

乳房 MR 3D 造影撮像におけるスライス厚が 微細病変検出能に与える影響 —ファントム実験による基礎的検討—

畑 香里¹, 北村 茂三², 長谷川俊輔¹, 伊藤 充矢³,
笛吹 修治⁴, 廣川 裕¹

¹広島平和クリニック放射線科 ²つくば国際大学保健医療学部診療放射線学科
³広島市民病院乳腺外科 ⁴広島国際大学保健医療学部診療放射線学科

緒 言

乳房 MRI の役割は乳腺疾患の質的診断に加え、乳癌治療における乳房内の広がり診断にある。乳癌の広がり診断は術式を含めた乳癌治療方針の決定、特に乳房部分切除術における切除範囲決定に極めて有用である。病変の広がりを詳細に把握するうえで、乳管内進展は局所再発の危険因子として広く知られており、乳管内進展のような微細病変の検出能をいかに向上させるかが重要な要素となる^{1),2)}。乳房 MRI は撮像時間 2 分以内の時間分解能でダイナミック撮像を行うことが推奨される³⁾。一方、微細病変の検出には高い空間分解能が必要となるため、適切な撮像条件を設定することが極めて重要となる。

乳房 MRI のガイドラインにおけるダイナミック撮像のスライス厚については、欧米では 2.5~3 mm 以下^{4),5)}、日本乳癌検診学会においては 3D gradient echo 撮像で 1~2 mm³⁾ と各ガイドラインで推奨される値は異なる。また、各施設によっても値はさまざまである。そこで今回、乳房 MRI 3D 撮像におけるスライス厚

が微細信号検出能に与える影響について、自作ファントムを用いて基礎的検討を行った。

方 法

1. 自作ファントム概要

ポリプロピレン製の円柱容器に穴をあけ、ポリウレタンチューブを上下（以下、Vertical）、左右（以下、Transverse）、前後（以下、Anteroposterior）に直交する 3 本、容器底面から放射状（以下、Oblique）に 2 本、計 5 本設置した模擬乳腺ファントムを作成した (Fig. 1)。正常乳腺組織の緩和時間は、静磁場強度 1.5T に対し T_1 値 = 796 ± 21 ms, T_2 値 = 62.8 ± 4.1 ms とされる⁶⁾。今回、正常乳腺組織と病変のコントラストが最大となり、病変が最も良好にみられるとされる早期相を想定し、上記値に基づいて容器内には正常乳腺組織を模擬したガドベンテト酸ジメグルミン水溶液 (Gd-DTPA) 濃度 0.08% (0.4 mM) からなる希釈造影剤、チューブ内は乳管内進展のような微細病変を模擬した 0.1%, 0.2%, 0.5%, 1.0%, 2.0% (0.5~10 mM) の 5 種類の希釈造影剤を封入

キーワード breast magnetic resonance imaging, phantom, slice thickness, three dimensional, contrast-enhanced imaging

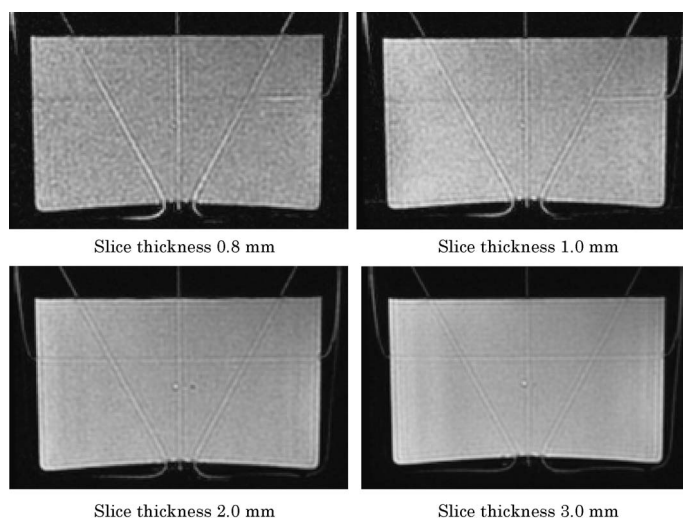


Fig. 1. Phantom image incorporating 0.8 mm inner diameter tubes with 1.0% concentration of contrast media.

