

Title	コンピューテッドラジオグラフィー(CR)による低コントラスト物質の検出能に関する研究
Author(s)	東田, 善治; 松本, 政典; 吉岡, 仙弥 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1989, 49(11), p. 1411-1419
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16501
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

コンピュータドラジオグラフィ (CR) による 低コントラスト物質の検出能に関する研究

熊本大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科

1) 熊本大学医学部放射線医学教室

東田 善治 松本 政典 吉岡 仙弥¹⁾ 高橋 睦正¹⁾

(平成元年 3 月 31 日 受付)

(平成元年 6 月 28 日 最終原稿 受付)

Investigation of Low-Contrast Signal Detection in Computed Radiography (CR)

Yoshiharu Higashida, Masanori Matsumoto, Senya Yoshioka¹⁾ and Mutsumasa Takahashi¹⁾

Department of Radiological Technology, College of Medical Science, Kumamoto University

1) Department of Radiology, Kumamoto University School of Medicine

Research Code No. : 200, 208.1

Key Words : Computed radiography, Detectability,
Image processing

Threshold contrasts of low-contrast objects were compared between screen-film and computed radiography (CR) systems. Effects of incident exposure to the imaging plate (IP) and contrast enhancement on the detectability of low-contrast objects were also studied. We employed 18-alternative forced-choice (18AFC) experiments to study the dependence of the threshold contrasts of the test objects on the incident exposure, object size, and contrast enhancement. The results indicated that the threshold contrasts of CR system were comparable to that of the medium-speed screen-film system and increased by decreasing x-ray exposures. Although threshold contrasts decreased by contrast enhancement, the magnitude of improvement depended on the object size and incident exposure.

1. はじめに

Computed Radiography (CR) システム¹⁾には、X線検出器としてこれまでの増感紙-フィルム系に代わるイメージングプレート (IP) が使われており、臨床の場で広く使われるようになってきている²⁾⁻⁹⁾。この装置は他のデジタル装置と同様に、画像の保存、表示および処理などが可能であるが、これらの他にシステムが持っている広いダイナミックレンジと画像処理を組み合わせることによって、患者の被曝線量低減の可能性を有している。患者被曝線量、あるいはX線入射線量の違いによるCR画像の描出能については、これまで臨床例を用いて報告されているが²⁾、これらは主

観的な方法で行われており、定量的な方法によるものは比較的少ない¹⁰⁾¹¹⁾。

この研究では、CRシステムの基本特性の一つである低コントラスト信号の検出能に関して、日常用いられている増感紙-フィルム系との比較、また入射線量および画像処理による改善について強制選択法¹²⁾⁻¹⁶⁾を用いた実験から定量的に検討したので報告する。

2. 実験方法

実験には富士CRシステム (CR201) を用いた。CRシステムの構成は、X線の検出器であるIP、画像読取り部、画像処理および記録部から成っているが、CRシステムの詳細は他に述べているの

で¹⁾、ここでは省略する。

CRシステムの低コントラスト信号の検出能を検討するために、視覚評価に用いる観察試料を作成した。まず増感紙—フィルム系とCRシステムの低コントラスト信号の検出能の比較を行う目的で、増感紙—フィルム系(化成 BM-III/Konika A, 蛍光体: CaWO_4)とIPを用い、同一線量で撮影した。IPはST(6ツ切)を使用した。ファントムとして厚さ15cm, 面積30cm×30cmの均一なルサイトを付加し、散乱線除去板(57lines/cm, 10:1)を使用した。低コントラスト信号はファントムの表面に定着液にて乳剤を除去したX線フィルムベースを重ねて作成した。信号の形は正方形を用い、大きさは一辺が10mm, 5mmおよび2.5mmの3種類とし、信号コントラストはフィルムベースの厚さを変えることによって変化させた。信号の位置は、縦6カ所、横3カ所の合計18カ所の中に、あらかじめランダムに設定した場所に1個のみとした。2つのシステムの照射条件は、増感紙—フィルム系で写真濃度1.2を得るに必要な入射線量に一致させた。このときのIPおよび像感紙—フィルム面への入射線量は0.84mR ($2.17 \times 10^{-7}\text{C/kg}$)であり、本論文では、この線量を相対入射線量1とした。撮影は、X線管球と検出器(IPまたは増感紙—フィルム系)間200cmで行い、検出器面での照射野は30cm×30cmである。撮影電圧は75kVを使用し、すでにの撮影を行う間、X線管電圧は管電圧計(ALCO kVメーター)でモニターし、75±1.0kV以内で撮影した試料のみ観察に用いた。IPおよび増感紙—フィルム面に入射する線量は、X線管球と検出器の間に固定した線量計(Victoreen 500)から間接的に測定した。

