

X線CTの画像評価 (II)

——ウィナースペクトルの測定——

佐々木清昭, 大久敏弘*, 伊藤道明*
安彦 茂**, 鈴木正吾***

東北大学医学部附属病院

*NTT 東北病院

**仙台赤十字病院

***東北大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科

Evaluation of CT-Image (II)

——Determination of
Wiener Spectrum——

Seisyo SASAKI, Toshihiro OHISA*, Michiaki ITOH*
Shigeru ABIKO** and Shogo SUZUKI***

Department of Radiology, Tohoku University Hospital

**Department of Radiology, NTT Tohoku Hospital*

***Department of Radiology, Sendai Redcross Hospital*

****Department of Radiological Technology, College of Medical Sciences, Tohoku University*

Key words: Computed Tomography, Wiener Spectrum, Evaluation of Granularity, Digital Image

We took computed tomographic (CT) image data of Water phantom, uniform subject, into a personal computer system, and tried to evaluate granularity of the images by means of Wiener spectrum. The spectrum proved to be very useful in evaluating granularity of the CT images, when various imaging conditions were changed as to slice thickness, tube voltage, tube current, reconstruction field size, reconstruction filter and so on. We believe that using of the Wiener spectrum in evaluating image quality is effective in comparing performance of various equipments and understanding characteristics of reconstruction filters. This method also facilitates proper selection of imaging conditions in clinical settings.

はじめに

画像のデジタル化が進み、その画像評価が行なわれてきている中で、デジタル画像の草分け

的存在である X 線 CT 画像の物理的評価についての報告はそれほど多くないようである。

今回、X 線 CT の画像データをパソコンに取り込み、粒状性についてウィナースペクトルによる

評価を行なったので報告する。

測定方法

1. ウィナーズペクトル (以下 WS) について

粒状性には、画像を肉眼で観察するとき、ざらつきとして感じさせる性質としての心理的粒状性と粒状がある限られた範囲での濃度変動として客観的に測定されたときの性質を表わす物理的粒状性とに大別される。WS は、後者の物理的粒状性の表示方法の1つであり、変動を統計的に扱う自己相関関数をフーリエ変換して得られる物理量である^{1)~3)}。現在、WS は、主としてスクリーン/フィルム系の粒状性を評価する場合に用いられている。

CT 画像において、WS を用いる場合、臨床時における読影に際しては、レーザープリンターやマルチフォーマットカメラによるフィルムへのハードコピーが一般的であるため、フィルムでの WS 測定が重要となってくるが、この場合には CT 装置以外のハードコピー装置の性能も加味されてしまう。今回は CT 装置の評価を目的としているため、画像のもととなるデジタルデータに対して WS による粒状性の評価⁴⁾を行なった。

2. 使用機器

X 線 CT 装置としては、Quantex (GE 横河)、TCT-900S/FLEET (東芝) の 2 機種を用いて行ない、TCT-900S/FLEET の画像データをフロッピーディスクに書き込むために、独立コンソールである Xlink を使用した。

粒状性評価用の画像を撮影するための被写体として、TCT-900S/FLEET 付属のコレクションデータ収集用水ファントム (24 cm 径, 32 cm 径) を使用し、フロッピーディスクに収集した画像データを解析するためにパソコン (PC-9801 FA) を使用した。

3. 検討項目

CT 装置での収集画像の粒状を WS を用いて評価する上で、測定の基本となる事項および装置の基本性能評価に有効なパラメータ毎の WS 測定

を目的として以下のような項目の検討を行なった。

- ① 仮想スリットとしての Y 方向ピクセル数と WS の変化
- ② 撮影 mAs 値と WS の関係
- ③ 撮影スライス厚と WS の関係
- ④ フィルタ関数の特性と WS の変化
- ⑤ 再構成領域 (Reconstruction Field) サイズと WS の関係
- ⑥ 収集モードの違いと WS の関係
- ⑦ 撮影管電圧と WS の変化
- ⑧ コレクションデータ収集前後での WS の変化

4. WS の測定手法

(1) WS の測定手順のフローチャートを図 1 に示す。

① 撮影条件、撮影モード等の収集条件および再構成フィルタ関数、再構成領域サイズ等の再構成条件を同一にして、スキャンフィールドと等し

CT 画像のウィナーズペクトルの測定法
(フローチャート)

