

Echo planar imaging (EPI) による肝臓の imaging の初期経験

山下康行, Yi Tang, 阿部保子, 浪本智宏,
満崎克彦, 高橋睦正

熊本大学医学部放射線科

はじめに

Echo planar imaging (EPI) は一回の励起により、読みとり磁場を高速に反転させて全部のエコトレインを得る single shot 法で 50~100 ms の短時間で撮像可能である。この方法は Mansfield によって 1977 年に提唱されていたが¹⁾、EPI を行うには高い傾斜磁場強度と高速のスウィッチング性能が要求されるため長い間研究室レベルの方法に留まっていた。最近になってやっと市販の MRI でも実用化されるようになり、本年になって初めて我が国でも臨床機に搭載されるようになった。

EPI は当初は主に頭部の横断像の画像化が行われていたが、最近では 3 軸とも画像化が可能となり、頭部ばかりでなく、全身の臓器での応用も見られる。肝臓では Saini ら^{2),3)}が Advanced NMR 社の装置を用いてその有用性を報告している。我々は肝腫瘍の診断に EPI を応用したので現時点での、EPI の実用性、問題点について報告する。

対象および方法

肝腫瘍を有する 25 名 (男性 17 名, 女性 8

名) の患者に対し single shot の EPI による肝臓の imaging を行った。肝腫瘍の内訳は肝臓癌 15 例 (20 病変), 胆管細胞癌 2 例 (2 病変), 転移性肝癌 5 例 (15 病変), 肝血管腫 3 例 (3 病変), 肝嚢胞 2 例 (2 病変) で, 肝血管腫および肝嚢胞のそれぞれ 1 例は肝臓癌に合併していた症例である。

使用機種は Siemens Magnetom Vision 1.5 T で, gradient overdrive が装着され, 受信コイルは全例に body array coil を用いて撮像を行った。使用した sequence は spin echo 型 EPI (SE-EPI) (バンド幅 2080 Hz/pixel) TE=47, 100 ms および gradient echo 型 EPI (GE-EPI) (バンド幅 2080 Hz/pixel) TE=22 ms である (Fig. 1)⁴⁾。echo space は 0.6 ms で, 脂肪抑制法として脂肪の周波数を選択的に抑制する chemical saturation 法を用いた。Phase encode 方向に blip gradient (印可時間の短い, 強い強度の gradient) を用い, 傾斜磁場の反転は non-resonant gradient を用い, データの sampling は non-linear sampling 法によった。データ収集は asymmetric echo を用いた。いずれでも加算は行っていない。FOV は 340 mm, matrix は 128×128, 1 スライスあたりの撮像時間は 76.8 ms で sequential に呼吸停止なしに撮像した。腹壁および背部の脂肪

キーワード liver, MR imaging, echo planar, fast imaging

の信号を落とすために帯状の saturation pulse を印可した。

そのほかに呼吸停止下の FLASH 法による T₁ 強調画像 (150/4.8/75 degree), 呼吸停止下の turbo spin echo (TSE) 法による T₂ 強調画像 (2000/120/15 echo train length), 呼吸同期法による TSE 法による T₂ 強調画像 (3500~5000/120/7 echo train length), 呼吸停止下の FLASH 法 (150/4.8/75 degree) による全肝の dynamic Gd-DTPA-enhanced MRI を行った。

肝臓および脾臓の SN 比は臓器の信号強度を体幹部の外側の位相方向の空間の信号の標準偏差 (background の SD) で除して求めた。また腫瘍と病変の contrast noise ratio (CN 比) は腫瘍部と肝臓の信号強度の差を前述の体外の空間の標準偏差で除して求めた。その SN 比, CN 比のパルス系列間で差があるかどうか paired t-test を用いて有意差検定をおこなった。また視覚的に呼吸停止下の TSE 法による T₂ 強調画像 (TR/TE=2000/120/15 echo train length, バンド幅 130 Hz/pixel) と比較した。また EPI のアーチファクトについては EPI に特有の位相方向の chemical shift artifact, N/2 artifact, susceptibility artifact について評価した。