次に入射線量の変化による低コントラスト信号の検出能の違いを検討する目的で、IPに入射する線量を変化させた。入射線量は、1, 1/4, 1/10, 1/20, および1/30となるように照射時間を変化させた。各信号の大きさ、信号コントラスト、入射線量の組合せでそれぞれ30枚の規察試料を撮影した(入射線量1/10による10mmの信号は60枚用意した。また1/30による2.5mmの信号は撮影しな

かった)。入射線量1~1/30で撮影したIPに含まれる低コントラスト信号はCRフィルムにプリントして観察試料とした。CRシステムによる観察試料は、二種類の画像処理条件を用いて処理した。まずCR画像の写真コントラストを増感紙—フィルム系の写真コントラストと正確に一致させた(このときのCR画像の写真コントラストをこの論文では $\gamma=1$ とした)。次にコントラスト強調による信号検出の改善を検討するために、CR画像のコントラストをフィルムの2倍($\gamma=2$)になるように処理条件を選択した。観察に用いたすべての写真濃度は、 1.20 ± 0.05 以内に揃えた。低コントラスト信号の検出能は、18-Alternative Forced Choice(18-AFC)法^{12)~16)}による視覚評価によって求めた。18-AFC法では観察者に各観察試料を観察させ、18カ所の中から信号の位置を告げるように依頼した。すべてのフィルムの観察は、観察箱を用いて行い、周囲からの光が入らないように配慮した。観察距離は50cmとし、観察中試料と観察者の目の距離が変化しないように「顎のせ台」を使用した。観察に先立って試料に慣れさせる目的で、各入射線量および処理条件で作成したサンプル5~6枚を見せた。また観察は異なった日に複数回にわたって行ったので、観察結果の変動を確認する目的で、観察のたびにコントロール用に作成した30枚の試料を見せ、観察結果に大きな変化がないことを確認したのち本実験を開始した。試料に慣れさせるための5~6枚のサンプルとコントロール用の30枚の試料は本実験に使用した観察試料とは別のものである。観察は2人が独立に行い、2人の観察結果の平均からコントラスト検出能を求めた。1回の観察に要した時間は2時間以内である。

3. 結果

コントロール用の観察試料を用いたときの、18-AFCにおける同一観察者の検出能の変動の1例をFig. 1に示す。観察試料は、信号の大きさ10mm, IPへの相対入射線量1/4で撮影したものである。横軸は異なった日に行った観察回数、縦軸は信号の検出能を示す。検出能に示した誤差は、コントラスト信号の正解率P(%)と観察に用いた

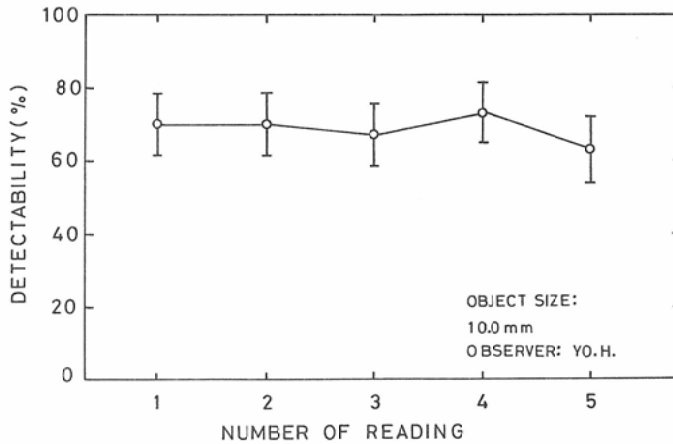


Fig. 1 Variation of detectabilities in the 18-AFC observer performance studies of a single observer for the controll.

