



会期：平成9年4月5日
会場：パシフィコ横浜会議センター

消化管X線検査の変遷と画像技術

堤 直葉

越谷市立病院放射線科

The Chronological Improvement of Gastrointestinal X-ray Examination and the Imaging Technology

Suguha Tsutsumi

Department of Radiology, Koshigaya Municipal Hospital

1. はじめに

33年前、私は診療エックス線技師学校を卒業して阪大病院に就職した。当時、東芝のX線TV1号機が稼働していた。そのTVのアルミニウムの軽量カセットが搬送中によく詰まり、私はよくドライバーで叩き落としていた。手や白衣はアルミニウムの粉で汚れた。当時、消化管検査は蛍光板方式(当時、暗室透視と呼んでいた)で、技師は透視室の外で、医師が斜位だと言えはそれをイメージして条件をあわせていた。X線TVになり、斜位も正面も実際とは違っていった。暗順応の眼鏡や圧迫用のディステイングツールが使われていた。夏は透視室に氷柱が立てられ、汗でフィルムに指紋が付くのを気にしていたのが思い出される。フィルムは手現像の時代で、阪大病院には日本には珍しい大きいハンガータイプの自動現像機が稼働していた。まもなくローラータイプの自動現像機が入った。その小ささに驚き、条件を加減することができないのにもおびえた。その時にポータブルの写真を真っ先に流した先輩を尊敬したものである。

約40年前、日本で消化管の二重造影法が開発された。1975年、越谷市立病院に就職した私は、白壁一門の内科医と働くようになり、透視時間の長さや病変の描出への執念を理解することができた。「もっと透視が見えたら、もっと良い写真が撮れたら、もっと小さな病変が見つかるのに」と考えた先達の熱い思いが試行錯誤を重ねながら実現されてきた。しかし、X線発見100年を待たず、1994年末に白壁彦夫先生が逝去され残念である。

今、なぜ消化管X線検査技術なのか、なぜ堤が宿題報告しなければならないのか。

X線発見の次の100年は「質」の時代と考え、私なりの消化管X線検査技術へのこだわりを理解していただき、「消化管X線検査技術の最適化」に向けて、役立ちたい。

2. 消化管X線検査について

消化管X線検査について私の考えを述べたい。日本における消化管X線検査は①検査方法の確立がなされていること。②読影理論の確立がなされていること。③造影剤とその用法の完成度が高いこと。つまり空気とバリウムの高品質の商品が市販され、使用法の標準化が進んでいること。④画像技術は撮影系と透視系に分けられ、両者の技術革新も目覚ましいと私は考えている。つまり消化管X線検査は完成度が高いと結論できる。ではなぜ、今、消化管X線検査なのか。

「もっと見えたら」の時代から長い年月を経て、X線管の大容量小焦点化、画像記録系の進歩や多様化のなか、「画像、被曝、経済性等のバランスのとれたシステム」を選択する時代になったと考える。つまり最適化である。最適化を難しくしているのは、①診断する側から「ここまでの画像なら診断できる」という画質の下限が示されていないこと。②読影理論が確立されても、診断能の差が大きいこと。③検査方法が確立されても、検査する側の技術の差が大きいこと。また検査技術の上達は容易ではないこと等が挙げられる。一方、装置等の更新には多額の費用がかかり、機種間の性能の差が大きくその価格差が大きい。そういう現状は消化管検査に限らず医療全体が抱える問題であり、その現状を容認している健康保険行政にまでさかのぼる。装置の性能も、検査技術の差も保険点数に反映しない。今後ますます少子高齢化社会となり医療経済が厳しくなるなか「質」を保っていく医療人の努力は医療人個々の質の向上にかかっている。

2-1 消化管X線検査の推移について

上部消化管(胃)X線検査は内視鏡の技術革新によって全国的に検査件数が減ってきているといわれている。越谷市立病院(以下、越谷)でもFig.1のように胃X線検査は減り、注腸検査が増え、内視鏡はもっと増え

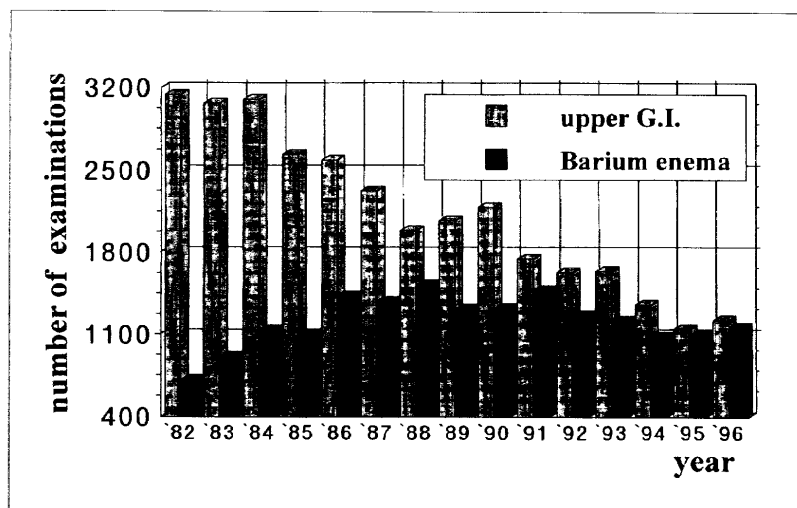


Fig. 1 A chronological trend of X-ray examinations for the gastrointestines at Koshigaya Municipal Hospital. Number of X-ray examinations for upper G.I. is declining nationwide.

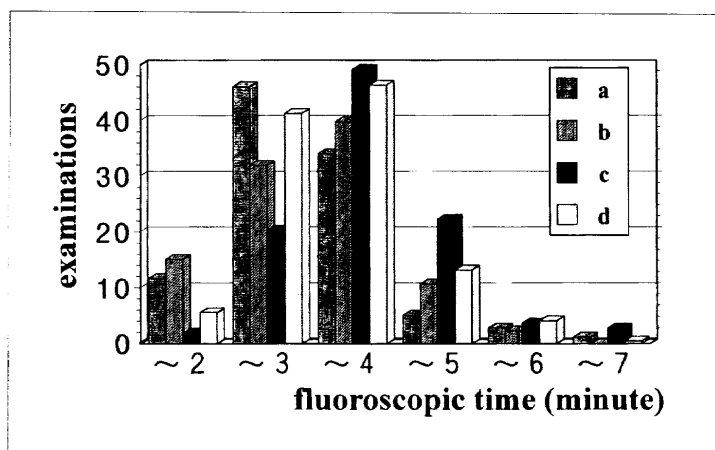


Fig. 2 Comparison of upper G.I. examinations with a remote controlled over table tube type X-ray TV in fluoroscopic time among 4 radiologists at Han-nan Chuoh Hospital ('76-'77). 8.4 radiographs per examination on average were taken. The fluoroscopic time was relatively shorter.

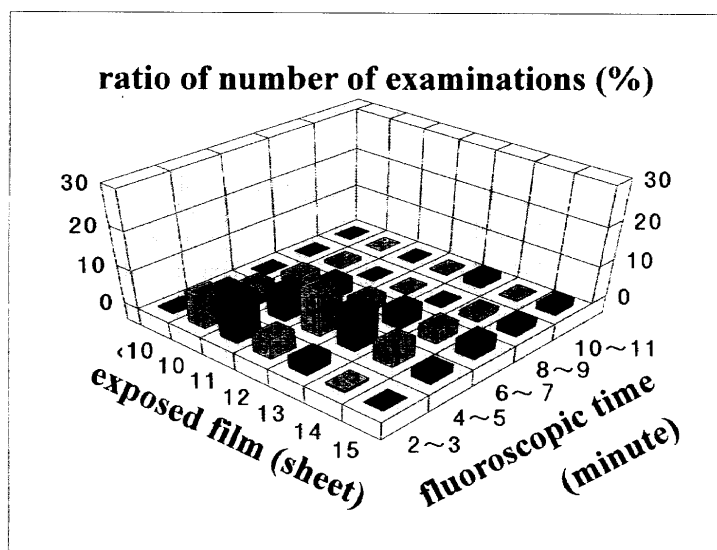


Fig. 3 Number of exposed films and fluoroscopic time taken in upper G.I. examinations with the local under table tube type X-ray TV at Koshigaya Municipal Hospital ('80-'81).

ている。しかし、胃X線検査は、病院で減っていても検診施設や検診車では減っていないといわれている。検査件数が減ったとしても、まだまだ国民の医療被曝に占める消化管検査の割合は高い。

2-2 胃X線検査の撮影枚数と透視時間の相関について

胃X線検査の撮影枚数と透視時間は患者の被曝線量に大きく影響する。

Fig.2は阪南中央病院のオーバーテーブルチューブ(以下、オーバーチューブ)X線TVを使った胃X線検査の透視時間を示したものでa, b, c, d, 4名の放射線科医のものである。撮影枚数も少

なく、全員の平均は8.4枚だった。透視時間は3~4分台に集中していた。今から20年前で、三相の装置で、0.8mm焦点の高速回転のX線管を使っていた。粘着テープ式のカセットレス方式で、フォトタイマは濃度が合わず、いろいろと技師たちが工夫した。

Fig.3には越谷における胃X線検査の撮影枚数(使用フィルム数)と透視時間の相関について図示した。調査期間は1980~1981年。装置は近接アンダーテーブルチューブ(以下、アンダーチューブ)X線TVで、カセット方式、三相装置で普通回転X線管、透視条件は透視電圧が自動で、透視電流はマニュアルで合わせていた。精密検査等は除き、熟練内科医の検査のみ集計した。

Fig.4にはアンダーチューブ、オーバーチューブ両方あわせた件数を示した。調査期間は1994~1995年である。越谷では透視時間の長さは装置のタイプより術者(医師)の個人差が大きかった。越谷では開院時より透視時間を記載している。

