

MR mammography における 3D-VIBE の至適撮像条件 —ファントム実験と臨床評価—

西川 数幸¹, 戸崎 光宏², 瀧本 輝生¹, 長野 伸也¹,
岸 孝幸¹, 柴田 公望¹, 福田 国彦², 井村 千明³

¹東京慈恵会医科大学放射線部 ²同放射線医学講座

³シーメンス旭メディテック(株)メディカルソリューションマーケティング

はじめに

乳腺 MRI の目的は、腫瘍の質的診断と乳癌の広がり診断に大別される。近年では乳房温存療法が普及しており、正確な広がり診断を行うことが画像診断の重要な役割となってきた。

乳癌の広がり診断には MRI の有用性が数多く報告されているが^{1)~7)}、微小な乳管内進展の検出には高い空間分解能が要求される。従来のパルス系列では空間分解能を優先すると時間分解能が劣り、時間分解能を優先したダイナミック撮像では空間分解能が十分ではなかった。3D-VIBE (three-dimensional volumetric interpolated breath-hold examination) は、3D spoiled gradient-echo 法を改良し、zero filling interpolation により高速撮像を可能にした撮像法である。一回の息止めで、2 mm スライス厚の 3D ダイナミック撮像が上腹部領域で可能であることが報告された^{8),9)}。また、我々は 3D-VIBE を乳腺領域に用いて乳癌の広がり診断の有用性を報告した¹⁰⁾。3D-VIBE は腹部撮像用の最適化を受けており、肝臓と脾臓のコントラスト雑音比に基づきフリップ角 12°が採用されている^{8),9)}。しかし、乳腺領域では腫瘍と正常乳腺とのコントラストが良い撮像が望まれる。

すなわち、正常乳腺の信号強度が抑えられる撮像条件を検討することが必要と考えた。

今回我々は、ファントム実験と臨床例の評価を行い、3D-VIBE を用いた MR mammography における至適撮像条件を検討したので報告する。

対象および方法

1. ファントム実験

濃度の異なる gadolinium-DTPA (Gd) 溶液を封入した乳腺ファントム (Fig. 1) を作成して実験に用いた。ポリプロピレン製容器に植物油を入れ凝固剤で固化し、その中に 1.3×1.3×3 cm の 8 個のカプセルを試料として固定した。カプセル内には、体液成分に近いとされるアイソトニック飲料を溶媒とした Gd 溶液を封入し、それぞれ 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 3 mM とした。ポリプロピレン製容器内の固化された植物油を体脂肪、その中に封入された Gd 溶液を造影後の正常乳腺実質および腫瘍性病変と想定した。Gd 溶液は、上腹部のダイナミック MRI における大動脈と肝実質の推定濃度¹¹⁾を参考にし、最大濃度を 3 mM とし、8 種類の希釈溶液を用いた。

キーワード MRI, three-dimensional, pulse sequence, breast, phantom study

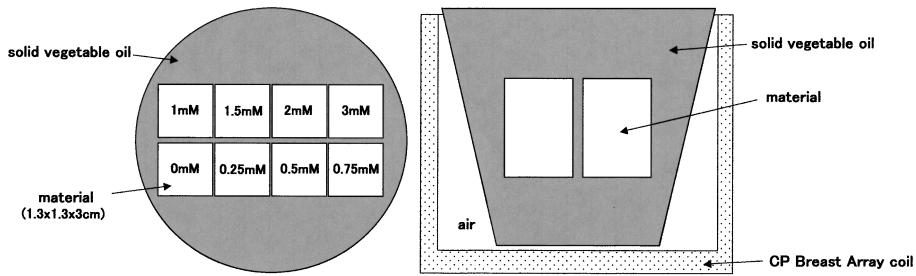


Fig. 1. Phantom experiment set up

使用装置は MAGNETOM Symphony (Siemens 社製, Erlangen, Germany, 1.5T 装置) を用いた. 撮像条件は, $TR/TE = 4.5/2.0$ ms, バンド幅 490 Hz/pixel, FOV 272×187 mm, マトリックス 256×158 (ピクセル面積 1.2×1.1 mm²), スラブ厚 60 mm, スライス厚 1.2 mm として, 脂肪抑制法を併用した. 撮像時間は 30 秒に設定した.

