

1. 心臓カテーテル検査領域におけるデジタル画像の有用性

江口陽一
山形大学医学部附属病院

1. はじめに

血管撮影領域でデジタル撮影が行われるようになったのは、1980年にDF(digital fluorography)装置が開発された以降である。当初のDF装置はDSA(digital subtraction angiography)が主流であったが、1986年以後には、アンサブトラクション像の収集とその処理を目的としたDA(digital angiography)の機能が付加され、心血管領域でも本格的にデジタル画像が利用されるようになった。

デジタル化の背景には、IVR(interventional radiology)の急速な進歩普及が挙げられる。診断だけを目的とした場合、シネカメラの高速撮影で十分であったが、治療を目的としたIVRでは、その手技を支援するために即時性に優れたDA画像は必要不可欠なものであった。

本シンポジウムでは、今まで当施設で行ってきたデジタル画像の評価やシネフィルムレス化への取り組みなどを述べ、現況のデジタル画像の評価と問題点を整理する。

2. DA画像の特長

DA画像のおもな特長を以下にまとめた。

- (1) DA画像の最大の特長は、なんといっても撮影中および撮影後に即時に画像を再生表示できることにある。これにより、検査中の診断が可能となり、より精密な検査に移行したり、IVRの治療方針決定やカテーテルの操作支援が可能になった。
- (2) 各種画像処理が可能である。
- (3) 検査室で血管径や左室容積等の計測を速やかに行える。IVRでは、バルーン、ステント、コイル等のサイズを決めるために、血管径や弁輪径等の計測を行うが、撮影したDA画像で、すぐに計測できることは大変便利である。
- (4) DA画像はシネカメラでは困難である毎秒15フレーム以下の低レート撮影ができる。また、透視像のデジタル化により低レートパルス透視が可能となり被曝低減に寄与する。
- (5) DA画像はフリッカレスのTVモニタを用いることで、滑らかで安定感のある画像が得られる。
- (6) シネフィルムレス化を図ることで、以下の利点を挙げることができる。画像の記録にDVR(digital video recorder)テープやCD-R(compact disc-recordable)を用いることでシネフィルムより保管

スペースが小さくてすむ。また、1検査当たりのランニングコストが安価である。それから、現像液を使用しないので環境にやさしい。現像、編集作業から解放される。

3. DA画像の問題点

DA画像はシネフィルムに比較して次のような問題点が今まで指摘されてきた。

- (1) 空間・時間分解能がシネフィルムより劣る。
- (2) 画像のフォーマットがメーカー間で統一されておらず、施設間の互換性が得られていない。
- (3) カテーテル検査室以外でデジタル動画像を観察するシステムがない。

しかしながら、近年のエレクトロニクス技術の進歩や画像フォーマット標準化により指摘されてきた問題点が解決されつつある。ここからは、DA画像の現況について話を進める。最初にDA画像の画質について述べる。

4. DA画像の評価

TVカメラで画像の高速収集を行うと、一般的に周波数帯域が大きくなり電氣的ノイズが増大し、画像のSN比が低下するといわれている。そのため、一世代前のDF装置では、高精細な1024²マトリクスの画像を収集しようとする、毎秒7.5フレームが限界であった。しかし、近年ではTVカメラにCCDカメラを使用し複線読み出しを行ったり、様々なノイズ低減対策を施すことで1024²マトリクスで毎秒30フレーム、512²マトリクスで毎秒60フレーム収集可能な時代となっている。

Table 1に、当施設の新旧DF装置のおもな仕様を示した。新システムの特長には、TVカメラが撮像管からCCDカメラに変更されたこと、収集レートが向上したこと、それに、TVモニタがフリッカの少ないものに変更された点などが挙げられる。

Fig.1に、新旧DF装置のDA画像(1024²マトリクス)とシネフィルムの解像特性¹⁾を示した。CCDカメラの新システムは、シネフィルムには及ばないものの、撮像管の旧システムに比較して解像特性が大きく向上している。

Fig.2に、ノイズ特性¹⁾の比較を示した。解像特性の影響を受け、高周波数領域でシネフィルム、新システム、旧システムの順でノイズが大きくなっている。画像収集レートは旧システムの毎秒7.5フレームに対

