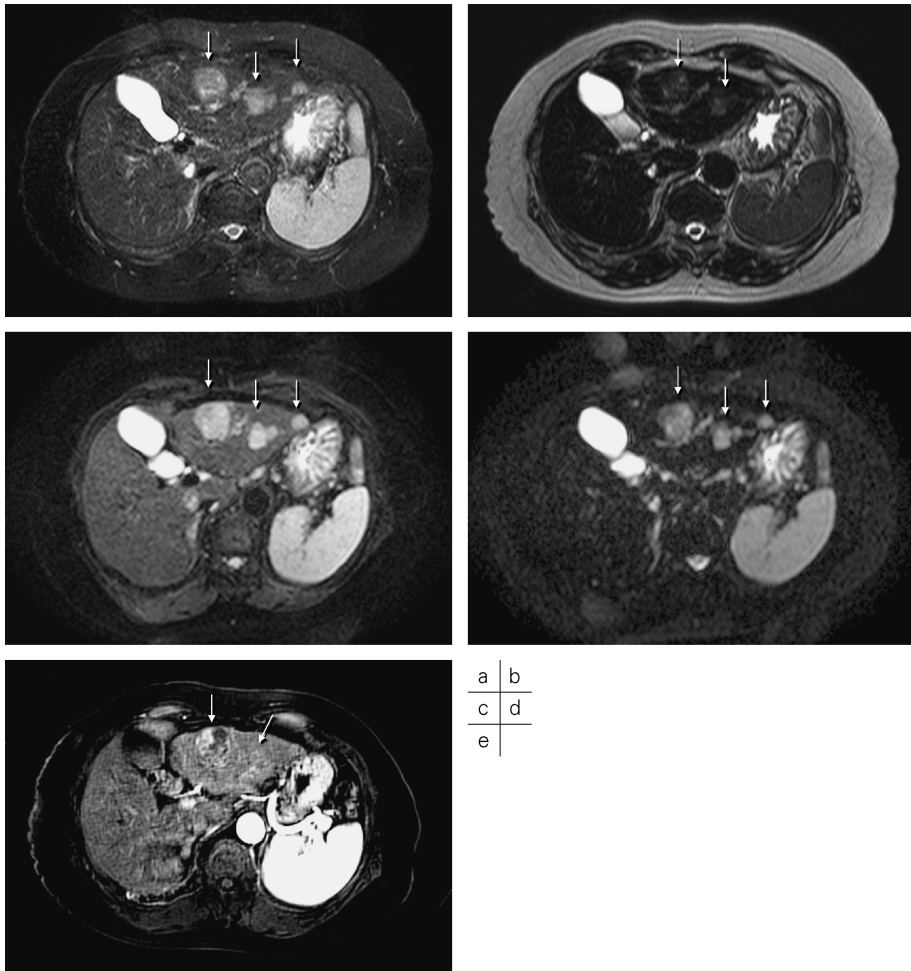


Fig. 3. Hepatocellular carcinoma

a : FS-TSE image

b : Heavily T₂-weighted image

c : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 90 ms

d : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 200 ms

e : Dynamic contrast-enhanced image

Multiple nodules of hepatocellular carcinoma (arrows) are seen as high signal intensity and more conspicuous on low b-value SE-EPI image with TE 90 (c) than on FS-TSE (a). Signal intensity of the nodules is decreased on heavily T₂-weighted image (b) and low b-value SE-EPI image with TE 200 (d). Dynamic contrast-enhanced image (e) showed a variety of hypervascular nodules.