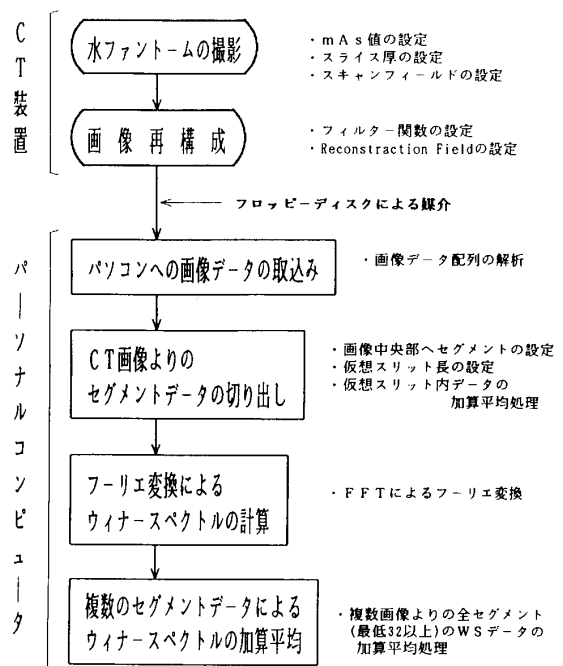


図 1. ウィナーズペクトルの測定手順

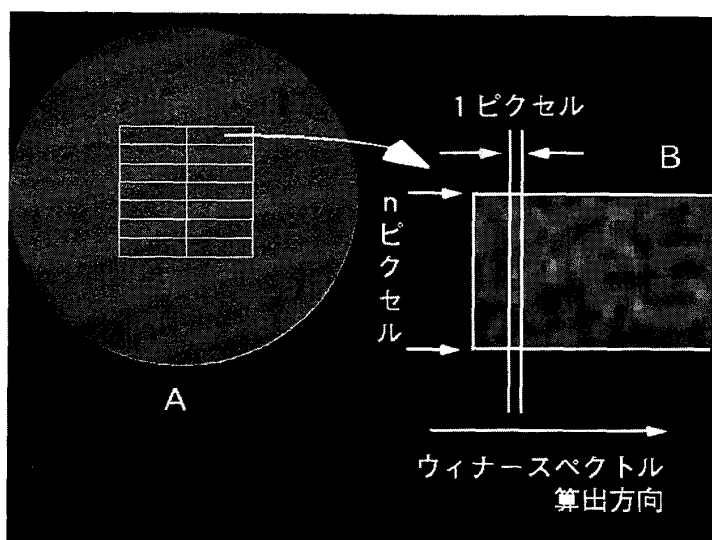


図2. セグメントの切り出しと計算

い直径の水ファントームを均一の被写体として、粒状性評価用のCT画像を複数枚撮影する。

撮影条件としては、Quantexにおける120 kV, 200 mA, 2 sec, 10 mm厚のScanを基準とし、検討項目毎に各種パラメータを変更して比較を行っている。画像の再構成関数は、QuantexにおいてはStandardをTCT-900S/FLEETではF02を標準として使用した。

② CT装置からフロッピーディスクを介して、パソコンに取り込んだ各CT画像⁵⁾の中央部にセグメントデータを切り出し⁶⁾、複数のセグメントよりウィナースペクトルを求める。

③ 同一条件下での複数枚のCT画像より得られた各セグメント毎のWSデータを平均して、その撮影条件での最終的なWSとする。

(2) 画像からのセグメントの切り出し法と処理

実際のセグメントの切り出し法としては、図2のように画像の中央部に複数のセグメントを設定し、フィルムでのWS測定の際に用いられるマイクロデンシトメータのスリットに相当するものとして、1ピクセル幅の仮想スリットを想定する。仮想スリットのY方向のピクセル数は、画像のフィールドサイズにより変化させ、スリット内のピクセルの加算平均によりデータ抽出を行なう。すなわち、X方向の1ラインのプロファイルをY