し、新システムでは毎秒30フレームでありながら全体的なノイズ上昇はみられない。

Fig.3に、解像特性とノイズ特性から算出したNEQ(u)¹⁾を示した。1.5cycles/mm以上では解像度の高いシネフィルムのSN比が高くなっているが、全体的に新システムのSN比が高い。

Fig.4に、新システムのDA画像とシネフィルムのROC解析の比較を示した。試料はFig.5のような臨床画像を用い、矢印位置に血管があるかないかを判定する方法をとった。評定者は放射線科医4名で行った。その結果、DA画像の A_z が0.76、シネフィルムが0.67とわずかにDA画像の信号検出能が高い結果となった。統計的有意差はなかったが、新システムのDA画像はシネフィルムと同等の信号検出能をもつことが明らかである。

Fig.6は、信号をTVモニタに対し水平方向に秒速250mmで動かしながら画像を収集し、表示の際は、実際の速度の1/4で表示したときのROC解析の比較である。

撮影条件は、X線管電圧 62kV、焦点-I.I.間距離 90cm、信号-I.I.間距離 15cm、I.I.サイズ 7インチ、付加フィルタ 20mmAlである。信号(直径 5mm、厚さ 0.6mmのX線フィルム)は秒速 250mmで動く厚さ 1cmの亚克力板上に載せた。

DA画像毎秒60フレーム収集の A_z が0.99、30フレーム収集の A_z が0.97と非常に正確率が高いのに対し、シネフィルム毎秒60コマ収集の A_z は0.52と非常に低い結果となった。この原因は、シネプロジェクタで低速表示した場合、フリッカが生じてしまうために信号検出能が低くなったものと考ええる。心室中隔欠損症のシャント像や動きの速い右冠状動脈などを観察する場合、低速表示で観察することが多く、このような場合はフリッカの影響を受けないDA画像がシネフィルムより優位であるといえる。

以上の測定結果から、DA画像は臨床上シネフィルムと同等なレベルに達したと考える。

ACC(American College of Cardiology: 米国心臓学会)では、DA画像に求める条件²⁾(Table 2)として、シネフィルムに劣らない画質と毎秒30フレームの収集レートを求めている。この条件は、1024²マトリクス、毎秒30フレームの収集レートで満たすことができるも

Table 1 Comparison of digital fluorography systems between conventional and new.

	Conventional system	New system
Digital fluorography system	TOSHIBA DFP-60A	TOSHIBA DFP-2000A
TV camera	1" Saticon camera	1 million pixel CCD camera
Acquisition rate	1024 ² →7.5 f/s 512 ² →30 f/s	30 f/s 60 f/s
Frame frequency of TV monitor	Interlace 30Hz	Progressive 60Hz

Cine film : Kodak CFJ
Cine projector : ELK CAP-35BII

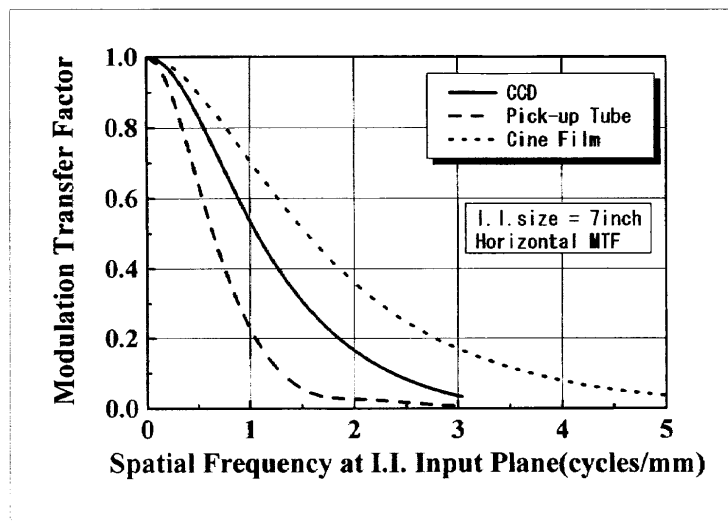


Fig. 1 Comparison of MTFs between the CCD camera, Saticon and cine films.

