原 著

イメージングプレート(CR)の基本的な物理特性

西原貞光¹⁾・大村敬子²⁾・吉田賢一²⁾・大塚昭義²⁾・山内秀一²⁾・上田克彦²⁾

論文受付
1996年6月7日

論文受理
1996年8月23日

Code No.254,
532,
814

1) 山口大学医学部附属病院放射線部

現 広島県立保健福祉短期大学放射線技術科学科

2) 山口大学医学部附属病院放射線部

1. はじめに

FCRシステムが登場して10年以上経過し、装置もFCR 101からFCR 9000となって多くの改良がなされてきた。大きな改良点は、三点あり、一つはFCR 7000から搭載されたEDR処理である。これによって、撮影条件設定ミスが大幅に減少し、安定した画像が得られるようになった¹⁾。またFCR 9000では、ニューラル・ネットワーク技術を利用した新しい処理とダイナミックレンジ(DR)圧縮処理が導入された。これら新技術の導入によって、従来のヒストグラム解析による方法では画像の安定供給が困難であった部位についても安定性が向上し、さらに、広い診断領域を1枚のフィルム上に可視化(再現)することが可能となった²⁾。

以上のように装置本体の改良には目ざましいものが

ある。同時にCRの検出器であるイメージングプレート(以下、IP)についてもHR(マンモグラフィ専用)、ST(一般撮影用)双方について、I型からV型へと改良、変遷がなされてきた。

これらIPのI型からIII型についてはすでに物理特性が測定され、報告も行われている^{3,9)}。例えば、IP固有の感度と思われる輝尽発光量については、I型からIII型まで大幅に増加していたが、解像特性(プリサンプリングMTF⁴⁾)はほとんど変化しておらず、粒状特性(デジタルウィナースペクトル⁵⁾)は若干改善されていた。また、3種類のFCRシステムと各IPの組合せを変えて物理特性を測定した報告もある⁶⁾。しかし、IP固有の物理特性に関する報告は他にあまり見られない。

Basic Imaging Properties of Imaging Plates in a Computed Radiography System

SADAMITSU NISHIHARA¹⁾・KEIKO OMURA²⁾・KEN-ICHI YOSHIDA²⁾・AKIYOSHI OTSUKA²⁾
SYUICHI YAMAUCHI²⁾ and KATSUHIKO UEDA²⁾

1) Department of Radiology, Yamaguchi University Hospital

Present address: Department of Radiological Sciences and Technology, Hiroshima Prefectural College of Health and Welfare

2) Department of Radiology, Yamaguchi University Hospital

Received Jun. 7, 1996; Revision accepted Aug. 23, 1996; Code No. 254, 532, 814

Summary

We measured basic imaging properties like dose attenuation ratio, photostimulated emission, resolution property (presampling MTF: MTF_{PRE}) and noise property (digital Wiener spectrum: WS_{DIG}) using various versions of HR and ST imaging plates. Resolution property was almost the same for three respective versions of the HR and ST plates. The photostimulated emission of HR III_N was higher than that of III and V by about 50% and 20%, respectively. The noise property of HR V was superior to that of other plates. In terms of the photostimulated emission of ST plates, there was no difference between III and III_N, however, that of V was about 10% higher than that of other plates. The noise property of ST V was superior to that of III_N. ST III has a different type of structure mottle than versions III_N and V.

Key words: Computed radiography, Imaging plate, Resolution property, Noise property

CRシステムを一旦購入すると、本体についてはなかなか取り替えることができないが、IPについては簡単に入れ替えが可能である。したがってCRシステムを使用する上で、IPの基本的な性能を把握しておくことは非常に重要だと考える。そこで、今回HR、STシリーズについて、それぞれⅢ型以降の基本的な物理特性を測定したので報告する。

2. 使用装置と実験方法

使用したIPは、HR、STともにⅢ型、Ⅲ_N型、Ⅴ型の3種類である。HRは6切サイズだけであるが、STには6切の他に4切、大角、半切がある。サイズが違えば、データを読み取るときのサンプリング間隔が異なるので、プリサンプリングMTFやデジタルウィナースペクトルが変化する。そのため、今回使用するIPサイズは、全て6切の大きさ(サンプリング間隔は0.1mm)に統一した。