方向のピクセル分だけ加算平均していることを意味している。

実際の計算においては、被写体面におけるスリット長が同一となるように、画像の再構成領域が24 cm径以上の場合は16ピクセル、再構成領域が6 cm径の場合には64ピクセル分の加算平均を行ない、領域径がこの間に相当する場合には、比例計算により加算平均するピクセル数を決定している。

その後、セグメント長128ピクセルのデータに対しフーリエ変換を行ない、そのセグメントでのWSを求めているが、これを最低32セグメント以上のセグメントデータ毎に繰り返し、平均して最終的なWSを求めている。

また、計算過程において、画像の拡大率等の補正処理を行っており、最終的に得られるWSは被写体面での粒状を表わしていることになる。

結 果

通常、WSの周波数軸は、対数表示されるが、以後の結果のグラフでは、CT画像の周波数帯域が狭いため、高周波数域のWS値の変化を観察し易いように横軸をリニアスケールで表わしてある。

使用した撮影装置の名称および撮影条件等は、グラフに付記してあるものを参照のこと。

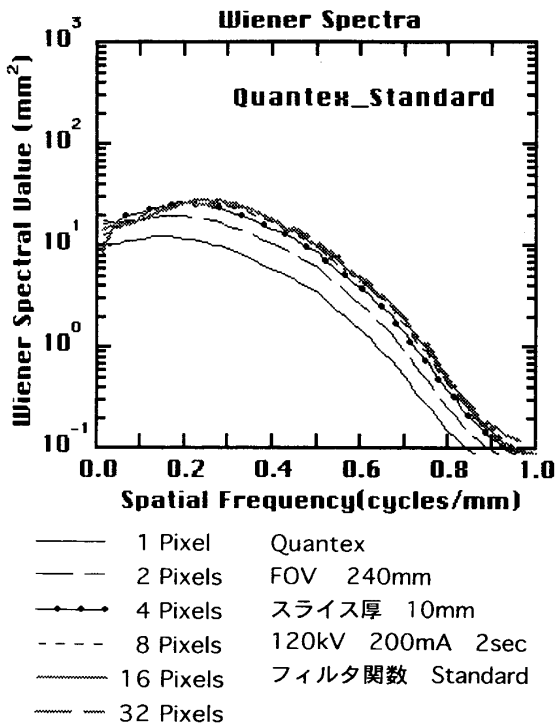


図3. 仮想スリット長と WS の変化
(装置: Quantex)

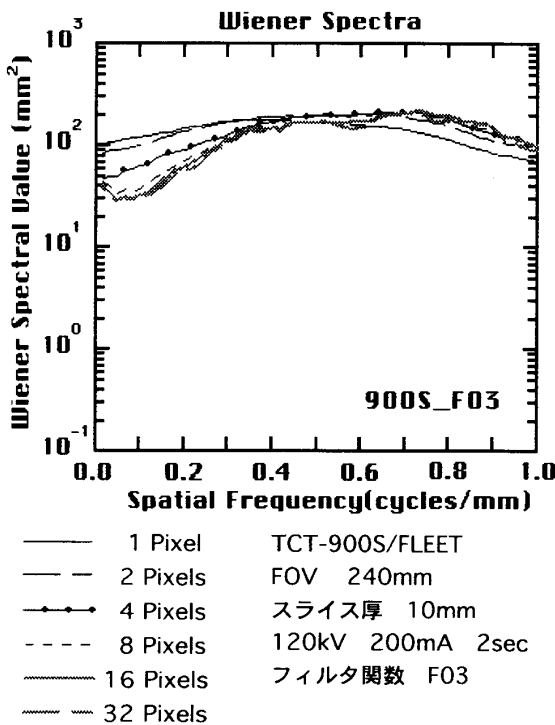


図4. 仮想スリット長と WS の変化
(装置: TCT-900S/FLEET)

