テクニカルノート

ROC 評価における観察時間と観察距離 —単純な信号の場合—

白石 順二・*山下 一也

大阪市立大学医学部附属病院中央放射線部

*大阪大学医療技術短期大学部

(論文受理 1991年1月29日)

(最終論文受理 1991年7月29日)

(Code No. 315)

Key words: ROC, Observation time, Viewing distance

OBSERVATION TIME AND VIEWING DISTANCE IN ROC ANALYSIS —CASE OF SIMPLE SIGNAL PATTERNS—

JUNJI SHIRAISHI, *KAZUYA YAMASHITA

Department of Radiology Osaka City University Hospital

*College of Bio-Medical Technology, Osaka University

(Article received; Jan. 29., 1991)

Summary

We investigated the influence of observation time and viewing distance in ROC rating with simple signal patterns. We measured ROC curve varying observation time and viewing distance with the same sample film sets and same observation environments. To control these factors correctly, we made special observation equipment.

When the observation time was varied, 5, 10 sec and free, there was no significant difference for visual detection performance. When viewing distance was varied, 50 cm and free, there was no significant difference for visual detection performance.

1. はじめに

X線画像を視覚的に評価する方法としては、ROC 解析や、バーガーファントム等による CD ダイアグラム、また、強制選択を用いた 2AFC, 18AFC 法などの評価が一般的である。特に、ROC 解析は Goodenough らが初めて

画像評価に応用して以来¹⁾、多くの研究が続けられており^{2,3)}、ROC 曲線や曲線下の面積(以後 Az)、最大情報量による画像評価は、画像の臨床評価など、物理的な評価だけでは判断の困難な場合において多く用いられている^{4,5)}。

ROC 解析の実験を行うときの、観察時間や観察距離が

ROC 曲線などのデータに影響を及ぼすことは、土井らによって指摘されている⁶⁾。しかし、この点に関しての詳細な検討はまだなされていない。観察時間や観察距離は、実験を簡便にかつ正確に行う上で重要であると考え。そこで、われわれはサンプルや観察環境などの条件を一定として、観察時間と観察距離だけを変化させて ROC 実験を行い、そのそれぞれの変化の ROC 曲線に及ぼす影響について研究を行った。

2. 方 法

2.1 ROC 評定実験用観察装置

観察時間と観察距離を正しく設定して実験を行うため、また、実験に必要なサンプルフィルムの作成を簡略化するために、ROC 評定実験用観察装置および専用サンプルフィルム作成用鉛マスクを製作した。Fig. 1 は自作した観察装置の全体像である。観察装置中央に開口部 6.5×7.5 cm のツープスをもつ光源部をもち、その前面にある乳白色のアクリル板で作製されたサンプルテーブルによってシャウカステンを構成する。このサンプルテーブルは 4 辺に沿って移動する仕組みとなっている。シャウカステンの照度は約 7000 lx でシャウカステン中央と周辺

部の照度差は約 7 % である。この観察装置を用いて観察を行うための専用の様式をもつサンプルフィルムの作成は、Fig. 2 に示すサンプルフィルム作成用鉛マスクによって行った。サンプルフィルムは 6×7 cm のサンプル 4 つを 1 枚の 6 切フィルムに含む (Fig. 3)。観察は 1 つの観察ごとに観察者がサンプルテーブルを移動させ、それぞれの観察位置にきたときに、マイクロスイッチによりタイマー回路が ON になり、一定の時間がたつとシャウカステン内に赤色灯を点灯させて観察を中止させる仕組みである。観察時間は 3 から 30 秒までの設定が可能である。Fig. 4 に観察時のサンプルフィルムの動きを示す。観察距離は Fig. 5 に示すように、観察者の顎のせ台を観察装置に取り付けて、任意の距離に設定して行った。観察結果は専用の解答用紙に記入し、あらかじめ解答を入力したパーソナルコンピュータのデータテーブルにより観察結果の集計を行った。実際の観察の様子を Fig. 6 に示す。

この観察装置の製作にあたっては Metz らの報告にある観察装置を参考にした⁷⁾。

Fig. 1 A custom-built observation device used ROC rating.

Fig. 2 Lead-mask for making sample film and Du Pont's 6F-size cassette.

Fig. 3 Sample film made by using lead mask.

Fig. 4 Movement of sample film on a custom-built observation device.