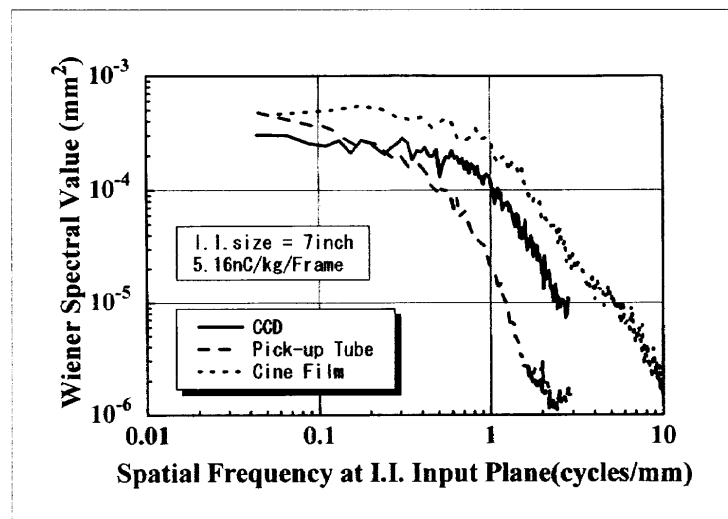


Fig. 2 Comparison of digital Wiener spectra between the CCD camera, Saticon and cine films.

のと考える。

5. DA画像の今後の課題

DA画像の今後の課題を以下に挙げる。

- (1) さらなる画質向上を図る意味で、最適な階調特性の検討が必要と考える。Fig.7は、横軸にTVモニ

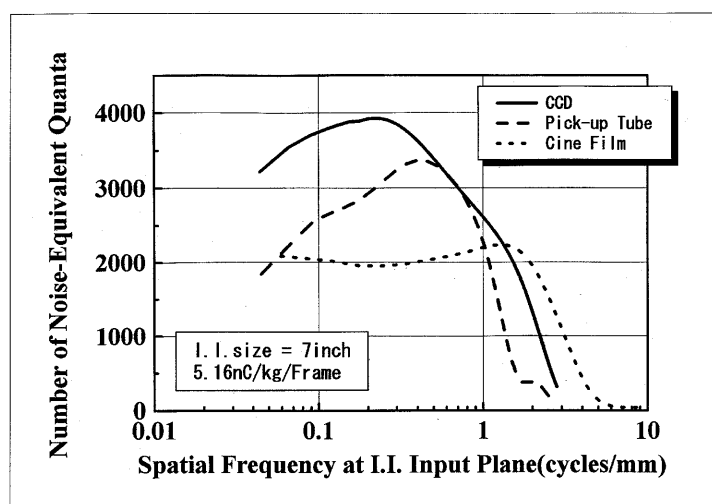


Fig. 3 Comparison of NEQ(u)s between the CCD camera, Saticon and cine films.

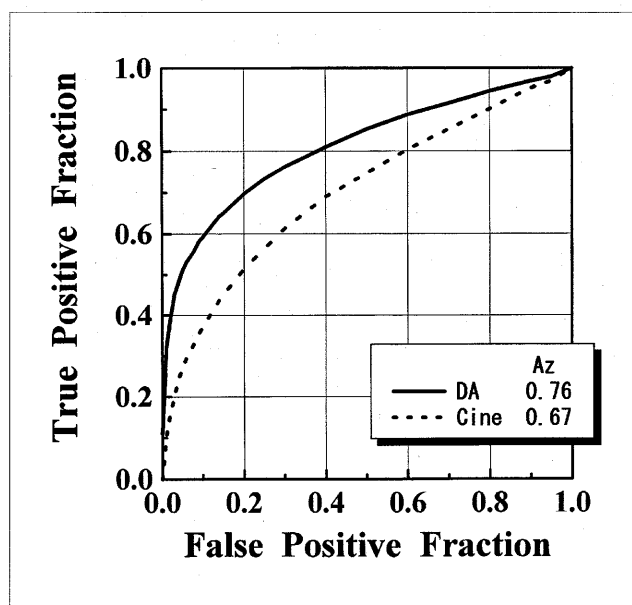


Fig. 4 ROC curves for comparison between digital angiography images and 35 mm cinefilm images as static clinical images.