フリップ角を 10° から 30° まで変化させ, 信号/雑音比 (signal-to-noise ratio : SNR) およびコントラスト雑音比 (contrast-to-noise ratio : CNR) を測定することで MR mammography に適したフリップ角を検討した. 関心領域 (region of interest : ROI) を約 0.5 cm² に固定し, 試料外の ROI は位相エンコード方向に設定した. SNR および CNR は, 固化した植物油の信号強度平均値 (SI_f), Gd 溶液の信号強度平均値 (SI_i), およびファントム外の信号の標準偏差 (SD_{noise}) から, $SNR = SI_i / SD_{noise}$, $CNR = (SI_i - SI_f) / SD_{noise}$ と定義した.

2. 臨床評価

当院において, 2002 年 4 月から 2002 年 6 月の間に術前に dynamic 3D-VIBE が施行された乳癌患者 10 例を対象とした. 組織型は乳頭腺管癌 3 例, 充実腺管癌 3 例, 硬癌 4 例である. 全例女性, 年齢 33~59 歳 (平均 43.6 歳), 腫瘍径は 12~40 mm (平均 22.9 mm) で

ある.

撮像方法は, 患側全乳房を撮像範囲として echo-planar imaging (EPI) を用いた T_2^* 強調 first-pass perfusion MRI (以下 perfusion MRI) と脂肪抑制併用 dynamic 3D-VIBE を施行した. 撮像タイミングは, Gd-DTPA 0.1 mmol/kg (total 12~15 ml) を 3 ml/s で自動注入し, 注入直前から perfusion MRI を施行し, 続いて注入 70 秒後から連続して 3 回の dynamic 3D-VIBE 撮像を行った. 最後に 5 分後から撮像を開始した.

評価の対象は, 造影剤注入 70 秒後からの連続 3 回の撮像であり, フリップ角をそれぞれ 12° , 20° , 25° と設定した (Fig. 2). 撮像条件はファントム実験と同一にした. スライス厚は 1.2 mm とし, 撮像方向は冠状断を使用した. フリップ角 12° , 20° , 25° で CNR を測定した. 本来は腫瘍と正常乳腺とのコントラストが良い撮像が望まれる. すなわち, 正常乳腺と腫瘍との CNR が高く, 脂肪と正常乳腺との CNR が低い撮像条件が最適と考えられる. しかし, 腫瘍は様々な造影パターンを呈し, 時間により信号強度は変化する. そこで, 造影効果を示さない乳腺脂肪と時間的にゆっくりと造影される正常乳腺実質との CNR を測定し, CNR が低い撮像条件が乳腺 MRI に適すると評価した. 乳腺内脂肪の信号強度平均値 (SI_f), 正常乳腺実