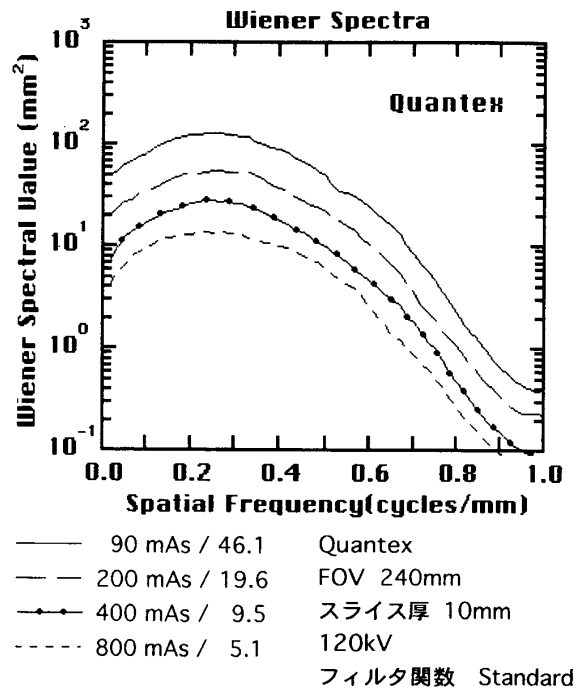


図5. 撮影 mAs 値と WS の関係

1. 仮想スリットのピクセル長と WS 変化

前述の仮想スリットについて、加算平均を行なう Y 方向のピクセル数と WS の関係を Quantex でのデータを図3に、TCT-900S/FLEET でのデータを図4に示す。グラフは、再構成領域が直径 24 cm での結果である。

Quantex では、ピクセル数の増加とともに全周波数域で WS が上昇し、8 ピクセル程度で飽和しており、仮想スリット長としては、16 ピクセル程度あれば十分であることが分かる。しかし、TCT-900S/FLEET では、ピクセル数の増加とともに低周波数域で WS が低下し、高周波数域で上昇し飽和する傾向を示している。これは、フィルター関数の特性によるものと考えられる。

2. 撮影 mAs の変化と WS の関係

撮影時の mAs 値として、90, 200, 400, 800 mAs と撮影条件を変化させたときの WS の変化を図5に示す。

グラフの様に、mAs 値の上昇とともに全周波数域で WS 値が低下し、粒状が改善していることが分かる。各 mAs 値の右に 0.5 Cycles/mm までの WS の積分値を付記したが、mAs 値の上昇に反比

