会期：平成9年4月4日
会場：パシフィコ横浜会議センター

ディジタルシネへ向けて

加賀勇治

山形大学医学部附属病院放射線部

Toward the Digital Cine-angiography

YUJI KAGA

Department of Radiology, Yamagata University Hospital

1. はじめに

ディジタルシネ画像は、空間・時間分解能が劣る、動画像でデータ量も膨大である、画像のフォーマットが統一されていない、ディジタル動画像を観察するシステムがない等が指摘されていて、広く普及するまでには至っていなかった。

しかし、ここ数年、電子技術の急速な進歩と画像フォーマット標準化の促進により指摘されてきた問題点は解決されつつある。ディジタルシネ化の道が整ってきたと考える。

本稿では山形大学で導入したディジタルシネシステムを中心に、ディジタルシネ化へ向けての私どもの取り組みを紹介する。

2. 山形大学のディジタルシネへの条件

1991年、循環器撮影装置の更新に際し、やがて心血管撮影もディジタル画像のみになると予想し、これに対応できる装置の導入について検討した。当時の状況では、ディジタル画像は空間分解能、収集レート、保管、動画像観察システム等に問題があり、完全なディジタルシネ化は困難であった。そこで、ディジタルシネ化を推進するために以下のような条件を設定した。

- 1) 画像は少なくとも 1024^2 マトリクスで2.5lp/mm以上は確保できること。
- 2) 画像収集速度は 1024^2 で30fps、 512^2 で60fpsのバイプレーン撮影が可能なること。
- 3) 動画データ記録の保管が容易で検索し易いこと。
- 4) 心カテ室の外で単独に検査室と同等の動画像が観察でき、画像解析もできること。
- 5) 既存のシネフィルムをディジタル画像として取り込めること。

3. 山形大学のディジタルシネ撮影システム

1992年2月、当院のディジタルシネ化の条件をすべて満たすことはできなかったが、ディジタルシネへの拡張性を考慮して、東芝ディジタルフルオログラフィ装置(以下、DF装置)DFP-60Aを導入した。特長は永

久ファイルのためにディジタルVTRを採用したこと、カンファレンス等における独立再生を可能にしたことである。課題として高精細の高速撮影($1024^2 \cdot 30\text{fps}$)ができないこと、ダイナミックレンジが狭く、ハレーション防止の補償に時間を要することが残った。シネフィルム撮影を省略することはできなかった。

1993年6月、これらの課題が解決されたシステムとして東芝DF装置DFP-2000A(Fig.1)が導入され、当院でのディジタルシネ撮影が開始された。

本装置の特長の第一は、基本的な画質を向上するために、DF用のTVカメラに世界初の100万画素 CCD(charge coupled device)カメラを採用したことである。CCDは独立した画素ごとの信号により画像を作成するため、従来の撮像管に比べて、①空間分解能が高い(Fig.2)、②周辺部の画像劣化が少ない(Table 1)、③ダイナミックレンジが広い、④ブルーミングが発生しない、⑤残像がない、⑥SN比が高い(Table 2)、⑦光電変換特性がリニアである、⑧経年変化による劣化がない等の優れた特性をもっている。

このCCDにより高精細の高速撮影($1024^2 \cdot 30\text{fps}$)が実現し、ハレーションの少ない鮮明なディジタルシネ画像が得られるようになった。

第二はディジタル画像処理のハードウェアを一新して、CCDで得られた高精細な画像を完全にリアルタイムで処理するようにしたことである。空間フィルタ、動画リカーブフィルタ、任意拡大およびサブトラクション処理などが即座に実行可能となった。

第三は撮影画像の画質向上のために散乱線補正をリアルタイムで行えるようにしたことである。

第四はパルス透視に可変線量モードを採用して、医師および患者の被曝線量低減を図ったことである(Table 3)。

他に血管辺縁や心壁を自動的にトレースでき、狭窄率計測や心機能解析を術中に簡単に行える等、多彩なIVR支援機能を備えている。Fig.3にシネフィルムとディジタルシネの同時収集を行った冠動脈造影(100例)画像から、レングス法とエリア法で狭窄率を比較した