IPの読み取りに使用したCR装置は、FCR 101である。この装置の読み取り部には、He-Neレーザが使用されている。Ⅲ、Ⅲ_N型(BaFBr:Eu蛍光体)はこのレーザの波長(633nm)に対応しているが、Ⅴ型(BaF(Br, I):Eu蛍光体)は、輝尽励起波長のピークがⅢ、Ⅲ_N型より少し長波長側に移動している²⁾。これはFCR 9000に使用されている可視光半導体レーザの波長(680nm)とのマッチングを考えた結果と推測される。

今回、測定したのは次の5項目である。

- 1) 照射線量減弱率(IPによって吸収された照射線量の割合)
- 2) 輝尽発光量
- 3) 解像特性(プリサンプリングMTF)
- 4) 粒状特性(デジタルウィナースペクトル: デジタルWS)

以下、それぞれの方法について述べる。

2-1 照射線量減弱率

照射線量減弱率とはIPに入射した線量のうち、IPによって吸収された線量の割合を意味する。他の文献には吸収線量率³⁾やX線吸収率となっているものもあるが、厳密にはIPが吸収した線量だけではなく、他の要因によって減弱された線量も含んで測定している。したがって、今回は照射線量減弱率という名称を使用する。

X線管-検出器(線量計: radcal mdh 1015c)間距離を135cmとして、この中間(約80cmのところ)にIPを配置した。IPを配置する前と後の線量を測定して、IPによる線量減弱率を求めた。

2-2 輝尽発光量

輝尽発光とは、レーザ光をIPに照射したとき、蓄積されたX線エネルギーに応じて発光する光のことである。輝尽発光はIPがエネルギーを蓄積し、発光する性能に依存しており、この光量を測定することでIP固有の感度を解析できる。

X線エネルギーに応じた輝尽発光量を得るため、距離法を用いて各IPの特性曲線を測定した。管電圧は

80kVとし、0.5mm厚の銅と4mm厚のアルミニウムをフィルタとして同時に付加した。Ⅲ型のIPが基準となるように他のIPと組合せて(ⅢとⅢ_N型、ⅢとⅤ型の組合せ)、同時露光した。

CR装置での読み取りモードをL値: 2.0とし、E値(FCR 101以外はS値という)を200に固定した。

読み取ったデジタルデータをパーソナルコンピュータに転送し⁷⁾、デジタル値が127となるときの比露光量の逆数を輝尽発光量の値とした。またこのとき、各シリーズのⅢ型を基準とした相対値で評価した。

2-3 解像特性(プリサンプリングMTF)

本実験の目的は、各IPによる解像特性の違いをみることであるため、プリサンプリングMTFを測定した。アナログシステムと同様に幅10 μ mのスリットを使用してスリット像を作成した。このとき、スリットの幅に対して少し角度をつける(スリットに対してIPの長軸または短軸を斜めにすること)でセンターアライメント時からシフトドアライメント時までの多くのデータを得ることができる。このデータをパーソナルコンピュータに転送し、藤田らの方法⁴⁾を用いてプリサンプリングMTFを算出した。

2-4 粒状特性(デジタルWS)

粒状特性については、デジタルWS⁵⁾を測定した。

WS試料の作成には、X線管とIP間を260cm以上とし、X線管の絞部分に20mm厚さのアルミニウムフィルタをとりつけた。管電圧を80kVとしてmAs値を変化させることで、IP入射線量を0.13 μ C/kg(0.5mR)から3.9 μ C/kg(15mR)まで変化させた。これは各IPの照射線量に対するデジタルWSの変化を求めるためである。

読み取りモードは、L値が2.0固定でE値が変化するセミオートモードを使用した。さらに各IPの構造モトル(structure mottle)を検討するため、X線量子モトルの影響がほぼ無視できるほどの線量(約2.5 μ C/kg(10mR))を照射したときのデジタルWSを比較した。しかし、IPによっては、約2.5 μ C/kg(10mR)がX線量子モトルを完全に無視できる程度の線量とはいえない可能性もある。したがって今回は、各IPの構造モトルの形状と相対的な関係を検討することとした。

