

エコープラナー法による心臓撮像法の検討

中西 正, 田村彰久, 桑原将司, 藤田和志,
宮坂健司, 飯田 慎, 高畑弥奈子, 伊藤勝陽

広島大学医学部放射線医学教室

はじめに

近年超高速撮像法であるエコープラナー法(以下 EPI)が可能な MRI 装置が本邦に導入され, 臨床応用が可能となってきた. EPI は 1977 年に Mansfield ら¹⁾によって考案された撮像法であり, 近年様々な領域への応用の報告がなされている²⁾. EPI の高速性は心臓の撮像において最も有用性が期待される反面, 肺に囲まれた領域であり, 最も磁化率効果の影響を受けやすい部位であるため, 画像のゆがみなどの臨床応用に難点のある影響も指摘されている³⁾. 今回我々は臨床用の MRI 装置による EPI での心臓撮像法についての初期的な検討を行ったので報告する.

対象および方法

正常健常者を 10 名を対象とした. 使用装置は GE 社製 Horizon Highspeed 1.5 T で, 最大の slew rate は 77 T/m/s である. Spin echo type (SE-EPI) と gradient echo type の EPI (GrE-EPI) により心臓撮像を行い画像についての評価を行った. 撮像条件は FOV=40×20 cm, matrix=256×128, スライス厚は 10 mm, flow compensation 併用で axial scan を施

行し, shot 数を 1, 2, 4, 8 と変化させて EPI による撮像を息止めにて行った. GrE-EPI では flip angle を 60 度とした. また心電図の R 波からの trigger delay は最短の 18 ms を選択した. Echo time (TE) については最短の full echo 収集を選択した. Shot 数というのは k-space segmentation を併用した EPI において, 分割数を意味している. なお脂肪抑制は EPI に組み込まれている. 検討項目は画像のゆがみ, TE, 画質と artifact についてである. また心筋の perfusion study の方法を模索した.

結 果

SE-EPI において 1 shot の撮像では TE は最短でも 150 ms を超え, 心筋自体の信号が著明に低下した. Shot 数をあげると心筋の信号が増加してくるだけでなく, 画像のゆがみが改善してきた (Fig. 1). 特に shot 数 1 において画像のゆがみが必発であり, 著明な TE の延長と画像の劣化を生じた. GrE-EPI では SE-EPI より TE は短くなるが, 肺との境界面において susceptibility effect による低信号域がより明瞭に認められた. また画像の劣化とゆがみが SE-EPI より著明な傾向にあった (Fig. 2). 以上のような傾向を踏まえて, SE-EPI にて matrix 数を 128×64 とさげ, さらに 2 shot と

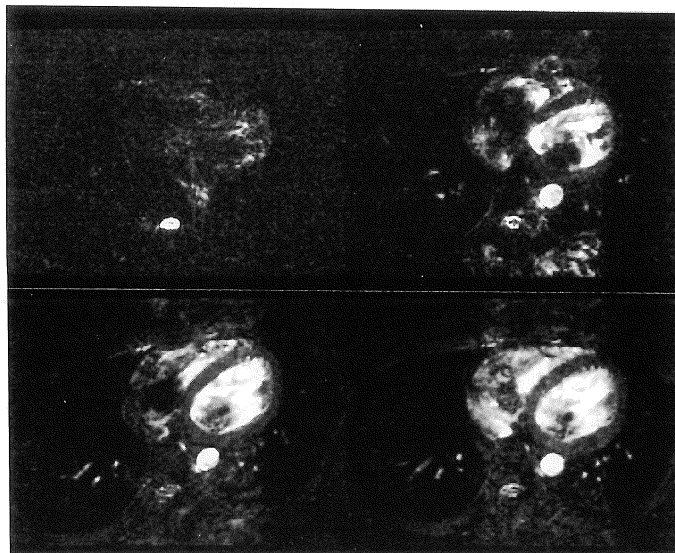
キーワード echo planar imaging, MRI, k-space segmentation, myocardial perfusion

すると画像のゆがみがなく、ある程度の画質が得られることが確認できたので、T₁ contrastによる心筋の perfusion study を試みた (Fig. 3). また心筋と左室内腔の信号をプロットした図を Fig. 4 に示す. shot 数の増加, matrix 数の減少により画質の改善と short TE の画像が得られた. また matrix=128×64, shot 数 2 での SE-EPI が心筋の perfusion study に適当と考えられた.