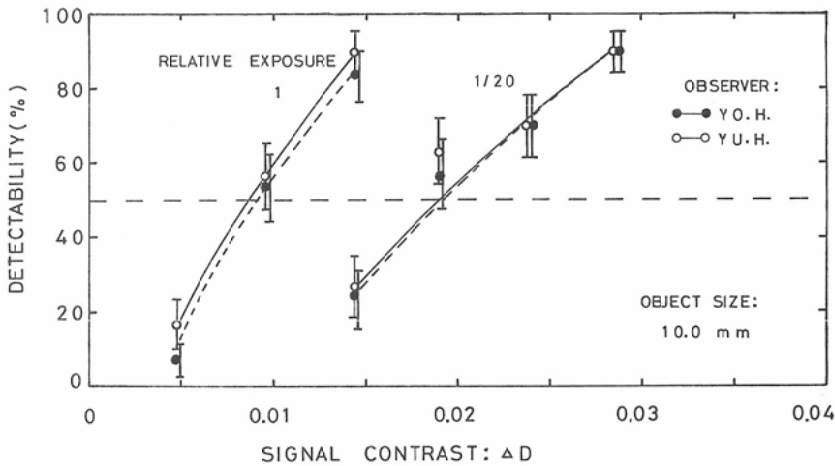


Fig. 2 Comparison of the detectabilities by two observers on 10mm square object obtained with two different exposure conditions (reprinted with permission from Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol. 12. Pergamon Press. Ref. 10.)

サンプル数 (N) から, $[P(1-P)/N]^{1/2}$ (12,13) によって推定した値である。試料は30枚用いたので、18-AFCによる1個の信号の違いは3.3%となる。図から明らかなように、観察者の検出能の変動は、平均2.6% (最大6.6%) であり、よい再現性を示している。

Fig. 2にIPへの入射線量1および1/20で撮影した5mmの信号の、観察者による検出能の違いを示す。観察に加わった2人の観察結果は、実験誤差以内でよく一致している。この研究では、Fig.

2の中で示される、18-AFC法から得られた50%の検出能に対応する信号コントラストを、識閾コントラスト (threshold contrast) として定義し、コントラスト検出能の尺度とした。

Fig. 3にCRシステムと増感紙-フィルム系における10mm, 5mmおよび2.5mmの信号の識閾コントラストの比較を示す。縦軸は増感紙-フィルム系(BM-III/A), 横軸はCR画像の識閾コントラストを示し、それぞれ両対数でプロットしてある。増感紙-フィルム系と同一コントラスト ($\gamma =$

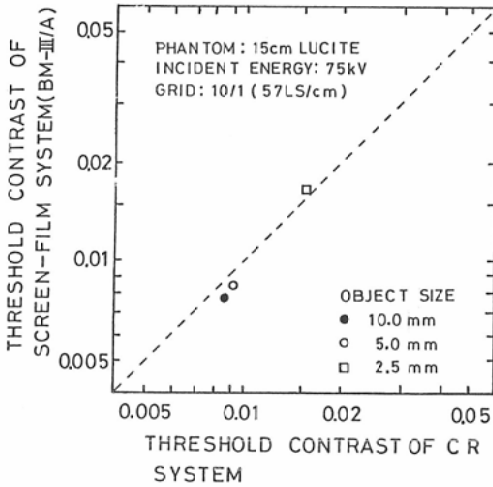


Fig. 3 Comparison of the threshold contrasts for 10, 5, and 2.5mm square objects between the screen-film and CR systems (reprinted with permission from Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol. 12, Pergamon Press, Ref. 10).

