

Parallel imaging を用いた仰臥位 MR mammography の検討

西川 数幸¹, 戸崎 光宏², 福田 国彦²

¹東京慈恵会医科大学放射線部 ²同放射線医学講座

はじめに

近年では乳房温存療法が普及しており、乳癌の広がりや正確に評価することが画像診断の重要な役割となってきた。乳腺 MRI の目的は、腫瘍の良悪性の鑑別（質的診断）と乳癌の広がり診断に大別される。欧米では質的診断を中心とした報告が多いが^{1)~3)}、本邦では乳腺 MRI の役割は主に広がり診断にある^{4)~7)}。乳癌の広がり診断には、微小な乳管内進展の検出など高い空間分解能が要求される。我々は高い空間分解能と時間分解能を有する 3D-VIBE (volumetric interpolated breath-hold examination) を用いて乳癌の広がり診断の有用性を報告した⁷⁾。また、ファントム実験と臨床例の評価を行い乳腺 MRI における 3D-VIBE の至適撮像条件を検討した⁸⁾。しかし、広がり診断における乳腺 MRI の最大の欠点の一つが腹臥位撮像による乳房の変形である。

一方、近年開発された parallel imaging と 3D-VIBE を組み合わせることで息止め時間内の撮像が可能になる。今回我々は、parallel imaging を用いて腹臥位撮像と仰臥位撮像での乳頭腫瘍間距離のずれを計測した。さらに、手術時のナビゲーション画像として parallel imaging を用いた息止め仰臥位撮像（以下、仰臥位 MRM）の可能性を検討した。

対象および方法

1. 乳頭腫瘍間距離の計測

2002 年 11 月から 2002 年 12 月の間に仰臥位 MRM が施行された 10 例を対象とした。性別は全例女性、年齢 42~65 歳（平均 52 歳）、腫瘍径は 10~45 mm（平均 27 mm）である。

使用装置は MAGNETOM Symphony (Siemens 社製, Erlangen, Germany, 1.5T 装置 (傾斜磁場 30 mT/m)) を用いた。Parallel imaging として GRAPPA (generalized autocalibrating partially parallel acquisition) 法を使用し、reduction factor = 2 とした。撮像方法は、患側全乳房を撮像範囲として脂肪抑制 T₂ 強調像 (横断像), echo-planar imaging を用いた T₂* 強調 first-pass perfusion MRI (以下、perfusion MRI) (横断像), そして parallel imaging を併用した 3D-VIBE を腹臥位と仰臥位で施行した。Gd-DTPA 0.1 mmol/kg を 3 ml/s で自動注入装置を用いて注入し、直後から perfusion MRI を、造影剤注入後 60 秒後に腹臥位 MRM (冠状断像) を、そして約 6 分後から仰臥位 MRM (冠状断像) を撮像した。

腹臥位 MRM の撮像条件は、TR/TE = 3.7/1.7 ms, フリップ角 25°, バンド幅 490 Hz/pixel, FOV 270 × 270 mm, マトリックス 256 × 218, スラブ厚 80 mm, スライス厚 1~1.5 mm (平均 1.2 mm) として、約 40 秒間で撮像

キーワード MRI, parallel imaging, GRAPPA, dynamic study, breast cancer

を行った。コイルは CP breast array coil を使用した。

仰臥位 MRM の撮像条件は、TR/TE = 3.7/1.7 ms, フリップ角 25°, バンド幅 490 Hz/pixel, FOV 275×275 mm, マトリックス 256×204, スラブ厚 57 mm, スライス厚 1.3 mm として、約 20 秒間で息止め下の撮像を行った。コイルは 6 channel body array coil を使用した。乳房が圧迫されないようにスポンジやタオルを挟み、患側全乳房と腋窩も撮像できるようにコイルを斜めに装着した (Fig. 1)。

評価方法は、腹臥位 MRM と仰臥位 MRM における乳頭腫瘍間距離を X 軸, Y 軸, Z 軸の 3 方向で計測し、それぞれのずれを求めた。乳頭腫瘍間距離は乳頭中心と腫瘍中心との距離と定義し、X 軸と Y 軸方向の計測は冠状断像に乳頭を中心とする直交線を加えて計測した (Fig. 2)。Z 軸方向の計測は横断若しくは矢状断の MPR (multiplanar reformation) 像を作成して計測した。

2. 乳癌の広がり診断

2002 年 12 月から 2003 年 3 月の間に仰臥位 MRM が施行された 20 例を対象とした。組織



Fig. 1. A 37-year-old woman with breast cancer
Supine MR imaging is performed in the surgical position with 6 channel body array coil.