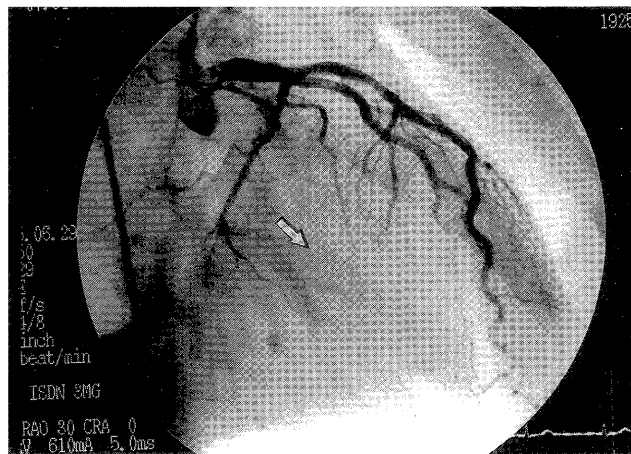


Fig. 5 Example of clinical images for ROC analysis. Physicians were asked whether a small blood vessel was visible at the position indicated by the arrow.

タまたはシネプロジェクタのスクリーンでの輝度を取り、縦軸にその輝度でのコントラストすなわちグラディエント曲線を表したものである。自動露出で均一な被写体を撮影した場合、TVモニタは約50cd/m²でシネでは約140cd/m²になる(当施設での調整状態で)。その時の両者のコントラストはほぼ同等であるが、コントラストのピーク位置が異なる。TVモニタに表示される画像は、デジタルガンマカーブの特性やTVモニタの調整状態、それに観察環境で異なってくる。常に安定したDA画像を得るために、デジタルガンマカーブの特性の検討やTVモニタの調整法の検討を行っていく必要があると考える。

- (2) 現在、空間フィルタ処理に一般的に用いられているエッジシャープニング法は、画面全体をシャープにする反面、雑音も増強させる。鮮明かつ雑音の少ない画像処理ソフトの開発が求められる。
- (3) DF装置は最新テクノロジーの集大成であり、それゆえに故障もありうる。DF装置のさらなる信頼性の向上が求められる。
- (4) 血管径などを測定する場合、必ず拡大率の補正が必要である。デジタル画像をさらに便利にするために、Cアームの位置、角度情報、カテーテル天板の位置情報、I.I.サイズを集中管理し、自動キャリブレーションが可能になれば非常に便利である。

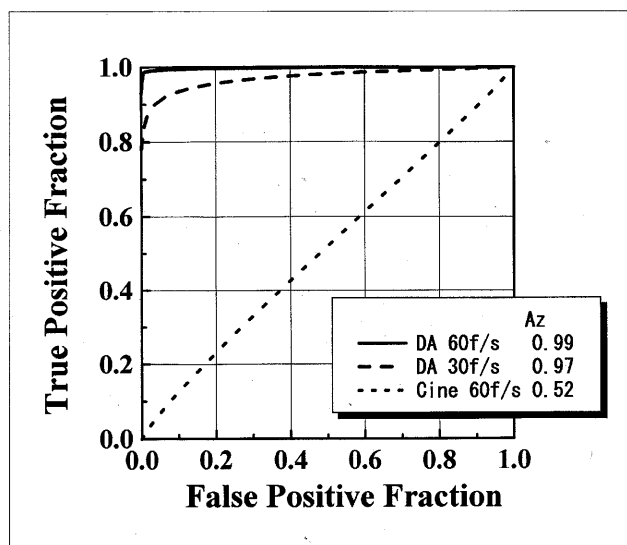


Fig. 6 ROC curves for comparison between digital angiography images and 35 mm cinefilm images (signals were moved by 250 mm/sec and were observed by 62.5 mm/sec).

6. デジタル動画像観察

DA画像の問題点として残るのが、カテーテル検査室以外での観察方法と画像フォーマットの統一化である。

当施設では、1993年からカテーテル検査室以外でDA画像を観察することができるデジタル動画像観察システムの構築を始めた^{3,4)}。Fig.8に、当施設のデジタル動画像観察システムの構成図を示した。カテーテル検査室ではDA画像をD2テープに記録すると同時に患者情報をデータベースに登録する。これにより、動画像を観察するレビューステーションのある読影室(Fig.9)やカンファレンス室で目的の患者と撮影部位を検索指定することにより、目的の動画像が自動的に呼び出される。

このようなシステムは一つの病院内では、その目的を十分果たすものと考えますが、患者を他の施設に紹介したりされたりする場合、記録媒体と画像フォーマットに互換性がないと他の施設の画像を観察することができないことになる。シネフィルムレス化を図るうえでもデータ互換性が重要な課題となっている。