けでなく、リンパのうつ滞、アルコール性肝炎、薬剤性肝炎や慢性ウイルス性肝炎による炎症でも高率に認められる。

アーチファクトとピットフォール
Parallel imaging を用いているので、FOV が小さいとき腹壁の信号が折れ重なりグリソン

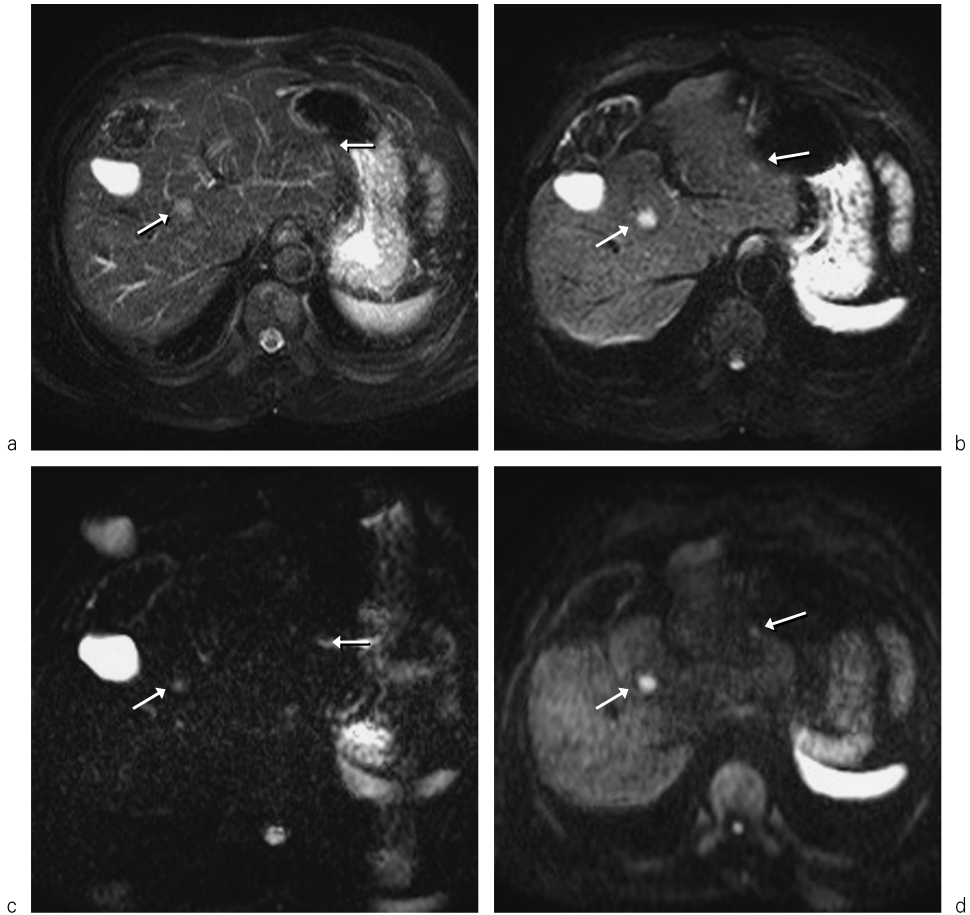


Fig. 4. Hepatic metastases from rectal cancer

a : FS-TSE image

b : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 90 ms

c : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 200 ms

d : Diffusion-weighted image (b=800)

Multiple metastatic nodules (arrows) are seen as high signal intensity and more conspicuous on low b-value SE-EPI image with TE 90 (b) and diffusion-weighted images (d) than on FS-TSE (a). Signal intensity of the nodules is decreased on low b-value SE-EPI image with TE 200 (c).

鞘の信号と誤診する可能性がある。撮像時 FOV を絞り過ぎないことが重要である。

c) 胆汁の流れの検出

Black-blood T₂-SE-EPI imaging のもう一つの特徴は、胆汁の流れを検出できることである。この sequence は MPG を印加しているので血流だけでなく胆汁や尿の流れにも鋭敏であ

る。

MRCP では、胆汁の流れによるアーチファクトが胆石と酷似した欠損像を生ずることが既に報告されている。胆汁の流れによるアーチファクトは、TOF を用いて証明されているが¹⁴⁾、実際にはこの両者の鑑別は困難なことが少なくない。Black-blood T₂-SE-EPI imag-

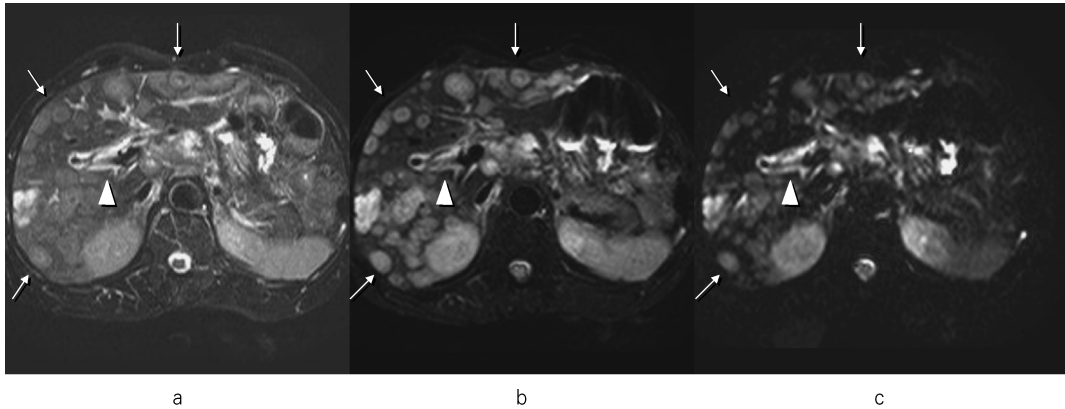


Fig. 5. Hepatic metastases from gallbladder cancer

a : FS-TSE image

b : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 90 ms

c : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 200 ms

Multiple metastatic nodules (arrows) are seen as high signal intensity and more conspicuous on low b-value SE-EPI image with TE 90 (b) than on FS-TSE (a). Signal intensity of the nodules is decreased on low b-value SE-EPI image with TE 200 (c). Note the periportal hyperintensity (arrowheads).