結 果

肝臓の撮像は全例で比較的良好な画質が得られた。全体の信号は TE=22 ms の GE-EPI が高く, TE=47 ms の SE-EPI がそれに次ぎ, TE=100 ms の SE-EPI の SN 比が最も低かった (Fig. 1, Table 1)。TE=100 ms では著明な肝実質の信号低下を認めた。腫瘍は全例で描出可能であり, 腫瘍-肝臓のコントラストは TE=100 ms の SE-EPI が最も優れていた (Fig. 1)。17 例で腫瘍と肝臓のコントラストは

呼吸停止の TSE 法よりも明瞭と判断され, 21 例で同等, 4 例で TSE 法が優れていると判断された。特に肝臓癌では TSE 法のコントラストが低かったが, EPI でのコントラストは高かった (Fig. 1)。転移性肝癌, 肝血管腫, 肝嚢胞では多くの腫瘍で TSE 法とほぼ同等であったが, 呼吸のアーチファクトで小さな転移性腫瘍 3 病変は TSE 法で描出困難であったのに対し, EPI では描出されていた。一方転移性腫瘍の 2 病変は chemical shift artifact の重なりのため描出されなかった。SE-EPI では TE=100 ms では TE=47 ms に比して嚢胞性病変は高信号で描出されていたが, 実質性病変では信号は低下していた。GE-EPI は全体の SN 比は優れていたが, SE-EPI より susceptibility artifact がやや強く, 血管も高信号として描出され腫瘍と肝実質のコントラストは TE=100 ms の SE-EPI より低かった (Fig. 1)。

アーチファクトは消化管が空気で拡張している例や肺と接するドーム下のスライスでは全例 susceptibility の変化による画像のゆがみを認めた (Fig. 1)。周波数方向に腹壁の脂肪による強い chemical shift artifact も全例に認めた。しかしこれらのアーチファクトにもかかわらず腫瘍のコントラストが高いため全例で腫瘍は描出されていた。いずれの症例でも N/2 artifact は認めなかった。

考 察

EPI は一回の励起によって, 読みとり磁場を高速に反転させて全部のエコートレインを得る single shot imaging 法で, 現在のパルス系列の中では最も高速のスキュン法である⁵⁾。EPI には 90°パルスと 180°パルスの後にスピニングエコーの発生過程で傾斜磁場を発生してデータを収集する SE-EPI と 90°以下の RF パルス

