

## 歯科用デジタル画像診断における 液晶ディスプレイシステムの機能的役割に関する研究

内 田 啓 一

松本歯科大学歯科放射線学講座(主任:塩島 勝教授)

**抄録** 画像観察システムに液晶ディスプレイシステム(以下LCDと略記)がX線フィルムに代わって診療に利用できるかどうかを目的として, X線フィルム, CRT, LCDをそれぞれ観察し, 根尖病変, 上顎洞病変の有無についてROC解析を行い, LCDの有用性を検討したものである. その結果, 根尖病変評価では, 口内法X線フィルム, CRTと共に根尖病変の存在診断を評価した結果, LCDはその診断能に関して他のモダリティとほぼ同等となり, 統計学的有意差は認められなかった. 上顎洞病変評価では, パノラマX線フィルム, CRTと共に上顎洞病変の存在診断を評価した結果, LCDは, 上顎洞病変の診断能に関して他のモダリティに比べ有意に優れていた. 液晶ディスプレイシステムは, 歯科診療の場において利用できる画像診断用端末の一つであり, 今後, 診療の現場においてX線フィルムを用いた従来の診療に代えて使用できる可能性が示唆された.

キーワード: デジタル画像, 液晶ディスプレイ, 画像評価, ROC解析

### 緒 言

医療の分野においてIT(information technology)が重要な時代を迎えつつある. すなわち, 診療の効率的な運用を行うため, 医療情報ネットワークを構築し, 検査や処方オーダーリング, 電子化された検査画像の読影を行うシステムを通じて患者サービスの向上を目指す医療施設が増加してきている<sup>1-5)</sup>.

歯科放射線診療においても, X線CT(computed to-

mography, 以下CTと略記)に代表されるデジタル画像が多く使われるようになりつつあり, これにともない, 電子化されたX線写真の情報を一元的に管理・検索し, ネットワーク上の端末からデジタル画像診断を行うシステムが必要となっている. これらのシステムにおいて行われるデジタル画像の観察は, これまでCRT(cathode ray tube, 以下CRTと略記)モニタにより行われてきた<sup>6-9)</sup>. しかし, CRTは大型で場所を取るため, チェアユニットを中心とした作業が大半を占める歯科診療の場では利用に無理がある.

一方, 液晶ディスプレイシステム(liquid crystal display, 以下LCDと略記)は画像表示システムとして近年飛躍的に発展をしており, その性能向上, 価格低下もあり, 急速に普及が進んでいる<sup>10-12)</sup>. 小型でスペースを必要とせず, 省エネルギーという特徴が, 特に歯科診療の場面で有用ではないかと考えられるが, LCDを利用した放射線画像診断への適応に関してはこれまで報告がほとんどなく, 従来のX線フィルムに代わってネットワーク上での画像診断に役立つかどうかについての客観的評価が望まれてきた.

客観的評価を行うための対象画像としては, 歯科診療でもっとも多く用いられる口内法X線写真, 断層方式パノラマX線写真を用いた評価が必要となる. しかし, これらのX線フィルムはほとんどがアナログ写真であり, LCDモニタ上で評価するためには, X線フィ

本論文は以下の論文をまとめたものである.

1) Keiichi UCHIDA, Masaomi TAKIZAWA, Takuro WADA, Masaaki HITOMI, Tomokazu FUJIKI, Katashi OSANAI, Masaru SHIOJIMA: Liquid Crystal displays for the evaluation of dental x-ray images: An ROC analysis of observer performance. Oral Radiology. 15(1): 1-7, (1999).

2) 内田啓一, 滝澤正臣, 人見昌明, 長内 剛, 塩島 勝: 歯科用液晶読影システム開発のための研究—断層方式パノラマX線画像の比較評価—. 日本口腔診断学会雑誌. 14(1): 23-28, (2001).

本論文の要旨は, 第2回朝日大学歯学研究科発表会(平成14年5月28日岐阜)において発表した.

本論文の一部は, 第40回日本口腔科学学会中部地方会(平成9年9月20日松本), 第38回日本歯科放射線学会総会(平成9年10月18日東京), 第45回松本歯科大学学会総会(平成9年11月22日塩尻)および第49回松本歯科大学例会(平成11年11月13日塩尻)において発表した. 本研究の一部は平成11年度松本歯科大学特別研究費を受けて行われたことを付記する.

(平成15年7月7日 受理)

フィルムをデジタル化し、原X線フィルムとCRT観察システム、LCD観察システムの2種の画像観察表示システムを用いて比較評価を行うことが必要である。

評価対象疾患として、空間分解能評価の点からノンスクリーン撮影である口内法X線写真のうち、微細構造の判定が必要な根尖病変の存在診断を、また、高いコントラスト(濃度)を持つ断層方式パノラマX線写真における各種上顎洞病変の存在診断を選択した。

放射線画像での病変の存在診断を行うための客観的

評価法は、シカゴ大のMetzらが完成させたROC(Receiver operating characteristics analysis, 以下ROCと略記)解析<sup>13-15)</sup>が標準とされているためこれを用いた。すなわち、経験年数の異なる複数の歯科医師が参加して、複数のX線フィルム、CRT、LCDをそれぞれ観察し、根尖病変、上顎洞病変の有無を判定する。その評価表からROC解析を行い、t検定により統計学的有意差を検定して液晶ディスプレイシステムの有用性を評価した。

材料および方法

1. 研究システムと評価の概要

研究に使用する評価用サンプルの選定にあたって歯科放射線科における臨床経験20年以上の歯科医師2名により、根尖病変、上顎洞病変があると確認されたX線フィルム、病変の認められなかったX線フィルムとを複数選び、イメージスキャナを用いて電子化し保管した。この病変の有無を、X線フィルム、CRT表示システム、LCD表示システムのそれぞれについて個別に評価した。X線フィルムの編集には一般に市販されている画像処理ソフトウェア(アドビ フォトショップ、5.0, アドビ システムズ, USA)を使用した。画像処理は行っていない。

評価条件に当たって、X線フィルムの観察は一般歯科診療用として使われているシャウカステンを使用し、通常使用する明るさに調節して観察した。CRT観察システムとLCD観察システムによる観察は同一条件下の明室で観察した。各モダリティを観察する間隔は平均で1週間とし、各モダリティの観察は1日以内で終了した。

評価結果は連続確信度法によるROC評価を行うため評価用シートに記入し、このデータからROC曲線と曲線の下面積(area under curve, 以下Az値と略記)を計算した。Az値は1.0に近いほど、読影した際の病変の有無の判定一致率が高いことを示し、その標準偏差は各評価サンプルごとの判定一致率のばらつきを示す。X線フィルム、CRT、LCDの3者間相互の統計学的検定にはt検定を使い、 $p < 0.05$ を統計学的に有意差ありとした。

以上の研究システムの評価に関するフローチャートを図1に示した。

2. 根尖病変におけるデジタル画像の評価

口内法X線フィルム(以下X線フィルムとする)をデジタル化した上で、CRT、LCD表示システムにより観察し、従来のX線フィルム画像との比較を行い、根尖病変の存在診断が可能かどうかをROC解析法により客観的に評価した。