1)で処理したCR画像の3種類の信号の識閾コントラストは、図中破線で示した対角線上に近い位置にある。このことは、2つの系における識閾コントラストに大きな差がないことを示している。また信号が小さくなれば、識閾コントラストが大きくなることが明らかである。

相対入射線量と18-AFCによる検出能の関係を図4に示す。信号の大きさは2.5mmで、入射線

量は1から1/20まで変化している。各入射線量とも信号コントラストが大きくなるにしたがって、検出能が高くなっている。また図から明らかなように、IPへの入射線量が少なくなると曲線が右側に移行している。すなわち、入射線量が減少すると50%信号検出のための識閾コントラストが増加する。1例として、入射線量が1/4および1/10に減少すると、相対入射線量1における信号コントラスト、 $D=0.0192$ の検出能90%は、それぞれ50%および24%に減少する。

相対入射線量1/4、信号の大きさ10mmのコントラスト強調による検出能の変化を図5に示す。 $\gamma=1$ における信号コントラスト0.0096は、 $\gamma=2$ では0.0192となり、このときの検出能は、40%から67%と改善される。

Fig. 6に3種類の信号の識閾コントラストと入射線量の関係を示す。低コントラスト物質の識閾コントラストは、入射線量が減少すると大きくなる。また識閾コントラストは信号サイズに依存し、小さな信号では大きくなることを示している。観察実験で用いた2.5mmの識閾コントラストは、他の5mmおよび10mmの信号に比べて大きな値を示す。

Fig. 7に各入射線量における10mm信号のコントラスト強調による識閾コントラストの変化を示す。写真コントラストを $\gamma=1$ から $\gamma=2$ に強調

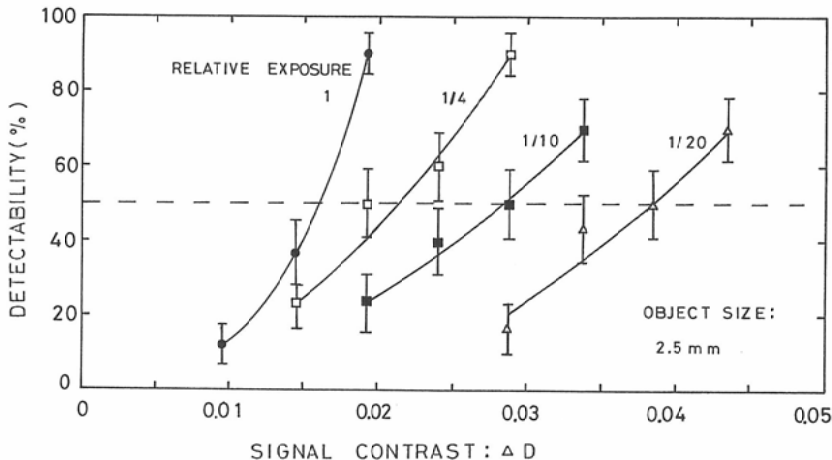
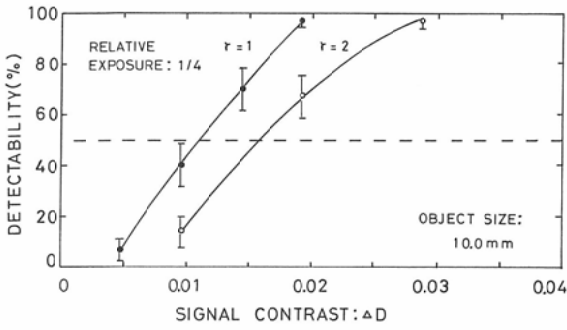


Fig. 4 Results of the 18-AFC observer performance studies of a 10mm square object with various exposure conditions.



することによって、識閾コントラストは小さくなりコントラスト検出能は改善するが、この割合は相対入射線量が少なくなると小さくなる傾向を示す。

相対入射線量 1 で撮影した 3 種類の信号の識閾

Fig. 5 Effect of the contrast enhancement on the detectabilities of a 10mm square object.

