原 著

CTにおけるスライス厚の測定
—Partial volume effectを用いた測定法—

白 石 順 二・津 田 和 良

大阪市立大学医学部附属病院中央放射線部

(論文受理 1989年 9月21日)

(最終論文受理 1989年 9月21日)

(Code No. 489)

Key words: Computer tomography, Slice thickness measurement, Partial volume effect

MEASUREMENT OF SLICE THICKNESS OF COMPUTED TOMOGRAPHY
—METHOD WITH PARTIAL VOLUME EFFECT—

JUNJI SHIRAISHI, KAZUYOSHI TSUDA

Department of radiography Osaka City University Hospital

(Article received, Sep., 21, 1989)

Summary

In the measurement of the slice thickness of computed tomography, many investigations and reports have been made on the improvement of computed tomography. Among these reports, the most popular method uses a thin Al plate placed on a slant against a cross section of the scanning area at a 30 or 45 degree angle and calculates slice thickness from these computed tomography images.

However, these methods are easily influenced by the filtered function, and poor accuracy when thin slice measurements are carried out (5 mm or less).

We have improved the measurement of the slice thickness of computed tomography that uses the partial volume effect and tested the original phantom with our new measurement method. As a result, our method has proven to be less influenced by the corrected function less than the ordinary method. Moreover, our method was more accurate for thin slice thicknesses. Therefore, we feel that our method is the most suitable method for measurements of slice thickness of computed tomography.

1. はじめに

CTのスライス厚の測定については、RutherfordらがEMI スキャナーについての性能評価¹⁾を行って以来、多

くの報告がなされており^{2),3)}, 特に国内においては沢田らによって幅広く研究がなされている^{4),5),6)}. これらの測定法の中でも薄いAl板を45°傾斜させて計測を行う方法³⁾は最も一般的で、CT性能評価委員会においても、第1次

勧告⁷⁾, 第 2 次勧告⁸⁾ともにこの方法を採用している. この方法は日常のメンテナンスを行う上においては非常に簡便であり, 再現性においてもほぼ問題はない. しかし, これまでに文献でも指摘のあったように, この測定法はフィルタ関数によって影響を受けやすく⁶⁾⁹⁾, 特に薄いスライス厚 (5 mm 以下) が一般的となった最近の装置については, 設定スライス厚に対するピクセルサイズの制限のために誤差が生じやすく¹⁰⁾, かならずしも正確なスライス厚の測定法とは言えない.

今回, われわれは CT 装置に見られる Partial volume effect (部分体積効果) を利用した, フィルタ関数の影響を受けにくいスライス厚の測定法を考案した. そして, この測定法に適した専用ファントムを製作し, この測定法について実験, 検討をおこなった.

2. 方 法

2.1 Partial volume effect を用いたスライス厚測定

Fig. 1 はスキャン断面をスキャン面の側面より見た時の模式図である. この図のようにスキャン断面内に A および B の物質が存在するとき, この A および B の物質のもつ固有の CT 値をそれぞれ CT_A , CT_B とするとこのスキャンにより得られた画像の図中 P で示される部分の CT 値, CT_{TOTAL} は

$$CT_{TOTAL} = \frac{S_A}{S} * CT_A + \frac{S_B}{S} * CT_B \quad (1)$$

で与えられる. これが, CT において Partial volume effect と言われる現象で, このために, 画像上で, ある物質がその物質のもつ本来の CT 値とは異なった偽 CT 値を示す場合があり, 診断読影の際には注意が必要とされている.

ここで, S はこのスキャンにおけるスライス厚を示し, S_A , S_B はそれぞれ A および B の物質のスキャン断面内で占める長さである. ここで,

$$S = S_A + S_B$$

から, 両辺を入れ換えて

$$S_B = S - S_A \quad (2)$$

とし, この(2)式を(1)式に代入し

$$CT_{TOTAL} = \frac{S_A}{S} * CT_A + \frac{S - S_A}{S} * CT_B \quad (3)$$

(3)式を得る. ここで, 仮に Fig. 1 に示す状態を 2 通り考えて, それぞれ, A の物質がスキャン断面内で占める長さを X, Y としたとき (Fig. 2 参照), それぞれのスキャンによって得られる画像の CT 値をそれぞれ CT_X , CT_Y とすると(3)式より,

Fig. 1 Schematic representation of the scanning section.