した．チューブは内径 1.0 mm（外径 1.6 mm），0.8 mm（1.4 mm），0.6 mm（1.2 mm），0.5 mm（1.1 mm）を使用し，各チューブ径においてチューブ内の希釈造影剤を変化させた計 24 個のファントムを作成した．

2. 撮像方法

使用装置は，GE 社製 Signa EXCITE HD 1.5T，受信コイルは 4ch breast coil を使用した．作成したファントムを患側として，対側には同容器内に Gd-DTPA 濃度 0.08% からなる希釈造影剤のみを封入したものを配置して，3D volume imaging for breast assessment（以下，3D VIBRANT）を施行した．VIBRANT とは，フェイズドアレイタイプの受信コイルとスライス方向の平行イメーシングを併用した両側乳房の高速撮像法である．3D VIBRANT の撮像条件は撮像断面を横断面，マトリックス 320×320，撮像視野（FOV）32 cm，フリップ角 15°，バンド幅 62.5 kHz で固定し，スライス厚を 0.8 mm，1.0 mm，2.0

mm，3.0 mm と変化させて各ファントムの撮像を行った．なお，ボクセルサイズは 0.8 mm 厚で 0.8 mm³，1.0 mm 厚で 1.0 mm³，2.0 mm 厚で 2.0 mm³，3.0 mm 厚で 3.0 mm³ であった．このとき，撮像時間はいずれも 2 分以内とし，スライス枚数は 0.8 mm 厚で 140 枚，1.0 mm 厚で 142 枚，2.0 mm 厚で 144 枚，3.0 mm 厚で 144 枚とした（Table 1）．

3. 測定法

1) 物理的評価

同スライス位置における各ファントム画像（Fig. 1）に対して，Image J（National Institute of Health, USA）を用いてチューブの走行方向に直交するプロファイルプロットからピクセル当たりの信号変化を求めた．チューブ外（容器内）の希釈造影剤の平均信号値とチューブ内の希釈造影剤の最大信号値の差から各スライス厚における検出能を比較検討した．さらに，チューブの走行方向，チューブ内の希釈造影剤濃度による違いについて検討した．

Table 1. Parameters of data acquisition for each slice thickness

Slice thickness [mm]	0.8	1.0	2.0	3.0
Matrix	320×320			
Field of View [cm]	32			
Pixel size [mm ²]	1.0			
Boxel size [mm ³]	0.8	1.0	2.0	3.0
Repetition Time [ms]	5.0	4.8	4.7	4.7
Echo Time [ms]	2.3	2.3	2.2	2.2
Band width [kHz]	62.5			
Fat suppression	+			
Number of slice	140	142	144	144
Scan Time [s]	1:57	1:57	2:00	2:00

2) 視覚評価

同スライス位置における各ファントム画像 (Fig. 1) に対して, GE 社製 Advantage Workstation を用いて, 経験年数 5 年以上の診療放射線技師 5 名により観察を行い, 明確に判別可能, 判別可能, 一部判別可能, 不明確, 判別不可の 5 段階として 5~1 までの点数を割り当てる視覚評価を行った⁷⁾. このとき, チューブ管壁は低信号となるため, 管壁のみが描出された場合は判別不可とした. また, 視覚評価に加えて, Kruskal Wallis 検定, Mann-Whitney 検定を用いて統計学的有意差を求めた.

