原 著

MRI 装置における部分容積効果を用いた
新しいスライス厚測定法の提案木村哲哉¹⁾・東田満治²⁾・高津安男³⁾・小倉明夫⁴⁾論文受付
2011年 6月21日論文受理
2011年 9月15日

Code No. 261

1)ハイメディッククリニック WEST 放射線課
2)大阪市立大学医学部附属病院中央放射線部
3)大阪赤十字病院放射線診断科部
4)京都市立病院放射線科

緒 言

Magnetic resonance imaging (MRI) 装置の性能維持管理は、検査の安全性を担保することはもちろん、装置の適正使用のために必要不可欠である。この中で、装置の性能評価法は signal-to-noise ratio (SNR) や画像不均一性といった比較的測定が容易なものから、幾何学的歪み、スライス厚測定のように特別なファントムが必要で煩雑なものがあり、一般ユーザが日常的に行えるものは限られているのが現状である。スライス厚測定に限ってみると、ウェッジ法やスラブ法¹⁻³⁾が最も標準的な方法とされ、どちらも高価な専

用ファントムが必要となる。これに対し、東田らは、より簡便で有用性の高い方法として部分容積効果を利用した方法⁴⁾(パーシャル法)を提唱している。ただし、この方法では前出の専用ファントムを流用しており、設置アライメントに起因する測定誤差に関する検討がなされていない。より汎用性を高めるためには一般に入手しやすいファントムを使用し、測定誤差に関して詳細な検討をする必要があると考えた。そこで今回われわれは、このパーシャル法を発展させ、より汎用性が高く、測定精度の向上が可能となる新たな方法(differential edge response function method;

A Suggestion of New Slice Thickness Mensuration Using Partial Volume Effect in Magnetic Resonance Imaging

Tetsuya Kimura,¹⁾ Mitsuji Higashida,²⁾ Yasuo Takatsu,³⁾ and Akio Ogura⁴⁾1) Department of Radiology, HIMEDIC Clinic West
2) Department of Radiology, Osaka City University Hospital
3) Department of Radiology, Osaka Red Cross Hospital
4) Department of Radiology, Kyoto City Hospital

Received June 21, 2011; Revision accepted September 15, 2011; Code No. 261

Summary

The wedge and the slab methods are standard procedures as slice thickness mensuration of the MRI needs an expensive and exclusive phantom, and they are poor in versatility. We suggest a new method, that we call "differential edge response function method". This is a modified version of the partial method which Higashida and others proposed. In this method, we use an original phantom which has an acrylic disk on the bottom, and take an image of it while moving a slice position so it includes the disk part. We established the region of interest on an image set up and got the edge response function (ERF) from the mean signal intensity and relations of the Z position of the image. In this method, the effective slice thickness is the half width of the slice profile, which is differentiated ERF. This method can be measured even if the linearity of the signal intensity is poor compared to the partial method. It is possible to correct the alignment. In this method the measurement accuracy was approximately equal to the wedge method. This method is minimally influenced by signal-to-noise ratio in comparison with the wedge method. Furthermore, versatility is high, because it is simple and relatively easy to use.

Key words: magnetic resonance imaging, slice thickness mensuration, partial volume effect, differential edge response function method, wedge method

別刷資料請求先: 〒 590-0143 大阪市中央区南船場 3-3-17
ホテルトラスティ心斎橋内 ハイメディッククリニック WEST 放射線課 木村哲哉 宛

Fig. 1 The summary of our original phantom container.

Fig. 2 The measurement by the differential edge response function method.