型は乳頭腺管癌 4 例, 充実腺管癌 2 例, 硬癌 14 例である。全例女性, 年齢 35~78 歳 (平均 57 歳), 腫瘍径は 8~55 mm (平均 24 mm) である。

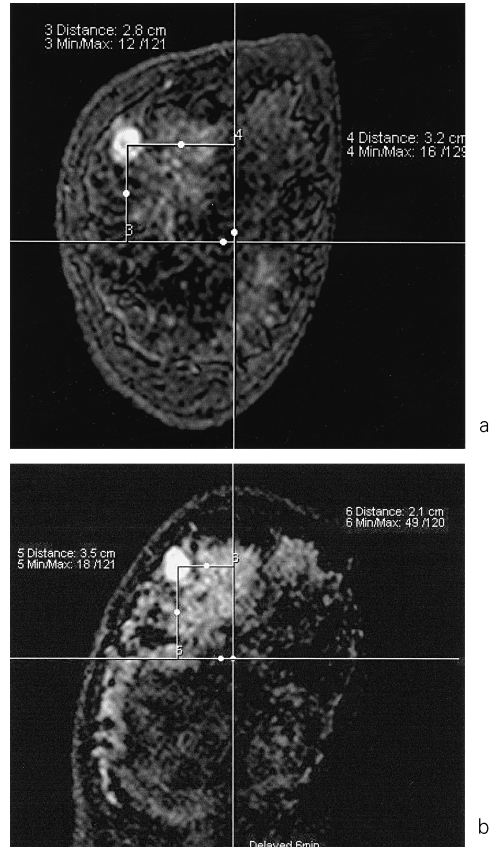


Fig. 2. A 45-year-old woman with breast cancer

(a) Oblique coronal MR image in the prone position shows an enhancing mass in the upper inner quadrant of the left breast. Craniocaudal and transverse lines are drawn crossing over the nipple.

(b) Oblique coronal MR image in the surgical position reveals the deviation of the mass. The maximum difference of nipple-tumor distance between prone and supine MRM is more than 10 mm.

撮像方法は、脂肪抑制 T₂強調像（横断像）、perfusion MRI（横断像）および仰臥位 MRM（冠状断像）を施行した。Gd-DTPA 0.1 mmol/kg を 3 ml/s で自動注入し、直後から perfusion MRI を、造影剤注入後 60 秒後、90 秒後そして 5 分後から仰臥位 MRM を息止め下に撮像した。撮像範囲は患側全乳房としたが、両側の染まりを比較する目的で 90 秒後の撮像のみ両側乳房を撮像した。

評価方法は、造影剤注入 60 秒後の仰臥位 MRM を用い、乳頭を中心とする直交線を加えて乳癌の広がりを経験した。さらに手術時のナ

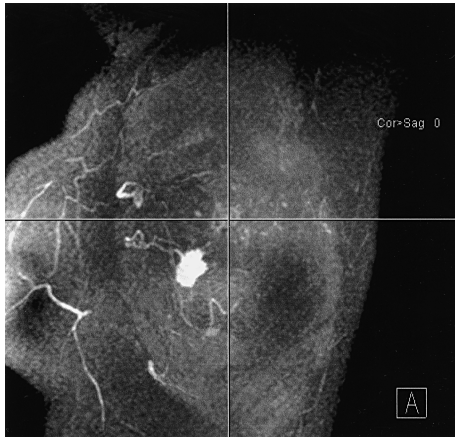


Fig. 3. A 58-year-old woman with breast cancer

MIP of supine MR image obtained 60 s after intravenous injection of contrast material shows a markedly enhancing mass in the lower inner quadrant of the left breast. Craniocaudal and transverse lines are drawn crossing over the nipple.