Fig.3, 4を比較すると透視画像は良くなったが透視時間は長くなっている。前者は近接タイプ、後者は遠隔操作タイプである。後者は検者の被曝は減るが、患者の被曝は増える傾向にある。

Fig.3の装置のX線透視は線量が低く画質も悪い。Fig.4では高線量高画質であった。初期のメタルL.I.が使われていて、透視条件では前者の2倍くらいだったが、線量計で測っていない。

2-3 近接アンダーチューブX線TVの画質改善について

20数年前、開院時越谷に設置された精密検診用X線TV、KBTはカセット方式で、撮影はX線管焦点1mmのとき、管電圧85kVを使用すると、150mA、0.1secまでしか撮影できなかった。装置の形状により高速回転X線管が取り付けられなかったからである。これでは患者が大きいと撮影できないので2mm焦点になった。それでもカセットは手で撮影の良いタイミングを逃さなかった。この装置の透視条件はX線管電圧だけが自動で、管電流は患者に合わせ技師が設定していた。透視電流は標準体型では0.5mAくらいだった。残像も多くコントラストの低い状態で使っており、透視条件を上げて効果も低かった。

1979年、同上のTVと同じものをメーカーに作ってもらった。三相6パルスは同じでX線管は高速回転、焦点寸法は0.8mm(単峰性)だった。ターゲット角度も小さくして容量を大きくした。撮影条件は85kVでは400mA、0.1secのX線がでた。しかし、カセット送りは自動にしたため、前の機種に劣り、X線管の回転数を落とさないため透視中でも1分間に1回駆動をかけて、早くX線が出せるように工夫がされた。そのことを本会の関東東京部会で発表した。

その時の2機種のMTFをFig.5に示す。a, bは機種を表し、aは古い機種である。MTFは速写部より5cmの位置に解像力チャートを置き測定した。感度の違う増感紙を用いたがa機種では差がでなかった。患者が大きいとa機種では2mm焦点を使用しなければならないので両機種の差が広がった。bはYSF-20といい、老朽化しながら今も稼働している。

昨年(1997年)、越谷に新しいアンダーチューブX線TVが設置された。熊倉先生^{1,2)}の考えでできた装置、GI SCOPEである。当然カセットレスでインバータタイプ、透視時には撮影用グリッドが退避する。全体として散乱線の少ないシステムだ。フォトタイムも良くなっているがユーザの情報が入ればもっと改良できる設計だ。

消化管X線検査では装置の低拡大率が議論されるがX線管焦点を小さくすれば解決できる。時には拡大効果も期待できる。また大電流だと短時間撮影ができ、より鮮明な写真ができた。YSF-20では、1mmでもフィルムと患者を密着させたいため無理をし、トラブルが続出した。システムとしての画質が私の頭になかったようだ。

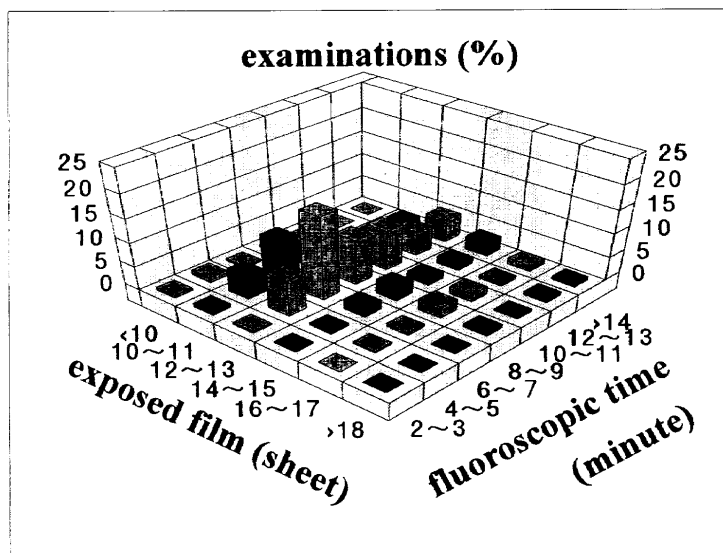


Fig. 4 Number of exposed films and fluoroscopic time taken in all upper G.I. routine examinations with two X-ray TV systems at Koshigaya Municipal Hospital ('94-'95).

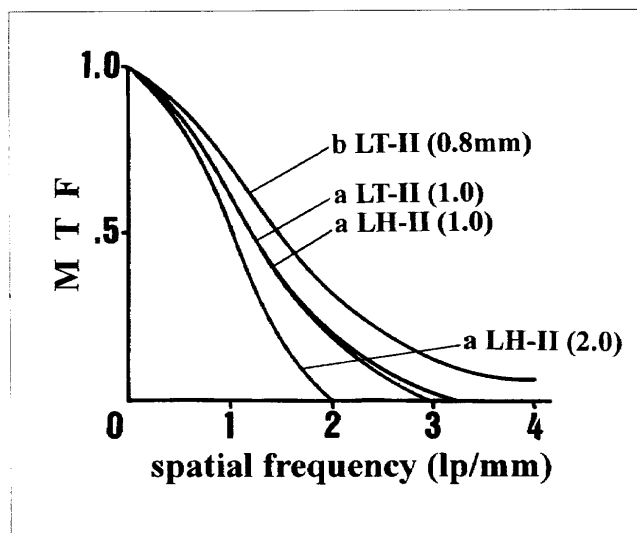


Fig. 5 A comparison of two local X-ray TV systems in MTF ('79).

(a) Earlier model (conventional type).

(b) The latest model.

The figure in the parenthesis indicates the focal spot size in mm.

3. 検査における撮影系の画像技術

私の考える撮影系の画像技術とは簡単にいえば、装置と記録系、X線被曝である。装置はX線TVとし、記録系はアナログ、デジタルに区別されるが、ここではアナログ画像を主に考える。自現機処理はフィルムの薄膜化で濃度はほぼ安定した。処理時間とフィルムの改良が本学会で研究されたが今は少ない。

3-1 撮影系実態調査班の資料からX線管について

本学会では後に述べる増感紙-フィルム系の転換期に対応するため1980年に実態調査班が作られた³⁻⁶⁾。この班が後の第一次撮影系実態調査班となる。私は3

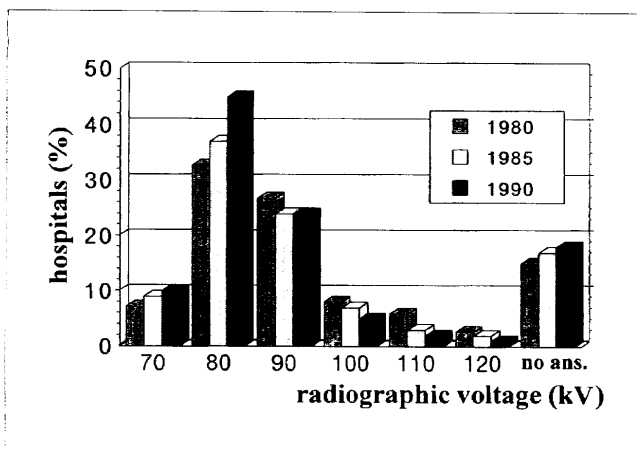


Fig. 6 A trend of the voltage of the X-ray tube in the upper G.I. examinations. The voltage of the X-ray tube was read from the control panel. The data of Figs. 6, 8, 10, 12, and 13 were acquired from the field survey.

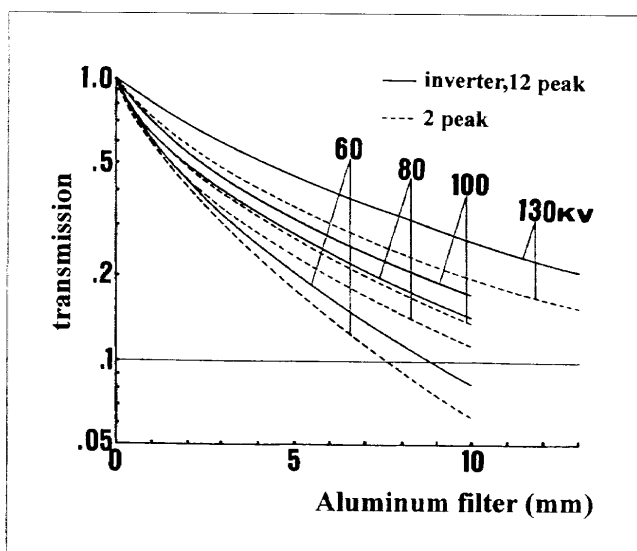


Fig. 7 The comparison of radiographic voltage with aluminum transmission curve. This was measured in a narrow beam. The X-ray TV systems equipped with an inverter type are popularly used these days.

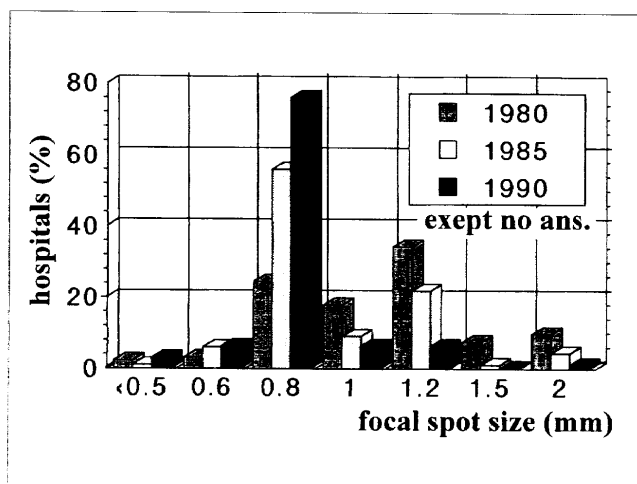


Fig. 8 The focal spot size of the X-ray tube (nominal value) is being consolidated.