Using three-slice multislice method and fix central slice and shift the slice position of the disk part by changing a slice interval (a), and make ERF from the signal intensity of an image provided in this way. The slice profile is derived from differentiating the ERF (b).

d-ERF 法)の確立を目指していくつかの検討を行った。

1. 本法の概要

今回われわれが行った方法では、アクリル樹脂製の自作円筒状容器を用いた(Fig. 1)。まず、信号発生物質をこの容器に封入し、容器底面に設置されたアクリルディスクに平行になるようにスライス位置を移動しながら撮像を行う(Fig. 2a)。ディスク部に設置した region of interest(ROI)内の平均信号値をスライス位置ごとにプロットし、ディスクによる edge response function(ERF)を作成する。この ERF は、選択励起されたスライス面内における信号発生物質とアクリルディスクの含有比率を反映しており、選択励起された信号発生物質の微小体積を積分したものと読み替

えることができる。したがって、この ERF を微分すれば当該スライス位置で選択励起された信号発生物質の微小体積(= 部分容積)が算出され、これをスライス位置ごとにプロットすることでスライスプロファイルを求めることができる(Fig. 2b)。そこで、このスライスプロファイルの半値幅を本法における実効スライス厚とした。

2. 方法

2-1 使用機器

GE Healthcare 社製 Signa Excite Echo Speed Plus 1.5T QD Head Coil(Signa 1.5T)

Philips 社製 Gyroscan Intera 1.5T Quadrature Head Coil(Intera 1.5T)

Philips 社製ワークステーション Extended MR Workspace(WS)

Apple 社製 iMac 3.06 GHz, ImageJ v1.43u(National Institutes of Health, USA)⁵⁾, Microsoft Excel 2008

2-2 使用ファントムおよび撮像条件

日興ファインズ社製 MRI 用 JIS ファントム 90-401 型および自作アクリル樹脂製円筒状ファントムを使用した。

自作ファントムに、信号発生物質として 0.75 mmol/l のガドペンテト酸メグルミン水溶液(Gd-DTPA)に 0.45 wt%の塩化ナトリウム(NaCl)を付加したものを使用した。水溶液の溶媒には超純水を使用し、2.0 wt%の粉末寒天で固体化して封入した。Intera 1.5T を使用して求めた T_1 値および T_2 値はそれぞれ 221.1 ms, 59.7 ms であった。なお、緩和時間の測定には、同装置標準の T_1 値、 T_2 値測定用シーケンスである 2D-MIXED 法を使用した。このシーケンスは spin echo(SE)法と反転回復法とを組み合わせで交互に行うことによって、 T_1 値、 T_2 値、プロトン密度といった各種緩和時間を一度の撮像で測定する⁶⁾ことのできる Philips 社製 MR 装置標準のシーケンスである。

スライス厚測定には Signa 1.5T を使用し、撮像条件は、SE 法、field of view(FOV)=26 cm, repetition time(TR)=700 ms, echo time(TE)=15 ms, 収集マトリクス=128×128, receive band width(RBW)=244.1 Hz/ピクセル, 加算回数=1 回(1 mm スライス厚のみ 2 回)とし、FOV 中心とディスク中心が一致するように撮像を行った。

2-3 基準値の測定

Signa 1.5T を用いて 90-401 型ファントムによる基準値となるスライス厚を測定した。計測方法は National Electrical Manufacturers Association (NEMA)のウェッジ法¹⁾に準拠した。対象となるスライス厚は、1, 5, 10 mm の 3 種類とした。撮像条件は、SE 法、FOV=26 cm(1 mm スライス厚のみ 15 cm), TR=2800 ms, TE=15 ms, 収集マトリクス 256×256, RBW=244.1 Hz/ピクセル, 加算回数=4 回(1 mm スライス厚のみ 10 回)とした。なお、撮像は 3 スライスのマルチスライス法にて行った。スライスギャップは測定スライス厚の 100%(=スライス中心の距離が測定スライス厚の 200%)とし、この中央のスライスを用いてスライスプロファイルの計測を行った。

2-4 d-ERF 法による測定

まず、自作ファントムを QD head coil の中心とファントム中心が揃うように設置した。このとき、アクリ

ルディスク表面がコイルの感度中心になるようにし、ディスク面が静磁場の XY 平面と平行になるように、ディスク表面の画像で信号強度の確認をしながらアライメントを調節した。挿入方向はアクリルディスクが頭側、信号発生物質が足側となるようにした。撮像は静磁場に垂直な軸位断にて 3 スライスのマルチスライスとし、センタースライスを固定し、スライスギャップを変化させてスライス位置の移動を行った。このとき、最小スライスギャップは設定スライス厚の 200%とした。