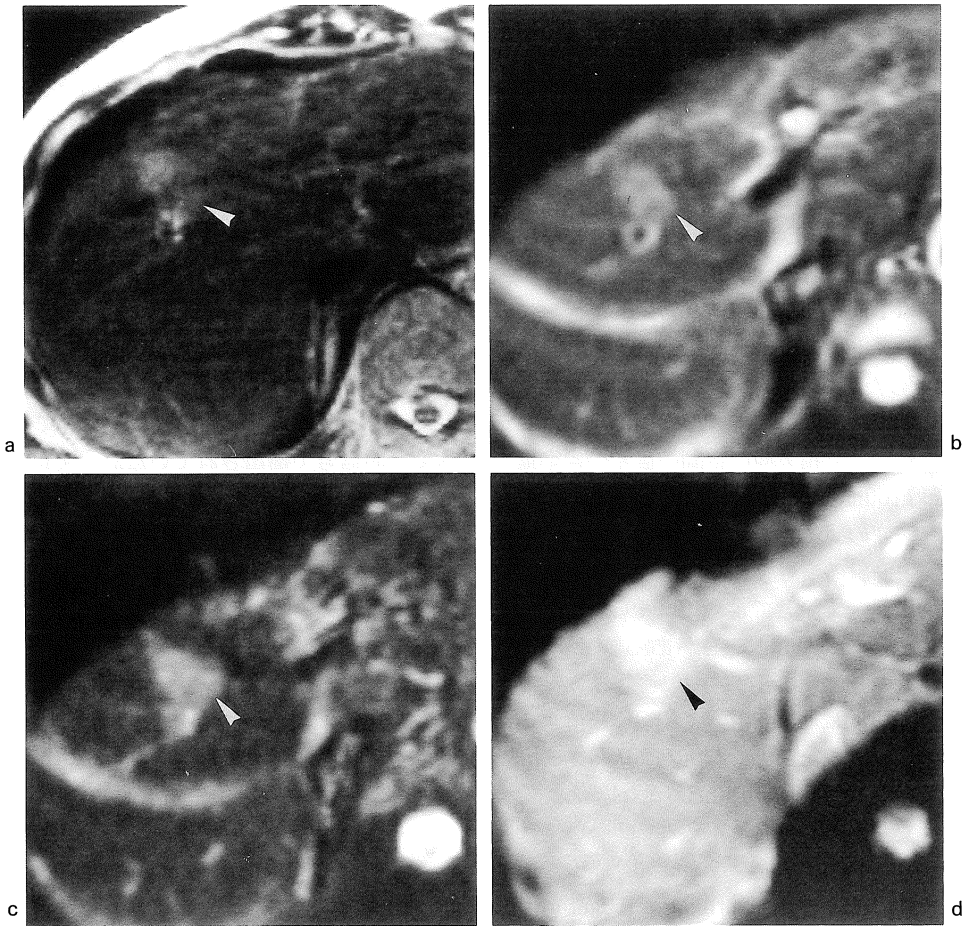


Fig. 1. A 72-year old woman with small hepatoma a. Breath hold T₂-weighted TSE image (2000/120 with 15 echo train length) b. single shot SE-EPI image (∞/47) c. single shot SE-EPI image (∞/100) d. single shot GE-EPI image (∞/22) On all images, a small hyperintense mass is seen in the medial segment of the liver. Although spatial resolution is better on TSE image, tissue contrast of SE-EPI images (TE=100) is better than that of TSE image. Among three EPI sequences, the signal-to-noise ratio is best on GE-EPI sequence (17.8), followed by SE-EPI of TE=47 (11.0) and SE-EPI of TE=100 (8.9). The contrast-to-noise ratio is 15.9 for SE-EPI of TE=100, 12.6 for SE-EPI of TE=47 and 9.1 for GE-EPI sequence. However, susceptibility artifact and image distortion are seen in the anterior part of the liver due to lung.

の後にグラディエントエコーによりデータを収集する GE-EPI がある⁴⁾。前者では k space の中心にスピノエコーのデータを用いるため、画像のコントラストは SE 法に類似すると言われており肝臓などの画像化に適している。

EPI を行うには様々な高度なハードウエ

アーのレベルとその調整が要求される。これがうまく行かないと著明なアーチファクトを生じ、時には読影が全く不可能となる。EPI は多くの傾斜磁場によってエコーを収集し全データの読みとり時間が著しく長いため、磁場の不均一性に非常に敏感である。そのため良好な

Table 1. Average Signal-to-Noise Ratio and Contrast-to-Noise Ratio in Each EPI Pulse Sequence

Image quality	Pulse sequence		
	SE-EPI TE=47 msec	SE-EPI TE=100 ms	GE-EPI TE=22 msec
SNR of liver	10.6±4.6	4.9±3.2	15.6±5.5
SNR of spleen	17.0±5.6	7.2±4.1	12.8±6.0
CNR of lesion-liver	10.6±5.7	12.7±6.4	8.8±3.3

Statistical significance ($p < 0.05$) among SNR of the spleen and liver and CNR of SE-EPI (TE=47), SE-EPI (TE=100) and GE-EPI except CNR between SE-EPI (TE=47) and SE-EPI (TE=100)

EPIの画像を得るには非常に均一な磁場が必要である⁴⁾。肝臓の撮像においてもドーム下の肺に接する部分や、胃包に近接する場合には磁場が不均一となるため、極端な画像のゆがみを生じていた。またEPIでは位相エンコードのための傾斜磁場をほぼ連続的に印可するためにその強度は小さく、周波数分解能は数10 Hzとなり著明なchemical shift artifactを生じる。一方、周波数方向には強力な傾斜磁場を使用するため、chemical shift artifactは軽微である。このため脂肪抑制は必須であるが、磁場の不均一性があると十分に脂肪抑制がかからない。特にbody array coilを用いた場合、コイルに近接した脂肪がchemical shift artifactとして目立ってしまう。我々の例でも腹壁および背部の脂肪の信号を落とすために帯状のsaturation pulseを印可しているにもかかわらず、全例で多少のchemical shift artifactを認めた。

肝腫瘍、ことに肝臓癌においてはその組織の 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。そのため、現在でもspin echo法を診断に用いている施設もあるようだが、撮像時間が長く、特にbody array coilを用いた場合、motion artifactが著明である。EPIの空間分解能は現在ではTSE法やSE法に劣るが、周囲肝と腫瘍のコントラストは呼吸停止、あるいは呼吸同期のTSE法よりも明らかに優れて