回まで関係した。第三次はデジタル化への移行を考え、X線撮影だけでなく、X線CT、CR、DSAを増やした1995年に続かなかったのはたいへん残念なことである。この結果の一部は1991年にRSNAで発表した。世界的にみても資料価値があったと考えられる。1995年のX線撮影系の調査があり班長の好意により結果をいただいたが、その結果が本紙に掲載されてないため図表にしなかった。

実態調査のアンケートの条件は成人男子、腹厚が18cmの胃部二重造影正面背臥位撮影とした。

Fig.6に3回の実態調査による撮影管電圧の推移を示した。図の撮影電圧は装置の表示値であり、電圧波形を考慮に入っていない生データである。85kV付近が多かった。Fig.6, 8, 10, 12, 13は実態調査のデータを用いた。

Fig.7は撮影電圧の波形つまり電源、整流方式による線質の差を示す目的でアルミニウムの透過曲線を作成した。実験は東芝の工場で行った。測定器はビクトリーンのRメータ、測定はnarrow beamで行った。散乱線を含まないデータなので実際の使用時とは異なる。X線管は同一のものを使用し、供給電源は良い状態での結果である。現在は単相装置はほとんどなく、インバータが主流である。

撮影の命といえるX線管は陽極回転速度の3倍高速化により、0.3/0.8mmの焦点を実用可能にした。Fig.8はX線管焦点サイズ(公称値)の分布で統一化が進んでいる。古典的焦点サイズ1/2mmは過去の技術となった。将来デジタル化の画像技術を用い、もっと小焦点化が進んでほしい。放射線被曝を増やさずに画質向上を図るには、X線管の小焦点化が一番効果的だ。Fig.9に焦点の規格の実態を示す⁷⁾。X線管焦点サイズは公称値が通用しているが、実効焦点との差は大きく、それはJISの許容範囲からもわかる。写真の画質は焦点の面積に依存するので縦軸は焦点面積で表した。許容範囲の最大値と最小値の差はあまりに大きい。画像へのこだわりのあるユーザは小さい焦点のX線管が届くようにX線管の焦点写真をメーカーに請求したりして、こだわりを表現したい。

X線管の大容量化をまとめてみた。

- ・回転陽極を3倍回転にすることによって1.7倍に。
- ・ターゲット角度を小さくすることにより1.4倍に(アンダーチューブ、4切の照射野で17°から12°に変えた場合)。
- ・入力波形による効率化(単相全波整流を三相、インバータに換える)現場では電源事情もあり一概には言えないが効果は大きい。

この実態調査ではX線管の総濾過のデータが正しくとれなかった。画質、被曝のバランスを考えるにはど

うしても欲しいデータだった。

撮影時間、つまりタイマは0.1~1秒の間に大半ははいる。回答にあった使用X線管のHUから考え、もっと大電流を使用することによりタイマを短くできる。

3-2 増感紙-フィルム系について

1975年、日本コダック株式会社のOGフィルムの出現により、日本でもX線フィルムのオルソクロマチックフィルム(以下、オルソ)化が始まった。オルソフィルムの開発当初は高感度フィルムとして設計されており、増感紙-フィルム系の画質は従来のブルー発光増感紙とレギュラーフィルムのシステム(以下、ブルーシステム)より劣っていた。その当時越谷で、胃の精密検診の増感紙-フィルム系について内科医よりクレームがついた。グリーン発光増感紙LanexRegularとオルソフィルムOGでは早期胃ガンの質的診断ができない。理由は陥凹の周りの浮腫の状態が分からない。陥凹の形が違って写るということだった。そこでブルーシステムのLH-IIとNewRXで前者との比較がなされ、後者が優れていた。その頃の画質が忘れられないユーザがまだいる。

経済性で見たオルソ化はフィルムの価格は同じでも増感紙が高価格で、フィルムチェンジャが価格の欠点を補った。

Fig.10は増感紙-フィルム系の使用比率の推移、ブルーシステムから稀土類のグリーン発光増感紙とオルソフィルムのシステム(以下、グリーンシステム)への移行はX線TVシステムでは早かった。

Fig.11は実態調査で頻度の高い増感紙-フィルム系のMTF。この図ではグリーンシステムは、HR-4+オルソフィルムの組み合わせが多く、ブルーシステムでは点線のBM III+NewRXが多かった。この図は1990年に作成したが、現在では同一感度でもMTFのすぐれたシステムが市販されている。

Fig.12は実態調査で使用されている増感紙-フィルム系の相対感度を、ブルーとグリーンシステムに分けてその施設数比を示した。調査初期に多かったMSクラス増感紙+普通感度レギュラーフィルムNewRXを基準とした。

Fig.13はFig.12のデータを用いて推定線量を計算したもので、増感紙-フィルム系の感度が同じでも施設間の線量の差は大きかった。これはアンケートからの推定であるため、実際の線量差は分らないが品質管理が必要であることは明らかである。

次は、1978~1982年に本学会に発表した増感紙の変性についてである。増感紙の保護膜の損傷によりその部分が減感する事態が全国的に発生した。原因にはフィルムからの影響もいわれた。フィルムチェンジャ

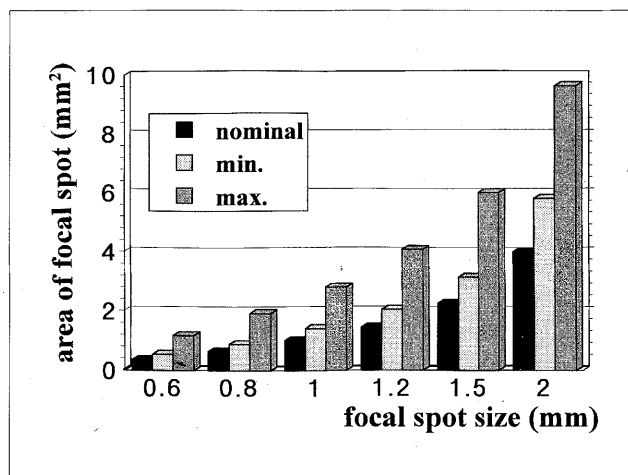


Fig. 9 The difference of the focal spot size between the nominal value and the tolerance by JIS standard. The nominal focal spot size is much different from the effective focal spot size. The vertical axis shows the area of the focal spot because the image quality much depends on it.

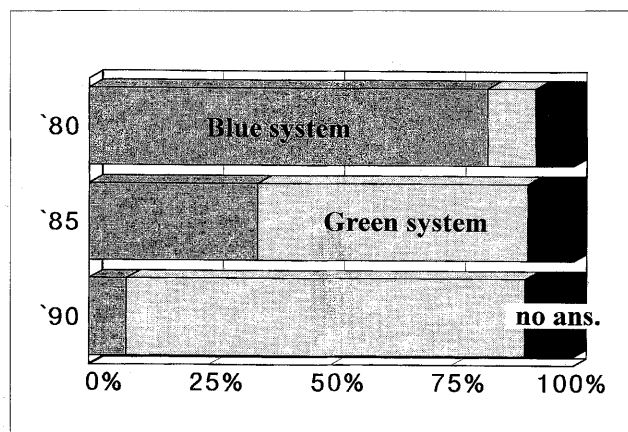


Fig. 10 A trend of the X-ray intensifying screens installed in X-ray TV systems. The green-emitting screens had been employed more earlier than other X-ray systems.

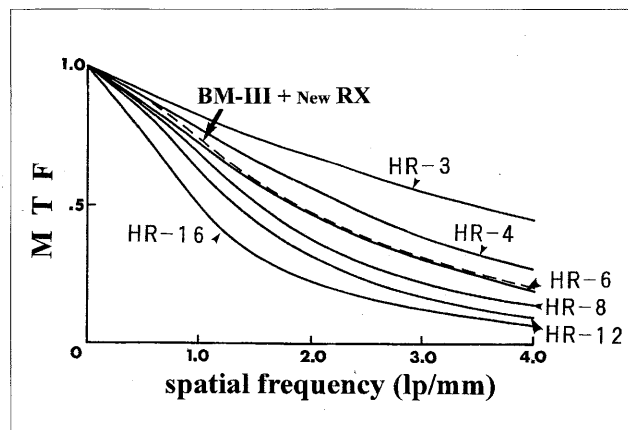


Fig. 11 The comparison of the MTF of the intensifying screens and X-ray film combinations popularly employed in X-ray TV systems in the field. The HR-4/orthochromatic film combination among green systems and the "BM-III"/"NewRX" regular film combination among blue systems (a dotted line) were mainly used in the field ('90).

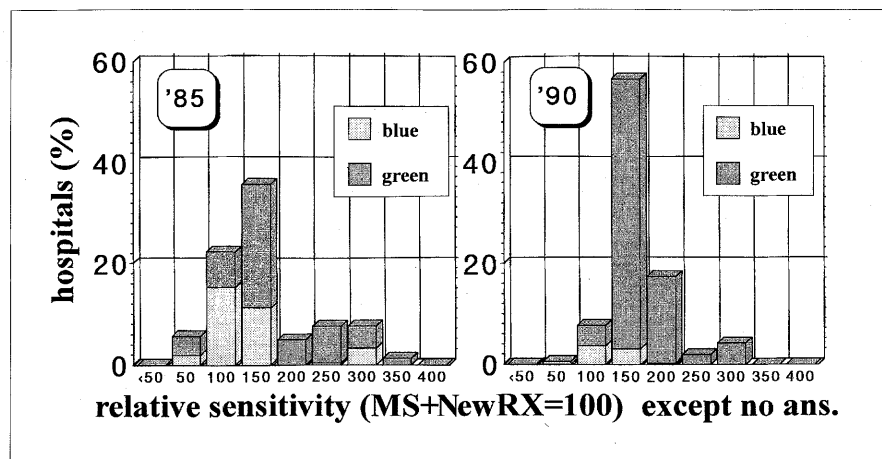


Fig. 12 The distribution of the relative speed of the intensifying screens and X-ray film combinations employed in X-ray TV systems in the field. The relative speed is calculated based on the "MS" intensifying screens and "NewRX" combination as 100.