1) デジタル画像システム

根尖病変における画像評価に使用した機器構成を図2に示した。選定されたX線フィルム(DF-57 ウルト

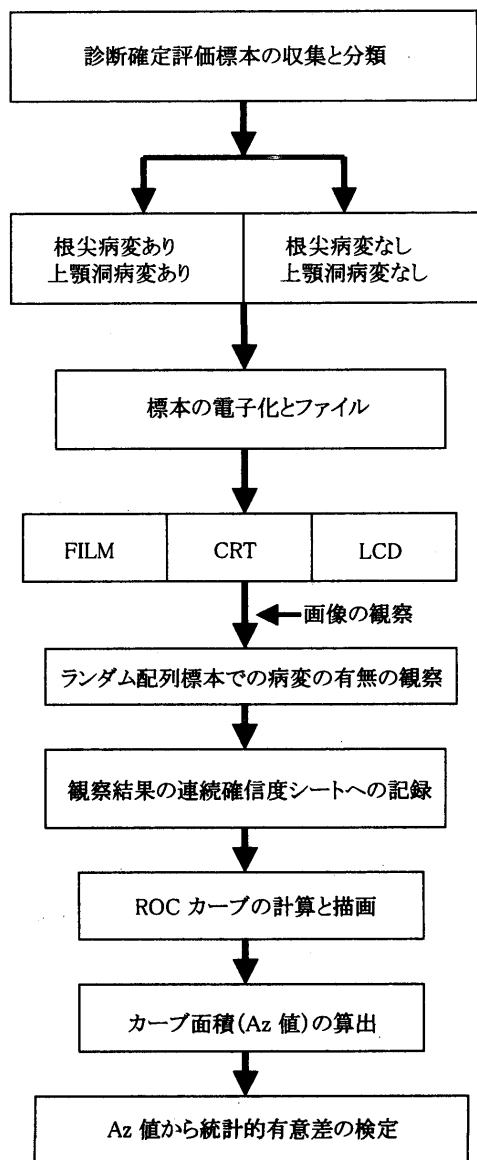


図1. 研究システムと評価の概要を示すフローチャート

ラスピード、コダック、NY、USA.)のサンプルをパーソナルコンピュータ(マッキントッシュ クワドラ 840AV、アップルコンピュータ、CA、USA)に接続した透過原稿型ユニット付イメージスキャナ(JX-330M、シャープ、東京)を用い、500×357画素(300DPI-dot per inch、以下DPIと略記)、256階調(8ビット)でデ

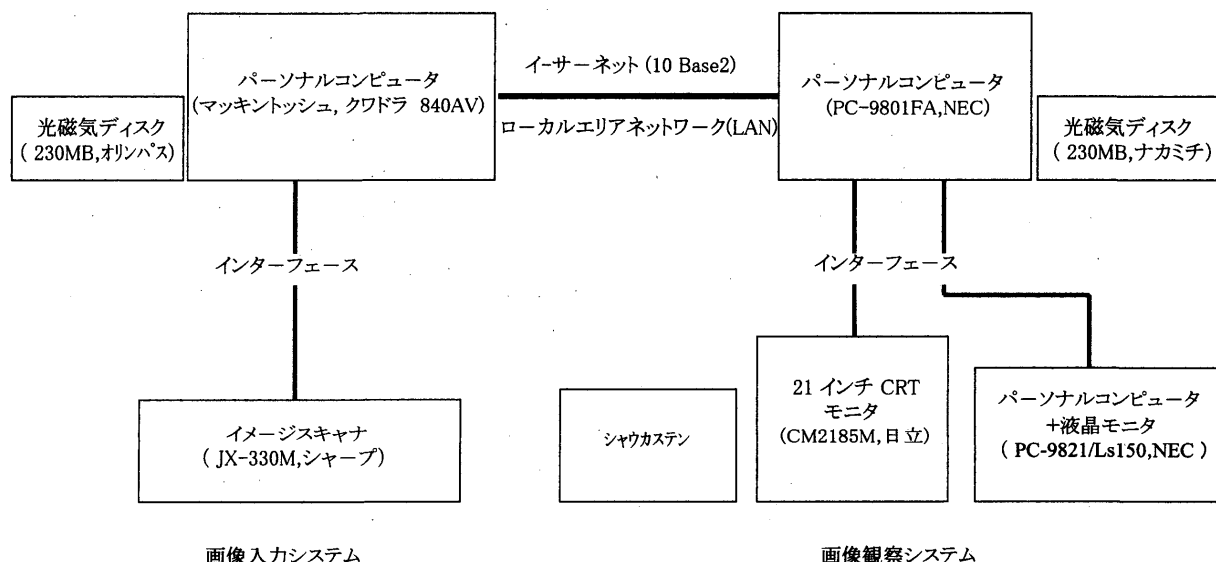


図2. 根尖病変評価に使用した機器構成

表1. 根尖病変評価に使用したモニタの仕様

モニタ (型名)	画面サイズ	画素数	画素サイズ
CRT(日立 CM-2185M)	21インチ	1024×768	0.28mm
LCD(NEC PC-9821/LS150)	12.1インチ	600×800	0.31mm

デジタル化した。X線フィルム1枚のデータ量は約200KBで、データは画像圧縮せずに保管した。

CRT表示システムは21インチカラーCRTモニタ(CM-2185M, 日立, 東京)を使用した。画像の最大表示画素数は1024×768となる。画素サイズは0.28mm, 階調は256段階, 輝度は500cd/m<sup>2</sup>, カラー24ビットである。LCD表示システムはノート型パーソナルコンピュータ(PC-9821/LS150, NEC, 東京, 以下ノートPCと略記)の12.1インチ液晶画面を使用した。液晶画面の表示サイズは12.1インチで, TFT(thin film transistor, active matrix type), 最大表示画素数は600×800, 輝度200cd/m<sup>2</sup>, 画素サイズは0.31mm, 階調数はモノクローム256階調, カラー24ビットである(表1)。

画像伝送および観察には松本歯科大学歯科放射線学講座で作成したソフトウェアを用いた<sup>16,17)</sup>。このソフトウェアは、複数画像の比較観察, 周波数処理, 12ビットと8ビット変換, マッキントッシュフォーマットからDOSフォーマット画像への変換, 任意のROI(region of interest)設定による画像解析などの機能を有している。

2) 根尖病変評価のための画像入力条件の決定

X線フィルムのセンチメートルデータを用いて標準黒化度曲線を作成し, これを校正用原データとした。最初にイメージスキャナの光源強度をデフォルト(標準)とし, 入力特性値を種々変化させて得た光応答特性曲線から, この黒化度曲線に近似する特性値(G値, 特性曲線の傾きを意味する。以下G値と略記)1.0~2.4の範囲で15種類の特性曲線を得た(図3)。この条件で

作成された特性曲線から最もレンジの広いG値1.8を選択した。この条件の下に, 光源強度をデフォルトから+80まで変化させて得られた特性曲線を図4に示した。また, これらの条件でデジタル化したX線画像を歯科医師5名と診療放射線技師2名が視覚的に事前評価した。この結果から光源強度+60の条件が最適であると判定し, X線フィルムの入力条件を最終的に決定した(表2)。デジタル化されたX線画像にはヒストグラム変換や周波数フィルタ処理などの画像処理は行わなかった。

3) 口内法X線フィルムの評価サンプル

松本歯科大学歯科放射線科外来において撮影された1987年から10年間のX線フィルム約13,200枚から, 臨床経験年数30年以上の1名の歯科放射線学会指導医が根尖病変ありと診断したX線フィルムサンプル500枚を抽出した。さらにこの中から, 著しい歯冠崩壊を認めるものや根管充填(根管ポストも含む)が行われているものは除外した。また, X線フィルムの変色や傷, カビ等を認めるものも除外した。最終的に根尖病変の症例を臨床経験20年以上の歯科放射線指導医2名が確認した50症例をサンプルとした(表3)。つまり根尖病変は根尖部にX線透過像(口内法X線像上で直径2~3mm)を認めるものである(図5)。また, 正常(根尖病変なし)と診断されたX線フィルム50症例をサンプルとし, 合計100症例を選択し評価用サンプルとした。すなわち, 根尖病変の存在するフィルム50症例, 存在しないもの50症例である。