Fig. 1 DFP-2000Aのシステム構成図。

Fig. 2 CCDカメラとサチコンカメラの解像特性。

Table 1 空間分解能 (lp/cm)

		CCD	サチコン	シネ
中心	9"	22	16	28
	7"	28	22	31
周辺	9"	20	12	

アクリル：20cm

Table 2 SN比

カメラ	CCD	サチコン
1050 P/30 fps	60 dB	50 dB
525 P/60 fps	70 dB	60 dB

Table 3 DFP-2000A・線量

	透視 (mR/min)		DA (μ R/frame)
	低線量	通常	30 fps
9"	2.6	5.0	20*
4.5"	5.5	11.4	44

* シネ線量相当

Fig. 3 デジタル画像とシネフィルムの狭窄率の比較.

結果を示す。デジタルシネ画像は、レンジス法で相関係数0.96、エリア法で0.94と非常に高い相関が得られシネフィルムと同等の解析ができた。

本装置のデジタルシネの画像収集速度と画像記録容量をTable 4に示す。当院のデジタルシネ撮影は、冠動脈造影では1024²の30fps、左室造影では512²の60fpsバイプレーン撮影を行っている。Fig.4に100万画素CCDカメラとシネフィルムの画質の客観的評価をROC解析により行った結果を示す。静止画(a)の評価

Table 4 デジタルシネ撮影の収集速度と記録枚数.

マトリクス	収集速度	画像記録枚数
1024 ² 8/10 bit	15, 30 fps	3800/2900画像
512 ² 8/10 bit	15, 30, 60 fps	11000/8500画像

ではCCDカメラ画像がシネフィルム画像よりも優れており、動画(b)ではほぼ同等であった。これは、動画においてはノイズの影響が小さくなり、解像度の寄与

Fig. 4 プラスチックビーズを用いたデジタル画像と35mmシネフィルム画像を比較したROC曲線。(a)静止画表示、(b)動画表示。

Fig. 5 左冠動脈造影.
(a)35mmシネフィルム画像, (b)デジタルシネ画像(1024²マトリクス).

率が高くなったためと考えられる. Fig.5に左冠動脈造影のシネフィルム画像とデジタルシネ画像を示す. 以上のことからデジタルシネ画像はシネフィルムと同等なレベルに達していると考ええる.

4. 画像の保管システム

デジタルシネの大量の画像を保管するためには, 大容量で転送速度が速く, ランニングコストが安く, 省スペースで長期安定保存の可能な記録媒体が望ましい. また, 画像データの検索も容易にできる必要がある. いまだにこれらの機能を完全に満たしたシステムはないが, 現時点ではデジタルVTRが有効な記録媒体と考えられる.

当院で採用したデジタルVTR(DVR-10: ソニー株式会社)は, 放送機器分野で開発, 標準化された SMPTE規格 D-2フォーマットに基づいたコンポジットデジタル方式で, 高速大容量タイプである. 画像転送速度は127MB/秒で, Mカセット(94分, 69GB)には 1024²画像を40,000枚分記録できる. Table 5に心血管造影の1人当たりの代表的な撮影データ量を示すが, 1カセットで約20人分のデジタルデータを永久保存することができる.

画像を記録する方法は, デジタルデータとして記録するファイリングモード(永久ファイルデータ)と直接TVモニタに再生できる画像データとして記録する

ビューモード(VTR単独再生用)の2系統がある. また, DF装置やデジタル動画画像観察装置に接続されている時は, ファイルリストや高速再生により速やかに検索が可能である. 静止画像はレーザプリンタ(LM-1A: キヤノン株式会社)やビデオプリンタ(UP-7100: ソニー株式会社)に記録する.

保管においては, デジタルデータの互換性がないことがシネフィルムレス化を遅らせている一つの要因と言われていた. これまで各装置メーカーの競争原理のもと, 各社独自のデジタルシステムが開発されて画像データの共通性がなかったが, 1995年, 施設間のデータ交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, 5.25"コンパクトディスク(CD-R)を互換媒体(4800画像/枚, 512², 8bit, JPEG 2:1 可逆圧縮)とし, DICOMフォーマットで画像を記録するものである. この規格では転送速度が遅い, 記録容量が小さい, 動画での観察に問題ある等, いろいろ指摘されているが, デジタルデータの互換性が規定されたことでデジタルシネ化の道が開けたといえる.