1995年に施設間のデータ互換性に重点をおいたDICOM(digital imaging and communications in medicine)規格が発表された。この規格はCD-Rを互換媒体(4,800frame(512², 8bit, 2:1 lossless圧縮))としDICOMフォーマットで画像を記録するものである。

CD-Rに関しては、実運用上、記録・再生速度が遅い、記録容量が小さい、RAWデータではないなどいろいろ問題点が指摘されているが、DICOM規格という世界的な規格がなされたことは大きな第一歩であったと言える。現実には多くのメーカーがこのフォーマットに対応している。今後、DVD-R(digital video discrecordable)等の新しいメディアやデジタル画像の標準化の促進により、シネフィルムレス化に弾みがかかるものとする。

7. DA画像の現況

ACCがDA画像に求めている条件(Table 2)から、DA

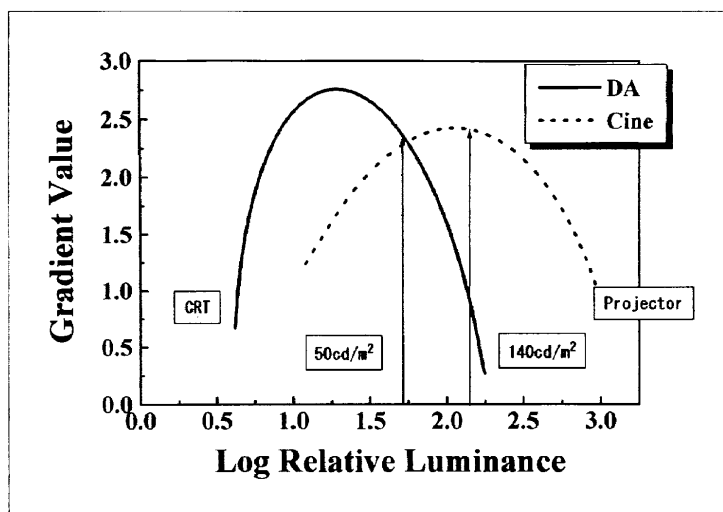


Fig. 7 Overall gradient curves for comparison between digital angiography images and 35 mm cinefilm images.

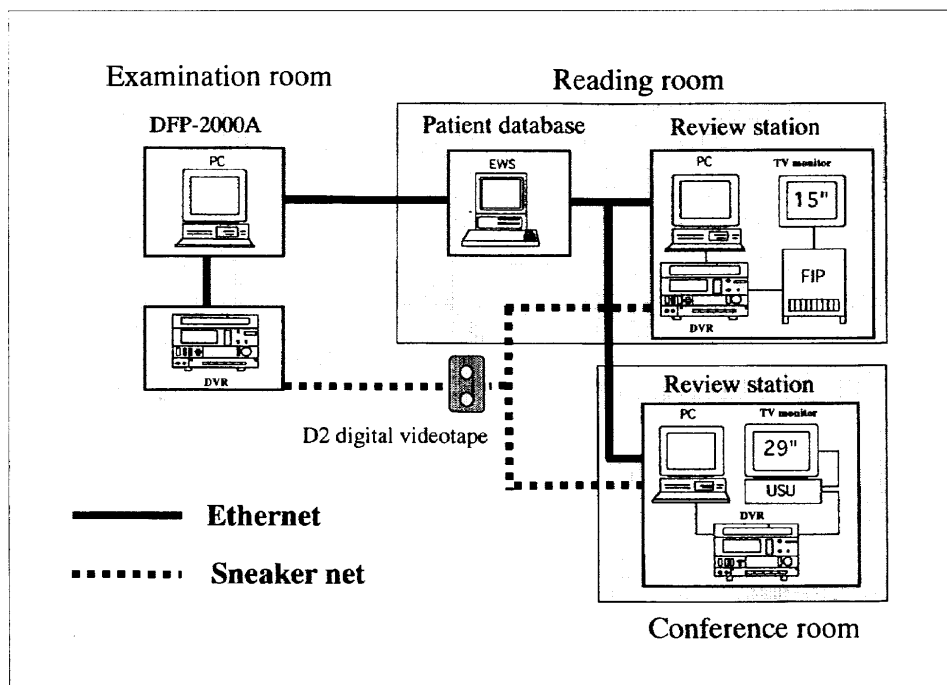


Fig. 8 Block diagram of the digital review system for cardiac catheterization.