4) 画像読影と評価方法

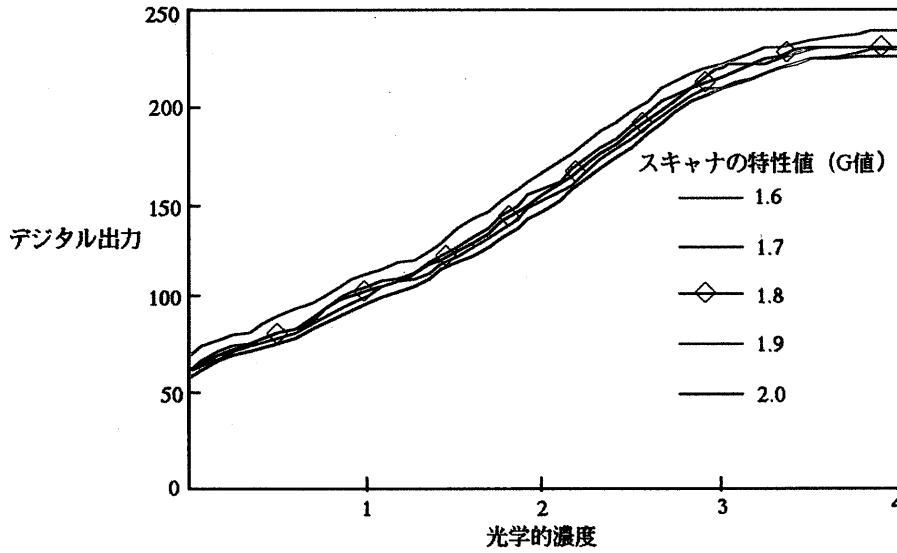


図3. イメージスキャナ特性曲線

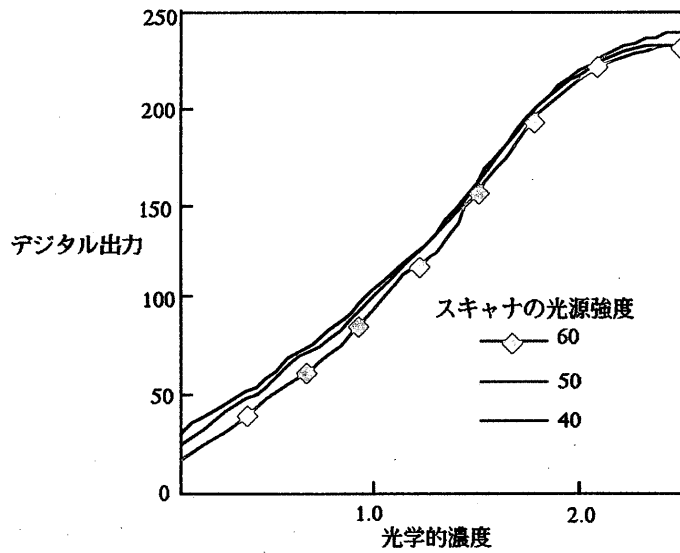


図4. イメージスキャナ特性曲線

表2. 口内法X線フィルムの入力条件

G値	1.8
光源強度	+60
光学分解能	300DPI
濃度分解能	8ビット(256階調)

表3. 根尖病変評価に使用した口内法X線フィルムの内訳

根尖病変あり	50例
根尖病変なし	50例
計	100例

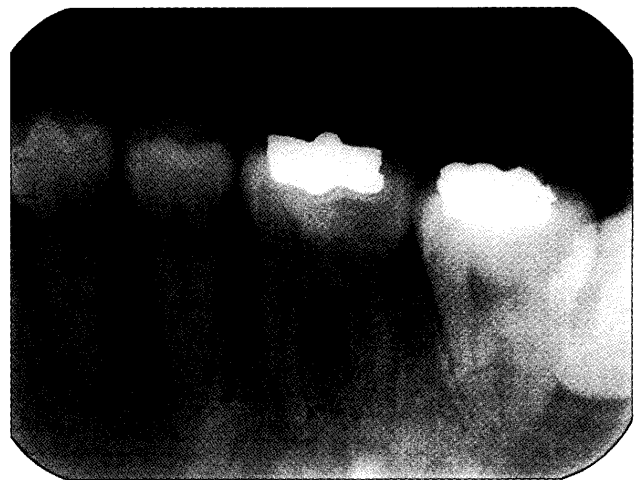


図5. 根尖病変評価に使用した口内法X線写真  
実際に根尖病変の評価に使用した左側下顎第一大臼歯の口内法X線写真の1例であり、根尖病変は近心根の根尖部にX線透過像(口内法X線像で2~3mm)を認めるものである。



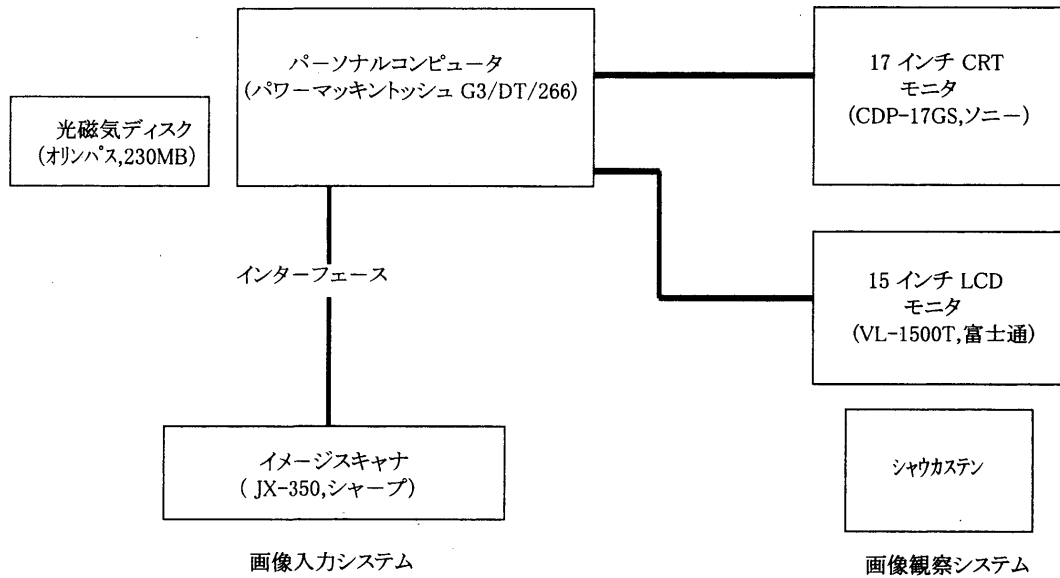


図7. 上顎洞病変評価に使用した機器構成

表4. 上顎洞病変評価に使用したモニタの仕様

モニタ (型名)	画面サイズ	画素数	画素サイズ
CRT(ソニー CPD-17GS)	17.0インチ	1024×768	0.250mm
LCD(富士通 VL-1500T)	15.0インチ	1024×768	0.297mm

2) 上顎洞病変評価の画像入力条件の決定

根尖病変評価とは異なった性能をもつイメージスキャナを用いたため、X線フィルムのスキャナへの最適入力条件を決定する必要がある。コダック・プロセス・コントロール・センシトメータにより階段露光したフィルムを用いて、スキャナのG値と出力、光源強度と出力の関係を検討した。スキャナの光源強度インデックスをデフォルトとし、得られた光応答曲線からG値1.0~2.4の範囲で15種類の特性曲線(図8)を得た。その中から、最も広範囲の黒化度に対して出力が得られたG値1.6をX線フィルムの入力条件とした。次にこの条件のもとにスキャナの光源強度を0~+80までに

変化させて得られたデジタル化した画像の画質を、歯科放射線科医2名と診療放射線技師2名が視覚的に評価した(図9)。その結果から最適と評価されたスキャナの光源強度は+40であると判定し、X線フィルムの入力条件を最終的に決定した(表5)。また、デジタル化された画像に対しては、根尖病変評価と同様に画像処理は行わなかった。

3) 評価用フィルムのサンプルの選定

上顎洞病変評価に使用したX線フィルムのサンプルの選定は、本学歯科放射線科にて1996年から1998年まで上顎洞疾患の疑いのもとに、断層方式パノラマX線撮影とX線CT検査の依頼があった約200症例から、CT