2003 年 2 月 12 日受理 2003 年 4 月 11 日改訂

別刷請求先 〒105-8461 東京都港区西新橋 3-25-8 東京慈恵会医科大学放射線部 西川数幸

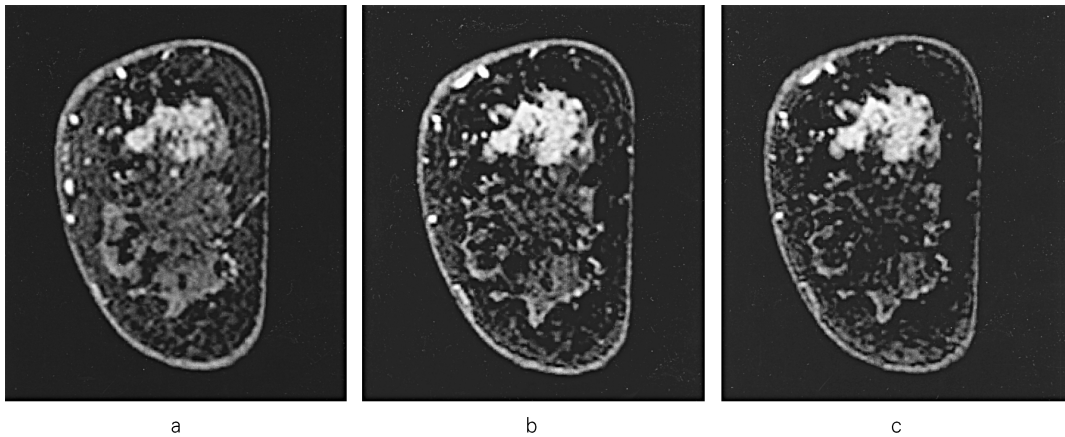


Fig. 2. A 58-year-old woman with breast cancer
Coronal, dynamic 3D-VIBE with various flip angles : (a) 12° (b) 20° (c) 25°. Signal intensity of breast parenchyma is lowest with 25° flip angle.

質の信号強度平均値 (SI_m), および乳腺外の信号の標準偏差 (SD_{noise}) から, $CNR = (SI_m - SI_f) / SD_{noise}$ と定義した.

結 果

1. ファントム実験

フリップ角を変化させて撮像した画像のSNRの特性曲線を示す (Fig. 3). 0~1 mMのGd溶液では, フリップ角の上昇に伴いSNRが低下し, 1.5 mMではほとんど変化がない. また, 2および3 mMではフリップ角の上昇に伴いSNRが上昇する傾向がみられ, フリップ角25°から30°で平衡となる.

一方, CNRの特性曲線を Fig. 4 に示す. 0~1 mMのGd溶液では低いフリップ角の方がCNRは高く, 1.5 mM以上で逆転する傾向がある. ただし, フリップ角25°の方が30°よりもCNRは高い.

以上の結果により, 増強効果の弱い乳腺実質のCNRが低く, また強い増強効果を示す腫瘍のCNRが高いフリップ角は25°と30°であった. さらに, 2および3 mMでフリップ角

25°から30°ではSNRが平衡となることから, フリップ角25°が乳腺領域に適したフリップ角と推測した.

2. 臨床評価

乳腺内脂肪と正常乳腺実質とのCNRは, 全例でフリップ角25°が最も低かった (Table, Fig. 5). 正常乳腺実質は時間的にゆっくりと造影されるため, フリップ角12°や20°に比べて25°が最も造影されていると考えられる. しかし, フリップ角25°のCNRが最も低いことは, フリップ角を上昇させることによって乳腺実質の信号強度が抑制されると考えられる.

主腫瘍辺縁から10 mm以上の乳管内進展巣をもつ乳癌は4例 (40%) 存在し, MRIで正確な広がり診断が可能であった. また, 乳腺内の非特異的な濃染域は2例に認められ, その信号強度は視覚的にフリップ角25°が最も低かった. しかし, 点状濃染が腫瘍と無関係に散在性に分布していたため, いずれのフリップ角でも腫瘍の広がりや過大評価することはなかった. 最終的に乳管内進展巣の描出能は, いずれのフリップ角でもsensitivity 100%, specificity 100%であった.

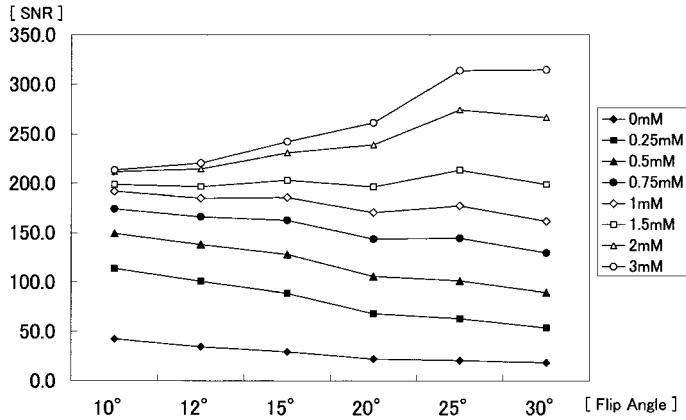


Fig. 3. Signal-to-noise ratio (SNR) with various flip angles as a function of gadolinium (Gd) concentration