1024x1024ピクセルの面積データを1x30ピクセルごとに分割し、そのデータをフーリエ変換して、合計1024点x34本のデジタルWSを算出した⁵⁾。

3. 結果と考察

3-1 照射線量減弱率と輝尽発光量

各IPの照射線量減弱率と輝尽発光量をTableに示す。

IPの線量減弱率は、アナログシステムにおける増感紙と同様に、IPを構成する輝尽性蛍光体の粒子径や充填密度、蛍光体層の厚さなどに依存すると考えられる。

HRシリーズについて減弱率をみると、Ⅲ型に対し

て、III_N型は約10%高くなっているが、逆にV型では約7%低くなっている。この値が高いほどX線の吸収効率が向上するため、X線量子モトルの影響は低くなると予想される。したがって、IPへの入射線量が少なく、X線量子モトルの影響が高いと予想されるときに粒状特性を比較すると、V型の粒状性が一番悪く、III_N型が一番良くなる可能性がある。ただし、これは構造モトルなど他の粒状特性が同一の場合にいえることであり、実際の粒状特性については、3-3-1で後述する。

輝尽発光量を比較すると、III_N型はIII型の約1.5倍、V型は約1.2倍となっている。IIIとV型については線量減弱率のときと逆の関係を示している。すなわち、V型はIII型に対してX線の吸収が少ない(照射線量減弱率が約7%低い)にもかかわらず、輝尽発光量は多くなっていた。

STシリーズの線量減弱率を比較すると、III、III_N型はほぼ同じ値であり、V型だけ約10%高くなった。したがって、X線量子モトルの影響はV型が一番低くなる可能性がある。この結果は3-3-2で述べる。輝尽発光量と照射線量減弱率の傾向は同じであった。

3-2 解像特性(プリサンプリングMTF)

各IPのプリサンプリングMTFをFig.1に示す。

HR、STともにIII、III_N、V型による違いはほとんど見られない。これは、各IPに対して、解像特性を一定に保ちながら、その他の特性、例えば粒状特性や搬送特性を改良しているのではないかと推測される。

CRシステムの解像特性には、いろいろな表現方法がある。プリサンプリングMTFは、IP自体とサンプリングアパーチャ(サンプリング間隔に依存する)の不悦を表わしたものである⁴⁾。この他にデジタルMTFやディスプレイMTF(ディスプレイ部の解像特性を表す)、最終的にフィルム表示された画像に対する総合的な解像特性を表すオーバーオールMTFなど

がある⁸⁻¹⁰⁾。ただし、デジタルMTFやオーバーオールMTFにはデータ取り込み時に生じるエリアシング効果が含まれるため、画像の位置によって解像特性が異なってくる。したがって、これらのMTFは解像特性を正確に表わさないので注意が必要である^{3,8,9)}。そこでオーバーオールMTFに対してファイナルMTFという考え方も登場したが¹¹⁾、今のところ統一されていない。

また、スリット法ではなく、矩形波チャート法を用いてファイナルMTFを測定した発表などもあり¹²⁾、エリアシング効果を取り除くためにいろいろな努力がなされている。

将来、CRシステムのようなデジタルシステムが臨床の場で中心的な役割を持つであろうと考ええると、解像特性の評価法について改めて討論する必要がある。

3-3 粒状特性(デジタルWS)

3-3-1 HRシリーズについて

照射線量とデジタルWSの関係をFig.2に示す。空間周波数0.3cycle/mmと3.0cycles/mmをパラメータにとったときのWSである。III型は0.3、3.0cycles/mmのいずれの周波数においてもIII_N、V型より値が高くなっている。III_N型とV型の関係をみると、X線量子モトルの影響をほぼ無視できる線量(約2.5 μ C/kg(約10mR)以上)を照射したときには、V型のほうがIII_N型よりウィナースペクトル(WS)値が低い。これはV型の構造モトルがIII_N型より低いことを意味する。しかし、照射線量が比較的少ないときにはほぼ同等のWS値を示している。これは、V型の構造モトルが低いにもかかわらず、線量減弱率がIII_N型より低いため(Table参照)、X線量子モトルの影響をより多く受けてしまうためと考える。