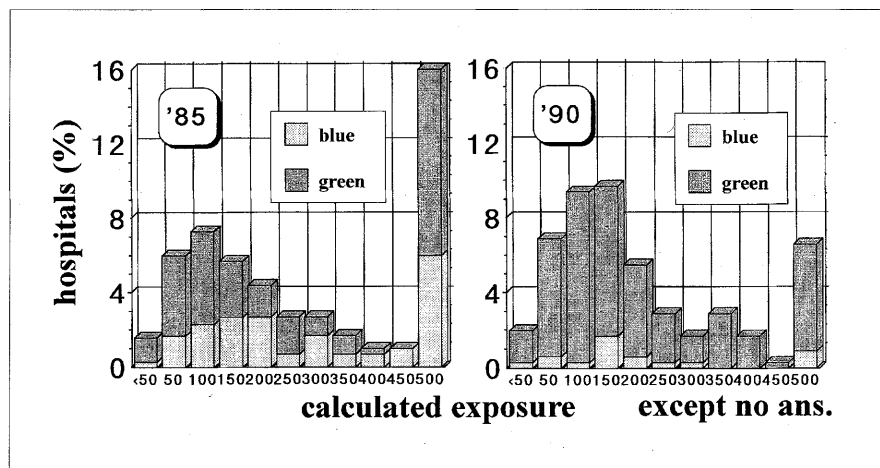


Fig. 13 The distribution of calculated exposure in an upper G.I. double contrast examinations based on the data of Fig.12. The calculated exposure varies from site to site even with the same relative speed combination.

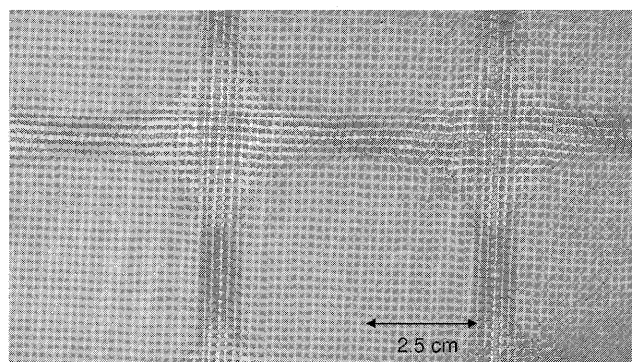


Fig. 14 The deterioration of the intensifying screens reported in '78-'82 in this society. The protective layer of the intensifying screens was damaged and the surrounding area was dissensitized. This problem happened nationwide, especially in the screens installed in the X-ray TV systems.

タイプの多いX線TVでは多発した。変性はフロント増感紙で顕著だった。メーカー側の原因の説明と対応についてはケースバイケースであったがこの事件は発展途上的一幕だった。Fig.14はフロント増感紙の写真である。この変性は画質向上のため保護膜を薄くした商品で多発した。フィルムチェンジャの普及によりフィルムを挟んでいたインターリーブドペーパーがなくなろうとしていた時期だった。

フィルムチェンジャタイプのX線TVの初期の機種では、増感紙とフィルムの密着に時間がかかり、X線写真の鮮鋭度が悪くなった。1983年に埼玉の支部会で発表した。Fig.15に示す。図の縦軸、左はハウレットチャートの読み値と、右は解像力チャートの読み値、横軸はフィルムが装填されてからの経過時間(秒)である。サイクル時間が6秒であることを考えると密着不良のまま撮影がされていた。当時のメーカーの増感紙-フィルムの密着度の測定は、細かい針金の網で、それが当時の「品質」で

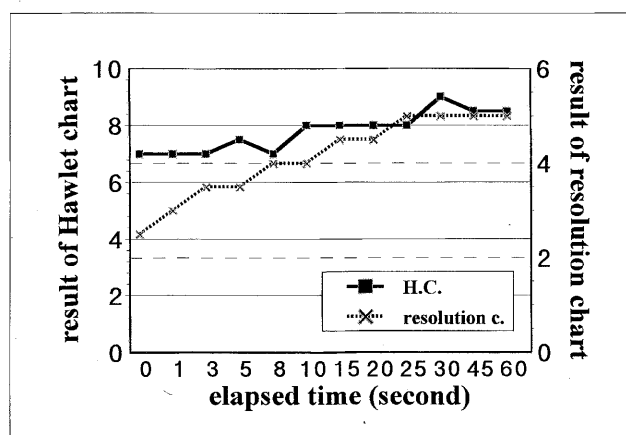


Fig. 15 An influence of the contact between the intensifying screens and the X-ray film in X-ray TV systems ('83). The early model of film changer type equipment needed more time to make a good screens-film contact, therefore, got a poor image in sharpness. The left vertical axis shows the result of Hawlet chart, and the right vertical axis shows the result of resolution chart. The horizontal axis shows elapsed time (second) after the film was set up in film spot device.

あった。カセットからカセットレスへの転換は、ユーザの需要に支えられ現在の品質となった。フィルムチェンジャでは、カセットの時には大きい患者に高感度増感紙を使っていた技術が発揮できなくなった。増感紙-フィルムの密着板は高価なため、いくつも購入できないだろう。

X線フィルムのオルソ化は原料銀の高騰の時期に速度を早めた。省銀は画質の低下を来すのではないかと議論が盛んにされた。そこで、X線フィルムの含有銀を測ることを思いついた。開業医で棚に眠っていたフィルムも届けてくださる方もいた。銀量は筑波の科学技術研究所でフレーム原子吸光法を用いて測定した⁸⁾。Fig.16はフィルム名、フィルムの使用期限とフィルム含有銀量(mg/cm²)である。銀量はフィルム会社によって差があった。それでもオルソフィルムは銀が少なかった。メーカ側からは銀量の節減は画質を落とさない範囲内との説明だった。

当時のオルソフィルムでは、低濃度部示現が劣っていると考えたのでフィルムの特性曲線の低濃度部におけるハウレットチャートによる視覚評価を行った。Fig.17に結果を示した。視覚評価は観察者により結果が異なることが困難な点である。撮影条件は撮影管電圧 70kV、グリッドを使用して、ファントムはアクリル板 10cmとした。現在では当時よりオルソフィルムも増感紙も技術革新が進み、おいてきぼりのレギュラーフィルムでは勝ち目がない。

消化管X線検査には不可欠のグリッドは、慶応病院の佐藤忠氏が胃透視を始めた1950年頃にはなかったといわれる。その画像が想像できない。余談になるが、バリウムは団子状で食べるもので、撮影は、立位充満像、レリーフ像、圧迫像、重複撮影等であったと聞いた。グリッドの開発も長い物語になるが通り過ぎたい。はじめに書いた撮影用グリッドが透視時に待避する装置は患者の被曝低減に役立つ。X線TVはオーバーチューブが増えて汎用型になってきた。造影剤もバリウム、ヨード製剤があり適正な撮影電圧が異なるため、グリッドは簡単に置き換えられる機構が欲しい。

4. 検査における透視系の画像技術

「透視がもっと見えたら」の蛍光板透視から始まった消化管X線検査はイメージ増倍管(以下、IL)を用いたX線TVになってからも透視画像は良くなかった。その後、X線TVの技術革新は目覚ましく、現在は透視のデジタル化が進んでいる。

自動輝度機構の信号の検出部はTVモニタの中心部に位置し、そこにバリウムがくれば過度にX線が出る

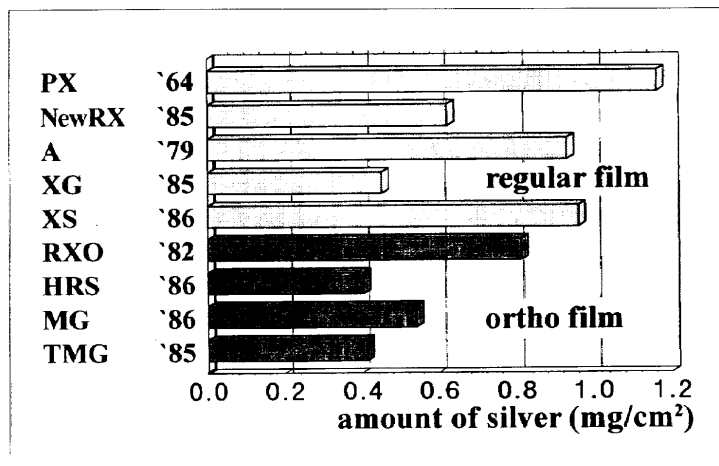


Fig. 16 The comparison of various types of X-ray film in an amount of silver in mg/cm² ('88). The numbers adjacent to the film types show expiration years of the films.

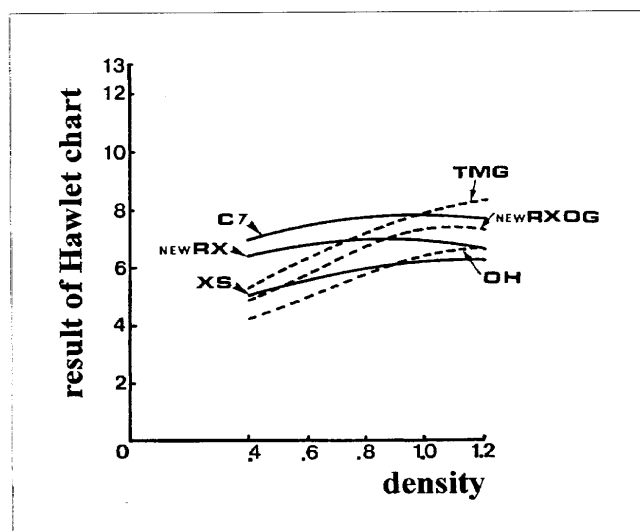


Fig. 17 Visual results of Hawlet chart at the low density area (exposure condition R.kv 70 kV with grid, phantom: acryl 10 cm thick).