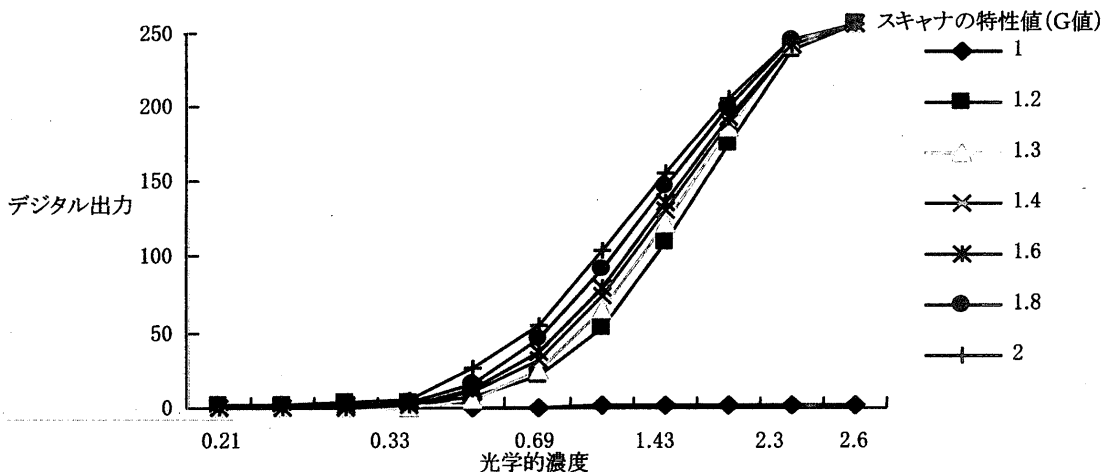


図8. イメージスキャナ特性曲線

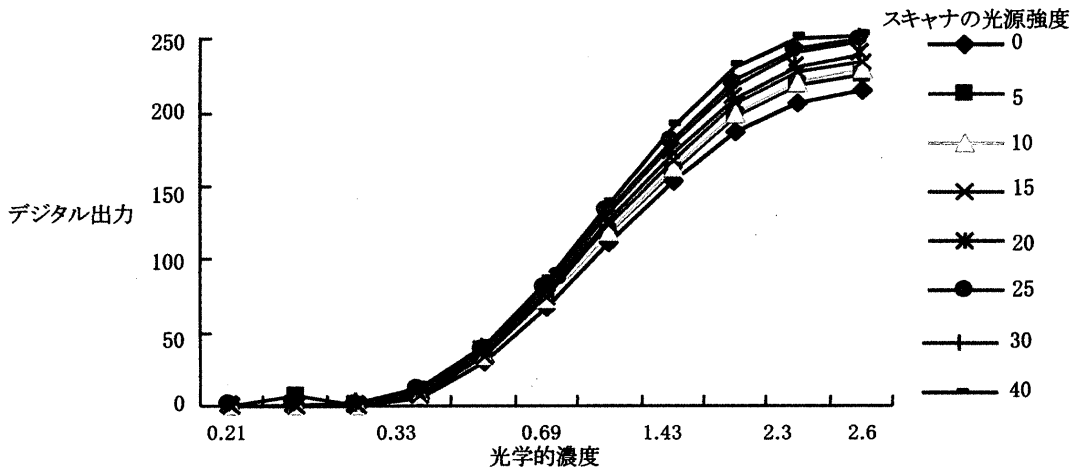


図9. イメージスキャナ特性曲線

表5. 断層方式パノラマX線フィルムの入力条件

G値	1.6
光源強度	+40
光学分解能	150DPI
濃度分解能	12ビット(4096階調)

表6. 上顎洞病変評価に使用した口内法X線フィルムの内訳

上顎洞病変あり	25例
歯性上顎洞炎	11例
術後性上顎嚢胞	8例
粘液貯留嚢胞	6例
上顎洞病変なし	25例
計	50例

画像診断により上顎洞に病変が確実に存在するもの25症例を選定した。その病変の内訳は、歯性上顎洞炎11症例、術後性上顎嚢胞8症例、粘液貯留嚢胞6症例である。その症例の一部を図10に示す。一方、CT診断により上顎洞に病変が存在しないと診断されたもの25症例を加え総計50症例を選択した(表6)。

4) 画像読影と評価方法

X線フィルム、CRT像およびLCD像の読影評価は臨床経験3年以上の松本歯科大学歯科放射線学講座の歯科放射線科医5名によって行った。根尖病変評価と同様、画像を繰り返し読影することによる統計的な偏りを最小限とするため、X線フィルム、CRT像およびLCD像を3群に分け、それぞれのグループ別に比較評価を開始した。また、評価時の画像の記憶による評価の偏りを避けるためにそれぞれのグループを読影する時間的間隔を7日以上とした。評価用画像の読影順番はグループ毎に正規乱数により組み換えた。X線フィルムを読影するシャウカステンは、松本歯科大学口腔外科診療室で使用しているチェアユニット(デンタルユニット クラス1, 吉田, 東京)に付属しているシ

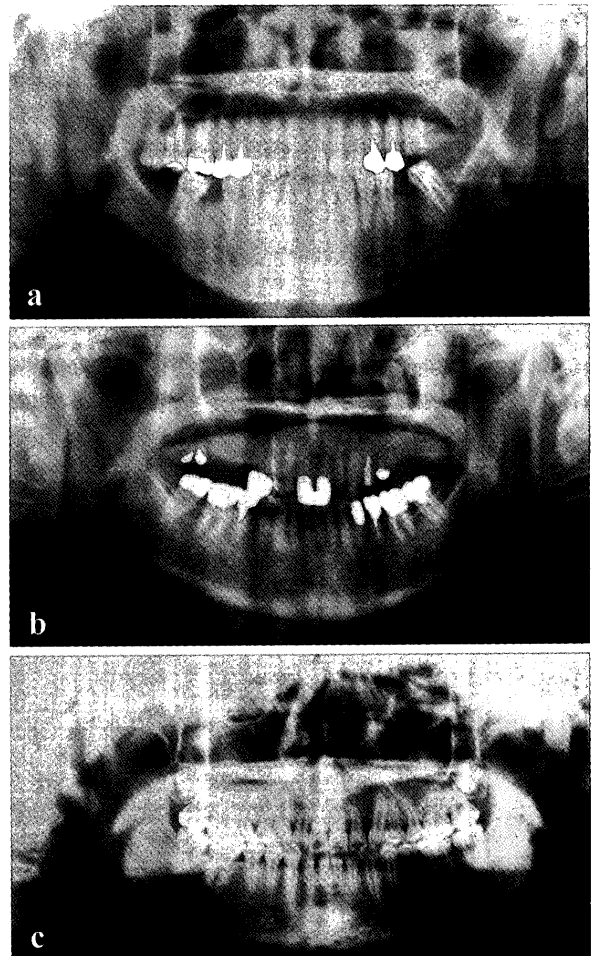


図10. 上顎洞病変評価に使用した断層方式パノラマX線写真  
 実際上顎洞病変評価に使用した断層方式パノラマX線写真の症例であり、aは左側歯性上顎洞炎、bは左側術後性上顎嚢胞、cは上顎左側の粘液貯留嚢胞である。

ャウカステンと同光量にVOLTBOX(島津, 東京)で調整した2800ルクスのシャウカステンを使用して観察した。シャウカステンにはマスクは使用しなかった。CRT像, LCD像はブライツネス, コントラストはデフ

ォルトに固定して観察した。CRT, LCDとも最大表示画素数1024×780の画面上でパノラマ像を全表示させるため縮小率50%で表示した。また, 3者とも観察角度, 距離は評価者の任意とした。

画像評価は, 根尖病変評価と同様の評価表を使用し連続確信度法により行った。これらの結果をもとに

ROC解析を行った。解析には日本放射線技術学会 Metz ROC Software Users Groupから配布されているソフトウェアROCKITを使用し, ROC曲線の作成とAz値計算とを行った。Az値をt検定により統計処理を行い $p < 0.05$ をグループ間に有意差ありとした。

## 結 果

### 1. 根尖病変におけるデジタル画像の評価

根尖病変の存在する50症例と存在しない50症例の口内法X像について, X線フィルム, CRTとLCDの画面上で歯科医師5名が根尖病変の有無を判定した結果を表7, 表8と図11に示す。

表7は評価者5名の個人別のAz値とその標準偏差の結果を示したものである。評価者Aでは, X線フィルムでのAz値は0.711と判定一致率がやや低く, その標準偏差は0.060で大きいこと, すなわち判定にばら

つきがあることを示している。それに対して, CRTおよびLCDのAz値はそれぞれ0.884と0.896と高い一致率を示し, その標準偏差も0.017と0.042と小さい。評価者Bでは, CRTはAz値が0.728で一致率がやや低く, 標準偏差が0.051と大きいのに対して, X線フィルムはAz値が0.847で一致率が高く, 標準偏差も0.039と小さい。LCDについてはAz値が0.868と高い一致率を示すが, 標準偏差も0.055と大きい。評価者Cでは, すべてのモダリティのAz値は, X線フィルム