ROC 評価における観察時間と観察距離—単純な信号の場合— (白石・他)

Fig. 5 A case of setting chin rest to adjust viewing distance.

Fig. 6 Actually observing sample film by using a custom-built observation device.

2.2 実験方法

サンプルフィルムは、Dupont Cronex 10 と Quanta Fast Detail の組み合わせを用いた。前述の鉛マスクを用いて、6 切フィルム25枚の計100個のサンプルを作成した。100個のサンプルの内訳は雑音のみ50個、信号+雑音50個である。これらを25枚の中に混在するようにしてサンプルフィルムを作成した。作成条件は管電圧60 kV, 1.2 mAs, SID 160 cm で4個のサンプルを同時曝射により一度に作成した。これは、個々のサンプルの濃度変動を最小限にするためと、サンプル作成の煩雑さを解消するためである。サンプルの平均濃度は 0.9 ± 0.05 とした。サンプルの信号には、直径 1.0 ± 0.5 mm にカットした現像済みX線フィルムをビーズタイプの信号の代わりに用い、各雑音+信号サンプルに5, 6個存在させた。このファントムはビーズと異なり、厚みが一定であるために、得られる信号が矩形波となる可能性がある。しかし、入手が簡単な上に、逆に厚みが一定なために、ビーズを用いた場合のように、信号の直径が変化しても、厚みの変化による信号強度の変化がなく、信号の直径を揃える作業が簡略化できる⁹⁾。

観察者は経験3～21年の放射線技師4名で行った。観

察は5カテゴリー、観察時間は5秒、10秒と自由設定の3種類で、観察距離を50 cm と自由設定の2種類として、Table 1 に示す5つの組み合わせについてROC実験を行った。観察時間の自由設定はサンプル1個ごとに時間を変えてもよいとして、前述のタイマ回路の設定をせずに実験を行った。また、観察距離の自由設定は、観察を開始する前にテストサンプルを用いて、観察者に一番見やすい距離を決定してもらい、その観察距離で観察を行い、観察中の観察距離の変更は認めなかった。

Table 1 Combination of observation time and viewing distance with rating experiment.

time \ distance	50 cm	free
5 sec	○	○
10 sec	○	—
free	○	○

観察に先だっの訓練は、テストサンプルを用いて数回行い、観察者に5カテゴリーのレベルを認識させた上で本実験を行った。また、各観察の順序は観察者によって変更し、その間隔は2日から7日とし、各観察ごとにサンプルフィルムの順序を変更して、読み取り順序効果を排除した⁹⁾。

観察時間に関する評価では、観察距離を50 cm 一定として、観察時間を5秒、10秒、自由設定と変化させた。観察距離に関する評価では、観察時間を5秒および自由設定として、観察距離を50 cm と自由設定に変化させた。各観察者のデータの集計は、それぞれの観察条件において各観察者のデータをカテゴリー別に合計して、その値よりROC曲線を算出するプール法ではなく、各観察者のデータでそれぞれROC曲線を算出し、それぞれのROC曲線の各FPFにおけるTPFの平均を求めて、最終的なROC曲線を算出する方法を用いた¹⁰⁾。それぞれの場合におけるROCフィッティングは、ROCFITのプログラムにより行った¹⁰⁾。得られた各観察者のROC曲線のAzについて、有意水準5%における一標本t検定から有意差の判定を行い¹¹⁾、観察時間、観察距離のROC曲線への影響を検討した。

3. 結 果

Fig. 7(a) (b) (c) は、観察距離を50 cm 一定としたときの観察時間5秒、10秒、自由設定の場合におけるROC曲線である。

各観察者の自由設定時における観察時間の平均時間は 1 サンプルあたり約 3 秒と短かった。そのため、5 秒、10 秒のそれぞれの設定においては、それぞれの時間が経過するまでサンプルから目を離さず観察作業を続けることを絶対条件として実験を行った。

観察時間を変化させた場合の ROC 曲線は、それぞれ

の関係、全てにおいて有意の差を認めなかった。

Fig. 7(d) (e) は、観察時間を 5 秒、自由としたときの観察距離が自由設定の場合の ROC 曲線である。自由設定において、観察者の選択した最適観察距離はそれぞれ、15 cm, 25 cm, 30 cm, 75 cm であった。観察時間の 5 秒、自由のいずれの場合においても、観察距離自由の

Fig. 7(a)

Fig. 7(d)

Fig. 7(b)

Fig. 7(e)

Fig. 7(c)

Fig. 7 ROC curves and these areas of under curves with some combination of observation time and viewing distance.