ディスク表面における Z 座標を Z=0 として、Z 軸方向に設定スライス厚の -200%から最大 +200%までを撮像範囲とした。このうち $\pm 100\%$ の区間については設定スライス厚の 10%刻み、その他の区間は設定スライス厚の 20%刻みで撮像を行った。なお、この設定ではディスク側(頭側)を正、信号発生物質側(尾側)を負の値で表示した。

更に、スライスプロファイルを作成する際、横軸にはスライスの移動量(mm)ではなく、その設定スライス厚に対する割合(% thickness)を割り当てた。こうすることで、厚さの違うスライスでも同じ精度で半値幅を計測することができる(Fig. 3a~d)。

このようにして得られた画像を ImageJ を介してテキストファイルに変換したのち、Excel にて画素値を計測した。なお、撮像時に 128×128 マトリクスであっても、ImageJ で読み込む際に 256×256 マトリクスに自動変換されてしまうため、以下、画素値計算に用いる ROI の大きさ(ピクセル数)はすべて ImageJ による変換後のものとする。

2-5 検討項目

2-5-1 ROI の大きさとスライスプロファイルとの関係

画像中央(ディスク中央に相当)に 7×7, 30×30, 50×50 ピクセルの矩形 ROI を配置し、スライスプロファイルとの関係を調べた(Fig. 4a)。

2-5-2 ROI の位置とスライスプロファイル、測定値との関係

50×50 ピクセルの矩形 ROI を画像中央(ディスク中央に相当)および前後左右に十字(Front, Center, Back, Right, Left)に配置して傾向を調べた(Fig. 4b)。

2-5-3 ウェッジ法との比較

ウェッジ法で求めた測定値と、本法で求めた測定値を比較した。

2-5-4 傾き補正の精度について

ファントムに静磁場に対し X-Z 平面上で傾斜を与えると、前後およびディスク中心でのスライスプロファイルのピークは変化しないが、左右の ROI の

Fig. 3 It is possible to get a slice profile with the same measurement accuracy for all slice thickness by switching the unit of cross axle from mm (a, b) to %thickness (c, d).

- (a) ERF (show in mm)
 (b) slice profile (show in mm)
 (c) ERF (show in %thickness)
 (d) slice profile (show in %thickness)

Fig. 4 Setting of the ROI.

- (a) Examination about the effect of the ROI size
 (b) Examination about the effect of the setting position of the ROIs
 (c) ROI setting for angle revision

ピークがZ軸方向にシフトする。このとき、ピークのシフト量を t (mm)、ディスク中心からROI中心までの距離を b (mm)、傾斜角を θ (度)とすると、

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{t}{2b}\right) \text{ の関係がある。ここで、真値 } L(\text{mm})$$

に対して、実測されたスライス厚を A (mm)とすると、

$$L = A \times \cos\left\{\tan^{-1}\left(\frac{t}{2b}\right)\right\} \text{ の関係が成立する。そこで、}$$

X-Z面内にもみ傾きを与え、撮像した画像のディスク中心および中心から左右にそれぞれ65mm離れた位置に7×7ピクセルの矩形ROIを設置し(RR, Center, LL)(Fig. 4c)、その信号強度からスライスプロファイル

The shift distance of slice profile peaks : t (mm)

The distance from the ROI center to the disk center : b (mm)

The slant angle : θ (degree)

$$\theta = \tan^{-1}(t/2b)$$

The relationships of true value L and actual slice thickness A is

$$L = A \cdot \cos \theta$$

$$= A \cdot \cos(\tan^{-1}(t/2b))$$

Fig. 5 A method of making angle revision with a shift of the slice profile.

When the slice is slanted for a disk, the slice profile calculated by ROI of the position b (mm) away from the center shifts to Z-axis direction. A slanted angle θ (degree) of the slice is calculated from size of this shift amount t (mm) and b . Furthermore, by using θ as the correction angle, the true value L (mm) can be calculated from the measured value A (mm). Each relationships are as shown.

a	b
c	

Fig. 6 The relationship of ROI size and the slice profile.