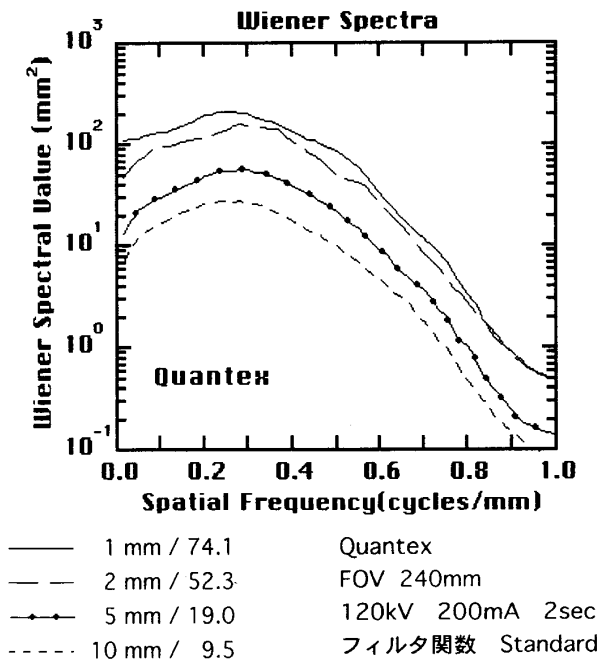


図6. 撮影スライス厚とWSの関係

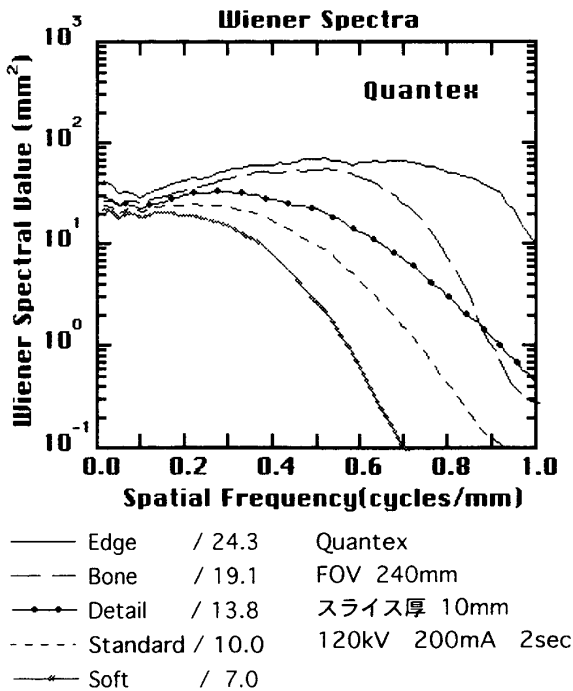


図7. フィルタ関数の特性とWSの関係

例してWSの積分値が低下しており、CT画像の粒状とmAs値とは臨床での撮影条件域では比例関係にあることが分かる。

3. 撮影スライス厚とWSの関係

撮影スライス厚を、1, 2, 5, 10 mmと変化させたときのWSの変化を図6に示す。

スライス厚を薄くするとそれに反比例して全周波数域でWS値は上昇し、粒状が劣化していることが分かる。1, 2 mm厚での変化が小さくなっているが、これは測定誤差および実効的なスライス厚の設定誤差によるものと考えられる。

図5のグラフの10 mm厚で撮影mAs値が半分の200 mAsと5 mm厚で400 mAsのWSとは良く一致する結果となっている。

4. フィルタ関数の特性とWSの変化

再構成時のフィルタ関数⁷⁾を変化させたときのWSの変化を図7に示す。

Quantexは、Soft, Standard, Detail, Bone, Edgeの再構成フィルタ関数を搭載しているが、これらの関数は、順にスムージング、コントラスト強調、辺縁強調タイプのフィルタ関数であり、高周波域の強調が強くなる傾向がある。このため、次第に高周波域のWS値が大きくなり、粒状が劣化する傾向にあることが今回の測定により確かめられた。

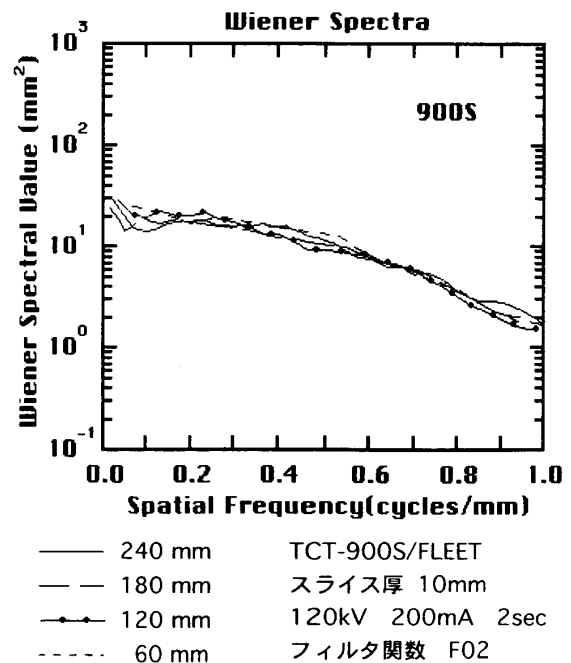


図8. 再構成領域の大きさWSの関係

5. 再構成領域サイズと WS の関係

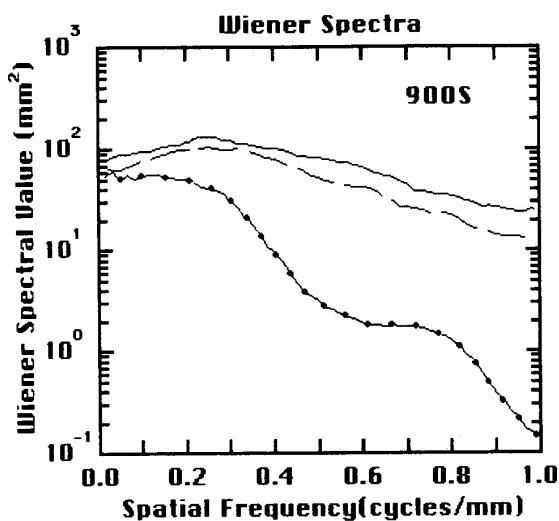
スキャンフィールドサイズ一定で、再構成領域の大きさを変化させた時の WS の変化を図 8 に示す。