Fig. 2 Schematic representation of two different situations having different rated existence for materials A and B.

$$CT_X = \frac{X}{S} * CT_A + \frac{S - X}{S} * CT_B \quad (4)$$

$$CT_Y = \frac{Y}{S} * CT_A + \frac{S - Y}{S} * CT_B \quad (5)$$

となり, この(4)(5)両式より,

$$\begin{aligned} CT_X - CT_Y &= \frac{X - Y}{S} * CT_A + \frac{Y - X}{S} * CT_B \\ &= \frac{(X - Y) * CT_A + (Y - X) * CT_B}{S} \end{aligned}$$

CTにおけるスライス厚の測定—Partial volume effectを用いた測定法—(白石・他)

$$S = \frac{(X-Y) \cdot CT_A + (Y-X) \cdot CT_B}{CT_X - CT_Y} \quad (6)$$

となる。ここで2つのスキャンにおけるAの占める長さの差(X-Y)を作意的に、例えばベッドの送りといったもので与え、この値をFとすると(6)式は

$$S = \frac{F(CT_A - CT_B)}{CT_X - CT_Y} \quad (7)$$

となり、この(7)式の中の値 CT_A 、 CT_B 、 CT_X 、 CT_Y 、Fはすべて実験により求めることが可能で、これよりスライス厚Sが算出される。

2.2 スライス厚測定用ファントム

Fig. 3は今回の実験のために製作したスライス厚測定用ファントムの側面図である。直径200 mm長さ150 mmの亚克力製の筒の中心部に直径30 mm長さ75 mmの亚克力円柱を固定したもので、実験時にはこの筒の中に水を封入して実験を行った。また、2~5 mmといった薄いスライス厚の測定を可能とするために、ファントムの送りが0.1 mmの単位で可能な送り台をファントム下部に取り付けた。また、ファントムの水平度を調整するための高さ調整ネジも取り付けた。

Fig. 3 Lateral view of our original phantom.

また、性能評価委員会勧告のスライス厚測定法との比較も行うために旭メディカル社製AM-CTファントムCT-10も使用して、スライス厚の測定を行った。このファントムのスライス厚測定部は、水ファントム内に0.5 mmAl板を45°傾斜させて固定したものである。

2.3 実験方法

専用ファントムを用いた実際の測定方法の手順は、

1) ファントムの水ファントム部をスキャンし、得られたCT画像の水の部分から(7)式の CT_A にあたるCT値ROIにより求める (Fig. 4a)。

2) 中心部の亚克力円柱が完全にスキャン断面内に含まれるようにファントムを送り込んだ状態でスキャンを行い、得られた画像の亚克力円柱にあたる部分から同じく CT_B にあたるCT値をROIにより求める (Fig. 4b)。

3) アクリル円柱の断端部がちょうどスキャン断面に含まれるようにファントムをポジショニングし、スキャンを行い、得られた画像の亚克力円柱にあたる部分のCT値 CT_X をROIにより求める (Fig. 4c)。このとき、円柱部分全体のCT値のprofileも計測し、スキャン断面に対する亚克力断端部の水平度および垂直度についてポジショニングの補正を行う。

4) 3)で求めた CT_X が $CT_A < CT_X < CT_B/2$ のときには亚克力円柱側へS/2 mmだけファントムを専用送り装置を用いて送り、次のスキャンを行う。このスキャンにより得られた亚克力円柱部分のCT値が CT_Y となる。同様に $CT_B/2 < CT_X < CT_B$ のときには水ファントム側へS/2 mmだけ送ってスキャンを行う。この送り距離については任意の値($0 < F < S$)で設定が可能であるが、計算処理や CT_X と CT_Y のCT値のバランスから考えてS/2とした (Fig. 4c)。

以上の測定においてCT値を計測するさいのROIの設定については、その大きさ、位置を同一に行った。また、計測されたCT値は小数点下2桁で四捨五入し、計算値は小数点下3桁で四捨五入して求めた。

使用したCT装置はシーメンス社SOMATOM-DR3である。この装置は2、4、8 mmのスライス厚を持ち、このそれぞれのスライス厚について専用ファントムを用いた本法と、性能評価委員会の第2次勧告に準拠したスライス厚測定法(以後、傾斜法)の両法で測定を行った。

撮影条件は125 kV, 720projection, 5 sec, 350 mAsを一定とし、スライス厚を2、4、8 mmと変化させ、また、それぞれについてフィルタ関数を頭部用と腹部用の2種類に変化させて測定を行った。

3. 結 果

Table 1は本法と傾斜法で計測されたDR3のスライス厚である。計測はいずれも10回ずつ測定しその平均値と標準偏差を示している。この標準偏差は計算により求められた測定値のバラツキを示し、本法においてROIによりCT値を計測したさいの、CT値のバラツキを示す標準偏差については計算値に含めなかった。また、この測定におけるフィルタ関数は頭部用を用いた。8 mmのスライス厚では、両者とも測定値に誤差は少なく、バラ

Fig. 4 Process for measuring a slice thickness.

