

Title	EPIを用いた脳のDynamic Susceptibility Contrast MRI-各種EPI撮像法の相違についての検討-
Author(s)	土田, 千賀; 山田, 弘樹; 熊田, 倫 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1997, 57(13), p. 860-863
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18618
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

EPIを用いた脳のDynamic Susceptibility Contrast MRI

—各種EPI撮像法の相違についての検討—

土田 千賀¹⁾ 山田 弘樹¹⁾ 熊田 倫¹⁾ 前田 正幸¹⁾ 越元 佳郎¹⁾
木村 浩彦¹⁾ 河村 泰孝¹⁾ 岡本 淳²⁾ 滝沢 修²⁾ 石井 靖¹⁾

1) 福井医科大学放射線医学教室

2) シーメンス旭メディテック

Dynamic Susceptibility Contrast MRI with Echo Planar Imaging Using 1.0T System: Comparison of different EPI sequences

Chika Tsuchida¹⁾, Hiroki Yamada¹⁾,
Hisashi Kumada¹⁾, Masayuki Maeda¹⁾,
Yoshiro Koshimoto¹⁾, Hirohiko Kimura¹⁾,
Yasutaka Kawamura¹⁾, Jun Okamoto²⁾,
Osamu Takizawa²⁾ and Yasushi Ishii¹⁾

Dynamic susceptibility contrast MRI has been performed using the gradient echo sequence on conventional MR imagers. On echo planar imaging (EPI) devices, not only gradient-echo EPI but also spin-echo EPI allow for the monitoring of contrast agent-induced changes in susceptibility. The purpose of this study was to evaluate the contribution of each EPI pulse sequence to susceptibility-induced ΔR_2^* through the first pass of a bolus of Gd-DTPA. Thirty healthy volunteers were examined with a 1.0T superconducting MRI unit (IMPACT, Siemens) using EPI. For dynamic susceptibility contrast MRI, we used gradient echo EPI (TE = 60), spin echo EPI (TE = 60) and asymmetric spin echo EPI (TE = 88). Regional relative CBV (rCBV) maps were generated. On the rCBV map generated with gradient echo EPI, the high-intensity area of the brain surface was more conspicuous than that generated with spin echo EPI. The rCBV map generated with asymmetric spin echo EPI represented the contrast between those generated with spin echo EPI and gradient echo EPI. The rCBV rate between gray matter and white matter with gradient echo EPI was significantly higher than that with spin echo EPI. We suggest that the rCBV map calculated with spin echo EPI tends to reflect capillary blood volume and the rCBV map calculated with gradient echo EPI tends to reflect total blood volume.

Research Code No. : 503.9

Key words : Brain, MR imaging, Perfusion study

Received Mar. 21, 1997; revision accepted Aug. 29, 1997

1) Department of Radiology, Fukui Medical School

2) Siemens Asahi Meditec

はじめに

現在、一般臨床における脳血流の評価は、主にSPECTが用いられている。一方、MRI装置を用いても、Gd-DTPAなどのボラス注入によるsusceptibility効果を利用した動態撮像、すなわちdynamic susceptibility contrast (DSC) MRIを行うことができ、これにより半定量的な脳血流解析が可能である¹⁾⁻⁷⁾。しかし、従来のgradient echo法を用いたDSC MRIでは時間分解能に限界があり、複数の断面にわたる動態撮像ができなかった。近年、本邦においても多くの施設に超高速撮像法であるecho-planar imaging (EPI)が導入されてきている。EPIを用いることで、短時間に全脳を含む多断面の動態が撮像され、DSC MRIがルーチン検査のレベルで施行可能となってきた⁸⁾。EPIは撮像法によってgradient echo EPI, spin echo EPI, asymmetric spin echo EPI等に分類される⁹⁾。Gradient echo EPIは90°以下の励起パルスの後、T2*減衰する信号からgradient echoを収集する。Spin echo EPIは90°の励起パルスおよび180°のrefocusパルスの後、T2減衰する信号からEPIデータを収集する。Asymmetric spin echo EPIは180°パルスによりrefocusされた信号がk-spaceの中心からずれるようにmodifyされたspin echo EPIでT2* weightingが加味されGradient echo EPIとSpin echo EPIの中間的な性質をもった撮像法である。以上のようなそれぞれのEPI撮像法によってそのsusceptibility contrastにかかわる信号の性質が異なるといわれている⁹⁾。EPIをDSC MRIに応用する場合、これらの各種EPI撮像法におけるsusceptibility効果の違いについて、その特徴をよく理解しておく必要がある。すなわち、spin echo法によるものはgradient echo法に比べてより微小な血管網におけるsusceptibility contrastを反映するといわれている¹⁰⁾⁻¹²⁾。今回われわれは、gradient echo EPI, spin echo EPI, asymmetric spin echo EPIを用いてdynamic susceptibility contrast MRIを施行し、それぞれの撮像法から脳のperfusion画像を作成し、それらの比較検討を行ったので報告する。