グラフのように、再構成領域の大きさによらず、WS はほぼ一定の値を示しており、被写体面での粒状として比較するとほとんど変わらないことが分かる。このことは、X 線 CT の画像評価 (I) の MTF の報告にもあるように、画像を大きく再構成しても被写体面での MTF, WS がともに変化しないのであれば、画像の見易さという点からは、使用するフィルタ関数等にもよるが、人間の目の分解能等を考慮すると、十分に大きく再構成するほうが良いことになる。

6. 収集モードの違いによる WS の変化

収集モードの違いによる WS の変化を図 9 に示す。

TCT-900S シリーズは、第 4 世代の CT であり、2304 個の検出器素子がリング状に配列され、その外側を X 線管球が回転している。第三世代と同様に扇状の X 線照射により一定の間隔で投影データのサンプリングが行なわれるが、そのサン



— SR / 51.4 TCT-900S/FLEET
 - - HR / 41.0 FOV 240mm
 -●- MR / 17.0 スライス厚 10mm
 120kV 200mA 2sec
 フィルタ関数 F02

図 9. 収集モードの違いと WS の関係

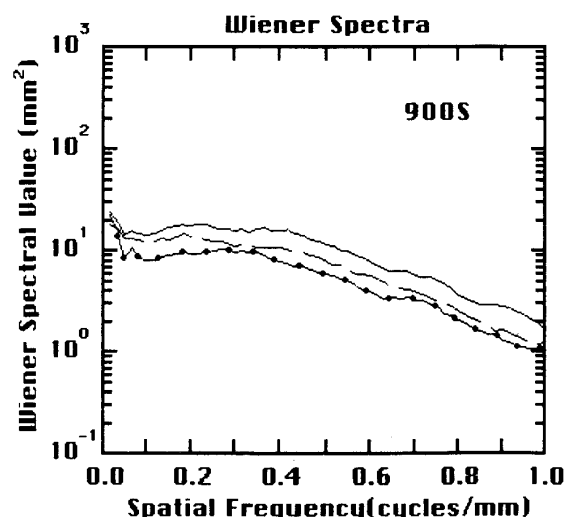
プリング点を、X 線管球側からではなく検出器を中心として扇状に広がるデータ群としてとらえると、ある角度方向の投影データ (ディテクタファン) として扱うことができる。このことは、見かけ上投影データ数を増やせるため高分解能を実現できるとともに、サンプリング数の増減によりサンプリングピッチを変えることができるということであり、サンプリングデータ数を変化させることで空間分解能を変化させることが可能であるということになる⁸⁾。

TCT-900S/FLEET には、MR, HR, SR の順にサンプリング数の多い高分解能を実現する撮影モードが存在し、各モードでのサンプリング数は、MR=2300, HR=3450, SR=6900 である。

グラフより SR<HR<MR の順に粒状が改善しているが、同一撮影条件にもかかわらず、サンプリングデータ数の多い SR の方が、全周波数域にわたって HR よりも粒状が劣化しており、データ収集系におけるノイズ成分が多いことが推察できる。

7. 管電圧変化時の WS の変化

撮影条件が 120 kV, 400 mAs および 800 mAs



— 120kV 400mAs / 7.9 TCT-900S/FLEET
 - - 140kV 400mAs / 5.9 FOV 240mm
 -●- 120kV 800mAs / 4.5 スライス厚 10mm
 120kV 200mA 2sec
 フィルタ関数 F02