結 果

1. 物理的評価

各ファントム画像から得られたプロファイルプロットを示す (Fig. 2). 横軸はプロファイルプロットの直線に沿った距離, 縦軸は各ピクセル信号値を示したものである. スライス厚 0.8 mm ではチューブ内径 0.6 mm まで, スライス厚 1.0 mm, 2.0 mm ではチューブ内径 0.8 mm まで, スライス厚 3.0 mm ではチューブ内径 1.0 mm まで判別可能であった. ただし, スライス厚 1.0 mm と 2.0 mm を比較すると, スライス厚 1.0 mm のほうが検出能は高かった.

チューブの走行方向による差はみられなかった. チューブ内の希釈造影剤濃度については, スライス厚 0.8 mm, 1.0 mm, 2.0 mm では 0.5%, 1.0%, 2.0%, スライス厚 3.0 mm では 1.0%, 2.0% を判別可能であった. 濃度 0.2%, 0.1% はいずれも判別不可であった. なお, Anteroposterior については, 小サイズによりノイズの影響が大きく, 評価困難であった.

2. 視覚評価

各ファントム画像における 5 人の観察者の 5 段階評価の平均値とその有意差を示す (Table 2). Vertical, Transverse, Oblique においては, スライス厚が薄いほど内径の小さいチューブを判別可能であり, 有意差は高かった. ただし, スライス厚 0.8 mm と 1.0 mm の比較ではあまり有意差を認めなかった. このとき, Vertical, Transverse, Oblique で方向依存性はみられなかった. Anteroposterior においては, スライス厚が厚いほうが検出能は高い結果となったが, 有意差は認めなかった. なお, チューブ内径 0.5 mm ではいずれのスライス厚においてもチューブ管壁のみが描出されたことにより判別不可であった. チューブ内の希釈造影剤濃度については, スライス厚が薄いほど多くの濃度を判別可能であった. 濃度 0.1% ではいずれのスライス厚でも判別不可であった.

考 察

乳癌手術において, 切除範囲決定で問題となる乳管内進展最先端部の断面径の 90.3% は 1 mm 未満といわれている⁸⁾. 今回, 欧米と日本のガイドラインにおいて推奨されるスライス厚が異なることから, 内径 1.0 mm 以下のチューブを用いて, 乳管内進展のような微細病変を模擬した自作ファントムを作成し, スライス厚を変更した場合の信号検出能に与える影響について検討した. 特に, スライス厚は Z 軸方向の空間分解能だけでなく, 時間分解能を重視した

Table 2. Visual evaluation of the tubes in the phantom images with various slice thicknesses

(a) Tube inner diameter of 0.8 mm with 2.0% concentration of contrast media

Slice thickness [mm]	Vertical	Transverse	Oblique	Anteroposterior
0.8				4.6
1.0	* [5.0]	* [5.0]	* [5.0]	4.6
2.0	* [4.4]	* [4.4]	* [4.4]	4.6
3.0	* [4.0]	* [4.0]	* [4.0]	4.6

(b) Tube inner diameter of 0.6 mm with 2.0% concentration of contrast media

Slice thickness [mm]	Vertical	Transverse	Oblique	Anteroposterior
0.8	2.6		2.6	2.0
1.0	2.2	* [1.8]	2.0	2.0
2.0	1.6	* [1.4]	1.6	2.0
3.0	1.2	[1.2]	1.2	2.0

(c) Tube inner diameter of 0.8 mm with 1.0% concentration of contrast media

Slice thickness [mm]	Vertical	Transverse	Oblique	Anteroposterior
0.8				4.8
1.0	** [4.4]	** [4.4]	** [4.4]	4.8
2.0	* [4.0]	* [4.0]	* [4.0]	4.8
3.0	** [3.2]	** [3.2]	** [3.2]	4.8

(d) Tube inner diameter of 0.6 mm with 1.0% concentration of contrast media

Slice thickness [mm]	Vertical	Transverse	Oblique	Anteroposterior
0.8	2.0	1.8	2.0	1.4
1.0	1.8	1.6	1.8	1.4
2.0	1.4	1.4	1.4	2.0
3.0	1.4	1.4	1.4	2.2