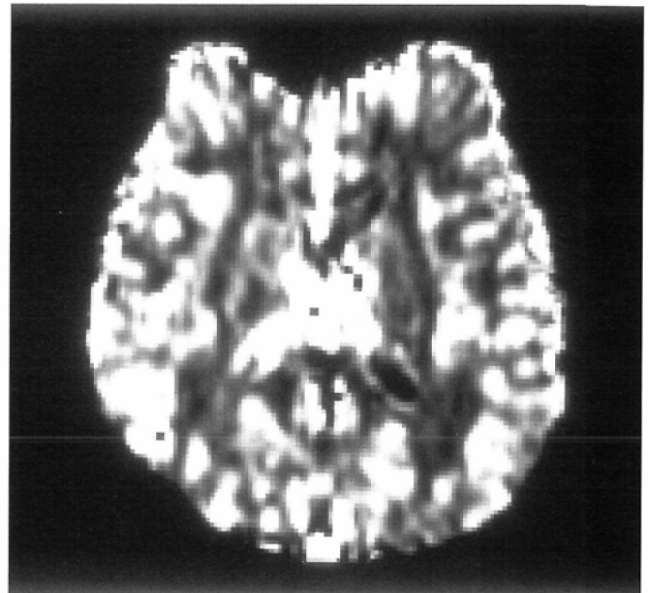
対象および方法

対象は健常者30名で、内訳は男性13名、女性17名で、年齢は32歳から62歳(平均45歳)であった。使用装置はIMPACT 1.0T(Siemens社製)で、健常者各々10名に対して、gradient echo EPI, spin echo EPI, asymmetric spin echo EPIを用いてDSC MRIを施行した。gradient echo EPI, spin echo EPIおよびasymmetric spin echo EPIの撮像条件のうち、TR/TEはそれぞれ2160/60msec, 2160/60msec, 2160/88msec(TE offset = 28msec)で、他のパラメーターは、Matrix 64×128, FOV 320mm, Slice thickness 7mmとした。全脳を含む12横断面を設定した。1画像あたりの撮像時間は180msecで、12断面を1シリーズとすると、全脳が2160msec(2.16sec)で撮像可能であった。撮像開始約10秒後から、Gd-DTPA(0.15mmol/Kg)および20mlの生理食塩水を肘静脈よりボラス注入し、12断面にわたり2.16秒毎に86.4秒にわたって、その動態を撮像した。得られた時系列画像から、以下の式にもとづいてファーストパスにおける各ピクセル毎のT2(*)短縮率($\Delta R2^*$)を求めた²⁾。