機構で、他の技術革新からは考えられない状態がまだ続いている。ユーザが高性能の自動化を望まないからと考える。Fig.18にX線TVの自動露出機構の検出部の比較をした。aは現在用いられているもので単一検出部で、透視にも撮影にも用いられている。20年以上前から多検出部を作ってきたメーカもあるが全体に広がらなかった。それでもaよりは濃度のよくあう写真ができた。bは多検出部の一例だが、まだこれからと考えられる。次に単一検出部の自動化機構を用いた装置の無駄な被曝を考える。Fig.19にバリウムの画面被覆率に対する線量比を示した。横軸の数字はTV画面のバリウム被覆率を示す。バリウムが多くなると透視条件が高くなりすぎ、画面は光って見えにくくなる。これは無駄な被曝である。バリウムがあってもないときに比較して2倍以下の線量にしてほしい。

Fig.19はオーバーチューブの例であるが、アンダーチューブの場合にはもっと無駄な被曝が増えている。ア

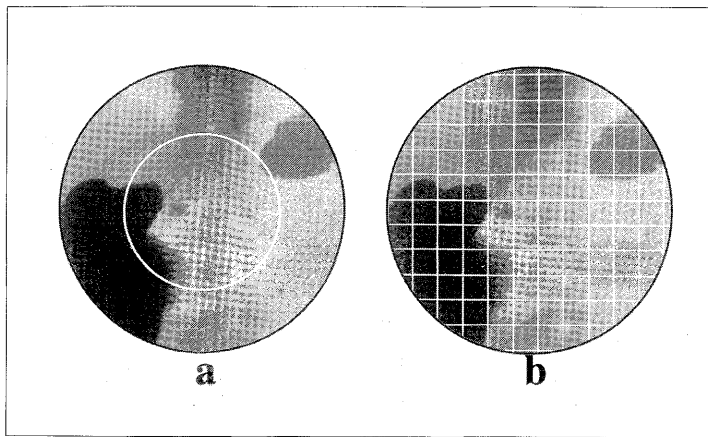


Fig. 18 The detectors of the automatic exposure control.
(a) A single detector type.
(b) Multi-detector type.

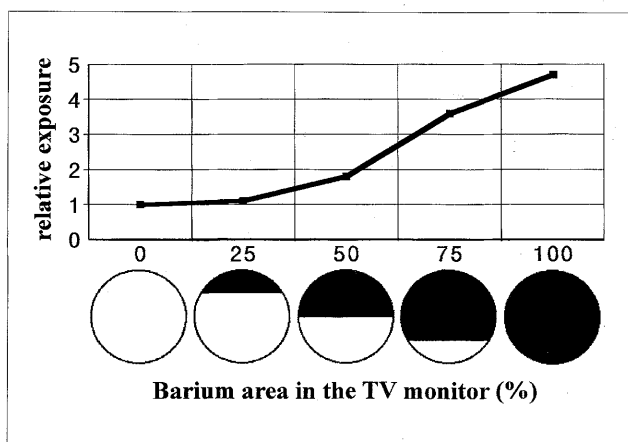


Fig. 19 The difference in exposures when the detector is covered with barium. The black area in the circle shows the barium area in the TV monitor.

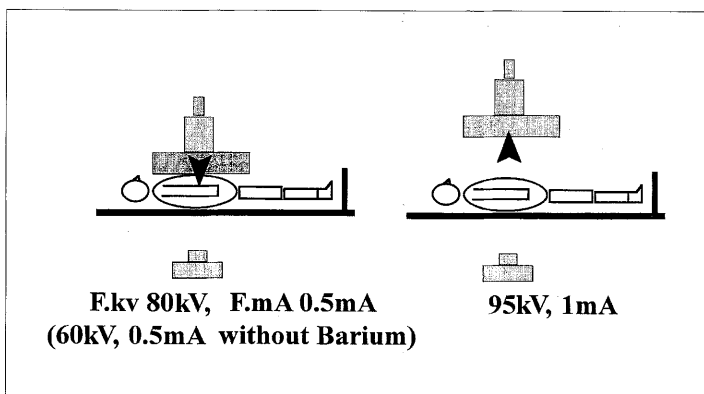


Fig. 20 Correlation between fluoroscopic conditions and the position of the detector using the under table tube type X-ray TV. The fluoroscopic conditions without barium is 60kV, 0.5mA.

アンダーチューブは消化管用X線TVともいえるが、患者の被曝低減には向かない。Fig.20はアンダーチューブX線TVにおいて、速写部の位置による透視条件の変化について示した。患者は痩せ形で二重造影正面の撮影時である。バリウムがない状態では60kV, 0.5mAで

あった。アンダーチューブでは撮影時以外速写部を患者から離しがちで検査する。患者の体位変換が困難だからだ。そして、透視用のX管焦点はほとんど0.3mmで離れた方が病変はよく見える。なかには、検査技術が未熟なため撮影時にも速写板を降ろさない医師がいる。全国的にはアンダーチューブX線TVは減っているが、消化管検査を重視する施設にはまだ設置されている。TLDを用いた調査、実験では痩せた人ほど無駄な被曝が多い。つまり、特に大きい患者の透視条件は装置の最高出力に近いので、無駄な被曝が少ないといえる。

Fig.21はアンダーチューブX線TVで自動機構により生じた過度なX線のため、TV画面が光って見えなくなる場合の実験である。適正な透視条件を超えると画面は明るすぎて見えなくなり、無駄な被曝が増える。1990年に本学会で発表した。

昔話になるが、阪大病院に蛍光板透視の装置が稼働していた頃、TLDが日本に入ってきた。また国産のTLDも開発された。人骨入りのランドファントムは日本人より大きかったが学校から借りられた。そこで消化管X線検査時の性腺線量を測ってみた。Fig.22に1977年の論文^{9,10)}の図を再現してみた。図は胃腸検査撮影時の照射野の変化と性腺被曝線量についてで蛍光板透視とオーバーチューブX線TVの比較である。照射野の下縁と男女性腺の位置関係に目を付けた研究は評価された。a, bは背臥位で、c, dは腹臥位である。蛍光板透視はa, cで、オーバーチューブX線TVはb, dである。

私は十余年前より、関東のX線TV透視条件を調査している。撮像管がCCDカメラに替わる前からである。施設差が大きいため、東芝那須工場と共同で透視条件の視覚評価、一部ROC評価も行うことになった。那須工場の実験値と2施設の条件を線量で比較した。調査施設のなかには、もっと高線量の施設もあったが除いた。I.I.の高感度化、高画質化は著しいのに線量は減っていない。いや増えている。技術革新は画質の向上に寄与したのだ。

Fig.23には自動輝度調整機構を使用した透視条件を線量で比較した。全部オーバーチューブタイプで、1988年に測定した機種BVにおいて、アクリル15cmの条件を1.0とした。

Fig.24では透視画像の視覚評価に用いたチャートを示した。aはQCツールのカップメッシュ、bは自作の

透視用チャート¹⁴⁾である。矢印は実験に用いた小ビーズで大きさは外径 2.1mmである。cは解像力チャートである。

那須工場において、走査線 525本TVと1,050本TVの画像を視覚評価した。

Fig.25は、X線TV画像の評価時の実験図である。オーバーチューブタイプX線TVで、X線管実効焦点：0.45×0.43mm²、散乱線除去グリッド：12：1、40本/cm、インタースペースAlでカバーレスタイプ。天板は木製で厚さ9mm。

Table 1は東芝那須工場における、自動輝度調整機構を使用した透視条件である。2種のX線TV系は同じX線管、発生装置を用いた。オーバーチューブタイプ、I.I.は9インチ、SIDは110cm。走査線 525本TVと1,050本TVでI.I.は換えた。

Table 2は、Table 1の条件における透視画像の視覚評価を示したものである。

10年ほど前はアクリル 15cmのファントムでは小ビーズは見えなかった。消化管検査用X線TVでは、外径 2.1mmの小ビーズは見えなくてもいいと思う。

カップメッシュや解像力チャートは透視画像に敏感に反応していないことに気付いてほしい。両者はどこの病院にでもあるものではない。そこで、試行錯誤の

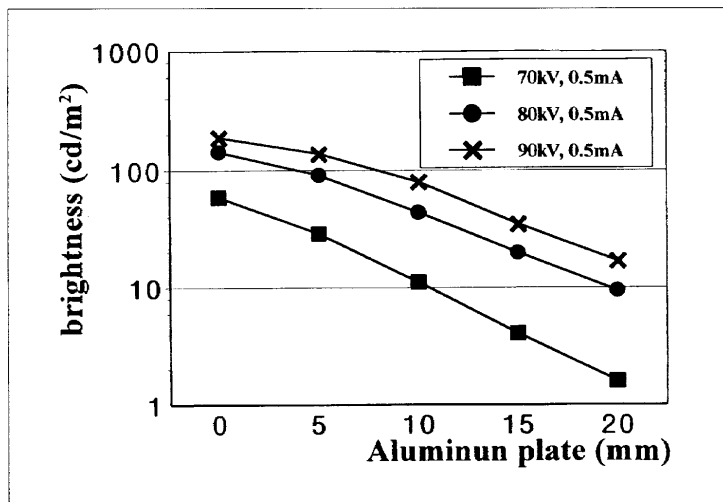


Fig. 21 The brightness of TV monitor based on the fluoroscopic conditions ('90). Excessive dose rate made the image on the TV monitor unclear in detail because of over-brightness. As the result, the worthless exposure increased.