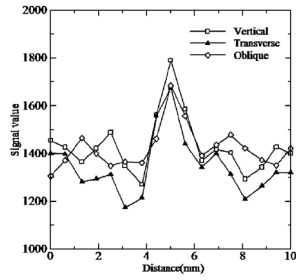
** p<0.01 * p<0.05

ダイナミック撮像を行う際に重要なパラメータとなるため、その選択には注意を要する。

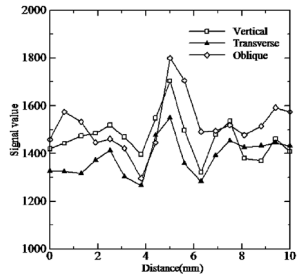
物理的評価、視覚評価ともに Vertical,

Transverse, Oblique において、スライス厚が薄いほど内径の小さいチューブを判別可能であり、有意差が高い結果となった。これはスライス厚が薄いほうが部分容積効果の影響は少なく、相対的にコントラストが上昇することから、検出能が高くなったと考える。このとき、チューブの走行方向で比較すると、方向依存性はみられなかった。Anteroposterior においては、スライス厚が厚い場合で検出能は高い結果となった。これは、今回容器の直径分の長さのチューブをスライス断面に直交に設置したため、スライス厚が厚いほどチューブ内信号が含まれたことによると考える。しかし、わずかな信号差しか得られず、有意差は認めなかった。厚いスライス厚の場合、スライス厚内に十分な高信号域として存在する病変でなければならないことが考えられ、臨床画像において、切除範囲を詳細に評価することは難しい。チューブ内径 0.5 mm はいずれのスライス厚でも判別不可であった。これは今回用いたチューブ内径 0.5 mm では管壁 (0.6 mm 厚) の低信号のほうがスライス内に多く含まれたことによる。したがって、より管壁の薄いチューブを用いれば 0.5 mm 以下でも描出できる可能性は十分考えられる。より精度の高い切除範囲を決定するためには、薄いスライス厚で撮像することの有用性が示唆される。臨床応用を考えた場合、切除範囲を決定する上で、スライス厚によってこの描出限界は大きく影響されるため、読影者に注意を促す必要がある。チューブ内の希釈造影剤濃度による比較では、スライス厚が薄いほうが多くの濃度を判別可能で、検出能は高くなった。これも、部分容積効果の影響によるものと考えられ、スライス厚が厚い場合には周囲の信号によりチューブ内信号が平均化されることが考えられる。そのため、濃度が薄い場合にスライス厚によって検出能に差が出ることがわかった。臨床画像においても、造影効果のわずかな微細病変、高濃度の正常乳腺および病変の周囲に存在する微細病変については、スライス厚の

