ノート

16DAS-MDCT使用のMPR画像における
角度変化に伴う解像度評価

木村幹郎・臼井淳之・野沢武夫

横浜市立大学附属病院放射線部

論文受付
2006年9月6日論文受理
2007年1月18日

Code No. 251

緒言

近年, CT(computed tomography)装置の多列化により, 画像診断は従来のaxial画像に加え, coronal画像, sagittal画像, 3D(three-dimensional)画像などを組み合わせることで, いろいろな角度から病変を診断できるようになってきている。しかし, 診断に使用しているMPR(multiplanar reformation)画像と3D画像の画質評価は, いまだに確立されていないのが現状である¹⁾。

今回, 16DAS-MDCT(16 data acquisition system multi detector row computed tomography)を使用した3D画像の解像度を求めるために, さまざまな角度のMPR画

像のスライス面に角度を一致できるRCファントム(rotatable comb phantom)を独自に作成し, 当院の頭部3D-CTA(three-dimensional computed tomographic angiography)の撮影条件で撮影し, 得られたスライス厚0.75mmのaxial画像から, 任意に角度を変化させたMPR画像を作成し, 各角度におけるスライス面のMTF(modulation transfer function)を測定し, 解像度の比較, 検討を行った。MTF測定は市川らが報告している矩形波チャートを用いたフーリエ法による, プリサンプリングMTFの測定法²⁾を使用してMTFを求めた。

Evaluation of the Resolving Power of Different Angles in MPR Images of 16DAS-MDCT

Mikio Kimura, Junshi Usui, and Takeo Nozawa

Department of Radiology, Yokohama City University Hospital

Received Sept. 6, 2006; Revision accepted Jan. 18, 2007; Code No. 251

Summary

In this study, we evaluated the resolving power of three-dimensional(3D)multiplanar reformation(MPR) images with various angles by using 16 data acquisition system multi detector row computed tomography (16DAS-MDCT). We reconstructed the MPR images using data with a 0.75 mm slice thickness of the axial image in this examination. To evaluate resolving power, we used an original new phantom(RC phantom) that can be positioned at any slice angle in MPR images. We measured the modulation transfer function (MTF) by using the methods of measuring pre-sampling MTF, and used Fourier transform of image data of the square wave chart. The scan condition and image reconstruction condition that were adopted in this study correspond to the condition that we use for three-dimensional computed tomographic angiography(3D-CTA) examination of the head in our hospital. The MTF of MPR images showed minimum values at slice angles in parallel with the axial slice, and showed maximum values at the sagittal slice and coronal slice angles that are parallel to the Z-axis. With an oblique MPR image, MTF did not change with angle changes in the oblique sagittal slice plane, but in the oblique coronal slice plane, MTF increased as the tilt angle increased from the axial plane to the Z plane. As a result, we could evaluate the resolving power of a head 3D image by measuring the MTF of the axial image and sagittal image or the coronal image.

Key words: computed tomography (CT), modulation transfer function (MTF), multiplanar reformation (MPR) image, trilinear interpolation, three-dimensional (3D) image

別刷資料請求先: 〒236-0004 横浜市金沢区福浦3-9
横浜市立大学附属病院 放射線部 木村幹郎 宛

Fig. 1 Sketch map and front view of the rotatable comb phantom.

1. rotatable comb phantom

MPR画像の解像度測定には、独自に作成したRCファントムを用いた。このファントムは過去に報告があった頭部3D-CTAの血管描出能評価ファントムとして発案、作成された「くし形ファントム」³⁾に改良を加えたものである。くし形ファントムはaxial, coronalおよびsagittalの各スライス面における解像度が測定できるようになっている。しかし、数種類の空間周波数のスリットが同平面上の同軸上に配列されていないため、視覚的評価やcontrast ratioによる解像度測定は可能であるが、MTFの測定は不可能であった。RCファントムは上記の3スライス面以外のMPR画像の解像度も測定できるように機能を付加して、さまざまな角度のスライス面に測定面を合わせられる構造のファントムとした。RCファントムの見取り図と正面からの外観写真をFig. 1に示した。RCファントムは5種類のスリット(空間周波数; 0.5, 0.625, 0.714, 0.833, 1.0 cycles/mm)を同平面の同軸上に配列した直径50mm, 厚さ5mmの円盤状のチャート部と、それを支持するベース部とで構成されている。今回の実験では、これを矩形波チャートと位置づけ、解像度の評価を行った。

チャート部は、エポキシ樹脂製で、CT値は600HUになるように調整してある。ベース部のチャート部取り付けは、平面上において自由な角度でベース部に装着できる構造となっている。測定時は、測定スライス面に一致した角度に合わせることができる。