当院では, DICOM対応ができないので, まず院内におけるデジタル化のみを考え, 心臓カテーテル検査を行っている診療科にデジタルVTRを配備した. 他施設への情報伝達には, 診療コメントおよびS-VHSに記録した動画像を用いることにした.

5. 観察システム

デジタル画像の観察システムでは, シネプロジェクタと同等の機能, すなわち観察場所の制限がなく, カンファレンス等において多人数で検査室(DF装置)と同等の画像が観察できることが重要である. 当初は前述のディ

Table 5 心血管造影の代表的な撮影データ量

LV	512 ²	10 bit	60 fps	10 sec	2 カット	300画像*
LCA	1024 ²	10 bit	30 fps	7 sec	5 カット	1050画像
RCA	1024 ²	10 bit	30 fps	7 sec	3 カット	630画像

*1024²換算

Fig. 6 デジタル動画像観察システムの構成図.

ジタルVTRを用い、病棟では観察用TVモニタ(17インチ)で、カンファレンスでは大型TVモニタ(34インチ)や液晶ビデオ映写機でスクリーンに投影し大画面で観察していた。しかし、観察はビューモード(512²)のデジタル画像に限られ、1024²画像は不可能であった。

現在はデジタル動画観察システム(Fig.6)の導入により、読影室やカンファレンス室において1024²原画像による動画観察や解析ができるようになった。本システムは、心臓カテーテル検査にて得られた動画をD-2テープを介して、読影室やカンファレンス室に運び、動画観察するシステムである。システムは患者情報を一元管理する患者情報データベース、DF装置から患者情報をデータベースに登録する収集ステーション、そして動画観察を行う2組のレビューステーションから構成されている。カンファレンス室のレビューステーションは、FIPが接続されていないため29"大型TVモニタによるビューモードの動画観察に限られるが、読影室のレビューステーション(Fig.7)は専用の画像処理プロセッサ(FIP)により、ファイルモード動画(1024², 512²)の階調処理、空間フィルタ処理、拡大などの画像処理および狭窄率計測、EF計測、RV計測等の定量解析が可能である。また、患者や撮影部位の検索が容易になり、

目的の画像を瞬時に呼び出し、シネプロジェクタと同様な感覚で操作・観察することができるようになった。これにより、シネフィルムに近い運用で画像記録、保管、観察、解析を行うことが可能になった。

6. 既存シネフィルムのデジタル画像化

完全デジタルシネ化に移行するまでの過渡期、すなわちデジタル画像とシネフィルムの併用期における観察システムは、単にシネフィルムをプロジェクタ

Fig. 7 レビューステーション概観.

Fig. 8 シネビデオシステムの概観とブロック図.

で観察するのみでなく、デジタル画像として、取り込めるようにすることも必要と考える。

そこで当院では、シネフィルムをデジタルVTR (DVR-10)に記録できるシネビデオシステムを導入した。Fig.8にその概観とシステムブロック図を示す。シネフィルムはデジタルVTRを通じて、D-2テープに再編集する。これにより、過去または現在のシネフィルムのデジタル画像による解析と、編集ならびに効率的なファイリングが容易になり、総合的なデジタル画像観察が可能となった。将来はデジタル画像を記録したD-2テープをコンピュータで管理し、過去、現在の画像を容易に検索や観察できるシステムの構築を考えている。

7. おわりに

本稿では、株式会社東芝の100万画素CCDカメラ搭載DF装置 DFP-2000Aを中心にデジタルシネ化へ向けての私どもの取り組みを紹介した。現在の装置は当院が設定したデジタルシネへの条件をほぼ満たしているが、1024²で30fpsの再生、動画像集中管理システム (Fig.9)、画像保管の標準化等、いくつかの課題を残している。これらの課題は近い将来解決されることが確実で、完全デジタルシネ化実現の日も遠くないと思う。

Fig. 9 動画像集中管理システムブロック図.