図 10. 撮影管電圧と WS の関係

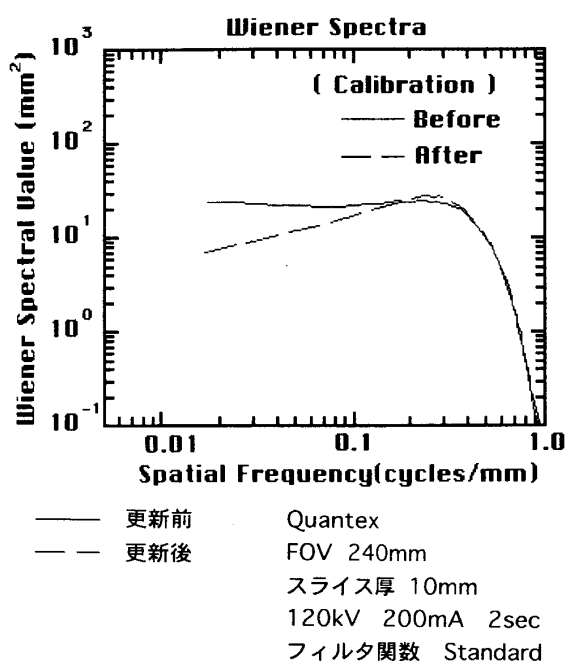


図 11. コレクションデータと WS の関係

と 140 kV, 400 mAs での WS の変化を図 10 に示す。グラフのように管電圧を 20 kV 上げることで粒状が改善されていることが分かる。

管電圧 20 kV の変化は、mAs 値換算で 2 倍程度の変化があると言われているが、X 線利用効率の高いとされる TCT-900S の固体検出器 (CdWO₄ 化合物) でも、mAs 値を 2 倍にした場合に比べ、その効果は小さく期待されるほどの粒状の改善がないことが分かった。

8. コレクションデータ収集前後での WS 変化

通常、CT 画像の均一性の評価は、コレクションデータの収集後、均一ファントムを撮影し、画像の CT 値の標準偏差をもって評価している⁹⁾。

図 11 は、Quantex においてコレクションデータ更新前後での WS の変化を見たものであるが、これを標準偏差を用いて評価すると WS の積分値としてとらえられるので、その変化は僅かなものとなり識別できない。

しかし、WS で比較すると低周波数域での変化が良く把握でき、更新前には大きなムラ（長周期のムラ）が存在していたことが分かる。このムラは、実際の臨床画像上は認識されることは少ない

と考えられるが、参考値として臓器等の CT 値を測定した場合には、測定値に影響を及ぼすことも考えられ問題となる。

ま と め

以上述べてきたように、CT 画像の粒状性評価法として WS を用いることは、装置に搭載されているフィルタ関数の特性を把握する上で非常に有効であり、臨床画像の処理に際して、適切な再構成関数の選択を可能にするものと考えられる。

また、WS による粒状の評価法は、CT 装置の特性を測定する物理的手法としてだけではなく、収集画像の均一性、経時的な測定による X 線装置出力等の変化の把握、装置の整備・調整およびコレクションデータ更新の目安などの維持管理にも、積極的に活用されるべきであると考えられる。

しかし、機種間の性能比較に用いる場合には、大部分の CT 装置でジオメトリが公表されていないこと、および CT 装置での X 線線質、線量の測定法が確立していないことなど多くの問題点があるため、十分に注意して評価する必要があると考えられる。

文 献

- 1) Doi, K.: Basic Imaging Properties of Radiographic System and Their Measurement, 岡田弘治ほか訳, 放射線画像の特性と測定, 日本放射線技術学会, 1988
- 2) 山下一也: X 線の画像評価の問題点とその展開, 日本放射線技術学会誌, **33**, 267-281, 1977
- 3) 内田 勝, 稲津 博: 放射線画像の評価, 日本放射線技術学会誌, **34**, 556-585, 1979
- 4) Hanson, K.M.: Noise and contrast discrimination in computed tomography, General theory of computed tomography, CHAPTER 113, p 3941-3955
- 5) 上田幸介, 吉本政弘, 川上寿昭: パーソナルコンピュータによる CT 画像データ (東芝 TCT-70A) の読み取りについて, 日本放射線技術学会誌, **43**, 690-693, 1987
- 6) 秋山三郎, 伊藤 武: TCT-80A の性能と評価(第二報), 日本放射線技術学会誌, **39**, 602-608, 1983
- 7) 沢田武司, 土屋卓義, 鈴木昇一ほか: CT 像と補正

- 函数 Weighting factors の検討, 日本放射線技術
学会誌, **33**, 712-717, 1978
- 8) 荒館 博: CT 技術の変遷, 木村和衛, 古賀佑彦監
修, ヘリカルスキャンの基礎と臨床, 第一版, 東
京, 1993, p 6-13
- 9) 竹中栄一, 飯沼 武, 遠藤真広ほか: 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
(第二次勧告), 日本医師会雑誌, **88**, 759-771, 1982