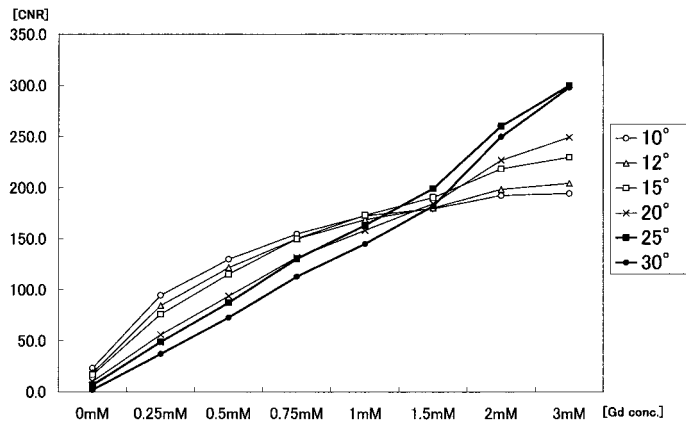


Fig. 4. Contrast-to-noise ratio (CNR) with various flip angles as a function of gadolinium (Gd) concentration

考 察

乳腺 MRI の役割は主に乳癌の広がり診断にある。以前は乳腺腫瘍の質的診断を目的としたダイナミック MRI が主流であったが^{1)~3)}、現在では微細な乳管内進展の描出を目的とした高分解能 MRI が一般的となっている^{4)~7)}。しかし、MRI で偶然発見される病変に対応して質的診断の可能な撮像法、すなわちダイナミック

撮像も必要と考えられる³⁾。乳腺領域における理想的撮像法の確立には、時間分解能と空間分解能の両者の更なる向上が必要であることが指摘されており¹²⁾、我々は 3D-VIBE を乳腺領域に応用し、その臨床的有用性を報告した¹⁰⁾。

3D-VIBE は、3D spoiled gradient-echo 法を基本として、interpolation により高速撮像を可能にした撮像法である。k-space の充填の際に、Z 方向の zero filling により短時間で数多い

Table. Breast Parenchyma-to-fat CNR with Various Flip Angles

Case	Age	flip angle		
		12°	20°	25°
1	39	10.1	6.9	5
2	59	17.2	13.2	11.4
3	41	17.1	11.1	10.1
4	41	10.9	3.2	1.1
5	35	10.7	8.1	5.9
6	33	20.4	11.7	9.3
7	58	20.4	14.9	12.3
8	42	11.5	3.9	1
9	44	32.9	30.8	28.4
10	44	14.2	9.7	3.8

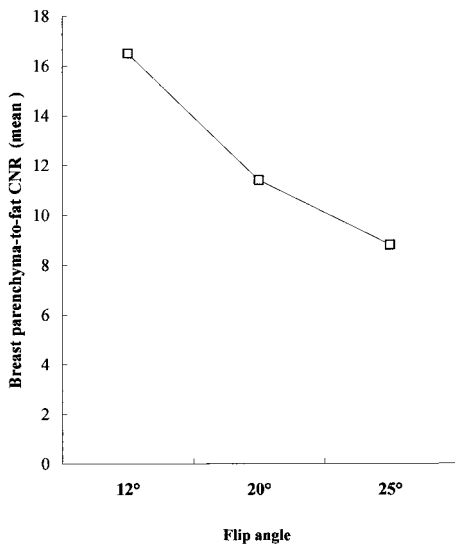


Fig. 5. Breast parenchyma-to-fat CNR with various flip angles

partition の画像を得ることができる。腹部領域において一回の息止めで2 mm スライス厚の3D ダイナミック撮像が可能であることが報告された^{8),9)}。乳腺領域では息止めを必要としないため、約1.0 mm のスライス厚で3D ダイナミック撮像を行い、撮像時間を延長することで