表7. 根尖病変評価の5名の評価者A-Eの個人別Az値とその標準偏差

	評価者				
	A	B	C	D	E
FILM Az値	0.711	0.847	0.880	0.784	0.828
S. D.	0.060	0.039	0.055	0.051	0.045
CRT Az値	0.884	0.728	0.932	0.906	0.888
S. D.	0.017	0.051	0.038	0.029	0.034
LCD Az値	0.896	0.868	0.865	0.781	0.714
S. D.	0.042	0.055	0.056	0.049	0.059

表8. 根尖病変評価のモダリティ別の総合Az値

	FILM	CRT	LCD
Az値	0.775	0.838	0.747
S. D.	0.051	0.034	0.052

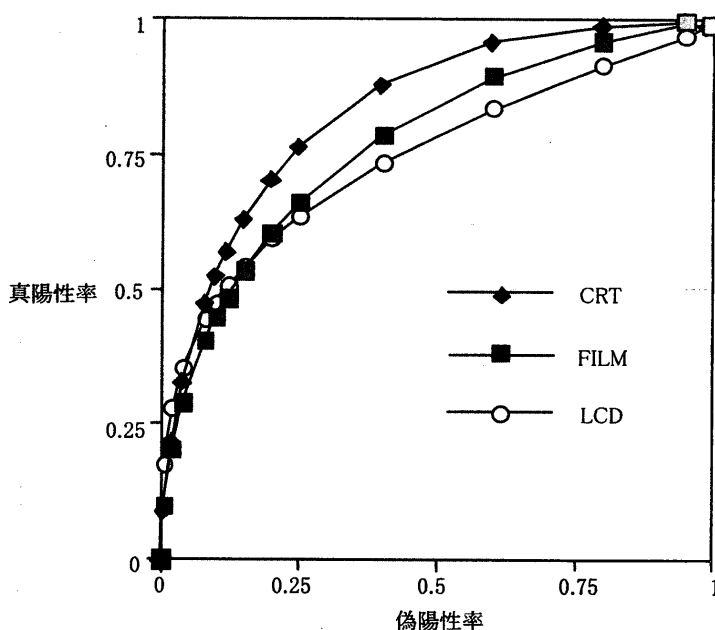


図11. 根尖病変におけるデジタル画像評価のROC曲線



0.880, CRT 0.932, LCD 0.865と高い一致率を示しているが、標準偏差はX線フィルムとLCDがそれぞれ0.055と0.056で大きい。評価者Dでは、CRTはAz値が0.906と高い一致率を示し、標準偏差が0.029と小さいのに対して、X線フィルムとLCDはAz値がそれぞれ0.784と0.781と低く、しかも標準偏差はそれぞれ0.051と0.049と大きい。評価者Eでは、LCDはAz値が0.714と低い一致率を示し、その標準偏差が0.059と大きいのに対して、X線フィルムとCRTはAz値がそれぞれ0.828と0.888と高い一致率を示し、標準偏差はそれぞれ0.045と0.034で小さい。

このように、評価者5名の結果はモダリティにより判定一致率や標準偏差に多少のばらつきがみられるが、モダリティ別に分け、それらを総合したそれぞれのAz値とその標準偏差を示したものが表8であり、ROC曲線で表したのが図11である。表8では、標準偏差がCRT 0.034と低く判定のばらつきが小さいの対

して、X線フィルム0.051, LCDが0.052と同等の値を示している。Az値についてはCRTが0.838で、X線フィルム0.775とLCD 0.747に比べてやや高い値を示している。これは図11のROC曲線でも示されており、CRTが真の陽性率と陰性率が高くなる左上方へ最も偏った曲線を描いている。しかし、各モダリティ間のAz値のt検定においてp値はX線フィルムとCRT間では0.313, CRTとLCD間では0.347, LCDとX線フィルム間では0.478であり、3者の間には統計的有意差は認めなかった。

2. 上顎洞病変におけるデジタル画像の評価

上顎洞病変の存在する25症例と存在しない25症例のパノラマX像について、X線フィルム、CRTとLCDの画面上で歯科放射線科医5名が上顎洞病変の有無を判定した結果を表9、表10と図12に示す。

表9は評価者5名の個人別のAz値とその標準偏差の結果を示したものである。評価者Aでは、Az値はX

表9. 上顎洞病変評価の5名の評価者A-Eの個人別Az値とその標準偏差

	評価者				
	A	B	C	D	E
FILM Az値	0.736	0.519	0.823	0.689	0.745
S. D.	0.069	0.082	0.058	0.073	0.068
CRT Az値	0.742	0.587	0.606	0.718	0.742
S. D.	0.068	0.079	0.079	0.071	0.068
LCD Az値	0.764	0.728	0.803	0.767	0.779
S. D.	0.068	0.070	0.060	0.067	0.065

表10. 上顎洞病変評価のモダリティ別の総合Az値

	FILM	CRT	LCD
Az値	0.703	0.679	0.769
S. D.	0.071	0.074	0.066

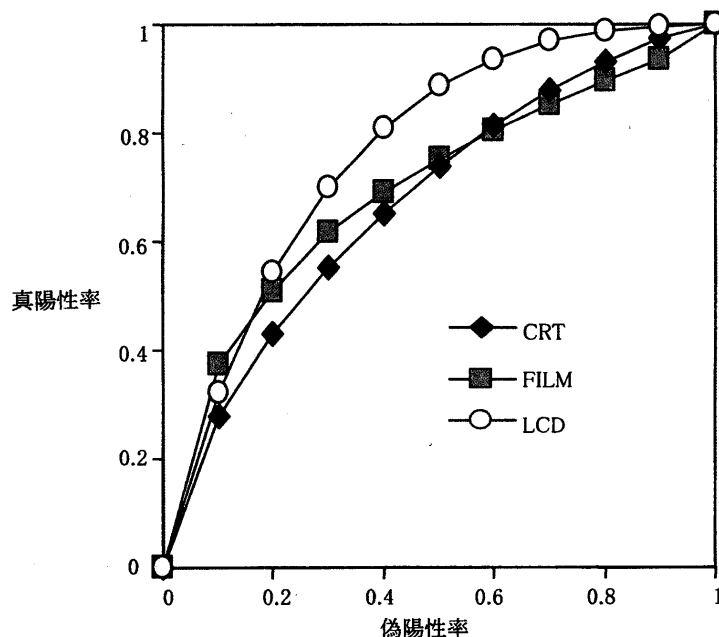


図12. 上顎洞病変におけるデジタル画像評価のROC曲線

線フィルムで0.736, CRTで0.742, LCDで0.764とすべてにおいて一致率が低く, 標準偏差もそれぞれ0.069, 0.068, 0.068と大きい, すなわちすべてのモダリティにおいて各画像の判定にばらつきがあることを示す. 評価者Bでは, この傾向が特に強く, Az値はX線フィルムで0.519, CRTで0.587, LCDで0.728でX線フィルムとCRTが特に低い値を示し, 標準偏差はそれぞれ0.082, 0.079, 0.070と大きく, 全体に判定の安定性が低いことを表している. 評価者Cでは, CRTはAz値が0.606で一致率が低く, 標準偏差も0.079と大きいのにに対して, X線フィルムとLCDは他の評価者に比べてもAz値がそれぞれ0.823, 0.803で一致率が高く, 標準偏差もそれぞれ0.058, 0.060とCRTに比べて小さい. 評価者Dでは, Az値はX線フィルムが0.689, CRTが0.718, LCDが0.767で全体的にやや低いが, その中でX線フィルムが最も低い一致率を示している. 標準偏差はX線フィルムが0.073, CRTが0.071, LCDが0.067と大きい. 評価者Eでは, Az値はX線フィルムが0.745, CRTが0.742, LCDが0.779で, 他の評価者に比べてほぼ均一な一致率を示

## 考 察

日常の歯科診療の場においても, X線フィルムを使用した在来型の診療から, 画像をデジタル化しネットワークを介して迅速に必要な場所に伝送し, 診療に役立つシステム構築への要請が高まっている<sup>18,19</sup>. これは, 小型の歯科用CR(computed radiography)におけるIP(imaging plate)やCCD(charge-coupled device), X線センサーを用いたデジタルイメージングシステムが開発され<sup>20-23</sup>, 今後フィルムレスシステムの普及が予測されること, 診療の効率化が望まれていること, 撮影枚数の増加により, X線フィルムの保管, 管理という煩雑さを低減したいという要望などがある. さらに時代的要請でもある病歴情報の電子化(電子カルテ)への対応が背景にあると考えられる. デジタル化されたX線フィルム像とCRT像のROC評価はこれまでにいくつかの領域で実施されているが, 歯科領域でもこれは例外ではない<sup>24-26</sup>. これらの報告からは, CRTによって放射線画像の読影診断が可能なが示されているがLCDの報告はほとんどない. CRTを用いた場合でも, 従来のX線画像に加えX線CT画像やMR(magnetic resonance)画像, DSA(digital subtraction angiography)画像など, 多数の画像を一括して表示し, 読影するには大型で複数の画面を持つ観察システムが必要でコストなどに問題があり, 実用化のレベルに達していないのが現状である<sup>27-29</sup>.