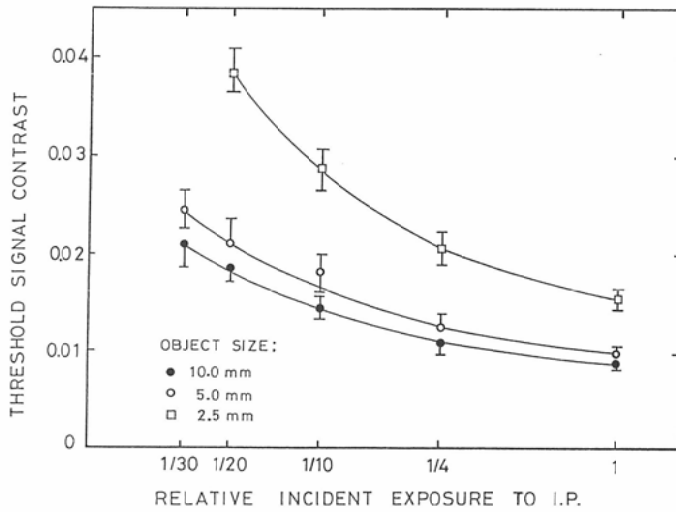


Fig. 6 Relationship between threshold contrast and relative incident exposures for three object sizes (reprinted with permission from Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol. 12, Pergamon Press, Ref. 10).

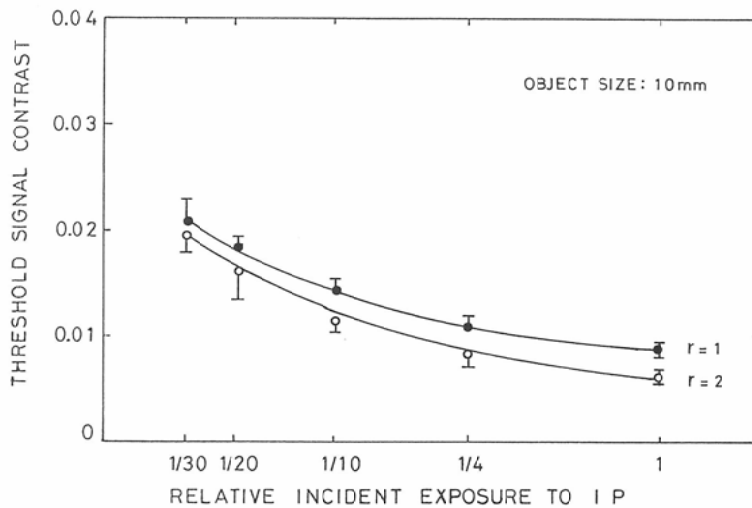


Fig. 7 Effect of the contrast enhancement on the threshold contrasts of a 10mm square object with various incident exposures.

コントラストに対するコントラスト強調の効果を、Fig. 8に示す。コントラスト強調によってCR画像の識閾コントラストは小さくなるが、この割

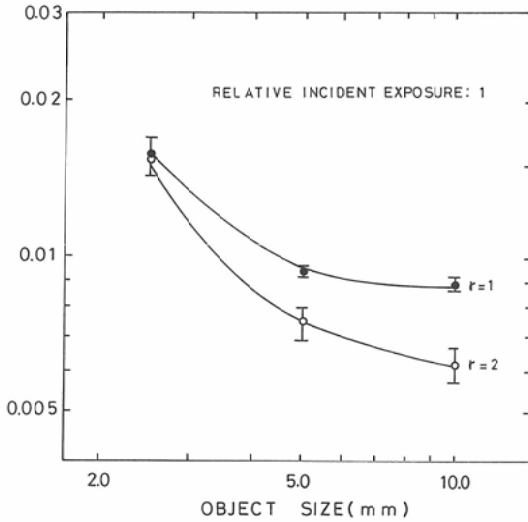


Fig. 8 Relationship between threshold contrasts and object sizes with and without contrast enhancement.