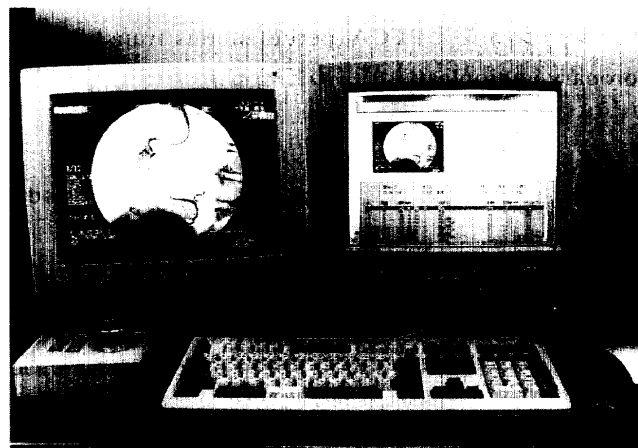


Fig. 9 Digital review system (reading room).

Table 2 ACC requirements for a digital storage alternative to cinefilm.

1. The image quality must be least equal to that of cinefilm.
2. A frame rate of 30 frames/sec must be possible.
3. Ability to provide single patient unit record.
4. Off-line review should be possible.
5. Random access.
6. Need to retain capability to handle both cinefilm and digital technologies during transition period.
7. Archiving process for patient unit record should not slow down acquisition.
8. The cost per patient should be lower than that with cinefilm.
9. Should have relatively long shelf life.
10. Simultaneously record from two planes.
11. There must be compatibility with other diagnostic modalities. (e.g., MRI, echocardiography, etc.)
12. The components must be modular and upgradable.
13. Ability to store all data in real time without "clinical data reduction".
14. Ability to play back with no time delay.

画像の現況をまとめる。1～10の条件は現時点でもほぼ満たしているが、11～14の条件はまだ問題がある。

同一の記録媒体にMRIやエコー等の他の画像を記録するには、CD-Rの容量では不足している点、技術の進歩が速いために、記録媒体のライフサイクルが3～5年と短いことが予想されるため、アップグレードの対応は重要な課題になるが、将来どのようなようになるかわからないのが現状である。

リアルタイムでの画像の記録再生に関しては、DF装置では高速ディスクにより問題はないが、CD-Rでは問題がある。

今後、記録媒体の容量と記録再生速度の向上が重要な課題と言える。

8. 被検者の被曝

被検者被曝の現状は、IVR手技の高度化により多数回の撮影と長時間の透視が日常化し、放射線による皮膚障害が生ずるケースも報告されている。Table 3は、FDA (Food and Drug Administration: 米国食品医薬品局)に報告された皮膚障害の発生数を示した。そのワースト2を心臓カテーテル検査領域のカテーテルアブレーションとPTCA (percutaneous transluminal coronary angioplasty)が占めている。

ここで、画像をデジタル化することによる被曝低減を少し考えてみる。

被曝低減対策の一つの方法として、低レート撮影と低レートパルス透視が挙げられる。それから、シネカメラを取り除くことで、TVカメラへの光量分配率が100%になることで透視線量レベルでも撮影が可能となる。1フレーム当たりのI.I.入射線量が数 μ Rですと、X線量子ノイズがかなり目立つが、バルーン拡張時などの撮影では、十分その目的を果たすものと考ええる。

また、TVカメラをセンサに用い、画像のデジタル値からI.I.の変換係数(Gx)の劣化を管理することが可能と考える。数カ月に1度、線量管理用プログラムを走らせれば、DF装置が自動的にTVカメラアイリスを調整し、常にI.I.入射線量を一定に保つことにより、I.I.劣化による被検者被曝の増大を防ぐことができるものと考ええる。この件に関しては、ぜひ装置メーカーに検討していただきたいと思う。

IVRは治療が目的なので、仮に確定的影響が生じたとしても、その行為は正当化されるであろう。しかし、防護の最適化(診断的価値を低下させない範囲で被曝線量をできるだけ少なくするという原則)は適用されなければならない。放射線技師は防護の最適化へ寄与できる一番近い位置にいる職種と考える。

Table 3 Reports received by FDA of skin injury from fluoroscopy.