- (a) 1 mm thickness
(b) 5 mm thickness
(c) 10 mm thickness

ルを得て、上記式により傾斜角 θ_c を求め、WS を用いて計測した傾斜角 θ_w と比較した(Fig. 5).

3. 結果

3-1 ROI の大きさとスライスプロファイルとの関係

画像中央部分における 7×7 , 30×30 , 50×50 ピクセルのいずれもスライスプロファイルの主要な部分で差がなかった(Fig. 6a~c).

3-2 ROI の位置とスライスプロファイル、測定値との関係

スライスプロファイルはピーク値に多少の差があるものの、カーブのおおよその形状について差はなかった。ただし、1 mm スライスではスライスプロファイルの位置が Z 軸方向に少しずれていた(Fig. 7a~c)。一方、測定値は設定値に対して $\pm 3\%$ 以内の範囲に収まっていた(Table 1)。

Fig. 7 The relationship of the arrangement of the ROIs and the slice profile.

(a) 1 mm thickness
(b) 5 mm thickness
(c) 10 mm thickness

Table 1 The relationship of the arrangement of the ROIs and measured value

ROIs	Nominal slice thickness					
	1 mm		5 mm		10 mm	
	FWHM (mm)	%thickness	FWHM (mm)	%thickness	FWHM (mm)	%thickness
Front	0.985	0.985	4.961	0.992	9.921	0.992
Center	0.980	0.980	4.921	0.984	9.921	0.992
Back	0.980	0.980	4.961	0.992	9.921	0.992
Right	0.972	0.972	4.921	0.984	9.921	0.992
Left	0.988	0.988	5.039	1.008	10.000	1.000

3-3 ウェッジ法との測定値の比較

ウェッジ法のスライスプロファイルは d-ERF 法と比較してばらつきが大きく、半値幅の計測が難しかったが、どちらもほぼ同等の値を示し、d-ERF 法の方がやや大きな値を示す傾向にあった(Fig. 8).

3-4 傾き補正の精度について

本補正法により求めた角度は、1 mm スライスを用いた場合に WS を用いた角度計測の結果とほぼ一致した。角度が小さい場合、厚いスライスではスライスプロファイルのシフト量が小さく誤差が大きくなった。角度が大きくなるとそれぞれスライスプロファイルのシフト量が大きくなり誤差は小さくなったが、1 mm スライスより誤差が大きかった(Fig. 9)(Table 2).

4. 考 察

MRI のスライス厚測定法には数多くの方法^{1~4, 7~9)}が提唱されており、その中心となるのは部分容積効果を利用した方法である。現在、本邦で最も標準的な方法として採用されている NEMA のウェッジ法やスラブ法もこれにあたる。しかし、どちらも高価な専用ファントムを使用するため汎用性が高いとはいえない。そのため、日常的にもっと簡便なスライス厚の測定法があればと、東田らのパーシャル法に着目した。この方法ではウェッジ法と同じ 90-401 型ファントムを使用しているが、スライスに含まれる信号発生物質の含有率と信号強度の間に直線性さえあれば、別のファントムを用いても測定回数も少なく汎用性の高い方法として応用可能であると考えた。そこで取り扱いの容易さを考え、Gd-DTPA 水溶液を粉末寒天で

Fig. 8 A comparison about measured value between wedge method and differential edge response function method.

Fig. 9 The slice profile comparison for angle revision.

- (a) 0.3 degrees: 1 mm thickness
- (b) 0.3 degrees: 10 mm thickness
- (c) 1.1 degrees: 1 mm thickness
- (d) 1.1 degrees: 10 mm thickness

Table 2 The relationships between slice thickness and the angle of correction for angle revision. A parenthesis shows measurement accuracy of slanted angle θ_w which measured by WS.

θ_w : Slanted angle measured by the WS (degree)	Nominal slice thickness (mm)	Shift distance of profile peaks (mm)	θ_c : Calculated angle (degree)
0.3	1	0.75	0.335
($0.25 \leq \theta_w < 0.35$)	5	1.20	0.485
	10	1.70	0.749
1.1	1	2.55	1.124
($1.05 \leq \theta_w < 1.15$)	5	2.90	1.278
	10	3.00	1.322

Fig. 10 Extract the center portion of ERF and evaluate the linearity by linear approximation. The high linearity is found to be a limited range of the center.