ビゲーション画像として MIP（maximum intensity projection）像を作成した（Fig. 3）。病理組織学的な乳癌の広がり、マッピングされた病理標本のカラーコピーを参考にした。病理組織と MRI とにおける水平方向の広がり相異を計測し、1) 20 mm 以内、2) 20 mm 以上に分類して検討した。

結 果

1. 乳頭腫瘍間距離の計測

腹臥位 MRM と仰臥位 MRM における乳頭腫瘍間距離のずれを Table 1 に示す。X 軸、Y 軸、Z 軸のずれの平均値は、それぞれ 7 mm、8 mm、15 mm であった。X 軸若しくは Y 軸で 10 mm 以上のずれを示す症例は 7 例（70%）であった。

2. 乳癌の広がり診断

乳房切除術は 7 例、乳房温存術は 13 例で施行された。乳房温存症例で断端陽性例は 1 例であった（8%）。同一乳房内の多発性病変はみられなかった。画像と病理組織との広がり相異を Table 2 に示す。乳癌の広がり診断能は、20 mm 以内の一致率で 90%（18/20）であった。20 mm 以上の過小評価症例は 2 例みられ、1 例は乳管内進展が広範に認められ断端陽性となった。他の 1 例はリンパ管内進展が著明な症例であり、乳頭近傍の乳癌のため乳房切除術が施行された。20 mm 以上の過大評価症例はみられなかった。

Table 1. Deviation of Nipple-tumor Distance between Prone and Supine MRM

case		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	average
deviation	X (mm)	10	11	10	5	4	5	11	4	3	7	7
	Y (mm)	10	7	6	11	5	17	5	11	4	3	8
	Z (mm)	8	4	3	19	20	34	20	5	23	10	15

Table 2. Accuracy of Demonstrating Tumor Extent

n	correct	underestimation	overestimation
	≤ 20 mm	> 20 mm	> 20 mm
20	18 (90%)	2 (10%)	0

考 察

本邦での乳腺 MRI の役割は主に乳癌の広がり診断にある。しかし、MRI で偶然発見される濃染腫瘍も存在するため、質的診断の可能な撮像法も取り入れる必要がある。乳腺腫瘍の質的診断における最も有用な指標は、腫瘍の形態とダイナミック MRI の造影パターンであることを Kinkel らは報告している³⁾。すなわち、空間分解能に優れる 3D 法を用いて腫瘍の形態と広がりを多断面で評価し、さらにダイナミック撮像で腫瘍の造影パターンを評価することが乳腺 MRI の理想的撮像法であると考えられる。3D-VIBE は 1.2 mm 前後のスライス厚で 3D ダイナミック撮像が可能であり、乳腺領域において有用な撮像法と考えられる⁷⁾。しかし、広がり診断における MRI の欠点の一つは腹臥位撮像による乳房の変形である。乳房温存術には水平方向の広がりの情報が重要となるが、本検討では腹臥位撮像の 7 例 (70%) が水平方向で 10 mm 以上の乳頭腫瘍間距離のずれを呈していた。術前に正確な広がりを評価するには、仰臥位撮像が望まれると考えられた。

一方、近年では時間分解能、空間分解能に優れる多列検出器型 CT (以下、MDCT) が急速に普及している。質の高い再構成画像が容易に作成可能であり、乳癌の広がり診断にも有用と期待されている^{9),10)}。CT は MRI に比べて濃度分解能が劣るものの、両側乳房が撮像可能であり手術と同様の体位で検査可能であることが最大の利点である。しかし、Kinkel ら³⁾と同様の診断樹を用いると、MDCT の質的診断能は MRI のそれよりも劣ると報告されている¹¹⁾。すなわち、仰臥位での息止め乳腺 MRI が可能

になれば、広がり診断および質的診断において MDCT を上回る可能性がある。

Parallel imaging は RF 受信コイルを利用した新しい高速撮像法である。Phased-array coil あるいは synergy coil として知られる複数の独立した回路をもった RF 受信コイルを利用して、個々のコイルエレメントから得られる信号の感度情報を画像再構成に利用し撮像時間を短縮するものである。Parallel imaging には「Image Domain」と「k-space Domain」の二種類の再構成法があり、SENSE (sensitivity encoding) 法¹²⁾は Image Domain から、GRAPPA 法¹³⁾は k-space Domain から再構成される手法である。本検討で使用している GRAPPA 法は、Sodickson ら¹⁴⁾が発表した SMASH (simultaneous acquisition of spatial harmonics) 法を改良し、オートキャリブレーションシステムを取り入れ画像の SNR (signal-to-noise ratio) の最適化を行った手法である。