末に有効なチャートを作った。普及のために本にも載せ、メーカーの工場にもあげた。このチャートは病院にあるものと無色のガラスビーズだけで作った。材料費は数百円だ。台紙にビーズ等を貼りチャートとし、アクリル板の代わりには目盛りを付けたプラスチックのバケツがあればなんとかなる。透視画像の経時変化を見るには十分と考える。

この時ROC評価も行った。ROC評価時の観察条件

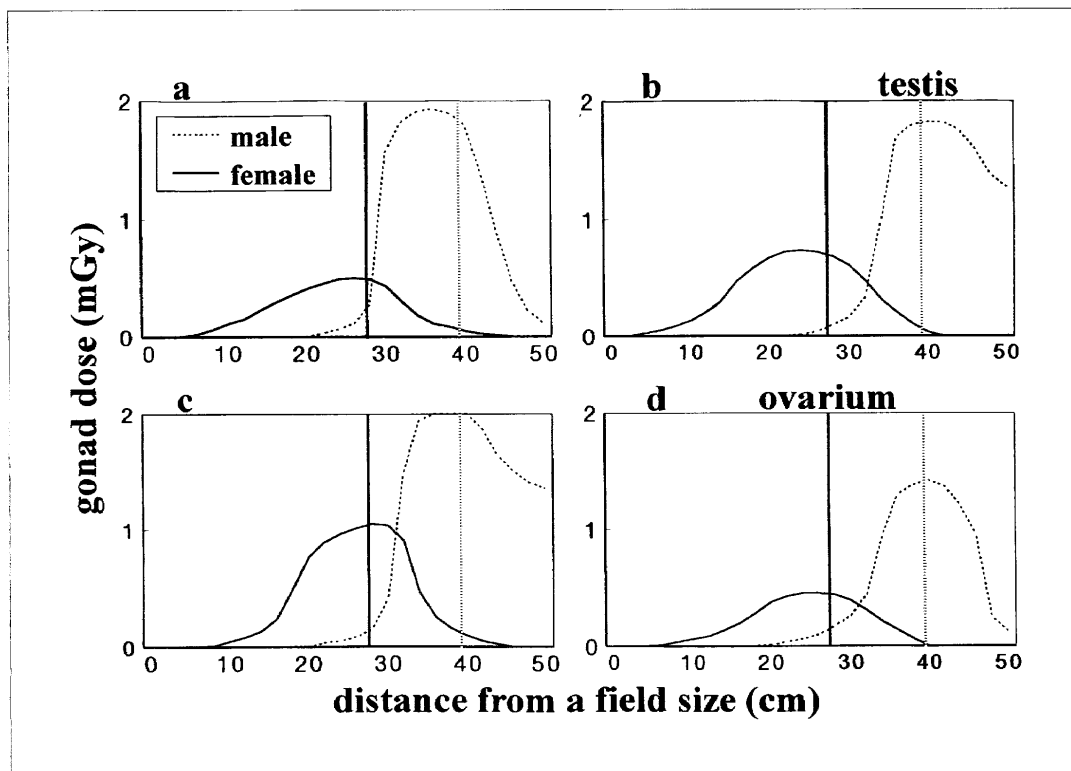


Fig. 22 Correlation between gonad dose and the exposure field in G.I. examinations (a, b: supine position, c, d: prone position). The comparison between fluoroscopy for fluorescent screen (a, c) and the over table tube type X-ray TV system (b, d) ('73).

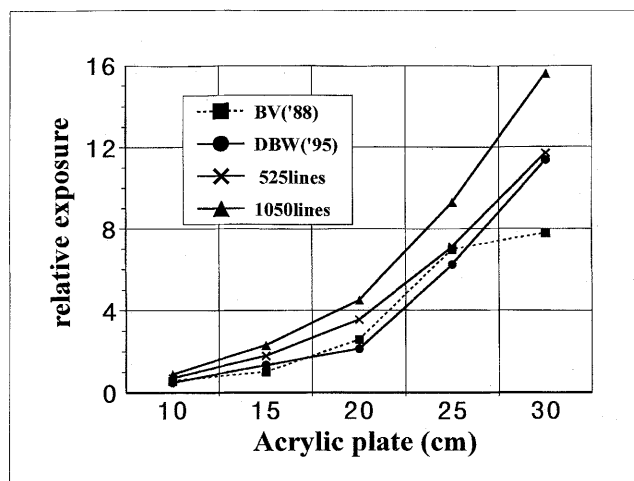


Fig. 23 Fluoroscopic conditions with an automatic brightness control. The relative air dose is normalized as 1.0 in the over table tube type X-ray TV type "BV" with an acrylic plate of 15 cm thick.

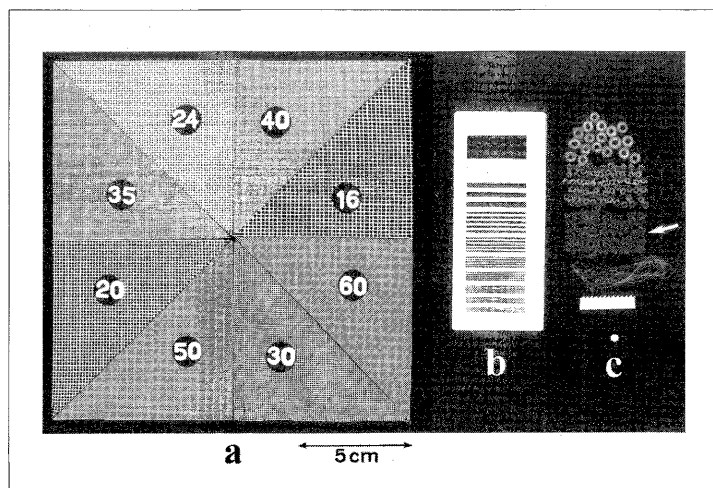


Fig. 24 The charts used for the visual evaluation of the fluoroscopic images.

- (a) Copper meshes as a QC tool.
 (b) A resolution chart.
 (c) A custom-made chart; An arrow indicates 2.1 mm small beads in diameter.

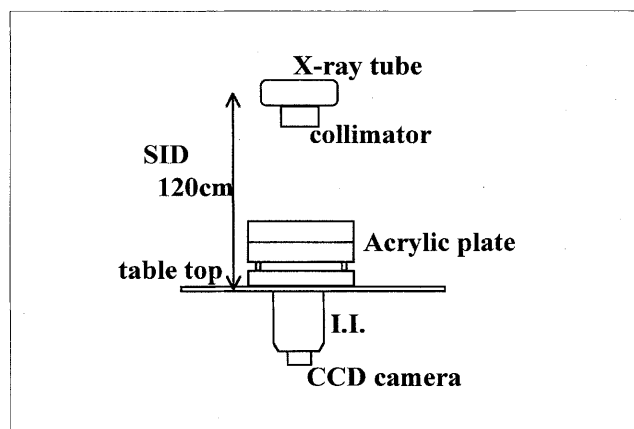


Fig. 25 An experimental illustration in two TV monitors evaluation with the over table tube type X-ray TV. X-ray focal spot size: 0.45 mm×0.43 mm, anti-scatter grid: 12:1, 40 lines/cm, Al interspacer, coverless type, tabletop: wood in 9 mm thickness.

を以下に示した。

- ・観察時に室内は暗くした。
- ・1 試料の観察時間は40秒以内とした。
- ・モニタの観察距離は40～50cmとした。
- ・トレーニングとして、ROC評価を行う前に、信号を入れた画像を覚えてもらう。
- ・モニタを4分割してROC評価を行い、前面で視線解析をした。
- ・モニタの周辺部は使用しなかった。
- ・評価は5段階評価とした。
 1. 信号は絶対存在しない。
 2. 信号はたぶん存在しないだろう。
 3. どちらとも云えない。判らない
 4. 信号はたぶん存在するだろう。
 5. 信号は絶対存在する。

視覚評価は誰でもできるものではなく訓練が必要だ。ROC曲線はメッツ先生¹²⁾のROCFITを用いた。Fig.26にTable 1の条件における透視画像のROC評価を示した。走査線525本TVと1,050本TVの比較で両者とも透視条件を下げるとROC評価も下がった。両者は高画質であり、「ここまで見えなければいけないのか」を検証しなければいけない。

数年前より透視画像、胃X線検査の視線解析に取り組んでいる。透視画像の評価をアイカメラを用いて視線解析した。使用したX線TVはオーバーチューブでI.I.は古い。

Fig.27は上記のTVを使用し、アクリル15cm、小ビーズを信号としたTV画面のROC評価を示した。一言でいえば、信号はあまり見えなかった。そのため5段階評価の5と1がほとんどなかった。

Fig.28は小ビーズによるROC評価時のアイカメラによる停留点軌跡である。5段階評価は停留点軌跡の下に示した。aのみはアクリル

Table 1 The comparison of fluoroscopic conditions with the automatic brightness control between 2 different types of TV monitors. This evaluation was conducted in TOSHIBA NASU works. The same X-ray tube and X-ray equipment are used. Over table tube type X-ray TV, 9 inch I.I. in diameter, SID 110 cm.

acryl (cm)	525 lines/TV monitor		1,050 lines/TV monitor	
	(kV)	(mA)	(kV)	(mA)
10	63	0.7	66	0.8
15	76	1.2	80	1.4
20	90	1.7	96	1.9
25	108	2.4	117	2.7
30	125	3.0	125	4.0

5cmの条件で、くっきり信号が見えているのがわかる。e, fは20秒観察, 他は10秒だった。()内はROC評価時の5段階評価時の数値である。見えにくい画像では、探している視線となり個人差が出た。信号のないeでもあたかも信号のある停留点軌跡を示し、観察者は4と評価している。gでは信号が視線と別のところにある。評価は4と正しい。アイカメラの放射線画像への貢献はまだままだのようだ。

Fig.29aは、胃二重造影第二斜位で矢印の箇所に早期胃癌があり、bは検査に熟練した放

Table 2 The visual evaluation of fluoroscopic images on 2 different types of TV monitors based on the fluoroscopic exposure conditions are shown in the table 1.