(a) $\pm 50\%$ thickness
(b) $\pm 40\%$ thickness
(c) $\pm 30\%$ thickness

固体化して使用した。しかし、信号強度と信号発生物質の含有率に直線性の認められる部分は予想外に少なかった。パーシャル法で測定精度を上げるには、パーシャル部において計測される任意の2点での無信号物質のスライス内含有率の差が大きく、またその信号強度の直線性が担保される必要がある。本来、radio frequency(RF)パルスによって選択励起された領域が理想的な矩形波であるならば、 $\pm 50\%$ thickness の範囲で直線性が保たれるはずである。しかし、東田らの報告⁴⁾と同程度(1 mm スライスで $r=0.99995$)の直線性を示したのはスライス中心の $\pm 30\%$ thickness 以下であった(Fig. 10)。これは、実際に励起されたスライスプロファイルの台形もしくはガウス分布様変形を反映しているものと考えられ、そのままパーシャル法に準ずることは誤差要因が大きいと判断した。そこで、ERFを微分することによってスライスプロファイルを得て、その半値幅を求める方法を採用した。ERFの直線部分に相当するスライスプロファイルの頂上部分を観察すると値にややばらつきがみられた。パーシャル法であればこの範囲の任意の2点しか計測に使用しないために、撮像位置によっては誤差が多く含まれる可能性がある。一方、本法では頂上部分の変動量の多寡にかかわらず、その平均値を使って半値幅計測を行うので読み取りの誤差を含みにくく、はずれ値と判断すれば計算から除外することもできるために、パーシャル法よりも計測誤差が少なくなるという利点がある。また、スライスプロ

ファイルが得られるのでスライスの特性を見て測定エラーを排除することもできる。しかしその反面、パーシャル法が測定回数4回で済むのに対し、本法では最大31回の測定を行うため、1シリーズにつき約60～90分の測定時間を要した。ただし、ERFのプラトー部分に相当するサンプル点がある程度減らすことによって測定にかかる時間を減らすことが可能である。なお、信号強度変化の最も大きい $\pm 100\%$ thickness の範囲では測定間隔を10% thickness としたが、装置の性能によっては、スライスの移動量がこの条件を満たさない場合もあり、注意が必要である。

測定方法については、ROIの大きさを変更してスライスプロファイルに与える影響を調べた。ディスク中心部で測定する限り、ROIの大きさはベースラインに影響があるものの、スライスプロファイルの主要な部分にはほとんど影響がなかった。ウェッジ法で得られたスライスプロファイルと比較しても、ベースラインのばらつきは小さい。ROIの大きさが比較的大きく統計的変動の影響を受けにくい¹⁰⁾ためと考えられる。

測定精度については、山崎ら¹¹⁾はウェッジ法において計測者間の誤差が5%程度含まれるとしており、本法も同程度と思われる。ウェッジ法はSNRを十分に確保しておかないとスライスプロファイルのばらつきが大きくなり、読み取り誤差が増大するのに対し、本法ではSNRの影響は小さい。しかし、ウェッジ法と比較すると、厚いスライスの場合はスライスプロファイルを形成するサンプル点が少ないために、計測誤