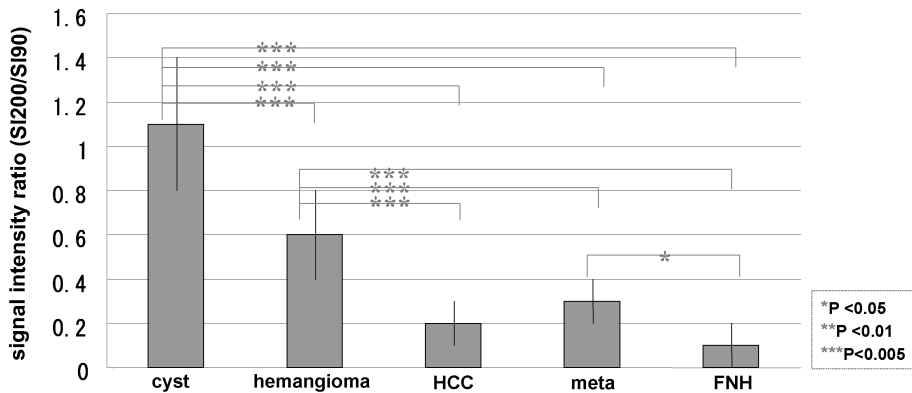


Fig. 6. Signal intensity index of various hepatic lesions

ing では、流れに鋭敏でない $b=0$ の SE-EPI と流れに鋭敏な $b=8$ の Black-blood T_2 -SE-EPI imaging を組み合わせて評価することで胆汁の流れによるアーチファクトを正確に判定できる。総胆管嚢腫、総胆管瘤で高率に胆汁のジェット流による欠損像が見られる (Fig. 8)。この方法を用いて胆汁の流れを調べると、胆汁の流れを検出できた部位は、胆嚢管-総胆管合

流部で最も多く、次いで胆管-膵管合流部、胆嚢頸部、肝管合流部で高頻度に見られた。また、胆汁の流れを検出できた部位のうち約 25% に実際に MRCP で欠損像を呈した。胆汁の流れが、実際に MRCP で欠損像として出現するアーチファクトの頻度は高くないが、Black-blood SE-EPI imaging を参照することで胆石や腫瘍による真の欠損像との鑑別が容易となる。

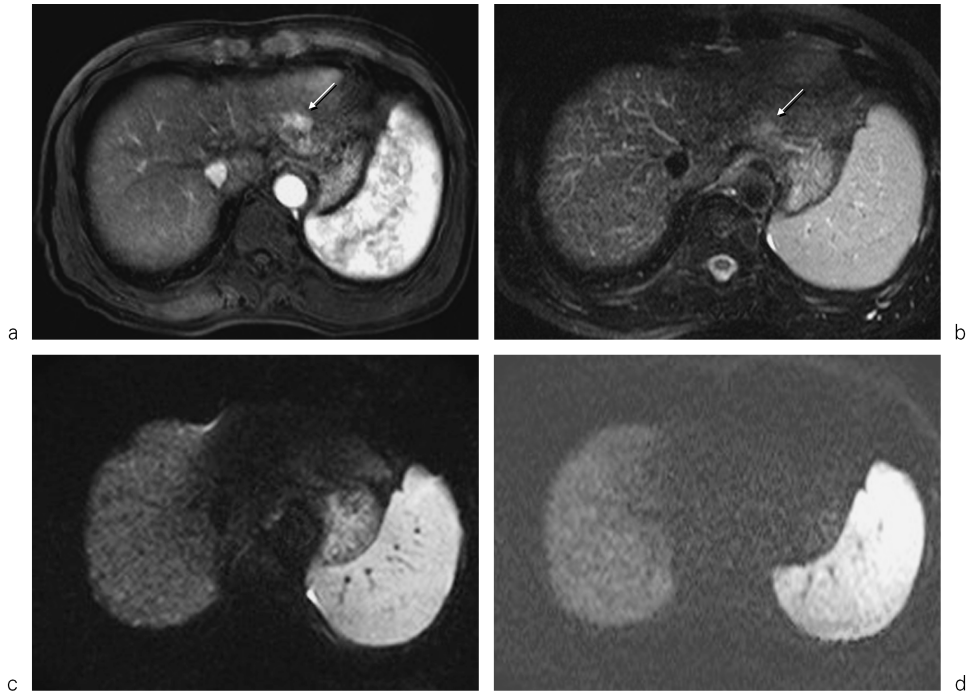


Fig. 7. Susceptibility artifact of low b-value diffusion-weighted images in a patient with hepatocellular carcinoma