放射線像のデジタル化を考えた場合, 胸部単純X線写真などの例外を除いて, 歯科診療において使用されているX線フィルムはサイズが小さいことや撮影枚数が少ないなどの点で実用化しやすいと考えられる. し

し, 標準偏差もそれぞれ0.068, 0.068, 0.065でモダリティによるばらつきがないことが示されている.

このように, 評価者5名の結果は評価者間で特にX線フィルムとCRTについて判定一致率や標準偏差にばらつきがみられるが, モダリティ別に分け, それらを総合してそれぞれのAz値とその標準偏差を示したものが表10であり, ROC曲線で表したのが図12である. 表10では, 評価者個々ではばらつきのあった標準偏差はX線フィルム0.071, CRT 0.074, LCD 0.066とすべてのモダリティで大きい, Az値についてはLCDが0.769で, X線フィルム0.703とCRT 0.679に比べて最も高い値を示している. これは図12のROC曲線でも示されており, X線フィルムとCRTがほぼ同等の曲線を描いているのに対して, LCDが真の陽性率と陰性率が高くなる左上方へ最も偏った曲線を描いている. 各モダリティ間のAz値のt検においても, LCDとCRT間ではp値は0.00107, LCDとX線フィルム間ではp値は0.00548で, LCDと他のモダリティとの間には統計的有意差は認められた. しかし, X線フィルムとCRT間ではp値は0.269で統計的有意差は認められなかった.

しかしその作業形態から言えば, 大型で広い設置スペースの必要なCRTを用いるのは適切とはいえない. この点から最近CRTに代わってコンピュータのディスプレイとして多く使われはじめているLCDが注目されはじめた<sup>30,31</sup>. 小森<sup>32</sup>らは, PACS(picture archiving and communication system)においてLCDを放射線画像観察装置として使用する可能性について報告しているが, 1990年時点では画素数や輝度, 応答速度などの基本性能が向上していなかったこともあり将来的な予測を行ったのみであった. しかし, その後のデジタルテクノロジーによるLCDの進歩は著しく, 歯科領域においてLCDが放射線画像の表示装置として利用できる可能性が急速に高まったため, 著者は, 放射線画像診断精度の客観的評価法であるROC解析を使用してLCDパネルを用いた画像診断システムの評価を行った.

LCDパネルの機能的特徴は, 画像ひずみ(偏向)がないこと, 走査線のゆらぎ(フリッカー)のないこと, 経時的な劣化の少ないこと, 設置スペースが少ないこと, 低電力で動作すること, 軽量であること等利点が多い. この特徴はCRTが持っている問題点である. LCDの問題点として, 動画時において残像がみえやすい, つまりSTN(super twisted nematic)モードでは, 表示切替のための電圧に対して反応速度が遅いこと, 視野角が狭く角度を変えると表示画像が見難いことや, コントラストの低いことなどが挙げられていた<sup>35-37</sup>. しかし最近のLCDはアクティブ・マトリックス型のTFTを用いたものが主流になり, その結果, 画素数や輝度および視野角や液晶応答の高速化などの改良が進んだ.

デスクトップ型ではバックライトを高輝度化し、明るさはCRTを超えるものもある<sup>33-37)</sup>。

今回、研究に使用したLCDはTFT型で、これまでわれわれが画像評価に使用してきたCRTの画素サイズ(0.28mm)、LCDの画素サイズ(0.31mm)と極めて近いので、300DPIで入力した場合、口内法X線フィルム1枚が、CRT画面上では18×13.5cm、LCD画面上では17×11cmで表示されたことにより評価者はその差を意識しなかった。また表示された階調は8ビットでこれも両者に共通である。このことから、CRTとLCDとの差異は画面の輝度、視差、動的レスポンスである。輝度については、根尖病変評価では、LCDの評価時に室内の明るさを25ルクスに調整した。視差については、使用したLCDにおける左右の視野が90度であったが、基本的には正面から観察しているため問題は生じなかった。動的レスポンスについては、評価に使用した機種ではビデオ像の評価時には問題となったが、現時点では液晶テレビとしても市販され問題とはならない。

上顎洞病変評価に使用したLCDは、根尖病変評価で使用されたLCDパネルがノート型に付属したものであるのに対し、デスクトップ型で改良されたMVA (multidomain vertical alignment: 複数分割垂直配向) モードの液晶パネルを使用している<sup>33-37)</sup>。液晶分子の垂直配列によりコントラストの向上および視野に関しては上下左右160度以上の範囲で階調反転等がなくCRTのそれと遜色のないものであり、上顎洞病変評価でLCDが高く評価された一つの要因であると思われる。

本研究を通じ最も問題となったのはフィルムをデジタル化する際の空間分解能と濃度分解能(以下ダイナミックレンジとする)、とくに後者に関するイメージスキャナの入力条件であった。根尖病変評価で用いた市販のスキャナが8ビット入力、8ビット出力のため、X線フィルムのもつダイナミックレンジである12ビット(最大)が入力された場合には低濃度域および高濃度域で情報が欠落する可能性があった。このことから至適入力条件を決定するため、スキャナの設定条件を広範囲に変化させ、センシトメータにより階段露光した黒化度0.05から2.9までのサンプルをスキャンして最適条件を検索した。

光源強度、コントラスト、G値を変化させて得られた50の特性曲線から、最も高範囲な濃度範囲で出力が得られた条件を最終的に選定した。これに対して、上顎洞病変評価においては12ビット入力、8ビット出力のスキャナが市販されたので根尖病変評価のような詳細な基礎的実験の必要はなく主としてG値を変化させて出力特性を調べた。

一方、X線フィルムを標本化する場合の空間分解能については、根尖病変評価の場合、根尖病変の有無の有無を対象としてLCDによるX線画像が診断上評価し

得るものか否かを明らかにすることにあり、ノンスクリーンフィルム(口内法X線フィルム)のため高い空間分解能を必要とする。X線フィルムの空間分解能の限界は5 lp/mm付近とされるため、基本的には250DPI以上の分解能でデジタル化することが必要となる。本実験では300DPIが使用された結果、画素数500×357となり表示画面の約半分の大きさで表示された。小さなX線フィルムを観察する場合に比べ画像の観察が容易であった。一方CRTは21インチの大型画面であり、LCDに比べさらに画像が観察しやすくなっている。

上顎洞病変評価では、パノラマX線像を使用したのが、断層撮影のため画像診断に必要な空間分解能は根尖病変評価で使用した口内法X線写真のように高くなく1 lp/mm以下である。したがって標本化の際の空間分解能は150DPIを選択したが、1画像をモニタの全画面に表示して観察するため、縮小率を原デジタル画像の50%とした。これは75DPIの空間分解能でも良いことを示している。

使用したLCD画像評価システムのもつ分解能は0.5 mmピッチでありパノラマ像に必要な空間分解能よりもはるかに高い。一方、増感紙を使用しているためダイナミックレンジが広くその標本化については十分に配慮する必要がある。また、病変部位を上顎洞に限局した上顎洞炎や上顎洞内嚢胞の診断では、表示システムのもつダイナミックレンジも大きな問題となると考えられる。このことから、ダイナミックレンジに関して詳細な検討が必要であった。X線フィルムで可能な黒化度は、0.01~3.3程度あるが、視覚上認知できる黒化度の範囲は通常0.1~2.1とされているため、フィルム読影の際でもこの範囲以外は観察していない。本研究においてもX線フィルムをデジタル化の際に得られた黒化度の範囲はこれよりもやや広くCRTやLCD上に病変が十分に表示されているものと考えられる。今回の研究ではこのことを考慮して評価が行われたが、その結果、X線フィルムとCRTとの間では有意差が認められなかったが、LCDとの間には有意差が認められた。