差が大きくなる可能性がある。

その他、ファントムの設置アライメント不良に起因する測定誤差にも注意が必要である。ROI の位置が変わることで、プロファイルの形状に差はみられなかったが、薄いスライスで Z 軸方向にシフトすることがあった。ファントム設置のアライメント精度が低かったためと考えられる。このシフト量が多い場合、スライス厚の測定値に影響を与えることが予想されるが、逆に、このスライスプロファイルのシフトを利用して角度補正を行う方法を考案した。1 mm スライスの画像を用いることによって、WS で角度測定した結果とほぼ一致したため、角度補正法として有効と考えられた。より薄いスライスを用いることで補正精度が向上するものと考ええる。対象は 0.3 度および 1.1 度と小さな傾きであったが、実際にアライメントを決定する際に、あまり大きく傾けてファントムを設置することは考えにくく、比較的現実的な角度範囲と考える。ただし、厚いスライスではシフト量が小さいため、計測誤差が大きくなる。また、傾きが大きい場合、薄いスライスではシフト量が大きくなり、ピークを求めるためのサンプル数を増やす必要があった。更に、傾きは 1 軸だけではなく、多くの場合は前後左右の 2 軸に傾くという問題もある。この場合は、傾きに垂直となるように ROI を設定するとシフト量が最大となる。すなわち、傾きを最大限に利用することで精度よく角度補正を行うことができる。今回は円形の亚克力ディスクを使用したため、全方向について同じ精度で傾きの補正を行うことが可能である。なお、この方法で結果 4-2 の 1 mm スライスにおけるスライスプロファイルのシフト量を 0.2 mm として計算すると、約 0.11 度の傾きが導かれ 2×10^{-5} mm の過大評価であったことがわかる。画像で確認しながらとはいえ、用手的にファントムを設置している以上、この程度の誤差は許容範囲と考える。また、測定値を比較しても読み取り誤差を含め 5% 以内に収まっており、総合的に見て誤差の影響はウェッジ法と同等かやや少ないと思われた。なお、このようなアライメント補正に関する検討はウェッジ法以外に行われておらず、そのウェッジ法でさえも 1 軸しか補正できない。このような観点から、他の測定法に対する本法の優位性は高いと考える。

今回、ファントム容器には比較的大きな円筒状亚克力素材と亚克力ディスクを用いたが、使用する受信コイルの感度分布の影響を強く受けない程度の大

きさ、形状の非磁性体であれば、素材については類を問わない。ただし、スライス厚に対して十分な厚さと FOV に対して十分な大きさがあり、信号発生物質を同一平面内に含むことのできる平滑な平面をもつ構造の無信号体が必要となる。

以上のことから、本法は高価な専用ファントムを必要とせず、単純な構造なので比較的安価かつ容易にファントムを作成できるという利点がある。また、SNR の制限を受けにくいという点でウェッジ法よりも汎用性が高いと思われる。さらに、簡便にアライメント補正を行うことができるという点でも有用性の高い手法であると考ええる。

5. 結 語

1.5T-MRI 装置において、部分容積効果を利用した東田らのパーシャル法の発展形である d-ERF 法を用いてスライス厚測定を行い、その有用性と問題点について検討した。本法はパーシャル法と比較して信号強度の直線性がやや劣る場合でも測定でき、ファントムの設置アライメントに起因する測定誤差を補正することが可能である。また、ウェッジ法と比較して SNR の制限を受けにくく、読み取り誤差が小さいということがわかった。更に、安価で単純な構造のファントムを用いてスライス厚測定ができるという点で汎用性が高く有用と考えられた。その反面、測定時間が長く、厚いスライスの場合はサンプル点が少ないことで計測誤差が大きくなる可能性がある。

謝 辞

本研究に際し、日本放射線技術学会近畿部会より研究助成をいただいたことに深く感謝いたします。また、本稿をまとめるにあたり貴重なご意見をいただいた大阪物療大学保健医療学部 山口 功教授、大阪市立大学医学部附属病院 佐原朋広技師、京都 CT・MR 画像研究会の皆様、データ解析の助手を務めてくれた当院 川邊清香技師をはじめ協力いただいた当院放射線課技師諸兄に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

本稿の一部は、第 37 回日本放射線技術学会秋季学術大会(岡山)、第 53 回日本放射線技術学会近畿部会学術大会(神戸)、第 66 回日本放射線技術学会総合学術大会(横浜)において発表した。