SNR を向上させることが可能である¹⁰⁾。

乳癌の広がり診断におけるMRIの欠点は、疑陽性となる濃染域の存在である。非特異的な濃染が月経開始の前後1週間で多くなると報告されているため¹³⁾、当院では月経開始5日目から15日目に検査を施行するように努めている。疑陽性となる濃染域には、月経周期に関係のない正常乳腺の染まり、月経周期と関係のある正常乳腺の染まり、さらに造影効果を示す病理組織学的な良性増殖性病変など多くの原因がある。しかし、その中には撮像タイミング、撮像時間、撮像条件により染まりを軽減することが可能なものが存在すると考えられる。3D-VIBEの前にperfusion MRIの撮像を行い、引き続き造影剤注入70秒後から早期相を撮像しているが¹⁴⁾、コントラスト決定時間を造影剤注入後1分30秒に設定しているため、撮像時間が約35秒となっている。

今回のファントム実験の結果では、フリップ角25°が乳腺領域に適したフリップ角と推測した。臨床例では、乳腺内脂肪と正常乳腺実質とのCNRを測定し、CNRが低い撮像条件が乳腺MRIに適すると評価した。上腹部で適正化された3D-VIBEの撮像条件⁸⁾を基礎として、フリップ角12°、20°、25°でCNRを測定した。正常乳腺実質は時間的にゆっくりと信号増強を示すため、CNRは上昇を示すはずである。しかし、時間的にCNRが低下を示したことは、フリップ角の上昇に伴って正常乳腺実質の増強効果が抑えられていることを示している。また、それは視覚的にも明らかである (Fig. 2)。

以上から、ファントム実験および臨床例の評価において、フリップ角25°が乳腺領域に適すると考えた。今回の乳管内進展巣の描出能は、いずれのフリップ角でもsensitivity 100%、specificity 100%であったが、増強効果の弱い乳管内進展巣の信号が抑制される可能性も否定できない。また、今回はフリップ角のみを変化させており臨床例も限られている。今後症例数を増やして至適撮像条件を検討する必要がある。

結 論

ファントム実験および臨床例の評価を行い、3D-VIBE を用いた MR mammography における至適撮像条件を検討した。

1. ファントム実験において、フリップ角 25° が乳腺領域に適したフリップ角と考えられた。
2. 臨床例では、フリップ角 25° で正常乳腺実質の信号強度が抑えられた。
3. 今後症例数を増やして、臨床的な広がり診断に有用な至適撮像条件を検討する必要がある。