525 lines/TV monitor						1,050 lines/TV monitor				
acryl (cm)	S	M	L	Cu	reso.	S	M	L	Cu	reso.
10	○	◎	◎	30	1.50	◎	◎	◎	40	2.00
15	△	○	○	24	1.50	△	◎	◎	35	2.00
20	×	△	○	24	1.50	×	△	◎	35	1.50
25	×	×	○	20	1.25	×	×	◎	30	1.50
30	×	×	○	16	1.25	×	×	○	24	1.50

◎ : clearly visual

○ : visual

△ : poorly visual

× : invisible

S, M, L : bead size

Cu : copper meshes (line/inch)

reso. : resolution chart (lp/mm)

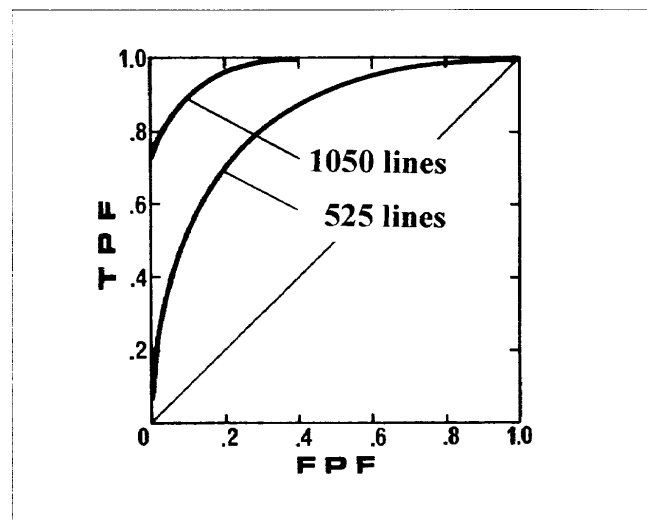


Fig. 26 The ROC evaluation of images on a 525 line TV monitor and a 1,050 line TV monitor. The lower the exposure conditions, the lower the ROC evaluation result on both TV monitors.

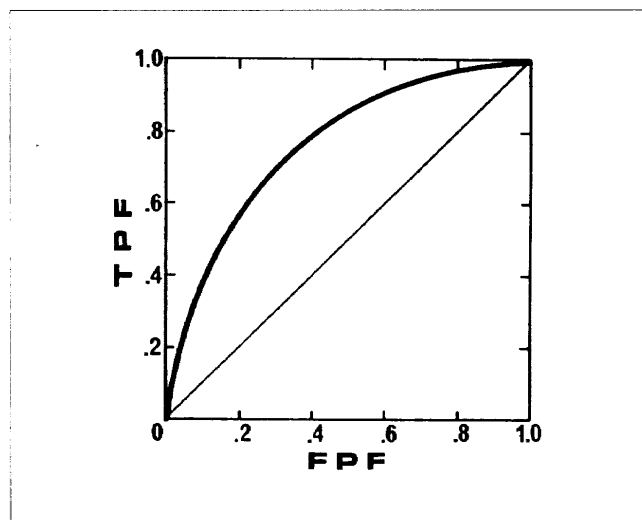


Fig. 27 The ROC evaluation of images on a secondhand monitor with small beads as signals and an acrylic plate of 15 cm thickness.

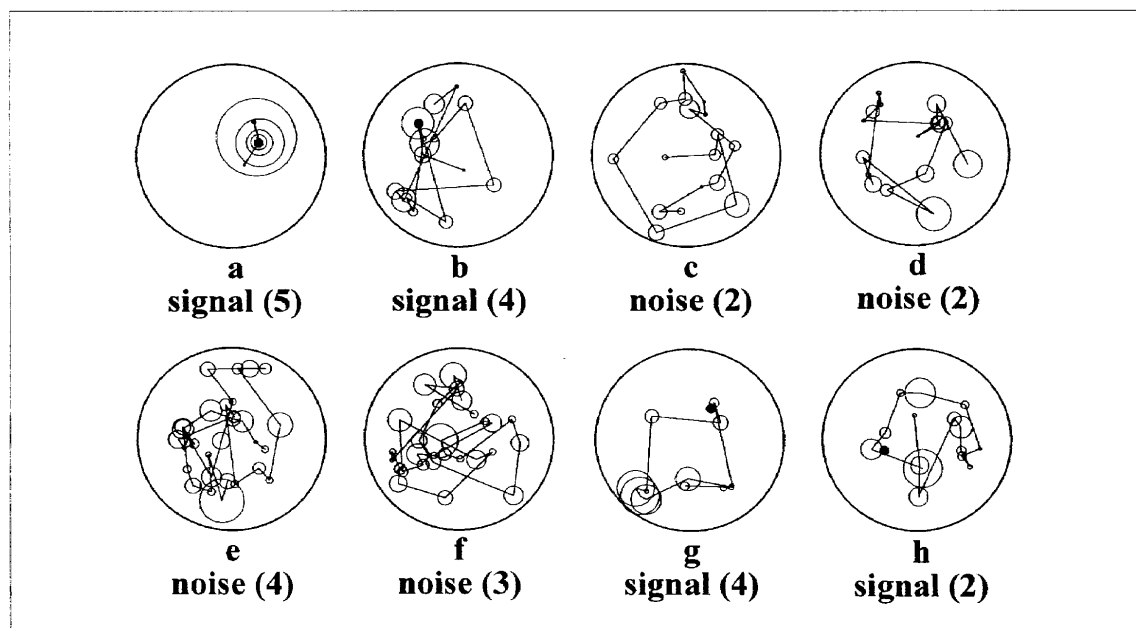


Fig. 28 Eye-fixation records of images on the secondhand monitor by an eye-camera. The observation time is 20 seconds in the graph e and f. That in the other graphs is 10 seconds. The figures in the parentheses indicate the values in 5 grades of the ROC evaluation.

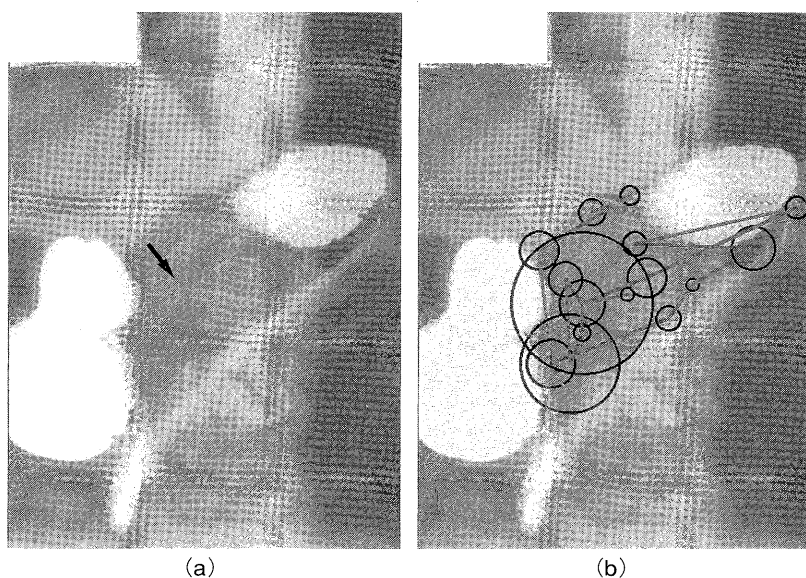


Fig. 29 The graph a has an early cancer pointed by the arrow in second oblique position of a upper G.I. double contrast examination. The graph b shows eye-fixation records conducted by a skilled radiological technologist.

放射線技師の停留点軌跡を示した。読影能力の高い観察者の視線はまんべんなく二重造影部分を見ている。この研究はまだ始めたばかりだが、ROC評価より具体的に観察者の脳と放射線画像を結びつけてくれると期待し、続けていくつもりだ。

5. 考 察

素晴らしいことに、本学会では1970年にX線テレビジョン特集号を発行している。内容も先見性がある。

私は長年にわたり、放射線機器のユーザとして、また工場の人との意見の交換のなか感じたことがある。「こういうものが欲しい、こういうものはいらない」というのがユーザの役割で、放射線被曝低減は放射線科医と診療放射線技師の責務と考えている。そのためには「これだけの画質で診断できるという画像の最適化」が急がれる。また検査、診断する人の「質」は今回報告の対象外であるが検査の最適化にはいちばん大切な部分と考える。

アンダーチューブX線TVの消化管検査では画質と患者被曝の面からできるかぎり速写板を患者に近づけて検査すべきと考える。

メーカー側は、法規制のなかで、高画質の製品を作ろうとするのは必然であり、線量を測って規制するのはユーザの責任である。診断領域用の線量計を購入してほしい。

一方、メーカー側はどのユーザのいう意見が正しいかを見極める必要がある。そのためには設計者は医療の現場に通じていなければならない。また設計者はコンピュータができるだけでは足りない。先人の知恵を受

け継ぎ、新しい機器のなかにその精神をよみがえらせる必要がある。

X線管容量の足りないときは、陽極側に濡れタオルを巻き検査した。増感紙-フィルムの組み合わせ感度、タイマ、小焦点の目一杯の撮影条件を覚えて工夫した。撮影条件は写真濃度で適正かどうか検証できた。今もこの状態の施設がある。しかし時代は変わっていている。撮影、透視条件は自動化が進み、X線TVのコントローラはマニュアル操作がほとんどできない機種が増えている。透視も撮影もデジタル化が進めば、いくらX線を過度に照射しても、TVモニタもフィルムも適正な輝度、濃度を保ってくれる。適切な画質であっても、そのためにどれだけX線を患者に照射したかを問われなければならない。20年以上前に、患者の

大きさにより撮影管電圧が自動で変わるフォトタイマのついたX線TVが作られた。私の考えでは撮影管電圧を変えるのはユーザの技術であり、思想であるからと反対した。被写体の薄いときは電圧が低いというものだった。私の考えは、X線TVでは被写体の厚さに関わらず、グリッドが同じであるから薄い被写体では管電圧は高く、厚い被写体でも適正な管電圧を変えないという考えである。薄い被写体では撮影管電流を下げるのだ。私の考えはすぐに設計者に伝わり、改良してもらえた。まず意見を言ってみなければ現状は変わらない。