考 察

心臓の MRI は形態的な評価には spin echo 法, 心機能の評価には gradient echo 法が用いられてきており, ある程度の臨床的有用性が報告されている. 一方それらの限界として, 長い

撮像時間や呼吸停止による撮像ができないための画像の劣化も指摘されており, これらの解決法としての EPI に期待がかかる. 形態的な心疾患の評価を行う場合, EPI においては GrE-type より SE-type の撮像法が適当であるとされている⁴⁾. しかしながら現在まで conventional SE 法と画質, 診断能において比較し, EPI の優位性を示唆した報告はなく, 高分解能が必須であるため現時点では conventional SE 法にとってかわることは難しいと考えられる. 一方 multi-shot 化することによる画質が改善されるという報告がある^{3),5),6)}. Multi-shot 化すれば画像は改善するが, その高速性が生かせなくなる可能性があり, 高速 SE 法との優劣が問題となる. また心容積の計測法として EPI が従来の MRI と同等であるとする報告もあるが⁷⁾,



a	b
c	d

Fig. 1. SE-EPI : Comparison of different shots. a) Single shot EPI with TE of 169 ms. b) 2-shot EPI with TE of 91 ms. c) 4-shot EPI with TE of 56 ms. d) 8-shot EPI with TE of 37 ms. Image quality improved as number of shots increased with respect to spatial distortion and intensity of myocardium. High signal intensity in the left ventricular cavity was consistently observed probably due to the application of flow compensation.

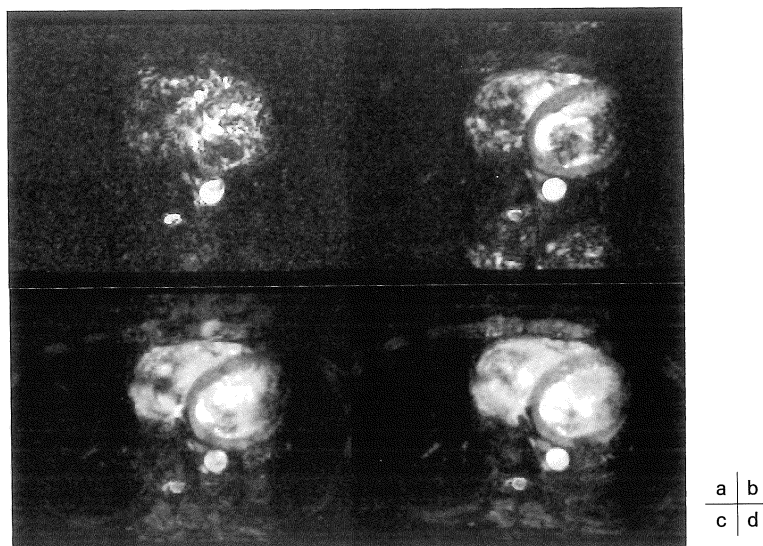


Fig. 2. GrE-EPI : Comparison of different shots. a) Single shot EPI with TE of 90 ms. b) 2-shot EPI with TE of 51 ms. c) 4-shot EPI with TE of 33 ms. d) 8-shot EPI with TE of 24 ms. Prominent susceptibility effect at postero-lateral wall was always demonstrated.