放射線画像の評価法については物理的評価法と視覚的評価法がある。このうち物理的評価法については、MTF(modulation transfer function)あるいはウィナーズスペクトル(Wiener's spectrum)を用いた評価が行われている<sup>38-40)</sup>。このうちMTFは増感紙/フィルム系の空間分解能を定量的に評価する方法であり、またウィナーズスペクトルは同じく増感紙/フィルム系における写真の粒状性をノイズとして評価している。したがって、医師が画像診断を行う場合の客観的評価としては使えない。一方、視覚的評価には5段階あるいは5点法評価と統計学的検定による方法が一般的であるが、評価中に個人の主観的な因子が入ることが避けられない。

ROC解析は、情報理論における統計学的な決定論として1950年代始め人間の視覚能力を評価するために信号検出の研究<sup>41,42)</sup>に使われた。1960年代半ばにこの方法が実験心理学や心理物理学の客観評価に役立つことが知られはじめたが、Lustedらは、放射線診断における医学的意思決定に役立つ可能性を示唆<sup>43)</sup>した。

Metzらはこれらの研究を発展させ、放射線診断の分野における病変検出能の客観評価を行う方法としてROC解析が最適であることを確認した。以降ROC解析とその統計学的評価は放射線画像診断における病巣検出能を評価する標準的な方法として定着するに至っている。初期には5段階のスコアにより評価を行ったが、現在では精度を向上させるため病変の有無を0から100%の範囲で連続的に判定する方法が広く使われている<sup>44,45)</sup>。

今回、本研究においては歯科領域の画像診断で根尖病変、上顎洞病変の検出能を客観評価するためにこの方法を採用した。また、有意差検定にt検定を使用したのは、これまでのROC解析において使用されている標準的な検定法であることから採用したものである。

ROC解析の結果については、評価者個人の値にばらつきが見られた。このうち、各モダリティ間での評価のばらつきは、作業を行った医師の個人差が影響していると考えられた。評価者の中で1名のみがX線フィルムが良い結果を示したが、この理由としては長い経験年数を有していること、X線フィルムの観察を詳細に行っている習慣があり、これが影響していると考えられた。すなわち、読影時に丁寧にX線フィルムを観察する医師、簡単に観察する医師の性格等が判定結果に影響を与えていると考えられる。

このようなばらつきが認められた場合、これが有意差の評価にどのように影響を与えるかどうかを考察するため、X線フィルム、CRT、LCDのすべての結果について、観察者単位でAz値の標準偏差を計算してみると、根尖病変の観A~Eの5名の結果では、A:0.039, B:0.048, C:0.049, D:0.043, E:0.046となり、全体としては分散の幅が同じとなっている。また、上顎洞病変の観察結果では、A:0.068, B:0.077, C:

0.065, D:0.070, E:0.067となり、根尖病変の結果よりは分散しているが、全体としては分散の幅が同じとなっている。このことは、モダリティ別評価ではばらつきがあるように観察されるが、結果の評価には個人のばらつきは影響を与えておらず評価結果の信頼性が高いと考えてよい。

根尖病変におけるROC解析の結果は、統計学的な有意差は認めなかったが、CRTの評価が高くX線フィルムとLCDの結果は同等であった。

LCDの評価結果ではX線フィルムとの統計学的有意差は認めなかったがAz値は他より低い傾向を示している。この原因として、評価に使用されたノート型パソコンのバックライトの明るさが充分でなく、また、階調表示のダイナミックレンジが低かったことが考えられる。現在のLCDパネルの進歩は著しく、新しい液晶パネルにより評価を行った場合には、より高い評価となることが予測される。

上顎洞病変のパノラマX線像の客観評価においてはLCDとX線フィルム、CRT間に統計学的な有意差が認められた。LCDの評価の高かった原因として考えられるのは、特性として、病変部の黒化度が0.1~2.1の範囲にあった場合、コントラストがフィルムやCRTより高くなるためであり、また、根尖病変評価の研究と上顎洞病変評価の研究を行った時期に約2年の差があったため、その間に液晶表示システムの著しい進歩があり、これが評価を高めたものと推測される。

以上のことに加え、LCDの性能の著しい向上や価格の急速な低下が加速要因となり、今後LCDが歯科診療において画像診断に有用なシステムとして普及してゆくことが予測される。

これまで行ってきた客観評価実験の結果、歯科診療でLCDシステムを使用した放射線画像の読影が利用できる可能性が示唆されたことから、今後、歯科診療のネットワークによる診療効率向上を行うためには、小型、軽量といったLCDの特徴を生かした画像診断システムの開発、無線LANなど歯科診療の現場で使いやすいシステムの開発が急務であると考えている。

## 結 論

歯科診療においても診療効率、患者サービス向上のため、デジタル画像ネットワークを構築することが必要とされる。ネットワーク上で画像診断を行う場合に重要となる画像観察システムに液晶ディスプレイシステムが銀塩フィルムに代わって診療に利用できるかどうかを客観的に検討するため、根尖病変および上顎洞病変の存在診断を中心にして本研究を行った。

その結果は以下のとおりである。すなわち、

1. 根尖病変評価においては、口内法X線フィルム、CRTとともに根尖病変の存在診断が判定できるか

どうかをそれぞれ評価した結果、液晶ディスプレイシステムはその診断能に関して他のモダリティとほぼ同等となり、統計学的な有意差は認められなかった。

2. 上顎洞病変評価においては、断層方式パノラマX線写真、CRTとともにそれぞれ観察し、上顎洞病変の存在診断が可能かどうかを評価した結果、液晶ディスプレイシステムは、上顎洞病変の診断能に関して他のモダリティに比べ有意に優れていた。

これらの結果から、液晶ディスプレイシステムは、

歯科診療の場において利用できる画像診断用端末の一つであり、小型軽量等の特徴も含めて、今後診療の現場において、X線フィルムを用いた従来の診療に代えて使用できる可能性があることが示唆された。

稿を終わるに臨み、終始御指導を賜った松本歯科大歯科放射線学講座塩島 勝教授に深く感謝の意を捧げるとともに、御親切なる御指導と御高閲頂きました朝日大学歯学部歯科放射線学講座藤下昌巳教授、朝日大学歯学部歯科理工学講

座土井豊教授、朝日大学歯科臨床研究所附属歯科診療所山内六男教授に厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行に際し、直接、御教示、御指導賜りました信州大学医学部医療情報部滝澤正臣名誉助教授に感謝いたします。また、本研究に種々御協力頂きました松本歯科大学歯科放射線学講座ならびに松本歯科大病院放射線検査室の各位に御礼申し上げます。