- a 1) Scanning of a part of the water phantom.
- b 2) Scanning of a part of the acryl pole.
- c 3) Scanning of a part of the tip of acryl pole.
- d 4) Scanning of a part of $S/2$ mm moved part from scanning 3).

Table 1 Measured slice thickness of our method and ordinary method.

Slice Thickness	2 mm	4 mm	8 mm
Our method	2.26 ± 0.56	4.04 ± 0.56	7.34 ± 0.32
Ordinary method	2.4 ± 0.4	3.4 ± 0.3	7.2 ± 0.2

ツキも少なかったが、4 mm、2 mm と薄いスライス厚になるにつれ、傾斜法と本法の測定値に差が生じた。バラツキについては本法による測定値の方が大きかった。

Table 2 はフィルタ関数を頭部用から腹部用に変化させた時のスライス厚の測定値を示している。本院における頭部用フィルタは高周波強調で、腹部用フィルタは低周波強調となっている。本法による測定値は、頭部用フィルタの方が腹部用に比べてわずかに厚い値となる傾向を示したが、その影響は少なかった。これにたいして、傾斜法においては、フィルタ関数の影響により、測定値に大きな差が生じた。

Table 2 Measured slice thickness of our method and ordinary method.

Variation with filter function of the head and body.

	Filter	2 mm	4 mm	8 mm
Our method	Head	2.26 ± 0.56	4.04 ± 0.56	7.34 ± 0.32
	Body	2.19 ± 0.43	3.93 ± 0.26	7.30 ± 0.27
Ordinary method	Head	2.4 ± 0.4	3.4 ± 0.3	7.2 ± 0.2
	Body	1.9 ± 0.5	3.3 ± 0.4	7.0 ± 0.2

4. 考 察

スライス厚が薄くなった状態において、傾斜法は測定法自身のもつ限界により、誤差をもつと考えられる。傾斜法における Al 板とスライス厚の関係を Fig. 5 に示す。現在、傾斜法の測定には 0.5 mm の Al が用いられている。この 0.5 mm という厚さは、例えば 8 mm のスライス

Fig. 5 Relation between Al plate and slice thickness with the ordinary method.
a 8 mm slice thickness
b 2 mm slice thickness

厚の測定に対してはその半値幅をとることにより、正確な測定が可能である (Fig. 5a)。しかし、2 mm のスライス厚の測定に関しては、CT 値の分布を見てもわかるように半値幅を取るべき傾斜部にくらべて、物質の実際の CT 値を示す平衡部が非常に少なく、また、その CT 値も 8 mm 測定値に比べて 2 mm の値は 3.5 倍の値を示している。また、このそれぞれの CT 値はフィルタ関数などによって、影響を受ける割合も異なっており、測定値に誤差を生じやすい。Fig. 6 に 2 mm スライス厚測定でフィルタ関数を変えたときの傾斜法の CT 値の分布を示す。フィルタ関数の影響により、計測 CT 値の最高値が約 50 違い、半値幅からの測定では両者に 0.5 mm の差が生じる。この差は 2 mm スライスでは 25% の誤差であり、測定誤差としては無視できない。また、この傾斜法はたとえその計測値が正確であったとしても、CT 値の profile の print out よりスライス厚を算出しているために実質的に print out したピクセルサイズの大きさに等しい誤差を持っている。つまり、2 mm のスライス厚の測定時のピクセルサイズが 0.2 mm であれば 10% というようにである。

これに対して、本法においてはスライス厚が薄くなった状態においても CT 値の変動は少なく (2 mm スライス時アクリル CT 値 130, 8 mm スライス時アクリル CT 値 120), 測定値への影響はなかった。ただ、検出線量の不足によりノイズが多く生じ、そのために CT 値が影響を受け、バラツキは傾斜法よりも悪くなった。しかし、

Fig. 6 Distribution of measured CT number of the ordinary method.
Difference with filter functions of head and body.