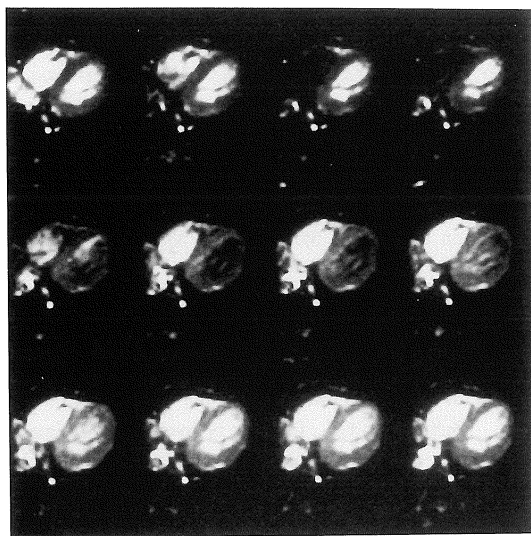


Fig. 3. Temporally sequential echo planar images of the heart using electrocardiographically gated 2-shots SE-EPI at matrix of 128×64 after intravenous bolus administration of gadopentetate dimeglumine (0.1 mmol/kg) (left top to right bottom).

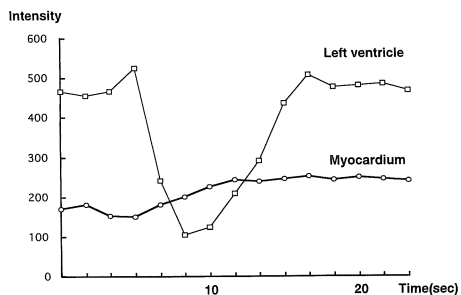


Fig. 4. Time-intensity curve of a case demonstrated in Fig. 3. Gradual increase of signal intensity of the left myocardium showing T_1 contrast was observed followed by rapid decrease in left ventricular cavity, which was probably due to shortening of T_2^* .

同様に呼吸停止下におこなえる高速シネ MRI の報告もあり⁸⁾, 比較的磁化率効果の影響を受けにくい点などから, 現時点では GrE-EPI より高速シネ MRI が優れていると考えられる. EPI の特徴的な点として matrix 数の増加は TE の延長をもたらすが, その程度は slew rate に依存していることである. 心臓の MRI においては通常 256×128 以上の matrix 数を必要とするが, 今回の検討ではゆがみのない画像はより少ない matrix 数と multi-shot 化が必要であった. この傾向は今回使用した機種 of 性能, 状態に依存した結果である可能性が高く, gradient driver の安定化と k-space sampling とのタイミングをあわせることでより少ない shot 数においてもゆがみが改善しうると考えられた.

画像のゆがみは EPI において phase error が原理的に累積しやすく, これが phase encoding gradient によるものと区別できないために位置のずれとして認識されるために起こるものである. 特に心疾患の評価においては画像のゆがみは壁運動の異常や心容積の不正確な計測となるため, 許容できない要素と考えられる. 200 T/m/s での報告⁵⁾ では matrix 数 256×128 で, 1 shot でもある程度の画質が得られており, これは我々が使用した機種 of 最大の slew rate が 77 T/m/s と低いことが主な原因と考えられた. 一方 myocardial perfusion の検査法としては空間分解能を下げても時間分解能に優れた EPI は期待できる撮像法と考えられる. Gd-DTPA の急速静注を併用した myocardial perfusion の評価法には T_1 contrast によるもの^{9),10)} と T_2^* contrast によるもの^{9),11)} が報告されているが, 人体への応用では心筋のコントラストの点より T_1 contrast の利用が適当とされている⁹⁾. 前者には縦磁化が平衡状態になることを利用した SE-EPI¹⁰⁾ と inversion recovery EPI があり, 後者は GrE-EPI を用いる方法である. 我々の行った撮像法は同一断面の連続撮像に SE-EPI を用いたものであるが,

縦磁化成分に部分飽和の生じる欠点がある. さらに non-selective pulse を用いた inversion recovery EPI と比べて撮像時間が短い, 撮像断面のずれが心筋の信号変化を起こすために, 厳密な呼吸停止が要求される. 今回の検討では画像のゆがみを軽減し, 比較的良好な画像が得られた 2 shot SE-EPI により, 良好な心筋の信号の増加が確認できた.

結 論

Slew rate の制限もあり通常に使用される心電図同期 SE 法, 高速シネ MRI を代替できるほどではないが, 造影剤を使用した T_1 コントラストによる心筋 perfusion の評価に期待がもてる.