a : Dynamic contrast-enhanced image

b : FS-TSE image

c : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 90 ms

d : Diffusion-weighted image

Hepatocellular carcinoma (arrow) of the left lobe is seen as hyperintensity on dynamic contrast-enhanced (a) and FS-TSE (b) images, but not seen on low b-value SE-EPI (c) or diffusion-weighted (d) images due to susceptibility artifacts (arrowheads).

ま と め

肝胆道領域の diffusion-weighted imaging では、パラレルイメージングと小さな b 値の MPG を用いて高画質の black-blood EPI 画像が得られる。肝臓内の血管の信号は抑制されるので、小さな腫瘍の検出や良悪性の鑑別、血管周囲のグリソン鞘の病変検出に有用である。胆汁のジェット流の検出も可能である。

謝 辞

多大な協力を頂いた、放射線センター秘書 陶山浩子、松本嘉子、放射線センター技師 清野隆、中田和明、熊代正行、田淵隆、光井英樹、森本規義、古牧伸介の各氏に感謝致します。

文 献

- 1) Namimoto T, Yamashita Y, Sumi S, et al. : Focal liver masses : characterization with diffusion-weighted echo-planar MR Imaging. Radiology

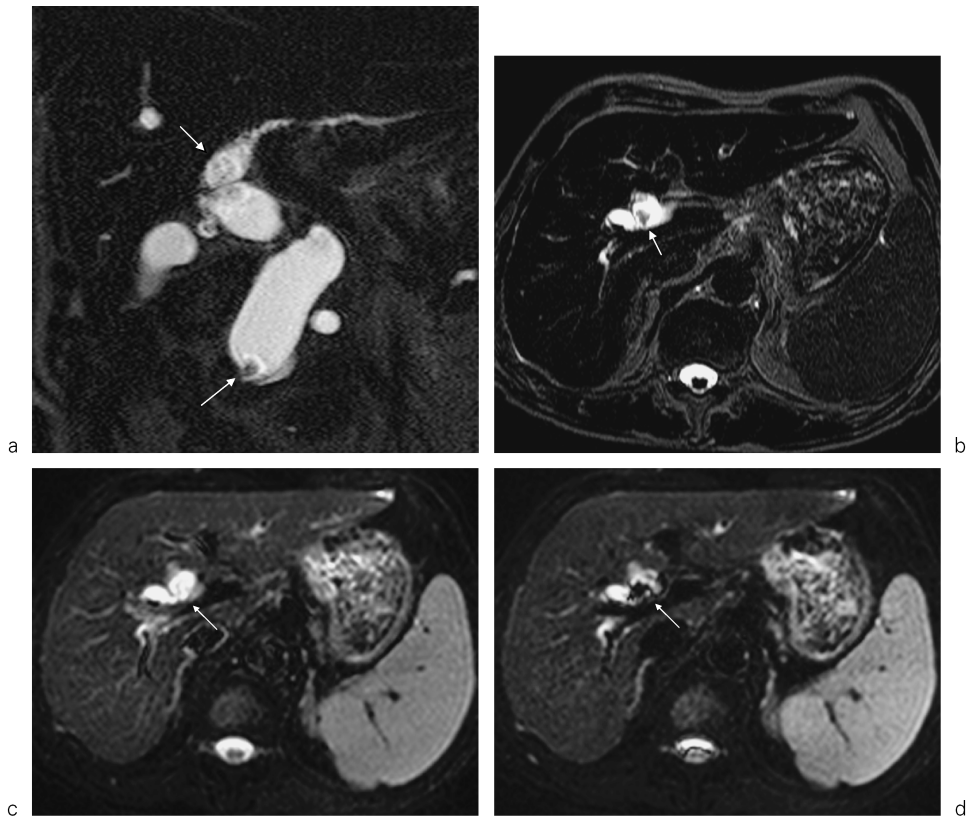


Fig. 8. Bile flow artifact in a patient with choledochoceles

a : Multi-slice MRCP

b : Heavily-T₂-weighted image

c : SE-EPI image

d : Low b-value SE-EPI image obtained with TE 90 ms

A triangular defect caused by bile flow artifact is seen on multi-slice MRCP (a), heavily-T₂-weighted image (b) and low b-value SE-EPI image obtained with TE 90 ms (d). Note the defect is not seen on SE-EPI (c) but is seen on low b-value SE-EPI (d).