いた。肝臓の末梢血管などの詳細な構造の描出には呼吸同期法は大変優れているが、肝臓癌のコントラストではEPIが勝り、現時点では我々は呼吸同期法にEPIを補助的に加えることをルーチンとしている。またEPIではごく短時間で、撮像可能であるため二つのTE値によって組織の T_2 を求めることも容易である³⁾。ことにEPIではTRが無制限大と考えることができるため、求めた T_2 値も正確であることが期待される。

一方、EPIをいくつかのsegmentの分けて撮像するsegmented EPIの方法も提唱されている(segmented EPI, interleaved EPI)⁶⁾。この方法は1枚の画像に必要なデータを複数のRFパルスで得る方法でハードウェアの高度の要求はなく、従来の装置で比較的高分解能の画像を得ることが可能である。しかし撮像時間は数秒から数十秒要するため、呼吸の影響、心拍の影響、腸管の蠕動などの影響も認められ、EPIの特性である超高速画像とは呼べないであろう。

EPIでは通常の撮像法に比してSN比は低下する。SN比はバンド幅の平方根に反比例する。そのため我々の用いたEPIのパルス系列ではバンド幅が2080 Hz/pixelとTSE法(130 Hz/pixel)の16倍であるため、著しくSN比は低下すると考えられるが、matrixが大きいこと、TRの影響がないこと、またbody

array coil を用いていることなどの理由により、診断上十分な SN 比が得られた。また EPI においては voxel 内の T_2^* による dephasing の影響は薄いスライスで voxel の大きさを小さくする方が軽微となり、画質が向上すると言われている⁴⁾。

EPI は磁場の不均一性、局所磁化率の変化に敏感で、空間分解能が低いためルーチンの検査としては用いることは困難であるが、コントラストは TSE 法を凌駕している。このコントラストはこれまでの空間分解能を優先させていた TSE 法で最もかけていた部分である。EPI を初めて肝臓に臨床応用したとき、予想以上に実用性の高い撮像法であることを実感した。肝臓の imaging においても今後のハードウェア、ソフトウェアの改良によって一層実用化が進むことが期待される。我々は最近では EPI を応用した肝臓の diffusion 画像等も検討しており、EPI を用いることによって、新しい肝臓の診断の可能性が広がるであろう。

文 献

- 1) Mansfield, P : Multi-planar image formation using NMR spin echoes. J Phys C, 10 : 349-352, 1977.
- 2) Saini S, Reimer P, Hahn PF, Cohen MS : Echoplanar MR imaging of the liver in patients with focal hepatic lesions : quantitative analysis of images made with various pulse sequences. AJR, 163 : 1389-1393, 1994.
- 3) Goldberg MA, Hahn PF, Saini S, et al. : Value of T_1 and T_2 relaxation times from echo planar MR imaging in the characterization of focal hepatic lesions. AJR, 160 : 1011-1017, 1993.
- 4) Edelman RR, Wielopolski P, Schmitt F : Echo-planar MR imaging. Radiology, 192 : 600-612, 1994.
- 5) Stehling MK, Turner R, Mansfield P : Echo-planar imaging : magnetic resonance imaging in a fraction of a second. Science, 254 : 43-50, 1991.
- 6) Butts K, Riderer SJ, Ehman RL, Felmlee JP, Grimm RC : Echo-planar imaging of the liver with a standard MR imaging system. Radiology, 189 : 259-264, 1993.

Initial Clinical Experience of Single Shot Echo Planar Imaging of the Liver

Yasuyuki YAMASHITA, Yi TANG, Yasuko ABE,
Tomohiro NAMIMOTO, Katsuhiko MITSUZAKI, Mutsumasa TAKAHASHI

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

Echo planar imaging is a very fast imaging technique that allows one to collect all the data required to reconstruct an image in a less than 100 ms. We undertook this study to evaluate EPI pulse sequence performance in the application of imaging of liver neoplasms. Three EPI pulse sequences (short TE SE-EPI, long TE SE-EPI and short TE GE-EPI) were obtained in 25 patients (35 lesions) with liver neoplasms. The signal-to-noise ratio of liver and tumor were highest on GE-EPI, while liver-tumor contrast was better on long TE SE-EPI. In 16 of 35 lesions, liver-tumor contrast was better on SE-EPI than on breath-hold TSE images and equal in 15 of 35 lesions.