Parallel imaging を併用することで撮像時間の短縮が可能になるが、reduction factor の増大に伴い SNR は低下する。しかし、当院では 3D-VIBE を用いた MRM の撮像時間を 35 秒から 40 秒に設定しているため^{7),8)}、reduction factor = 2 で息止め時間内の撮像が可能であった。また、乳房温存術の断端陽性率は 8% (1/13) であり手術時のナビゲーション画像としての有用性も示唆された。広がり診断能は 20 mm 以内の一致率で 90%であった。しかし、広がり診断の精度を評価するには症例数が少なく、今後その有用性を検討する必要がある。また、body array coil と breast array coil の感度分布の相違なども慎重に評価しなければならない。さらに、MDCT と仰臥位 MRM の広がり診断能の比較検討を行うことも必要と考える。

結 論

Parallel imaging を用いた息止め仰臥位撮像

の臨床的有用性を検討した。

1. 腹臥位 MRM と仰臥位 MRM における乳頭腫瘍間距離のずれの平均値は、X 軸、Y 軸、Z 軸でそれぞれ 7 mm, 8 mm, 15 mm であった。X 軸若しくは Y 軸で 10 mm 以上のずれを示す症例は 7 例 (70%) であった。
2. 仰臥位 MRM における乳癌の広がり診断能は、20 mm 以内の一致率で 90% (18/20) であった。

なお、本論文の要旨は第 31 回日本磁気共鳴医学会大会 (2003 年 9 月 25 日, 山梨) において発表した。

文 献

- 1) 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
- 2) 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
- 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) 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広がり診断—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
- 7) 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
- 8) 西川数幸, 戸崎光宏, 瀧本輝生, 長野伸也, 岸孝幸, 柴田公望, 福田国彦, 井村千明 : 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—. *日磁医誌* 2003 ; 23 : 92-98
- 9) 戸崎光宏, 山下晃徳, 河上牧夫, 吉田和彦, 山崎洋次, 福田国彦 : Dynamic Multidetector-row CT による乳癌の広がり診断—MPR 像と病理切片像との対比—. *日医放会誌* 2000 ; 60 : 560-567
- 10) Tozaki M, Kawakami M, Suzuki M, Uchida K, Yamashita A, Fukuda K : Diagnosis of Tis/T1 breast cancer extent by multislice helical CT : a novel classification of tumor distribution. *Radiat Med* 2003 ; 21 : 187-192
- 11) 戸崎光宏, 五十嵐隆朗, 児山 健, 安藤俊弘, 瀧本輝生, 西川数幸, 福田国彦 : 2 cm 以下の乳腺腫瘍における良悪性の鑑別—dynamic CT と dynamic MRI の比較—. *臨床放射線* 2003 ; 48 : 1206-1211
- 12) Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P : SENSE : sensitivity encoding for fast MRI. *Magn Reson Med* 1999 ; 42 : 952-962
- 13) Griswold MA, Jakob PM, Heidemann RM, Nittka M, Jellus V, Wang J, Kiefer B, Haase A : Generalized autocalibrating partially parallel acquisitions (GRAPPA). *Magn Reson Med* 2002 ; 47 : 1202-1210
- 14) Sodickson DK, Manning WJ : Simultaneous acquisition of spatial harmonics (SMASH) : fast imaging with radiofrequency coil arrays. *Magn Reson Med* 1997 ; 38 : 591-603

Supine MR Mammography with Parallel Imaging Techniques

Kazuyuki NISHIKAWA¹, Mitsuhiro TOZAKI², Kunihiko FUKUDA²

¹*Department of Radiological Division, The Jikei University School of Medicine
3-25-8 Nishishimbashi, Minato-ku, Tokyo 105-8461*

²*Department of Radiology, The Jikei University School of Medicine*

Our objective was to evaluate the clinical usefulness of MR mammography using VIBE (volume interpolated breath-hold examination) sequence in combination with parallel imaging technique in the surgical position (supine MRM) for navigation surgery. MRM was performed under both prone and supine positions in 10 patients using a 1.5T MR system with gradient field strength of 30 mT/m. In addition to conventional prone MRM with CP breast array coil, supine MRM was also performed with a 6-channel body array coil. Deviation of nipple-tumor distance between prone and supine MRM was measured. Dynamic supine MRM was also performed on another group with 20 histologically proven breast cancers. Tumor extent measured on the supine MRM was compared with those determined histologically, and the deviation was evaluated. The difference of nipple-tumor distance between prone and supine MRM was more than 10 mm in seven cases (70%). With dynamic supine MRM, the accuracy in the detection of tumor extension with a deviation of less than 2 cm was 90% (18/20). In conclusion, MR mammography using VIBE with parallel imaging technique in the surgical position provides both high-spatial and high-temporal resolution images and is thought to be a promising method for surgical navigation.