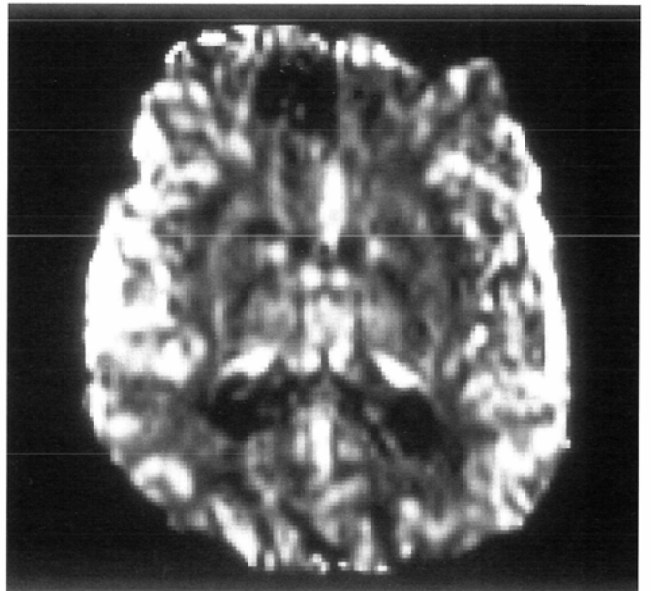
$\Delta R2^* = -\ln(S_t/S_0)/TE$ ここで、lnは自然対数、TEはエコー時間(sec)、 S_t は時間t(sec)における信号強度、 S_0 は造影剤到達前の信号強度で撮像開始後4.32秒から10.8秒の画像の信号強度の平均値とした。 $\Delta R2^*$ は局所の造影剤濃度と比例関係にあるといわれており、 $\Delta R2^*$ の積分量($\int \Delta R2^*$)は局所脳血流量を反映するとされている²⁾。 $\Delta R2^*$ の経時変化曲線に対して、われわれの施設で独自に開発したソフトを用いてガンマー関数近似を行い、 $\int \Delta R2^*$ を算出し、相対的局所脳血流量画像(rrCBV map)とした。このrrCBV mapにおいて、大脳前頭葉深部白質、被殻、側頭葉皮質にそれぞれ30ピクセルを含む関心領域(ROI)を設定し、各ROIにおけるrrCBVの平均値を求めた。さらに、白質のrrCBVに対する被殻および皮質の局所脳血流量比(rrCBV rate)を計算し、各EPI撮像法での値を比較しsusceptibility効果の脳血管構造の由来の違いによる特徴の有無を比較した。それぞれのrrCBV rateの比較検討にはt検定を用いた。

結 果

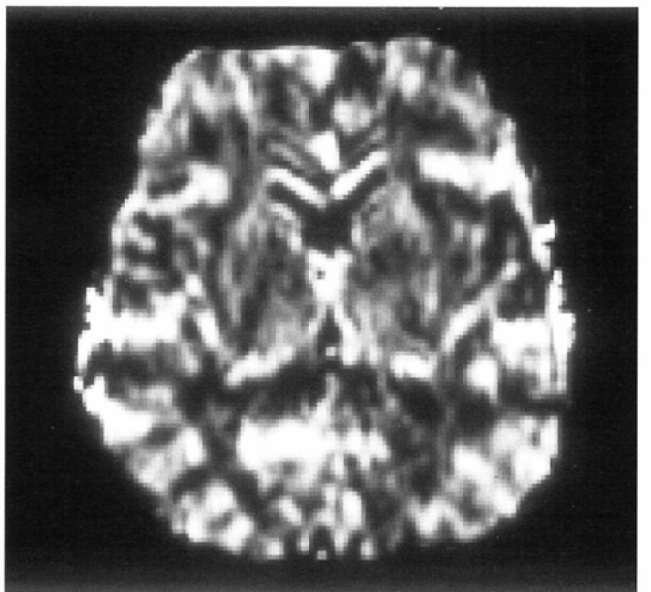
Gradient echo EPI, spin echo EPI, asymmetric spin echo EPIを用いたDSC MRIにより得られたrrCBV mapをFig.1に示す。Gradient echo EPIによるrrCBV map(Fig.1A)では脳回に沿ったrrCBVの高い領域が著明である。Spin echo EPIでは脳表のrrCBV高値を示唆する高信号は顕著でなく、皮質白