参考文献

- 1) National Electrical Manufacturers Association. Determination of slice thickness in diagnostic magnetic resonance imaging. NEMA Standards Publication MS5-2003, 2003.
- 2) Price RR, Axel L, Morgan T, et al. Quality assurance methods and phantoms for magnetic resonance imaging: report of AAPM Nuclear Magnetic Resonance Task Group No. 1. Med Phys 1990; 17(2): 287-295.
- 3) Och JG, Clarke GD, Sobol WT, et al. Acceptance testing of magnetic resonance imaging systems: report of AAPM Nuclear Magnetic Resonance Task Group No 6. Med Phys 1992; 19(1): 217-229.
- 4) 東田満治, 山崎 勝, 小倉明夫, 他. 部分容積効果を用いたMRIのスライス厚測定. 日放技学誌 1998; 54(8): 947-952.
- 5) Abramoff MD, Magalhaes PJ, Ram SJ. Image processing with ImageJ. Biophotonics International 2004; 11(7): 36-42.
- 6) In den Kleeff JJ, Cuppen JJ. RLSQ: T1, T2, and rho calculations, combining ratios and least squares. Magn Reson Med 1987; 5(6): 513-524.
- 7) Lemke AJ, Kazi I, de Bary P, et al. Development and evaluation of phantom for verification of section thickness at thin-section MR imaging. Radiology 2006; 240(2): 552-558.
- 8) 中野 努. 分解能ファントムによるMRI装置のスライス厚測定. 日放技学誌 1993; 49(1): 8-11.
- 9) 土井 司. MRIにおける信号強度の基本特性. 日放技学誌 2009; 65(10): 1438-1448.
- 10) 小倉明夫, 宮井 明, 前田富美恵, 他. MR画像のSNR測定に関する基礎的検討. 日放技学誌 2003; 59(4): 508-513.
- 11) 山崎 勝, 東田満治, 井上博志, 他. MR画像による性能評価(第1報)ウエッジ法によるスライス厚測定とその問題点. 日放技学誌 1997; 53(1): 54.

図表の説明

- Fig. 1 自作ファントム容器の概要
- Fig. 2 d-ERF法における測定方法
3スライスのマルチスライス法で, スライスギャップを変更することで撮像位置を変化させて撮像を行う(a). こうして得られた画像の平均信号強度からERFを作成し, これを微分することによってスライスプロファイルを導出する(b).
- Fig. 3 横軸の単位をmmから% thicknessに変更することで, すべてのスライス厚に対し, 同じ測定精度でスライスプロファイルを得ることができる.
(a) ERF(mm表示)
(b) スライスプロファイル(mm表示)
(c) ERF(% thickness表示)
(d) スライスプロファイル(% thickness表示)
- Fig. 4 ROIの設定
(a) ROIサイズの影響
(b) ROIの設定位置の影響
(c) 角度補正のためのROI設定
- Fig. 5 スライスプロファイルの移動量から角度補正を行う方法
測定スライスがディスクに対して傾斜すると, 中心より b (mm)離れたROIから算出されたスライスプロファイルはZ軸方向にシフトする. このシフト量 t (mm)と b の大きさからスライスの傾き角 θ (度)を計算することができる. さらに, 真値 L (mm)は θ を補正角として用いることで実測値 A (mm)から算出される. それぞれの関係は図に示す通りである.
- Fig. 6 ROIの大きさとスライスプロファイルの関係
(a) 1 mm thickness
(b) 5 mm thickness
(c) 10 mm thickness
- Fig. 7 ROIの設定位置とスライスプロファイルの関係
(a) 1 mm thickness
(b) 5 mm thickness
(c) 10 mm thickness
- Fig. 8 ウエッジ法とd-ERF法の測定値比較
- Fig. 9 角度補正のために使用したスライスプロファイルの比較
(a) 0.3 degrees : 1 mm thickness
(b) 0.3 degrees : 10 mm thickness
(c) 1.1 degrees : 1 mm thickness
(d) 1.1 degrees : 10 mm thickness
- Fig. 10 ERFの直線部のみを抽出し, その線形近似により直線性を調べた. 直線性が高いのは中心部の限られた範囲であることがわかる.
(a) $\pm 50\%$ thickness
(b) $\pm 40\%$ thickness
(c) $\pm 30\%$ thickness
- Table 1 ROI位置と測定値の関係
- Table 2 角度補正に用いたスライス厚と補正角の関係
カッコ内はWSを用いて計測された傾斜角 θ_w の測定精度を示す.