最後に、本研究にたいしてご理解とご援助を頂いた両親と姉に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 田中武昌, 藤原夏樹, 神田重信, 豊福不可依: 院内LANによる画像伝送システムの試行. 歯科放射線, 32 : 163~169, 1992.
- 2) 紀ノ定保臣, 高田明浩, 笠原利之, 前田知穂: 医用画像ネットワークの最前線. 新医療, 297 : 91~94, 1999.
- 3) 堀信一, 栗井和夫: 画像データのデジタル運用による放射線業務の効率化と診療の質の向上. 映像情報, 32 : 638~641, 2000.
- 4) 犬上 篤: 電子保管画像活用システム. 映像情報, 32 : 214~219, 2000.
- 5) 寒川光治, 染田邦幸, 岩村俊, 瀧本啓二, 小谷文彦, 澤田敏: イントラネットによる画像診断ティーチングファイルシステムの構築. 映像情報, 32 : 670~675, 2000.
- 6) 伊藤善之, 石垣武男, 佐久間貞行: CRT表示におけるデジタルエックス線像の評価—基礎的および臨床的検討. 日本医学放射線学会誌, 48 : 1024~1031, 1988.
- 7) 孫田誠三: CRT画像における胸部ファントム腫瘤影の存在診断能について. 日本医学放射線学会誌, 49 : 1038~1046, 1989.
- 8) 滝澤正臣, 曾根脩輔, 小口和浩, 丸山雄一郎, 渡辺智文, 五味光太郎, 輪湖正, 岡崎洋一, 百瀬充浩, 今井迅, 丸山篤敬, 酒井文和: 遠隔画像診断システムにおけるCRT像の画質評価. 日本医学放射線学会誌, 56 : 1065~1065, 1996.
- 9) 堀江朋彦: 医用画像観察装置に関する技術的考察. 日本放射線技師会雑誌, 48 : 600~607, 2001.
- 10) 糸賀隆志: ディスプレイデバイスの動向TFT-LCD. 映像情報メディア学会誌, 15 : 445~452, 1997.
- 11) 御子柴茂之: 最近のディスプレイデバイスの動向と今後の展開. 映像情報メディア学会誌, 15 : 416~418, 1997.
- 12) 南部敏和, 工藤興亮, 宮坂和男: 液晶型パネルディスプレイの画質評価. 日本医学放射線学会誌, 58 : 277, 1998.
- 13) Metz, C. E. : Some practical issues of experimental design and data analysis in radiological ROC studies. *Investigative Radiology*, 24 : 234~245, 1989.
- 14) Metz, C. E., Goodenough D. J. and Rossmann, K. : Evaluation of receiver operating characteristic curve data in terms of information theory with applications in radiography. *Radiology*, 109 : 297~303, 1973.
- 15) Metz, C. E. : Basic Principles of ROC analysis. *Semin Nucl Med*, 8 : 283~298, 1978.
- 16) 滝澤正臣, 丸山清, 馬瀬直通, 長内剛, 深澤常克, 児玉健三: 歯科口腔領域放射線像とカラー画像のための小型画像処理システムの開発. 松本歯学, 19 : 35~39, 1993.
- 17) 深澤常克: 歯科口腔領域放射線像の小型画像処理保管システムの開発. 全国歯技連絡協議会誌, 5 : 20~26, 1995.
- 18) 春岡龍男: 歯科医療画像システム. 映像情報, 32 : 567~572, 2000.
- 19) Nelvig, P., Wing, K. and Welander, U. : Sens-A-Ray. A new system for direct digital intraoral radiography. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol*, 74 : 818~823, 1991.
- 20) Vander, R. H., Pajak, J. C., Farman, T. T. and Farman, A. G. : Technical comparison of seven digital intra-oral dental X-ray sensors. *Dentomaxillofacial Radiology*, 26 : 282~283, 1997.
- 21) 稲垣将文, 大黒俊樹, 鹿島 勇: イメージングプレートを用いた歯科用デジタルX線診断システム. 映像情報, 32 : 460~456, 2000.
- 22) 吉岡隆知, 長尾和成, 小林千尋, 須田英明, 佐々木武仁: Radio Visio Graphyによる口内法デジタルX線画像の臨床評価. 歯科放射線, 35 : 137~149, 1995.
- 23) 新井嘉則, 橋本光二, 本田和也, 本城谷 孝, 岩井一男, 大木 亮, 荒木正夫, 篠田宏司: 歯科用CCD口内X線撮影装置MCR-1000の視覚的画像評価. 歯科放射線, 34 : 229~232, 1994.
- 24) Syriopoulos, K., Sanderink, G. C. H., Velders, X. L. and van der Stelt, P. F. : Radiographic detection of approximal caries : a comparison of dental films and digital imaging systems. *Dentomaxillofacial Radiology*, 29 : 312~318, 2000.
- 25) Cederberg, R. A., Frederiksen, N. L., Benson, B. W. and Shulman, J. D. : Influence of the digital image display monitor on Observer performance. *Dentomaxillofacial Radiology*, 28 : 203~207, 1999.
- 26) Wang, J. and Langer, S. A. : A brief review of human perception factors in digital displays for picture archiving and communications system. *Digital Image*, 10 : 158~168, 1997.
- 27) 成田泰詞: 医用画像の電子保存とフィルムレス運用の実現に向けて. 映像情報, 32 : 97~101, 2000.

- 28) 堀 信一, 栗井和夫: 画像データのデジタル運用による放射線業務の効率化と診療の質の向上. 映像情報, **32**: 638~641, 2000.
- 29) 倉西 誠: 画像を作成・提供する立場から見た画像情報システムとは. 映像情報, **32**: 646~648, 2000.
- 30) Leerentveld, R. and Wright, L.: Active-Matrix Liquid Crystal Display (AMLCD): an important component in next-generation imaging system. *Proc. SPIE.*, **2744**: 176~180, 1996.
- 31) Ludlow, J. B. and Abreu, M.: Performance of film, desktop monitor and laptop displays in caries detection. *Dentomaxillofacial Radiology.*, **28**: 26~30, 1999.
- 32) 小森 優, 湊 小太郎, 中野善久: 液晶パネルのPACSワークステーションへの可能性. 映像情報, **8**: 287~288, 1990.
- 33) 竹添秀男, 高西陽一, 宮地弘一: 液晶のしくみがわかる本, 初版, 技術評論社(東京), 74~105, 1999.
- 34) 那野比古: わかりやすい液晶のはなし, 初版, 日本実業出版社(東京), 126~129, 1998.
- 35) 武田有広: MVA液晶ディスプレイにおける配向制御技術. 日本液晶学会誌, **13**: 117~123, 1999.
- 36) 工藤泰幸: 液晶ディスプレイ入門 第6回: LCDの駆動技術. 日本液晶学会誌, **14**: 117~123, 2000.
- 37) 津村 誠: 液晶ディスプレイ入門 第7回: アクティブ素子による液晶駆動技術. 日本液晶学会誌, **15**: 117~123, 2001.
- 38) Metz, C. E. and Doi, K.: Transfer function analysis of radiographic imaging system. *Phys. Med. Biol.*, **24**: 1079~1106, 1979.
- 39) 藤田広志, 土井邦雄, Giger, M. L.: デジタルラジオグラフィーのMTF解析: DSAシステムのサンプリングMTFの測定. 医画情誌, **6**: 1~18, 1989.
- 40) Fujita, H., Doi, K. and Giger, M. L.: Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 6 MTFs of I. I.-TV digital systems. *Med. Phys.*, **12**: 713~720, 1985.
- 41) Van, Meter, D. and Middleton, D.: Modern statistical approaches to reception in communication theory. Institute of Radio Engineers Transactions. *PGIT.*, **4**: 119~141, 1954.
- 42) Tanner, W. P. Jr. and Swets, J. A.: A decision-making theory of visual detection. *Psychol. Rev.*, **61**: 401~409, 1954.
- 43) Lusted, L. B.: Logical analysis in roentgen diagnosis. *Radiology.*, **74**: 178~193, 1960.
- 44) Rockette, H. E. and Obuchowaki, N. A., Gur D.: Non-parametric estimation of degenerate ROC data sets used for comparison of imaging systems. *Invest. Radiol.*, **25**: 835~837, 1990.
- 45) Metz, C. E. and Shen, J. H.: Gains in accuracy from replicated readings of diagnostic images: Prediction and assessment in terms of ROC analysis. *Med. Decis. Making.*, **12**: 60~75, 1992.

## A Study on the Functional Role of the Liquid Crystal Display System in Dental Digital Diagnostic Imaging

KEIICHI UCHIDA

*Department of Oral Radiology, Matsumoto Dental University School of Dentistry*

*(Chief : Prof. Masaru Shiojima)*

*1780 Gobara, Hirooka, Shiojiri, Nagano 399-0781, Japan*

**Key words :** Digital imaging, Liquid crystal display (LCD), Image evaluation, ROC analysis

**Abstract** *We evaluated in the present study the usefulness of the liquid crystal display (LCD) system in image observation ; we examined whether the LCD could replace X-ray film clinically. X-ray film, CRT and LCD were observed, and ROC analyses were performed on the existence of periapical and maxillary sinus lesions on X-ray film.*

*The following results were obtained : In the evaluation of ability to diagnose the existence of periapical lesions, when compared with intraoral image and CRT, the LCD showed nearly the same diagnosing ability as the two other modalities, with no statistically significant differences. In diagnosing maxillary sinus lesions, compared with panoramic radiograph and CRT, LCD showed significantly better diagnosing ability than the two other modalities.*

*The LCD system is a display unit of diagnostic imaging available in dental practice, and the results of the present study suggest that the system can replace the X-ray film used in traditional practice.*