1997 ; 204 : 739-744

- 2) Ichikawa T, Haradome H, Hachiya J, et al. : 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
- 3) Okada Y, Ohomo K, Kityu S, et al. : Breath-hold T₂-weighted MRI of hepatic tumors : value of echo planar imaging with diffusion-sensitizing gradient. *J Comput Assist Tomogr* 1998 ; 22 :

364-371

- 4) 田中康敬. Multishot Echo-Planar Imaging による MR T₂ 強調画像の肝腫瘍性病変における有用性に関する研究. *Nippon acta radiological* 1998 ; 58 : 67-74
- 5) Yamashita Y, Namimoto T, Mitsuzaki K, et al. : Mucin-producing tumor of the pancreas : diagnostic value of diffusion-weighted echo-planar MR imaging. *Radiology* 1998 ; 208 : 605-609
- 6) Irie H, Honda H, Kuroiwa T, et al. : Measure-

- ment of the apparent diffusion coefficient in intraductal mucin-producing tumor of the pancreas by diffusion-weighted echo-planar MR imaging. *Abdom Imaging* 2002 ; 22 : 82–87
- 7) van den Brink JS, Watanabe Y, Kuhl CK, et al. : Implications of SENSE MR in routine clinical practice. *Eur J Radiol* 2003 ; 46 : 3–27
 - 8) Nagayama M, Watanabe Y, Okumura A, et al. : Black-blood T₂-weighted SE-EPI imaging of the liver. *ISMRM 2002 Proceedings*, 2002 ; 1963
 - 9) Watanabe Y, Nagayama M, Okumura A, et al. : Black-blood T₂-weighted SE-EPI imaging of the liver and the biliary tree. *Recent Res Devel Radiol* 2004 ; 2 : 1–16
 - 10) Hussain SM, De Becker J, Hop WCJ, et al. : Can a single-shot black-blood T₂-weighted spinecho echo-planar imaging sequence with sensitivity encoding replace the respiratory triggered turbo spin-echo sequence for the Liver? An optimization and feasibility study. *J Magn Reson Imaging* 2005 ; 21 : 219–229
 - 11) Ito K, Mitchell DG, Outwater EK, et al. : Hepatic lesions : discrimination of nonsolid, benign lesions from solid, malignant lesions with heavily T₂-weighted fast spin-echo MR imaging. *Radiology* 1997 ; 204 : 729–737
 - 12) McFarland EG, Mayo-Smith WW, Saing S, et al. : Hepatic hemangiomas and malignant tumors : improved differentiation with heavily T₂-weighted conventional spin-echo MR imaging. *Radiology* 1994 ; 193 : 43–47
 - 13) Matsui O, Kadoya M, Takashima T, et al. : Intrahepatic periportal abnormal intensity on MR images : an indication of various hepatobiliary diseases. *Radiology* 1989 ; 171 : 335–338
 - 14) Irie H, Honda H, Kuroiwa T, et al. : Pitfalls in MR cholangiopancreatographics interpretation. *Radiographics* 2001 ; 21 : 23–37

Low b-Value Diffusion-weighted MR Imaging

Yuji WATANABE¹, Masako NAGAYAMA¹, Akira OKUMURA¹,
Yoshiki AMOH¹, Tsuyoshi SUGA¹, Takashi KATSUBE¹,
Mana TATSUMURA¹, Suguru KAKITE¹, Shingo KOYAMA¹,
Koya NAKATANI¹, Kazushige ODA¹, Rika YOSHIDA¹,
Mina OKUIZUMI¹, Shinsaku YATA¹, Marc Van CAUTEREN²,
Dianna GERAATS², Yoshihiro DODO¹

¹*Kurashiki Central Hospital*
1-1-1 Miwa, Kurashiki-shi, Okayama 710-8602
²*Philips Medical Systems*

Black-blood imaging of the liver can be obtained to eliminate the signal of blood flow by using low b-value motion-probing gradient (MPG) on spin echo-echo planar imaging (SE-EPI) sequence. This sequence allows detection of small hepatic nodules and differentiation of malignant and benign nodules. Periportal lesion can also be clearly demonstrated, which can help illuminate involvement of the inflammatory process as well as malignant lymphangitic spread. This sequence is also used to detect bile flow and to differentiate true biliary stone from bile flow artifact seen on MR cholangiopancreatography.