(A)



(B)



(C)

Fig.1 (A)48-year-old female. (B)43-year-old male. (C)45-year-old female. The rrCBV maps of healthy subjects with gradient echo EPI(A), asymmetric spin echo EPI(B), and spin echo EPI(C). On the rrCBV map generated with gradient echo EPI, high intensity area of the brain surface was more conspicuous than that with spin echo EPI. The rrCBV map generated with asymmetric spin echo EPI represents the contrast between those with spin echo EPI and gradient echo EPI.

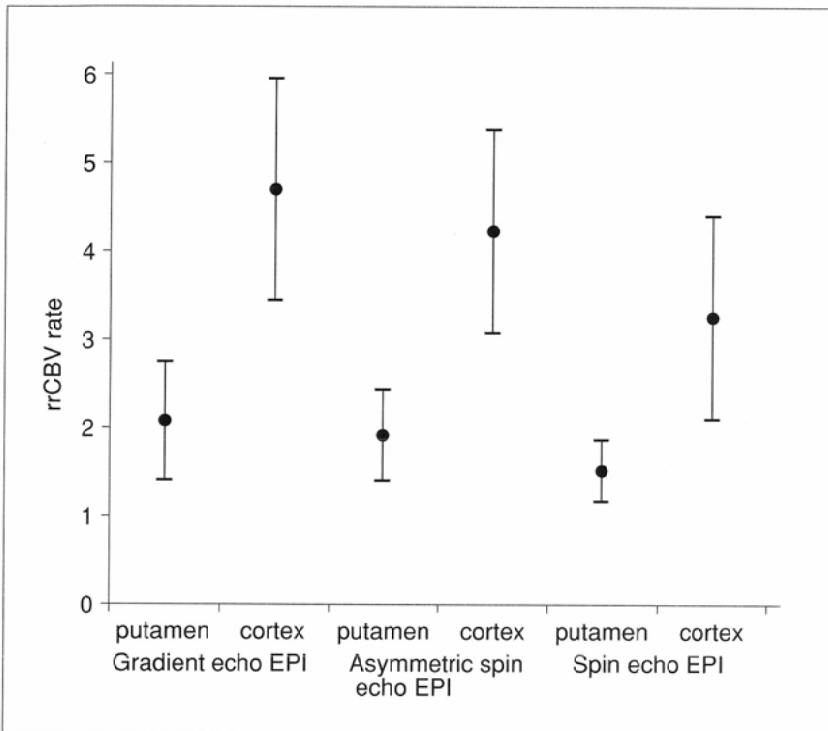


Fig.2 The average rrCBV rate (cortex; cortex of the temporal lobe/white matter, putamen; putamen/white matter) with each EPI sequence. The rrCBV rate of cortex is significantly higher than that of putamen with all EPI sequences. The rrCBV rate of cortex and putamen with gradient echo EPI is significantly higher than that with spin echo EPI.

質境界が明瞭になっている (Fig.1C). Asymmetric spin echo EPIから得られたrrCBV mapは両者の中間の像を示した (Fig.1B). 各撮像法の白質に対する被殻および皮質のrrCBV rateをFig.2に示す. 皮質のrrCBV rateはgradient echo EPIとspin echo EPI間で有意差を示した (t-test, $p < 0.05$). 被殻のrrCBV rateはgradient echo EPI法とspin echo EPI間およびasymmetric spin echo EPIとspin echo EPI間で有意差を示し

達する (Fig.3). よって, gradient echo法では径 $10\mu\text{m}$ 以上のすべての血管が同様にコントラストに影響を与えることになる. 一方, spin echo法による $\Delta R2$ は, 血管径が $5\mu\text{m}$ 程度でピークを示し, 血管径の増大に伴い $\Delta R2$ は減少する (Fig.3). すなわち, spin echo法では, 内径 $10\mu\text{m}$ 前後の毛細血管レベルの微小循環をより強く反映すると考えられる. 毛細血管レベルのCBVの変化は生理的に重要で, spin echo法は機能的な微小脳血流動態の評価に適するといえる.