RCファントムは、くし形ファントム同様に頭部3D-CTAの血管描出能評価ファントムとして作成した。被写体コントラストを実際の検査時に近づけた状態で視覚的評価により画像評価をするためには、円柱型のア

クリル製水ファントム用ケース内部に取り付けて用いる(Fig. 2)。アクリル製水ファントム用ケース取り付け時には、チャート部回転中心と水ファントム用ケースの中心が一致する構造となっている。ベース部はsagittalとcoronalの各スライス面および、それを2分割する角度に平行な面と一致するように水ファントム用ケースに取り付けられるため、double oblique MPR画像の解像度測定が可能である。

2. その他の使用機器

16DAS-MDCT装置は、Somatom Sensation16(シーメンス旭メディテック株式会社製)を使用、ワークステーションは、Virtual Place Advance(株式会社AZE製)を使用した。RCファントムを内部に固定して測定位置にセットするためのケースとして、20cmφ円柱型アクリル製水ファントム用ケース(株式会社京都科学製)を使用した。

3. 方法

空気を充填したアクリル製水ファントム用ケースにセットしたRCファントムを使用して、MPR画像の解像度としてMTFを測定した。測定時の概観写真と幾何学的配置図をFig. 3に示した。測定は、CT装置の管球が回転する方向を対象としたrotate角度を、0, 45, 90deg一定としたときの各角度について、CT装置のガントリーが傾斜する方向を対象としたtilt角度を、0degから90degまで15degずつ増加させた7スライス面において行った。測定回数は各スライス面とも、3回測定し、平均値を求めた。

撮影条件と再構成条件は、当院において頭部3D-CTA検査に使用している条件で、電圧: 120kV, eff.

Fig. 2 Setup procedure of the rotatable comb phantom.

Fig. 3 Geometric arrangement for measurement.

mAs : 25 ~ 250mAs (25mAsステップで変化), rotation time : 0.5sec/rot, pitch : 0.833, slice collimation : 16×0.75mmとした。画像再構成条件はkernel : H31(頭部3D-CTAの観察に使用する標準的なもの), slice thickness : 0.75mm, recon increment : 0.4mm, FOV : 20cmとした。

解析方法は、再構成画像データをワークステーションに転送して3D画像解析ソフトにて解析し、CSVファイル化したチャート中心軸のサンプリングデータを求めた。求めたサンプリングデータは、表計算ソフトのExcelにて、矩形波チャート像のフーリエ法によるプリサンプリングMTFの測定法²⁾を使用してMTFを求めた (Fig. 4)。3D画像解析ソフトは三次元線形補間 (trilinear interpolation, 以後、線形補間) で画像再構成するソフトを使用した。

Fig. 4 Method of image analysis for the measurement of MTF and schematic diagram for the calculation of waveform reproduction.

用語としてeff. mAs⁴⁾は装置特有の撮影パラメータでありmAs×rotation time/pitchで表される。tilt角度とrotate角度とは、チャートの中心軸がMPR画像の角度に一致して回転する角度のことで、tilt角度とはCT装

Fig. 5 Sagittal images of tilt angles of 0 deg, 15 deg, 30 deg, 45 deg, 60 deg, 75 deg, and 90 deg settings in rotate angle 0 deg.

置のガントリーが傾斜する方向を対象とした角度で、oblique coronal面の角度変化とし、axial面(X-Y平面)に平行な角度を 0deg、Z軸に平行な角度を90degとした(Fig. 5)。rotate角度とは、CT装置の管球が回転する方向を対象とした角度で、oblique sagittal面の角度変化とし、sagittal面(Y-Z平面)に平行な角度を 0deg、coronal面(X-Z平面)に平行な角度を90degとした(Fig. 6)。

4. 結果

各rotate角度を一定として、tilt角度を増加させたときの各スライス面におけるMTFの変化をFig. 7に、各tilt角度を一定として、rotate角度を増加させたときの各スライス面におけるMTFの変化をFig. 8に示した。

rotate角度を一定としたときのMTFは、各rotate角度ともtilt角度 0degで最低値を示し、tilt角度の増加に伴い増大して90degで最高値に達した。

tilt角度を一定としたときのMTFは、各tilt角度ともrotate角度の増加により変化することなく、ほぼ同一の値を示した。

5. 考察

今回の測定結果において、MTFがMPR画像のtilt角度 0degで最低値を示し、角度の増加に伴い増大し、tilt角度90degで最高値を示したのは、線形補間を用いる画像再構成においては、補間関数分のスムージング