このバラツキは撮影条件の mAs を増やすことにより減少が可能であった。

フィルタ関数の影響が傾斜法に比べて少なかった理由を考えると、傾斜法においてはフィルタ関数の CT 値に与える影響が一方的であるにも関わらず、本法においては計算途中でその影響が相殺されたためと考えられる。かりにフィルタ関数がすべての CT 値に K という関数で乗じられたとすると本法において測定された CT_A , CT_B , CT_x , CT_y は、すべてフィルタ関数により KCT_A , KCT_B , KCT_x , KCT_y となる。しかし、この関数 K は (7) 式によるとスライス厚の算出のさいにはすべて相殺されている。また、今回製作したファントムでは A, B 2 つの物質に水とアクリルを使用しているの、両者の CT 値の差が傾斜法の Al と水の場合に比べて少なく、これも補正関数の影響を受けにくかった一因と考えられた。

本法の測定誤差については、それぞれ CT 値を ROI により測定した際に得られる CT 値のバラツキを示す標準偏差により左右される。すなわち、バラツキの多い測定値による計算値はそれだけ計算値内に誤差を含んでいることになる。そのため、本法の測定にあたっては、性能評価委員会の報告に従った、コントラストスケールおよび雑音の測定を平行して行うことが望ましい。本条件におけるコントラストスケールおよび雑音を Table 3 に示

す。

この他の実験誤差の要因としてはアクリル円柱断端のスキャン断面に対する垂直性や中心部のアーチファクトによる測定値の誤差があったが、垂直性についてはファントムに調整用ネジを取り付け、アーチファクトについてはキャリブレーションの励行により対処した。

専用ファントムによる実験では送り距離の誤差をなくすために専用送り台を使用した。CT 装置の送り装置を利用しても装置によっては精度が高く、測定の正確度は高かった。(Table 4)

Table 3 Contrast scale and noise of Somatom-DR3.

Thickness	Filter	Noise ($\% \sigma_{\mu_w}$)	Contrast Scale $\text{cm}^{-1}/\text{CT 値}$
8 mm	Head	0.362	0.000187
	Body	0.508	0.00019
4 mm	Head	0.558	0.000188
	Body	0.704	0.000192
2 mm	Head	0.814	0.000188
	Body	1.043	0.000182

Table 4 Measured slice thickness using feed mechanism of the CT equipment.

Slice Thickness	2 mm	4 mm	8 m
Feed by phantom	2.26 ± 0.56	4.04 ± 0.56	7.34 ± 0.32
Feed by CT table	2.19 ± 0.8	4.04 ± 0.48	7.32 ± 0.42

5. ま と め

CT 装置のスライス厚の測定は傾斜法がもっとも一般的であり、本施設においても通常の測定においてはおもにこの方法を用いている。また、実際の臨床使用において 1 mm 以下の誤差は、ほとんどの場合、診断に影響がなく、今回計測されたような精度の測定値の必要性には問題がある。しかし、傾斜法が日常のチェックには至適であっても、薄いスライス厚などにはその精度に疑問点

があることは事実である。そのため、メーカーのサービスの調整に一任した形ではなく、本当のスライス厚について確信の持てる測定法として、今回 Partial volume effect を用いた測定法を考案した。本法は専用のファントムを使用するために、一般的とは言えないが、その理論を用いて実験を行うことは比較的簡便であり、その測定精度も良いと考える。以上から、本法は CT のスライス厚の測定の方法としては非常に有用な方法であると考ええる。

参考文献

- 1) R.A. Rutherford, B.R. Pullan and I. Isherwood: Calibration and Response of an EMI Scanner. *Neuroradiology*, 11, 7-13 (1976)
- 2) Bertil Axelsson: An Investigation of the Slice Geometry of the EMI Head Scanner. *Computed Tomography*, 1 (2), 187-190, (1977)
- 3) Rodney A. Brooks and Giovanni Di Chiro: Slice Geometry in Computer Assisted Tomography. *Computed Tomography*, 1(2), 191-199, (1977)
- 4) 沢田武司他: 国産 Computed Tomography における Slice 厚の測定. *日放技学誌*, 33(2), (1977)
- 5) 沢田武司他: CT における Slice 厚の問題点. *日放技学誌*, 33(2), (1977)
- 6) 沢田武司他: 第1.3世代 CT スライス厚の比較検討. *日放技学誌*, 35(2), (1979)
- 7) CT 性能評価委員会: X線コンピュータ断層撮影装置の性能評価に関する基準(第1次勧告). *日医会雑誌*, 82(10), 1175-1185, (1979)
- 8) CT 性能評価委員会: X線コンピュータ断層撮影装置の性能評価に関する基準(第2次勧告). *日医会雑誌*, 88(8), 759-771, (1982)
- 9) 段床嘉晴: 各種ファントムの比較—性能評価委員会勧告と対比して—. *日放技学誌*, 38(5), 707-713, (1982)
- 10) 竹中榮一: CT 性能評価委員会勧告の注意事項について. *日放技学誌*, 38(5), 701-706, (1982)