アナログ画像時代の消化管X線検査の最適化ができてなければデジタル時代の最適化はできないと考える。デジタルの画像処理により同等の画像がどれだけ少ないX線量で作れるかが画像技術の技術革新である。「同等の」という言葉を大切に考えている。「より優れた画像」を追求すれば、技術革新は被曝低減には使われないと思う。現状では高画質のX線TVは高価格で売れるし、メーカー間の競争にも勝てる。画質と透視条件に差のある走査線500本TVと1,000本TVでは価格は2倍と聞いた。

最適化のなかに当然経済性も含まれるが今回の報告ではまったく足りなかった。言い訳になるが「ここまでの画質で診断できる」という問題が解決できないだけでなく、定価と購入価の不可思議な世界で私にはお手上げだった。同様にテクノロジーアセスメントについての提案すらできなかった。

6. おわりに

今これまでの部分を読み返すと、この報告の題名には「私の」とつけて読んでいただかねばと思っている。指導いただいた先達のご意見が入っていないとお叱りを受けることを覚悟している。本学会の発表会で、20年以上にわたり消化管X線検査の画像技術の問題点を提示し続けてきたが、少ししか評価されなかった。

私は放射線技術の激変期に技師として働き、技術革新の試行錯誤の時代に自分の考える装置を作ってもらえたこと、増感紙-フィルム系、フィルム処理にも意見をいえたことを、恵まれていたと感じている。私の願いは、有能なメーカのサービス員や放射線技師の意見にもっと耳を傾けてほしいこと。医師の考えをメーカにわかる言葉に直して伝えてきた放射線技師は自分

の考えを持って、前を向いて提案してほしい。その姿勢は、新しい制度で育つ後輩への励ましになると信じている。

謝 辞

稿を終えるにあたり、今回宿題報告の機会を与えてくださった関係役員の方々に感謝します。お話を聞かせていただき資料を下された遠藤俊夫、佐藤 忠、萩野谷透、新居光廣氏はじめ多くの方々、数十年にわたりご支援くださったメーカの方々、ありがとうございました。この研究の一部はがん研究助成金鳥脇班(名古屋大学 鳥脇純一郎教授)と、科学技術調整費による生活・地域流動研究(オーガナイザ：京都府立医科大学 前田知穂教授)の援助を受けたものです。

参考文献

- 1) 熊倉賢二：臨床医の求める胃部X線写真の画質とは。日放技学誌, 51(11), 1655-1660, (1995)。
- 2) 佐藤 忠：良い胃部造影画像を構成する基本について。日放技学誌, 52(3), 435-439, (1996)。
- 3) 堤 直葉, 川村義彦, 中西省三, 他：増感紙-フィルムについてのアンケート集約一。日放技学誌, 38(2), 219-226, (1982)。
- 4) 堤 直葉, 川村義彦, 中西省三, 他：撮影技術委員会, 増感紙検討班報告。日放技学誌, 38(6), 891-898, (1982)。
- 5) 齊藤一彦, 堤 直葉, 宮崎 茂, 他：撮影系実態調査集計報告。日放技学誌, 43(3), 417-439, (1987)。
- 6) 堤 直葉, 中西省三, 川村義彦, 他：撮影系実態調査報告(その1)-X線撮影系とCRについてのアンケート集約一。日放技学誌, 48(10), 1884-1903, (1992)。
- 7) JISハンドブック放射線(能)1996：日本規格協会, (1996)。
- 8) 堤 直葉, 阿部正己, 染谷武男, 他：The characteristics of medical x-ray films and the effect of the silver content on image quality. 日放技学誌, 44(11), 1575-1582, (1988)。
- 9) 堤 直葉, 宇佐美達也：胃X線検査における患者の生殖腺被曝線量, 日放技学誌, 28(1), (1972)。
- 10) 堤 直葉, 宇佐美達也：腸X線検査における患者の生殖腺被曝線量。日放技学誌, 29(1), 46-51, (1973)。
- 11) 堤 直葉：装置と記録系編, 放射線技師のための消化管撮影技術(第2版), pp.165-188, 金原出版, 東京, (1986)。
- 12) デジタル画像のROC解析検討班編：ROC解析の基礎と応用, 放射線医療技術学叢書(8), 日本放射線技術学会, (1994)。
- 13) X線テレビジョン特集, 日放技学誌, 特輯第5号, (1970)。
- 14) Medica Mundi: Philips Medical Systems, 40(3), (1995)。
- 15) TOSHIBA MEDICAL REVIEW, 20, (1987)：医療と健康と共に, 東芝メディカル総業58年・設立40年の歩み。東芝メディカル株式会社, (1988)。
- 16) レントゲン回顧：島津製作所, (1994)。

図表の説明

- Fig. 1 越谷市立病院における胃腸検査件数の推移。胃の減少は全国的な傾向である。
- Fig. 2 阪南中央病院の遠隔オーバーチューブX線TVによる胃X線検査における4医師による透視時間の比較。撮影枚数の平均は8.4枚。透視時間も短い('76~'77)。
- Fig. 3 越谷市立病院の胃X線検査における透視時間と撮影枚数(の関係)について。近接(local)アンダーチューブ型X線TV('80~'81)。
- Fig. 4 越谷市立病院の胃X線検査における透視時間と撮影枚数について('94~'95)。全機種のルチン検査全体。
- Fig. 5 2機種の近接X線TVのMTFの比較('79)。
- Fig. 6 実態調査による撮影電圧の推移, 撮影電圧は装置の表示値。Fig.6, 8, 10, 12, 13は実態調査のデータを用いた。
- Fig. 7 撮影電圧のアルミニウム透過曲線による比較。測定はnarrow beamで行った。現在はインバータが主流である。
- Fig. 8 X線管焦点サイズ(公称値)で, 焦点サイズの統一化が進んでいる。
- Fig. 9 X線管焦点サイズは公称値が通用しているが, 実効焦点との差は大きく, JISの許容範囲からも分かる。画質は焦点の面積に依存するので縦軸は焦点面積で表した。
- Fig. 10 増感紙-フィルム系の使用比率の推移。ブルーからグリーンシステムへの移行はX線TVシステムでは早かった。
- Fig. 11 実態調査で頻度の高い増感紙-フィルム系のMTF。この図ではグリーンシステムはHR-4+オルソフィルムの組合せが多く, ブルーシステムでは点線のBM III+NewRXが多かった('90)。
- Fig. 12 実態調査で使用されている増感紙-フィルム系の相対感度をブルーとグリーンシステムに分けて, その施設数比を示したもので, 調査初期に多かったMSクラス増感紙+NewRXを基準とした。

- Fig. 13 Fig.12のデータを用いて推定線量を計算したもので、増感紙-フィルム系の感度が同じでも施設間の線量の差は大きかった。
- Fig. 14 '78～'82に本学会に発表した増感紙の変性。増感紙の保護膜の損傷により、その部分が減感した。この問題は全国的に発生し、X線TVに装着した増感紙で多発した。
- Fig. 15 フィルムチェンジャタイプのX線TVの初期の機種では増感紙-フィルムの密着に時間がかかりX線写真の鮮鋭度が悪くなった('83)。縦軸はハウレットチャートの読み値と、解像力チャートの読み値。横軸はフィルム装填スイッチを押してから経過時間(秒)。
- Fig. 16 フィルム名、使用期限と含有銀量(mg/cm^2)('88)。
- Fig. 17 低濃度部におけるハウレットチャートによる視覚評価(撮影条件 70kV, グリッドあり, ファントムはアクリル 10cm)。
- Fig. 18 自動露出機構の検出部の比較。
- Fig. 19 バリウムの被覆率に対する線量比。円内はTV画面のバリウム被覆率を示す。
- Fig. 20 アンダーチューブTVの速写部を患者から離れたときと密着したときの透視条件の違い。バリウムがない状態では60kV, 0.5mAであった。
- Fig. 21 透視条件の変化とTV画面の輝度の関係。適正な透視条件を超えると画面は明るすぎて見えなくなり、無駄な被曝が増える('90)。
- Fig. 22 胃腸検査撮影時の照射野の変化と性腺被曝線量について(a, b:背臥位, c, d:腹臥位)蛍光板透視(a, c)とオーバーチューブX線TV(b, d)の比較('73)。
- Fig. 23 自動輝度調整機構(auto brightness control)を使用した透視条件。オーバーチューブタイプで88年機種BVにおいて、アクリル 15cmの条件を1.0とした。縦軸は空中線量比(relative air dose)。
- Fig. 24 透視画像の視覚評価に用いたチャート。aはQCツールのカップメッシュ(銅の網), cは自作の透視用チャート。矢印は実験に用いた小ビーズ。大きさは外径 2.1mm, bは解像力チャート。
- Fig. 25 2種のTV画像の評価時の実験図。オーバーチューブタイプX線TV, X線管焦点:0.45×0.43mm, 散乱線除去グリッド:12:1, 40本/cm, インタースペイサーAIでカバーレスタイプ。天板は木製で厚さ 9mm。
- Fig. 26 Table 1 の条件における透視画像のROC評価。走査線 525本TVと1,050本TVの比較。両者は条件を下げるとROC評価も下がった。
- Fig. 27 古い、透視条件の少ない装置のアクリル15cm, 小ビーズを信号としたTV画面のROC評価。
- Fig. 28 Fig.28の実験時の続き。アイカメラで透視画像観察時の停留点軌跡を示した。e, fは20秒観察, 他は10秒だった。()内はROC評価時の5段階評価時の数値。
- Fig. 29 (a)は、胃二重造影第二斜位で矢印の箇所に早期癌があり、(b)は検査に熟練した放射線技師の停留点軌跡を示した。
- Table 1 自動輝度調整機構を使用した透視条件。東芝那須工場で2種のTV系は同じX線管、発生装置を用いた。オーバーチューブタイプ, I.I.は9インチ, SIDは110cm。
- Table 2 Table 1 の条件における透視画像の視覚評価。