効果による影響はあるが、エッジ強調のようなフィルター効果がないため⁵⁾、kernelからの影響力が減少していく 0degから90degへと角度が変化することにより、MTFが増加したものとする⁶⁾。同一のtilt角度においてrotate角度を増加させてもMTFに変化がなかったのは、線形補間による画像再構成では解像度に影響を与える因子が少ないためと考える。CTのaxial画像の解像度は、raw dataから画像再構成するときに使用するkernelとボクセルサイズから強い影響を受ける⁷⁾。線形補間で画像再構成するMPR画像では、再構成に必要な任意点のCT値を、任意点を取り囲む8個のボクセルのCT値と、ボクセル中心点から任意点までの距離によって算出する重み付け補正により画像再構成するため、MPR画像の角度変化に伴うMTFの変化が今回の結果のようになったと考える。

また、今回の測定において使用したフーリエ法によるプリサンプリングMTFの測定では、サンプリングデータのサンプリング間隔は、MPR画像再構成後のボクセル中心点間距離に相当し、MPR画像再構成時のtilt角度に依存して変化する。今回の測定結果における画像再構成条件では、tilt角度 0～30degで0.39mm、45～90degで0.4mmとなり、ナイキスト周波数が1.25cycles/mmとなる。0.625cycles/mmの基本波に対する第1高調波の折り返しによる、エリアシング誤差を考慮しなければならない結果であるが、市川らの

Fig. 6 Arrangement for measurement at rotate angles of 0 deg, 45 deg, and 90 deg .

Fig. 7 MTF at different tilt angles at each rotate angle.
(a) 0 deg, (b) 45 deg, (c) 90 deg

Fig. 8 MTF at different rotate angles at each tilt angle.
 (a) 0 deg, (b) 15 deg, (c) 30 deg, (d) 45 deg, (e) 60 deg, (f) 75 deg, (g) 90 deg

報告において、フーリエ法では歪みの程度が弱く波形の周期が判別できるような波形であれば、波形再生法が利用可能である²⁾、と明記されていることから、今回の測定で得た結果は有効であると判断し報告した。

6. 結 語

今回の報告では、16DAS-MDCTを使用した3D画像の画像特性評価の一つとして、解像度を求めるため

に、ファントムを考案、作成してMTFを測定した。今回の報告で使用した撮影条件と画像再構成条件では、MPR画像のMTFはrotate角度の変化に関係なく、tilt角度 0degで最低値を示し、tilt角度の増加に伴いMTFも増大して90degで最高値に達することが測定できた。

この結果より、axial画像とsagittal画像またはcoronal画像のMTFを測定することにより、頭部3D画像およびMPR画像の解像度が評価可能と考える。

参考文献

- 1)辻岡勝美：X線CT装置の機器工学(8)-性能評価と機器管理-。日放技学誌，58(9)，1203-1207，(2002)。
- 2)市川勝弘，國友博史，櫻井貴裕，他：矩形波チャート像のフーリエ変換によるプリサンプリングMTFの新しい測定法。日放技学誌，58(9)，1261-1267，(2002)。
- 3)小寺秀一：頭部3D-CTAの画質向上を目的としたDual detector CTの有用性の検討。GE today，9，13-16，(2002)。
- 4)村田勝俊：Multi-Detector Row CTの基礎とアプリケーション。Med Imag Tech，19(1)，17-20，(2001)。
- 5)Venema HW, Phoa SS, Mirck PG, et al.: Petrosal bone: coronal reconstructions from axial spiral CT data obtained with 0.5-mm collimation can replace direct coronal sequential CT scans. Radiology, 213(2)，375-382(1999)
- 6)Fuchs ThOJ, Krause JU, and Kalender WA: Measurement of 3D Spatial Resolution in Multi-slice Spiral Computed Tomography. PHYSICA MEDICA, VOL. XVII, N. 3, 123(2001)
- 7)Kachelriess M, Watzke O, and Kalender WA: Generalized multi-dimensional adaptive filtering for conventional and spiral single-slice, multi-slice, and cone-beam CT. Med Phys, 28(4) 475-490(2001)

図表の説明

- Fig. 1 rotatable combファントムを正面から見た外観と見取り図
 Fig. 2 rotatable combファントムのセットアップ手順
 Fig. 3 測定時の幾何学的配置
 Fig. 4 MTF測定時の画像解析と波形再生を用いた計算処理過程の概要
 Fig. 5 rotate角度 0degにおける各tilt角度設定時のsagittal画像
 Fig. 6 測定時における各rotate角度の幾何学的配置
 Fig. 7 各rotate角度におけるtilt角度増加に伴うMTFの変化
 (a) 0deg, (b) 45deg, (c) 90deg
 Fig. 8 tilt角度を一定にしたときのrotate角度増加に伴うMTFの変化
 (a) 0deg, (b) 15deg, (c) 30deg, (d) 45deg, (e) 60deg, (f) 75deg, (g) 90deg