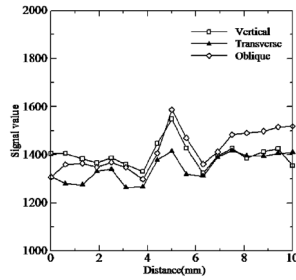
Slice thickness 0.8 mm



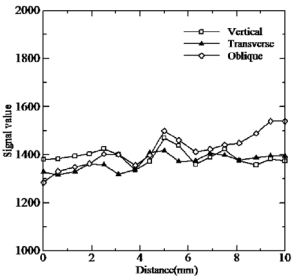
Slice thickness 1.0 mm



Slice thickness 2.0 mm

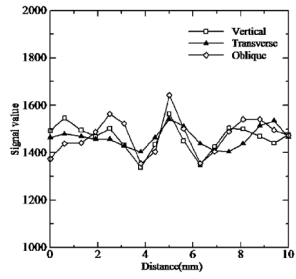


Slice thickness 3.0 mm

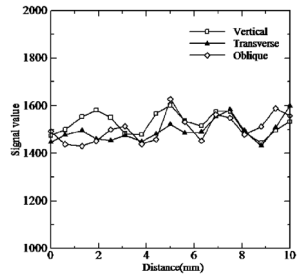


a

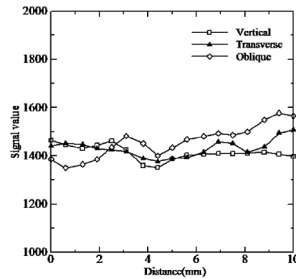
Slice thickness 0.8 mm



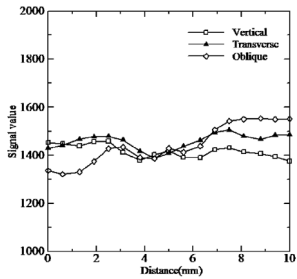
Slice thickness 1.0 mm



Slice thickness 2.0 mm



Slice thickness 3.0 mm



b

乳房撮像におけるスライス厚が微細検出能に与える影響

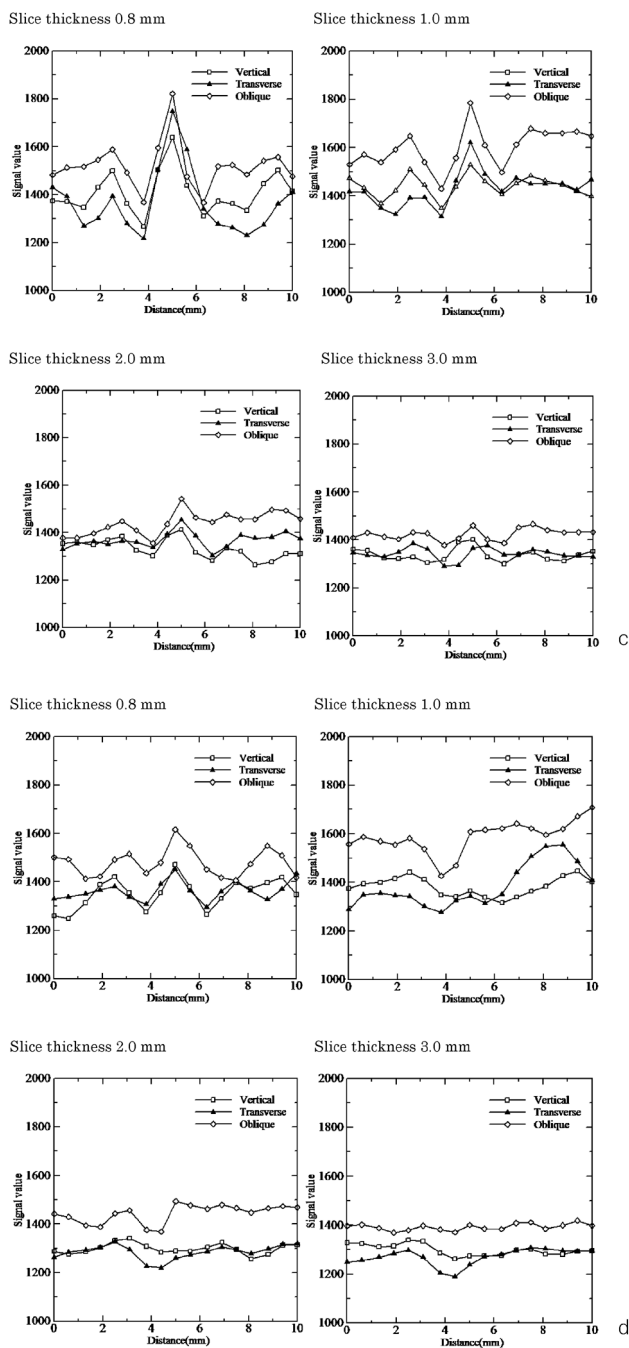


Fig. 2. Profile curve of the tubes on each slice thickness. The tubes inner diameter of 0.8 mm in contrast media concentration of 2.0% (a) and 1.0% (b). The tubes inner diameter of 0.6 mm in contrast media concentration of 2.0% (c) and 1.0% (d).