合は大きい信号ほど顕著であり、2.5mmではほとんど差がみられない。

IPへの入射線量とRMS粒状の関係をFig. 9に示す。図の横軸は15cmのルサイトファントムおよびグリッドを通過した後IP表面で測定した線量を示し、縦軸は画像読み取り器から直接サンプリングして計算したRMS粒状の2乗値を対数で示した。また実験で使用した相対入射線量をRMS曲線上に示した。今回使用した線質では、約1mR ($2.58 \times 10^{-7} \text{C/kg}$)を境にして、これより少ない線量ではRMS粒状が直線的に増加している。入射線量の減少にともなうRMS粒状の増加領域は、X線量子モトルの寄与部分であり、これによって低コントラストの検出能が劣化していることを示している。

4. 考 察

臨床におけるCRシステムの位置づけは、これまで使用されている増感紙-フィルム系に変わる、新しい検査モダリティとして設計されている。したがってこの装置の持つ物理的画質特性を正確に測定することは、CRによる正確な診断へ

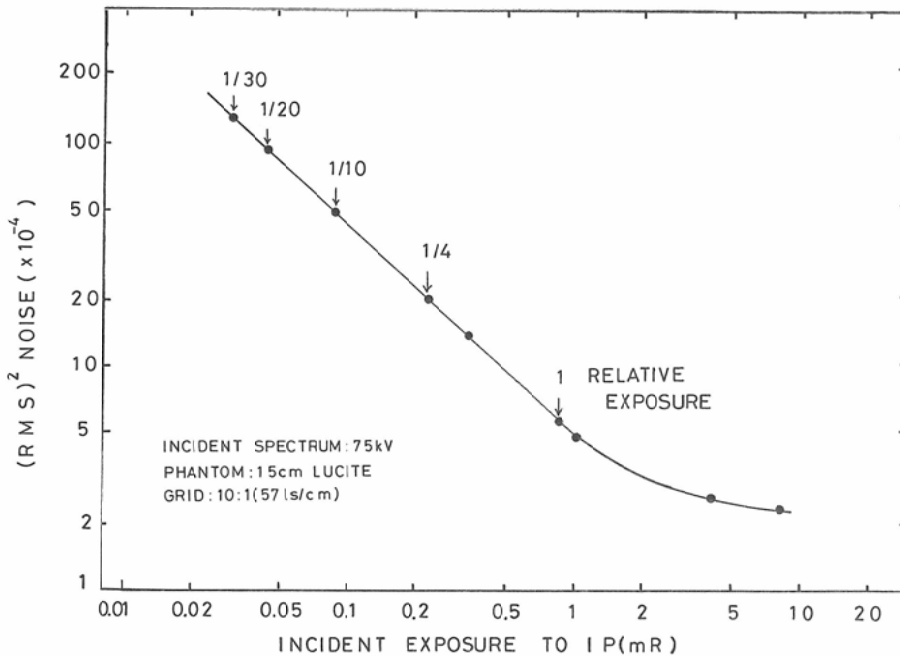


Fig. 9 Relationship between RMS noise and various incident exposure levels. Relative incident exposures used in this study were plotted on the curve.

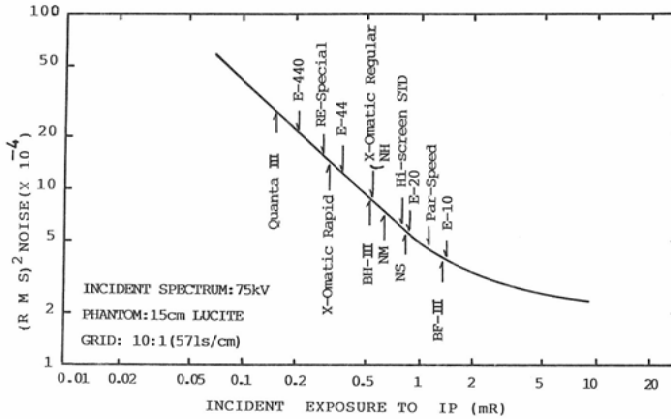


Fig. 10 Relationship between RMS noise and various incident exposure levels. Incident exposures for obtaining the photographic densities of 1.20 with various screens were plotted on the curve. Incident exposures were calculated by using the screen speeds investigated in ref. 18) and 19).