文 献

- 1) Boetes C, Barentsz JO, Mus RD, van der Sluis RF, van Erning LJ, Hendriks JH, Holland R, Ruys SH: MR characterization of suspicious breast lesions with a gadolinium-enhanced turbo FLASH subtraction technique. *Radiology* 1994; 193: 777-781
- 2) 川島博子: 脂肪抑制法併用 dynamic MR imaging による乳癌診断—病理組織像との対比—. *日医放会誌* 1996; 56: 459-469
- 3) Kinkel K, Helbich TH, Esserman LJ, Barclay J, Schwerin EH, Sickles EA, Hylton NM: Dynamic high-spatial-resolution MR imaging of suspicious breast lesions: diagnostic criteria and interobserver variability. *AJR* 2000; 175: 35-43
- 4) 平松秀子, 池田 正, 榎本耕治, 向井万起男, 菊池 潔, 古川潤二, 押尾晃一, 北島政樹, 平松京一: 乳癌の術前診断における高分解能 MR imaging の有用性—特に乳管内進展の描出について—. *日医放会誌* 1997; 57: 182-188
- 5) 伊達秀二: 高分解能 MR mammography による乳癌の乳管内進展の診断—画像と病理組織像との対比—. *日医放会誌* 1998; 58: 212-220
- 6) Pierce WB, Harms SE, Flamig DP, Griffey RH, Evans WP, Hagans JE: Three-dimensional gadolinium-enhanced MR imaging of the breast: pulse sequence with fat suppression and magnetization transfer contrast. *Radiology* 1991; 181: 757-763
- 7) 白石昭彦, 鈴木 賢, 野津 聡, 鈴木文直, 黒住昌史, 片山 仁: 3D-ダイナミック MRI による乳癌の造影パターンと拡がり診断—特に乳管内進展の程度との相関について—. *日医放会誌* 1999; 59: 122-130
- 8) Rofsky NM, Lee VS, Laub G, Pollack MA, Krinsky GA, Thomasson D, Ambrosino MM, Weinreb JC: Abdominal MR imaging with a volumetric interpolated breath-hold examination. *Radiology* 1999; 212: 876-884
- 9) Lee VS, Lavelle MT, Rofsky NM, Laub G, Thomasson DM, Krinsky GA, Weinreb JC: Hepatic MR imaging with a dynamic contrast-enhanced isotropic volumetric interpolated breath-hold examination: feasibility, reproducibility, and technical quality. *Radiology* 2000; 215: 365-372
- 10) 戸崎光宏, 福田 安, 福田国彦, 河上牧夫: 3D-VIBE を用いたダイナミック MRI による乳癌の広がり診断. *日磁医誌* 2002; 22: 140-146
- 11) 吉満研吾, 本田 浩: 上腹部のダイナミック MRI: 撮像タイミングの最適化とパルスシーケンズの選択. *日医放会誌* 2001; 61: 408-413
- 12) Orel SG, Schnall MD: MR imaging of the breast for the detection, diagnosis, and staging of breast cancer. *Radiology* 2001; 220: 13-30
- 13) Kuhl CK, Bieling HB, Gieseke J, Kreft BP, Sommer T, Lutterbey G, Schild HH: Healthy premenopausal breast parenchyma in dynamic contrast-enhanced MR imaging of the breast: normal contrast medium enhancement and cyclical-phase dependency. *Radiology* 1997; 203: 137-144
- 14) 戸崎光宏, 福田 安, 福田国彦: 乳腺腫瘍における multi-section magnetic susceptibility perfusion echo-planar imaging. *日医放会誌* 2003; 63: 214-220

Optimization of 3D-VIBE for MR Mammography : Phantom Study and Clinical Application

Kazuyuki NISHIKAWA¹, Mitsuhiro TOZAKI², Teruo TAKIMOTO¹,
Shinya NAGANO¹, Takayuki KISHI¹, Kimmochi SHIBATA¹,
Kunihiko FUKUDA², Chiaki IMURA³

¹*Radiological Division, ²Department of Radiology, The Jikei University School of Medicine
3-25-8 Nishi-shimbashi, Minato-ku, Tokyo 105-8461*
³*Siemens-Asahi Medical Technologies Ltd.*

Our study objective was to select moderate parameters for dynamic high-spatial-resolution MR mammography with 3D-VIBE sequence. In phantom experiments, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) were measured with various flip angles as a function of gadolinium (Gd) concentration. CNR showed a constant increase as the concentration of Gd increased. CNR increased rapidly with flip angles of 25° and 30°. A comparison of flip angles of 25° and 30° for SNR showed that 25° was superior.

In clinical studies, the flip angle was selected to optimize breast parenchyma-to-fat CNR. CNR with various flip angles was lowest with a 25° flip angle. We found that tumor-to-breast parenchyma contrast was highest with 25° flip angle due to the suppression of signal of the breast parenchyma. In conclusion, a moderate parameter for dynamic high-spatial-resolution MR mammography with 3D-VIBE sequence is a 25° flip angle.