IP入射線量が約2.5 μ C/kg(約10mR)のときのデジタルWSをFig.3に示す。これはほぼIPの構造モトルに近い値を表していると考えられる。III型のモトルが一番高く、III_N、V型の順に低くなっている。これは輝尽性蛍光体の粒子径や蛍光体層の充填密度などに起因すると考える。

HRシリーズを使用する主な部位は乳房部(マンモグラフィ:mammography)であり、實際上、IP(または増感紙フィルム系)に入射する線量は1~2.5 μ C/kg(4~10mR)程度である。したがって、このような高線量を使用するときには、X線の吸収効率(照射線量減弱率)は高いが構造モトルも高いIII_N型より、吸収効率は少し低い構造モトルの優れているV型を用いるほうがよいことになる。

近年では乳癌の増加に伴い、マンモグラフィの件数が増える傾向にある。したがって、患者被曝線量の観点から考えると、デジタルシステムを使用したときの照射線量と画質(診断)との関係を詳細に検討する必要がある。また、可能な限り線量を低くする必要性から、IPも低線

Fig. 1 Presampling MTFs for three versions of HR and ST imaging plates.

HR III: (—), HR III_N: (-----), HR V: (—)
ST III: (—), ST III_N: (-----), ST V: (—)

量での粒状特性が優れたものを期待する。

3-3-2 STシリーズについて

Fig.4に照射線量とデジタルWSの関係を示す。パラメータはHRと同様である。0.3cycle/mmではⅢ型とⅤ型はほぼ同等の値となっているのに、3.0cycles/mmになるとⅢ型のWS値が一番高く、線量が増えるにしたがって他のIPとの差が開いている。これらのことからⅢ型は明らかに他のIPとは違った構造モトルを有している可能性がある。

Ⅲ_NとⅤ型を比較すると、0.3cycle/mmではⅢ_Nの値が高く、線量が増加するにつれて両者の差が開いている。しかし、3.0cycles/mmでは両者の値はほぼ同等となっている。

STシリーズについて、HRと同様に約2.5 μ C/kg (10mR)を照射したときのデジタルWSをFig.5に示す。Fig.4で推測したように、Ⅲ型の構造モトルは他のIPと異なった形状を示し、空間周波数が約2.0cycles/mm付近で値が大きく上っている。これは、この大きさの蛍光体粒子が他のものより多く含まれているためではないかと推測している。

一般撮影用であるSTシリーズは、X線量子モトルが主となる線量域で使用することがほとんどである。したがって、患者被曝線量を低減するためには、できる限りX線の吸収効率が高いⅤ型のようなIPを使用する必要があると考える。また、一般撮影時に被写体をもつ周波数帯域(被写体スペクトル)は比較的、低・中間周波数域にあるといわれている^{13,14)}。Fig.4に示したように、Ⅴ型の0.3cycle/mmでのWS値は入射線量が

Table Measured properties of three versions of HR and ST imaging plates.

(HR Ⅲ, HR Ⅲ_N, HR Ⅴ, ST Ⅲ, ST Ⅲ_N and ST Ⅴ).

Values in parentheses represent the relative value against type Ⅲ HR and ST.

	HR series			ST series		
	Ⅲ	Ⅲ _N	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ _N	Ⅴ
Exposure Attenuation Ratio [%]	31.7 (100.0)	35.0 (110.4)	29.2 (92.7)	44.7 (100.0)	44.9 (100.4)	49.5 (110.7)
Relative Intensity of Photostimulated Emission	100.0	148.7	121.0	100.0	100.0	107.2

80kV with 20mmAl

Fig. 3 Digital Wiener spectra for three versions of the HR imaging plate (Ⅲ, Ⅲ_N and Ⅴ).

Fig. 2 Relation of digital Wiener spectral values to spatial frequencies of 0.3 and 3.0 cycles/mm and incident dose to HR imaging plate.

Fig. 4 Relation of digital Wiener spectral values to spatial frequencies of 0.3 and 3.0 cycles/mm and incident dose to ST imaging plate.

Fig. 5 Digital Wiener spectra for three versions of the ST imaging plate (III, III_N and V).