われわれが施行したDSC MRI から得られたrrCBV mapにおいて, gradient echo EPIではspin echo EPIに比して脳表のrrCBV高値を示唆する高信号が著明であった (Fig.1). いいかえれば, spin echo EPIではgradient echo EPIに比して脳表のrrCBV高値が目立たず, 皮質と白質のコントラストが比較的明瞭であった. また, 皮質に設定した脳表の血管を含むROIにおけるrrCBVはgradient echo EPIでは白質の約5倍となり, spin echo EPI法の約3倍に対して有意差を示した (Fig.2). これらの結果はgradient echo EPI法が脳表の太い血管をより反映するためと考えられ, これまでの実験報告に合致する^{[10]-[12]}.

Positron emission tomography (PET)

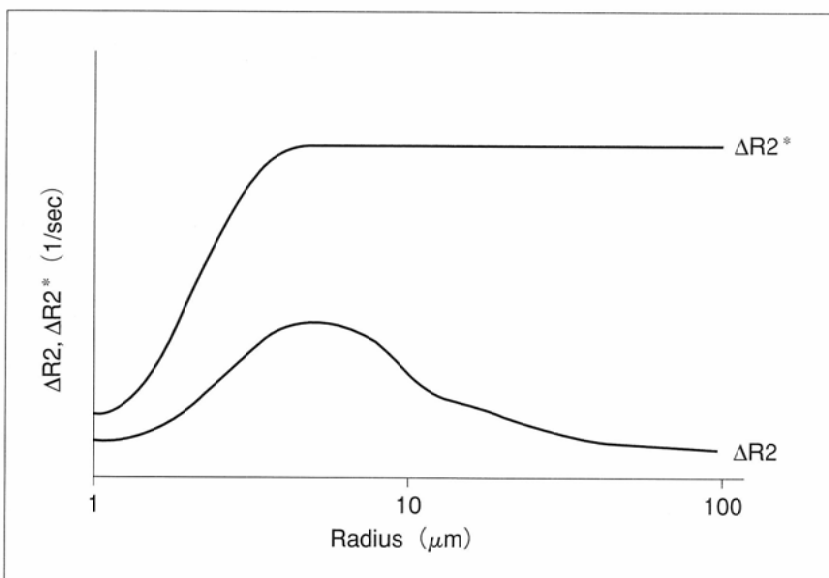


Fig.3 Schematic drawing of the vessel size dependence of $\Delta R2$ and $\Delta R2^*$. $\Delta R2$ peaks for microvessels around Radius = $5\mu\text{m}$. $\Delta R2^*$ exceeds $\Delta R2$ at all radii, reaches a plateau for macrovessels (10).

を用いた報告では皮質のrCBVは白質の約2倍とされているが³⁾, spin echo EPI法を含めて, 今回のわれわれの結果はそれよりも大きい値を示した. これは脳表の太い血管が, EPIにおけるDSC MRIのコントラストに多大な影響を及ぼし, そのために皮質のrrCBVが過大評価されたと考えられる. またこの結果は, spin echo EPI法においても, 脳表の太い血管による影響を受けていることを示唆する. これは, conventional spin echo法に比して, susceptibility効果が鋭敏なEPI法を用いているために, spin echo typeであっても太い血管の影響が無視できなかつたのではないかと考えられた. しかし, spin echo EPI法を用いると, 他の撮像法に比し太い血管による影響を受けにくく, PETの白質に対する皮質のrCBV ratioに最も近い値を示すこともこの結果から明らかである.

Gradient echo EPIとasymmetric spin echo EPI法間では被殻および皮質においてrrCBV rateは有意差を示さなかつた. 今回のTE offsetは28msecと長めで, gradient echo EPIに近いコントラストの特徴を示したためと考えられる¹⁰⁾. TE offsetをさらに変化させた状態については今後の検討が必要である.