の必要条件と考えられる。この研究では、CR システムの基本特性の中でコントラスト検出能に関する検討を行った。低コントラスト信号の検出能は、画像に含まれるノイズによって大きく左右されることが知られている。増感紙—フィルム系に含まれるノイズは、X線量子ノイズ、増感紙の構造モトルおよびフィルムグレイネスから構成され、この中でX線量子ノイズの寄与が最も大きい¹⁷⁾。一方CR画像に含まれるノイズとしては、X線量子ノイズ、IPの構造モトル、フィルムグレイネスおよびデジタル化によるノイズや電気的なノイズから成るシステム固有のノイズが考えられる。CRの中で量子ノイズ寄与を推定するために、入射線量に対するRMS粒状の測定を行った結果、この実験で使用した中等度感度増感紙と同一量レベルでも、X線量子ノイズの寄与が比較的大きいことが示唆された。また入射線量が減少すると当然量子ノイズの影響も増大することが確かめられた。Fig. 9の結果から、この実験で使用した線質では、IPへの入射線量が約4mR ($1.03 \times 10^{-6} \text{C/kg}$)以上になるとRMSノイズは一定の値となる。この領域はIPの構造モトルとCRシステムの固有ノイズによるものである。

Fig. 9で示した入射線量とRMSノイズのグラフ上に、他の増感紙—フィルム系¹⁸⁾¹⁹⁾を使用した

ときのRMSノイズの割合を示した(Fig. 10)。これらの増感紙—フィルム系を使用したとき、写真濃度1.20を得るに必要なX線量は、文献¹⁸⁾¹⁹⁾で求めた増感紙—フィルム系の絶対感度から計算した。文献¹⁸⁾¹⁹⁾では線質としてBRH canonical beam²⁰⁾ (80kV. 20mm Aluminum Filtration)を用いているが、この線質は本研究を用いた線質と類似している。図中に示した増感紙—フィルム系の感度は、国内で使用されている両面増感紙—両面乳材フィルム系のほとんど全ての感度領域をカバーしている。またFig. 10にはブルー系の増感紙のみを示したが、グリーン系も同様な感度領域を持っている。図中に示した増感紙の中で、最低感度のE-10と最高感度のQuanta-IIIの感度比は約9倍である。この両システムと同等線量で撮影したときのCR画像に含まれる量子ノイズの割合は約55%~90%である。しかし一般の엑스線撮影では、中等度感度増感紙系(E-20~BH-III)が最も頻繁に使用されており、これらの系と同等線量におけるCR画像に含まれる量子ノイズの割合は、約60%~75%程度と推測される。

本研究では、画像処理としてはコントラスト強調を用いた。この理由はCTや他のデジタル装置でこの処理がよく行われていること、および手技が簡単なことによるためである。この研究では

触れなかったが、CR装置ではこの他ボケマスクによる画像処理¹⁾が可能である。異なった線量で撮影した信号に対するボケマスクの使用による検出能の改善についてもまだ余り報告はない¹¹⁾。またこの実験では正方形の信号コントラストを用いたが、比較的小さな信号では、信号の面積が同一であれば、検出能は形に依存しないことが報告されている¹⁰⁾。画像処理をすることによって、低コントラスト信号の検出能は改善するが、改善の割合はここで示したように、オリジナル画像の画質および信号の大きさに依存する。画像処理と信号検出に関しては、内部雑音を考慮にされた知覚化統計的決定理論モデル (Perceived Statistical Decision Theory Model)^{12)~14)}を用いた最近の報告があるが、CR装置では撮影線量、ピクセルサイズ、および画像処理など多くの選択が可能であるので、最適な検出能を確立するための研究が望まれる。

5. 結 論

CRによる低コントラスト物質の検出能について、増感紙—フィルム系との比較および検出能と入射線量、あるいはコントラスト強調による検出能の改善について検討した。

同一コントラストにおけるCR画像の識認コントラストは、中等感度増感紙—フィルム系と同等であった。コントラスト強調によって、識認コントラストは小さくなるが、改善の割合はオリジナル画像の画質および信号の大きさに依存する。