ROC 曲線と, Fig. 7(a) (c) に示す 50 cm との間に有意の差は見られなかった。

4. 考 察

Table. 2 はこれまで ROC 解析について報告のあった文献の主なものについて, サンプル, 観察時間, 観察距離をまとめたものである^{1,3,12)}。ここに挙げた実験では, 信号に用いられたファントムのほとんどがビーズのためもあり, 観察距離は 50 cm (51 cm) で, 観察時間は 10~18 秒となっている。

Table 2 Signal of sample, observation time and viewing distance of ROC rating in some reports.

Sample	Observation time	Viewing distance
Lucite beads	18 sec	51 cm
Acryl 2 mm beads	10~18 sec	50 cm
2 mmφ hole of acryl	10~18 sec	50 cm
2 mm Lucite beads		50 cm

このように, 現在, ROC 実験では, 臨床写真の評価の場合を除いて, 観察距離 50 cm, 観察時間 10~18 秒が一般的に用いられている。しかし, 今回の実験において, 観察時間については, ほとんどの観察者が, 実験中に 5 秒未満で観察が可能だと指摘した通りに, 5 秒, 10 秒, 自由のいずれの場合においても ROC 曲線に差が生じず, 観察距離においても同様に有意の差は見られなかった。

以上のことから, ROC 実験における観察時間は, ビーズ信号のように存在の判定の単純な場合においては (臨床的な経験や知識を必要としない場合), 観察距離の設定は特に行わず, 観察時間の設定は 5 秒程度の比較的短い時間設定で十分な観察作業が行えるものと考えられる。

今回の実験結果で, 観察距離の設定が ROC 曲線に影響を及ぼさなかった点について考察してみる。Loo らはビーズ像の検出度を, 信号検出理論に基づくいくつかのモデルとの相関関係により研究した。そして, 観察者によるビーズ像の検出度は視覚系の MTF を考慮に入れた知覚化統計的決定モデル, もしくはこのモデルと同様に信号検出理論から求められるマッチトフィルタモデルによって予測される結果に近いことを示している¹³⁾。知覚化統計的決定モデルは以下の式で示される⁶⁾。

$$SNR_{S,P}^2 = \frac{[2\pi \int_0^\infty u SS^2(u) VRF^2(u) du]^2}{2\pi \int_0^\infty u SS^2(u) WS(u) VRF^4(u) du}$$

ここで $SS(u)$ は信号のフーリエスペクトル, $WS(u)$ は粒状性のウイナースペクトルを示し, $VRF(u)$ が視覚系の MTF を示している。ROC 実験をこのモデルで考えたとき, 今回の実験で変化させた観察条件はこの視覚系の MTF に直接寄与するものと考えられる。この視覚系の MTF は測定によると, 25 cm の観察距離において, 約 1 cycle/mm にピークを持ち, 高周波側および低周波側ともに大きく減少する応答特性を持っているとされている。視覚系の MTF は以下の式で示される¹⁴⁾。

$$VRF(u) = \exp\left\{-\frac{(\ln u - \ln(25u_0/D))^2}{2 \times (0.973)^2}\right\}$$

ここで D は観察距離, u_0 は $D=25$ cm の時, $VRF(u)$ が最大となる周波数である。本実験で用いた 1 mm 前後のサンプルサイズは, 周波数領域で考えると約 0.5 cycle/mm となり, この式より算出すると, 観察距離 50 cm で最大値となる。しかし, 本実験で観察者の選択した観察距離からは 25 cm の観察距離がもっとも適当であるように推測され, 観察者の好みと視覚特性とが, 必ずしも一致しているとは考えられない。