Procedure	Number of injuries
RF cardiac catheter ablation	12
Coronary angioplasty	4
Transjugular interhepatic portosystemic shunt	3
Multiple hepatic/biliary procedures (angioplasty, stent placement, biopsy, etc.)	3
Catheter placement for chemotherapy	1
Percutaneous cholangiogram followed by multiple embolizations	1

9. まとめ

DA画像の特長である、即時画像表示、画像処理、画像解析は臨床で必要不可欠なものとなっている。また、DA画像は空間、時間分解能ともに臨床で問題のないレベルに達したと考える。

DA画像の標準化(DICOM規格)は始まったばかりで、いろいろ問題点が指摘されているが、大きな第一歩と考える。今後の標準化促進が期待される。

デジタル技術のハード面と防護の最適化と言うソ

フト面から被検者の被曝低減に努力していかなければならないと考える。

謝 辞

本報告に際し、資料を提供していただきました松山赤十字病院の水谷氏に感謝いたします。また、発表の機会を与えて頂きました、加賀大会長ならびに座長の中西先生に、この紙面をお借りして御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 江口陽一, 岡田明男, 加賀勇治, 他: 100万画素CCDカメラの画質評価. 日放技学誌, 52(6), 731-746, (1996).
- 2) Condit PB: Requirements for cardiac interchange media and the role of recordable CD. International Journal of Cardiac Imaging, 11(3), 153-157, (1995).
- 3) 青木邦夫, 中山博士, 朝比奈宏, 他: 心臓カテーテル検査用デジタル動画像観察システムー第1報 システム開発ー. 日放技学誌, 51(8), 1143, (1995).
- 4) 佐藤俊光, 鈴木幸司, 江口陽一, 他: 心臓カテーテル検査用デジタル動画像観察システムー第2報 1024²マトリックス原画像対応ー. 日放技学誌, 52(2), 236, (1996).
- 5) Shope TB: Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. Updated May 15, 1996. Rockville, MD, Center for Devices and Radiological Health, FDA.

図表の説明

- Fig. 1 新旧DF装置のDA画像とシネフィルムの解像特性の比較.
 Fig. 2 新旧DF装置のDA画像とシネフィルムのノイズ特性の比較.
 Fig. 3 新旧DF装置のDA画像とシネフィルムのNEQ(u)の比較.
 Fig. 4 新DF装置のDA画像とシネフィルムのROC解析の比較(臨床画像).
 Fig. 5 ROC解析の試料例.
 Fig. 6 新DF装置のDA画像とシネフィルムのROC解析の比較(信号を水平方向に秒速250mm動かしながら画像を収集し, 表示の際, 実際の速度の1/4で表示).
 Fig. 7 新DF装置のDA画像とシネフィルムのオーバーオール(LI入射線量とTVモニタまたはシネプロジェクタのスクリーンでの輝度)のグラディエント曲線.
 Fig. 8 当施設のデジタル動画像観察システムの構成図.
 Fig. 9 当施設のデジタル動画像観察システムの写真.

Table 1 当施設の新旧DF装置のおもな仕様.

Table 2 ACCがDA画像に求める条件.

Table 3 FDAに報告された皮膚障害の発生数.

2. 血管撮影検査におけるデジタル画像の有用性

Symposium

多賀谷靖
国家公務員共済組合連合会虎の門病院

1. はじめに

現状の血管造影検査は、リアルタイム性を活かした検査内容になっている。これは、デジタル回路技術のなかでも半導体素子の進歩により、多量のデータを高速処理することが可能になったためである。これらの技術により、リアルタイムで画像処理(リカーシブフィルタ, 空間フィルタ等)が行われるデジタル透視画像, リアルタイムでサブトラクションができるDSA(digital subtraction angiography)画像が検査の主流になっている¹⁻⁴⁾。

血管造影検査では、IVR(interventional radiology)を目的とした検査の増加に伴い、患者と術者の透視による被曝線量の増加が懸念されてきている⁵⁻⁸⁾。また最近の装置は、回転DSA, DA画像がCアーム等の進歩により容易に得られるようになってきた。この検査は、血管走行や腫瘍を立体的に観察できることが最大のメリットである。

以上の観点から、デジタル画像の有用性について述べる。