この研究を行うにあたり、実験にご協力いただきました熊本大学病院中放部、森田勝行、守部伸行、平田幸徳、洞田貫誠志の各氏にお礼を申し上げます。シカゴ大学、土井邦雄教授には有益な助言をいただき、感謝申し上げます。また Computerized Medical Imaging and Graphics から Fig. 2, 3, 6 の使用の許可を頂いた。ここにあわせて謝意を表します。

なおこの研究は昭和61年度文部省特定研究経費の援助を受けた。

文 献

- 1) Sonoda M, Takano M, Miyahara J, et al: Computed radiography utilizing scanning laser simulated luminescence. *Radiology* 148: 833—838, 1983
- 2) 櫻井賢二, 蜂屋順一, 是永健雄: デジタル化胸部撮影について—正常胸部および低線量での比較—, *日本医放会誌*, 44: 11—22, 1984
- 3) Nitatori T, Hachiyam J, Korenaga T, et al: Whole body intravenous digital subtraction angiography. *Radiology* 156: 829, 1983
- 4) Ishigaki T, Sakuma S, Horikawa Y, et al: One-shot dual-energy imaging. *Radiology* 161: 271—273, 1986
- 5) Nishitani H, Umezu Y, Ogawa K, et al: Dual-energy projection radiography using condenser X-ray generator and digital radiography apparatus. *Radiology* 161: 533—535, 1986
- 6) 高島 力: 第一部: 肺癌診断の新しい展開—X線CTとComputed Radiographyによる—, *日本医放会誌*, 47: 445—454, 1987
- 7) Takashima T: Part II: Single exposure energy subtraction chest radiography in the diagnosis of pulmonary cancer. *Nippon Acta Radiol* 47: 456—466, 1987
- 8) Fajardo LL, Hillmen BJ, Hunter JB, et al: Excretory urography using computed radiography. *Radiology* 162: 345—351, 1987
- 9) 横井香平, 宮沢直人, 笹川道三, 他: 肺野小型陰影の診断に応用したcomputed radiography (CR)によるトモグラムについて, *日本医放会誌*, 47: 1145—1152, 1987
- 10) Higashida Y, Moribe N, Hirata Y, et al: Computed radiography utilizing laser stimulated luminescence: Detectability of simulated low-contrast radiographic objects. *Comp Med Imag Graph* 12: 137—145, 1988
- 11) Higashida Y, Misumi W, Morita K, et al: Digital mammography: An ROC study of the incident exposure and image processing on the detectability of simulated masses and calcifications. *Radiology Supplement* 169: 89, 1988
- 12) Ishida M, Doi K, Loo LN, et al: Digital image processing: Effect on detectability of simulated low-contrast radiographic patterns. *Radiology* 150: 569—575, 1984
- 13) Ohara K, Chan HP, Doi K, et al: Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 8. Detection of simulated low-contrast objects in digital subtraction angiographic images. *Med Phys* 13: 304—311, 1986
- 14) Giger ML, Ohara K, Doi K, et al: Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 9. Effect of displayed gray levels on signal detection. *Med Phys* 13: 312—318, 1986
- 15) Kume Y, Doi K, Giger ML: Investigation of basic imaging properties in digital radiogra-

- phy. 10. Structure mottle of II-TV digital imaging systems. Med Phys 13: 843-849, 1986
- 16) 土井邦雄: X線画像の信号検出と視覚特性の重要性, 日放技学会誌, 43: 694-729, 1987
- 17) 土井邦雄, 大頭 仁: ラジオグラフィーにおける粒状性の解析, 放射線像の解析, 2: 243-259, 1969
- 18) 東田善治, 勝田 昇, 洞田貫誠志, 他: 増感紙-フィルム系の感度の測定. 1. 絶対感度の測定, 日放技学会誌, 44: 425-434, 1988
- 19) 東田善治, 勝田 昇, 洞田貫誠志, 他: 増感紙-フィルム系の感度の測定. 2. 相対感度および絶対感度の測定, 日放技学会誌, 44: 435-448, 1988
- 20) Doi K, Kodera Y, Loo L-N, et al: MTF's and Wiener spectra of radiographic screen-film systems, volume II. HHS Publication. FDA, pp86-8257, 1986
-