また一方, ROC 解析の理論と同様に, 雑音と信号+雑音の 2 つの条件付確率分布を考慮するマッチトフィルタモデルでは, これらの画質指数を表現する式において, 分母と分子に同じ $VRF(u)$ に依存する項が含まれるため, 視覚系の MTF の効果が消去される。マッチトフィルタモデルの式を以下に示す⁶⁾。

$$SNR_M^2 = 2\pi \int_0^\infty u \frac{SS^2(u)}{WS(u)} du$$

前述のモデルで ROC 解析を考えたとき, サンプルサイズと視覚系の MTF の周波数領域に相関性があるのであれば, 観察距離はサンプルサイズに応じたある一定の距離に設定した場合のほうが, 良い ROC 曲線を示すと予測される。しかし, 本実験における結果では観察距離を変化させた場合の両者に有意の差が生じず, 知覚化統計的決定モデルの適応は考えられない。そのため, われわれは, ROC 解析をマッチトフィルタモデルで考え, 観察距離は視覚系の MTF に影響を及ぼすが, ROC 評定には影響を及ぼさないと考えた。

また, 今回の実験では, 結果からも明らかなように信号の検出が比較的容易な, 高信号の検出の評価となった。非常に判別が困難な, 低信号を用いた場合にも同様な結果が得られるかについては, 追試の必要があるだろう。

5. ま と め

ROC 評定に影響を与える実験的な因子としては、今回われわれが実験を行った観察時間と観察距離の他にも、サンプルファントムの大きさや¹⁵⁾、ファントムの種類、観察者の経験年数など多くの要因が考えられ、ROC 解析による評価を行う際には、それぞれの影響について十分な考察を行った上での選択が必要である。

今回はピーズ信号等の単純な信号による ROC 実験を行う場合における評価を行った。その結果、観察時間はこれまで一般的に行われてきた時間よりも短い 5 秒程度で行うことが可能で、観察距離については、観察者の視力に特に大きな個人差がない場合、特に距離の設定はせず、観察中に変化させなければ、任意の距離で観察を行っても良いという結論を得た。

謝 辞

今回の実験にあたり、多くの協力と助言をいただいた大阪市立大学医学部付属病院中央放射線部の皆様にお礼を申し上げます。特に観察作業をしていただいた 4 名の技師の方々に感謝いたします。

本研究は日本放射線技術学会関西支部平成 2 年度研究助成金の援助を受けて行った。ここにお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Goodeough, D.J, Rossmann, K, Lusted LB.: Radiographic applications of receiver operating characteristics (ROC) curves. *Radiology*, **110**, 89-95, (1974).
- 2) 山下一也, 若松孝司: 信号検出理論の X 線撮影系への適用. *日放技学誌*, **33**(2), 111-117, (1977).
- 3) 山下一也, 若松孝司: ROC 曲線による増感紙—フィルム系の評価. *日放技学誌*, **33**(2), 156-160, (1977).
- 4) Hanley JA, McNeil BJ.: The meaning and use of

the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, **143**, 29-36, (1982).

- 5) 東田善治: 乳房および胸部 X 線検査におけるコンピュータドラジオグラフィ (CR) の応用—乳房微小石灰化および胸部腫瘍の検出能について—. *日放技学誌*, **46**(10), 1690-1711, (1990).
- 6) 土井邦雄: X 線画像の信号検出と視覚特性の重要性. *日放技学誌*, **43**(6), 694-729, 1987.
- 7) Starr SJ, Metz CE, Lusted LB, et al.: Visual detection and localization of radiographic images. *Radiology*, **116**, 533-538, (1975).
- 8) 白石順二, 小堺和久, 渡辺晋一他: FROC 解析におけるデータ収集の一手法. *日本技学誌*, **47**(4), 620-626, (1991).
- 9) Metz CE.: ROC 解析の基礎. *日放技学誌*, **46**(6), 831-839, (1990).
- 10) Metz CE.: Personal communication.
- 11) 市原清志: バイオサイエンスの統計学. 南江堂, (1990).
- 12) Metz CE, Starr SJ, Lusted LB.: Observer performance in detecting multiple radiographic signals. *Radiology*, **121**, 337-347, (1976).
- 13) Loo LN, Doi K, Metz CE.: A comparison of physical image quality indices and observer performance in the radiographic detection of nylon beads. *Physics in Medicine and Biology*, **29**, 837-856, (1984).
- 14) Chan HP, Metz CE, Doi K.: Digital image processing: optimal spatial filter for maximization of the perceived SNR based on a statistical decision theory model for the human observer. *SPIE*, **535**, 2-11, (1985).
- 15) 小倉明夫. 視覚評価における信号サイズの検出率依存性と粒状モトルとの関係について. *日放技学誌*, **47**(1), 1-6, (1991).