0.13~1.3μC/kg (0.5~5.0mR)の間においてIII_N型より16~32%低い。したがって、ノイズ特性から考えても臨床にはV型のIPを使用する方が有利と考える。

ただし、本実験で注意すべきことは、以上の結果がすべてFCR 101で測定されたということである。III_N型はFCR7000用、V型はFCR 9000用に開発されたものであり、各装置でデータの読み取り部分やレーザプリンタ部、その他搬送系などすべてが異なる。したがって、各IPと合致したシステムで測定した性能と本実験における結果とは異なっている可能性がある。また、各装置とIPとの組合せを変化させたときや、レーザの

出力を変えたときなどの特性もさらに測定する必要がある。

4. まとめ

FCRシステムの検出器であるIPは、I型から最新のV型までいろいろな点が改良されてきた。マンモグラフィ専用であるHRシリーズ、一般撮影用のSTシリーズについて、それぞれIII型以降のIPの基本的な物理特性を測定した。

その結果、

1. HR, STとも各タイプの解像特性に変化は認められなかった。
2. HRでは、III型よりIII_N型の照射線量減弱率が約10%増加し、粒状特性も改善されていたが、V型になるとIII_N型より減弱率は低下したものの、粒状特性はさらに向上していた。
3. STについては、III, III_N型の照射線量減弱率はほぼ同等で、V型だけ約10%増加していた。粒状特性は、V型が改善されていたが、III型はIII_N, V型と比べて構造モトルが明らかに異なっていた。

謝 辞

プリサンプリングMTF及びデジタルWSの測定に関して、藤田広志博士(岐阜大学工学部電子情報工学科)に、ご協力いただきましたことを深謝いたします。

参考文献

- 1) 中島延淑, 武尾英哉, 石田正光, 他: FCRシステムの濃度/画像レンジ自動設定機能(EDR). 富士メディカルレビュー, No.2, 34-48, (1993).
- 2) 松田照美, 荒川 哲, 幸田勝博, 他: New FCR: FCR9000の新技術開発. 富士メディカルレビュー, No.1, 47-64, (1993).
- 3) 杜下淳次, 藤田広志, 大塚昭義, 他: コンピューテッドラジオグラフィの基礎的な物理特性. 日放技学誌, 46(6), 824-830, (1990).
- 4) Fujita H, Tsai DY, Itoh T, et al: A Simple Method for Determining the Modulation Transfer Function in Digital Radiography. IEEE TRANSACTION ON MEDICAL IMAGING, 11(1), 34-39, (1992).
- 5) 藤田広志, 他: デジタルラジオグラフィの画像評価<3. ウィナースペクトル>. 日放技学誌, 48(6), 925-936, (1992).
- 6) James TD, III, David LE, Lois R, et al: DQE(f) of four generations of computed radiography acquisition devices. Med. Phys., 22(10), 1581-1593, (1995).
- 7) 藤川津義, 上田克彦, 大塚昭義, 他: パーソナルコンピュータによるFCR-101画像データの読み取り. 医画情誌, 5(2), 82-86, (1988).
- 8) 藤田広志, 他: デジタルラジオグラフィの画像評価<2. MTF>. 日放技学誌, 47(4), 653-669, (1991).
- 9) Fujita H, Morishita J, Ueda K, et al: Resolution Properties of a Computed Radiographic System. Proc. of SPIE (Medical Imaging III: Image Formation), 1090, 263-275, (1989).
- 10) Fujita H, Ueda K, Morishita J, et al: Basic Imaging Properties of a Computed Radiographic System with Photostimulable Phosphors. Med. Phys., 16, 52-59, (1990).
- 11) 畑川政勝, 井上 誠, 庄垣雅史, 他: デジタル系におけるMTFの検討(ファイナルMTFおよびオーバーオールエリアシング). 日放技学誌, 48(11), 1932-1938, (1992).
- 12) 井上 誠, 中村 敦, 小川隆由, 他: 矩形波チャート法によるCRのMTF測定. 日放技学誌, 52(9), 1244, (1996).
- 13) 高野正雄: 5. 放射線医療画像の解析に関する問題点とその展望—アナログX線写真系とデジタルX線写真系—. 日放技学誌, 40(2), 272-277, (1984).
- 14) 松尾 悟, 野間和夫, 木田哲生, 他: 胸部X線写真の標準化へのアプローチ—視覚評価と物理評価の関係について(第1報). 日放技学誌, 52(9), 1247, (1996).