違いが検出能に大きく影響すると考えられる。なお、臨床においてはダイナミック画像を矢状断、冠状断での再構成にて評価を行うが、その評価は元画像に起因し、同様の結果となったため、記載を行わなかった。

以上のことから、微細病変の検出をより高めるためには、薄いスライス厚のほうが有用性が高いことがわかった。そのため、欧米のガイドラインで推奨されるスライス厚では、乳癌の広がりより正確に評価するうえで微細病変を見逃す危険性が高まる可能性がある。乳房ダイナミックの診断においては、一定の撮像範囲に対して、時間分解能と空間分解能の両方が重要となる。本研究はファントム実験であるが、スライス厚は広がり診断に大きな影響を与えるパラメータであり、可能な限り薄いスライス厚に設定することが微細病変の描出の向上につながると考える。

結 語

今回の結果から、乳房MRIにおいてスライス厚は微細な病変の描出に大きな影響を与える重要因子であるといえる。病変の局在や造影効果による変化を考慮する必要はあるが、薄いスライス厚に設定することが微細病変を描出するうえで、適切な撮像条件になり得るといえる。

文 献

- 1) Holland R, Connolly JL, Gelman R, et al.: The presence of an extensive intraductal component following a limited excision correlates with prominent residual disease in the remainder of the breast. *J Clin Oncol* 1990; 8: 113-118
- 2) 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
- 3) 日本乳癌検診学会: 乳がんハイリスクグループに対する乳房MRIスクリーニングに関するガイドライン. 2013. http://www.jabcs.jp/images/mri_guideline_fix.pdf
- 4) Mann RM, Kuhl CK, Kinkel K, Boetes C: Breast MRI: guidelines from the European Society of Breast Imaging. *Eur Radiol* 2008; 18: 1307-1318
- 5) American College of Radiology: ACR practice parameter for the performance of contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI) of the breast. 2014. http://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PGTS/guidelines/MRI_Breast.pdf
- 6) Mazzara GP, Briggs RW, Wu Z, Steinbach BG: Use of modified polysaccharide gel in developing a realistic breast phantom for MRI. *Magn Reson Imaging* 1996; 14: 639-648
- 7) 小倉明夫, 前田富美恵, 宮井 明, 他: MR画像におけるスライス厚とマトリックスサイズが信号検出能に与える影響. *日放技学誌* 2005; 61: 1140-1143
- 8) 黒住昌史: 病理医からみた乳管内進展巣の画像診断の可能性と限界. *乳癌の臨床* 1996; 11: 693-700

Effect of Slice Thickness on the Detection of Microscopic Lesions on 3D Breast MRI : Fundamental Assessment with a Phantom

Kaori HATA¹, Shigemi KITAMURA², Shunsuke HASEGAWA¹,
Mituya ITO³, Shuji USUI⁴, Yutaka HIROKAWA¹

¹*Department of Radiology, Hiroshima Heiwa Clinic
1-31 Kawaramachi, Naka-ku, Hiroshima 730-0856*

²*Department of Clinical Radiology, Faculty of Health Sciences, Tokuba International University*

³*Department of Breast Surgery, Hiroshima City Hospital*

⁴*Department of Clinical Radiology, Faculty of Health Sciences, Hiroshima International University*

Breast cancer detection using contrast enhanced MRI requires high spatial and high temporal resolution. Evaluation of microscopic lesions is particularly important for the accurate diagnosis of the intraductal lesions. Owing to the trade-off between spatial and temporal resolution, refinement of the imaging parameters is necessary. With this viewpoint, we investigated the effect of slice thickness (0.8–3.0 mm) on the detection of ductal structures. We used an in-house phantom incorporating 0.5–1.0 mm (inner diameter) tubes filled with various concentrations of contrast media (0.5–1.0 mM). In this study, thinner slice images resulted in higher detection of the tubes at a wide range of contrast media concentrations. In conclusion, to improve the detection of microscopic structures of the intraductal lesions, it is recommended to keep the slice thickness as thin as possible.