超高速MRIであるEPIを用いたdynamic susceptibility con-

trast MRIには, 画像のひずみやsusceptibility artifactを受けやすいという問題点もある. さらに, 撮像枚数が多くなるため, データの転送や保存, 画像処理に多大な労力と設備が必要となる. しかし, EPIは優れた時間分解能で全脳を含む多断面撮像を可能にし, DSC MRIの有用性を非常に高める撮像法である. 一般に, EPIはS/N比の点で有利な1.5T以上の高磁場MR装置で用いられてきたが, 今回のわれわれの結果からは1.0Tを用いても良好なrrCBV mapが得られ, 今後臨床上, 十分使用可能であると考えられる.

結 語

DSC MRI において, spin echo EPI法では微小循環という, より機能的な血流動態を反映すると考えられた. 一方, gradient echo EPI法では, 信号変化が大きく, 脳血管全体の血流動態を反映すると考えられた. asymmetric spin echo EPI法ではspin echo EPI法とgradient echo EPI法の中間的なコントラストの特徴を示した. 今後, 臨床上EPIを用いたDSC MRI を行う場合, それぞれの特徴をふまえたうえで, 撮像法の選択をする必要があると思われる.

文 献

- 1) Maeda M, Itoh S, Ide H, et al: Acute stroke in cats: comparison of dynamic susceptibility-contrast MR imaging with T2-and diffusion-weighted MR imaging. *Radiology* 189: 227-232, 1993
- 2) Rosen BR, Belliveau JW, Chien D: Perfusion imaging by nuclear magnetic resonance. *Magn Reson Q* 5: 263-281, 1989
- 3) Belliveau JW, Rosen BR, Kantor HL, et al: Functional cerebral imaging by susceptibility-contrast NMR. *Magn Reson Med* 14: 538-546, 1990
- 4) Edelman RR, Mattle HP, Atkinson DJ, et al: Cerebral blood flow: assessment with dynamic contrast-enhanced T2*-weighted MR imaging at 1.5T. *Radiology* 176: 211-220, 1990
- 5) Rosen BR, Belliveau JW, Buchbinder BR, et al: Contrast agents and cerebral hemodynamics. *Magn Reson Med* 19: 285-292, 1991
- 6) Villringer A, Rosen BR, Belliveau JW, et al: Dynamic imaging with lanthanide chelates in normal brain: contrast due to magnetic susceptibility effects. *Magn Reson Med* 6: 164-174, 1988
- 7) Guckel F, Brix G, Rempp K, et al: Assessment of cerebral blood volume with dynamic susceptibility contrast enhanced gradient-echo imaging. *J Compu Assist Tomogr* 18: 344-351, 1994
- 8) Sorensen AG, Buonanno FS, Gonzalez RG, et al: Hyperacute stroke: evaluation with combined multisection diffusion-weighted and hemodynamically weighted echo-planar MR imaging. *Radiology* 199: 391-401, 1996
- 9) Edelman RR, Wielopolski P, Schmitt F: Echo-planar MR imaging. *Radiology* 192: 600-612, 1994
- 10) Boxerman JL, Hamberg LM, Rosen BR, et al: MR contrast due to intravascular magnetic susceptibility perturbations. *Magn Reson Med* 34: 555-566, 1995
- 11) Kennan RP, Zhong J, Gore JC: Intravascular susceptibility contrast mechanisms in tissues. *Magn Reson Med* 31: 9-21, 1994
- 12) Weisskoff RM, Zuo CS, Boxerman JL, et al: Microscopic susceptibility variation and transverse relaxation: theory and experiment. *Magn Reson Med* 31: 601-610, 1994
- 13) 林田孝平: PETによる脳循環代謝測定. 小西恒彦編: 最新脳SPECT/PETの臨床. 98-117, 1995, メジカルビュー社, 東京