文 献

- 1) Mansfield P: Multi-planar image formation using NMR spin echoes. *J Phys C*, 10: L55-L58, 1977.
- 2) Edelman RR, Wielopolski P, Schmitt F: Echo-planar MR imaging. *Radiology*, 192: 600-612, 1994.
- 3) Butts K, Riederer SJ, Ehman RL, Thompson RM, Jack CR: Interleaved echo planar imaging on a standard MRI system. *Magn Reson Med*, 31: 67-72, 1994.
- 4) Davis CP, McKinnon GC, Debatin JF, et al.: Normal heart: evaluation with echo-planar MR imaging. *Radiology*, 191: 691-696, 1994.
- 5) Wetter DR, McKinnon GC, Debatin JF, von Schulthess GK: Cardiac echo-planar MR imaging: comparison of single-and multiple-shot techniques. *Radiology*, 194: 765-770, 1995.
- 6) Davis CP, McKinnon GC, Debatin JF, Diewell S, von Schulthess GK: Single-shot versus interleaved echo-planar MR imaging: application to visualization of cardiac valve leaflets. *J Magn Reson Imaging*, 5: 107-112, 1995.
- 7) Hunter GJ, Hamberg LM, Weisskoff RM, Halpern EF, Brady TJ: Measurement of stroke

- volume and cardiac output within a single breath hold with echo-planar MR imaging. *J Magn Reson Imaging*, 4 : 51-58, 1994.
- 8) Sakuma H, Fujita N, Foo TK, et al. : Evaluation of left ventricular volume and mass with breath-hold cine MR imaging. *Radiology*, 188 : 377-380, 1993.
- 9) Edelman RR, Li W : Contrast-enhanced echo-planar MR imaging of myocardial perfusion : preliminary study in humans. *Radiology*, 190 : 771-777, 1994.
- 10) Schwitter J, Debatin JF, von Schulthess GK, Hauser M, McKinnon GC : Assessment of Myocardial Perfusion with Multi-Planar Echo-Planar Imaging : Influence of Contrast Medium Dose-Initial Experience in Patients (abstr). In *Proceedings of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 4th Annual Meeting, New York, pp 681, 1996.*
- 11) Wendland MF, Saeed M, Masui T, Derugin N, Higgins CB : First pass of an MR susceptibility contrast agent through normal and ischemic heart : gradient-recalled echo-planar imaging. *J Magn Reson Imaging*, 3 : 755-760, 1993.

Preliminary Experience of Cardiac Echo Planar Imaging

Tadashi NAKANISHI, Akihisa TAMURA, Masashi KUWAHARA,
Kazushi FUJITA, Kenji MIYASAKA, Makoto IIDA,
Minako KOUHATA, Katsuhide ITO

*Department of Radiology, Hiroshima University School of Medicine
1-2-3 Kasumi Minami-ku, Hiroshima 734*

The authors evaluated the efficacy and the technical problem of echo planar imaging (EPI) of the heart. EPI was applied to image the hearts in 10 healthy volunteers using 1.5 tesla MR imager, whose gradient slew rate was 77 T/m/s. Fat-suppressed spin echo (SE) and gradient echo (GrE) EPI were performed with a section thickness of 10 mm, and a field of view of 40×20 cm, a matrix of 256×128 , and flow compensation. Single phase was acquired during breath hold with 4 different EPI sequences (single-shot, two-shot, 4-shot, and 8 shot EPI) in the same location. Both in SE-and GrE-EPI, an increase of number of shots caused reduction of spatial distortion, as well as improvement of image quality due to shortening of minimum echo time. Susceptibility artifacts around postero-lateral wall of left ventricle and slight image distortion were always observed even in 8-shots GrE-EPI. The assessment of myocardial perfusion in T_1 contrast by Gd-DTPA could be fairly performed by 2-shot EPI with reduced matrix of 128×64 , since image distortion or degradation of image quality was not observed in this condition. Although it might be difficult for EPI to substitute conventional SE or fast cine MR sequences in MR imager with limited gradient slew rate, myocardial perfusion could be preferably evaluated by EPI with high temporal resolution.