

消化管造影検査におけるDigital Radiographyの進歩と将来展望 従来のI.I.-TV方式からFlat Panel Detectorへ

"Development of Digital Radiography in Gastrointestinal Examinations"
From conventional I.I.-TV system to newly developed digital radiography with flat panel detector

飯沼 元 Gen Inuma

今林 渉 Wataru Imabayashi

小笠原 哲 Satoru Ogasawara

森山 紀之 Noriyuki Moriyama

国立がんセンター中央病院 放射線診断部

消化管造影検査における画像のデジタル化は2000本の解像力を持つimage intensifier(I.I.)-TV方式により始まり、400万画素CCD(Charged Coupled Device)カメラを用いたdigital radiography(CCD-DR)により達成された。CCD-DRは従来のフィルム方式に匹敵する性能を持ち、既に広く臨床の場において使用されている。しかしその後の画像工学の進歩は目覚しく、透視画像を得ることが可能なflat panel detector(FPD)が開発され臨床への応用が可能となった。われわれはこれまで消化管造影検査におけるCCD-DRの有用性を報告してきたが、最近このFPDを用いた消化管検査DRシステムの開発に成功し、実際の臨床における評価を開始した。FPDを用いたDRシステムにより本格的なデジタル消化管造影検査への道が拓かれるとともに、コンパクトな形状により画期的な省スペース化と操作性の向上が実現し、新しい検査法の確立が期待される。

Digitization of images in gastrointestinal(GI) examinations has been achieved with digital radiography using CCD(charged coupled device) camera unit with 4 million pixels, called CCD-DR. We have developed this system, and have reported the usefulness in GI studies. This system has diagnostic performance equal to that of conventional radiography and is now used widely in routine clinical examinations. However, recent development of imaging technologies has created a flat panel detector(FPD) as an X-ray detector. We can obtain not only images for diagnosis but also fluoroscopic images with this system. Digital radiography using FPD(FPD-DR) has excellent physical characteristics in the images superior to that of conventional system, and has a great potential to replace CCD-DR in GI examinations. We have just started evaluation of this new digital equipment in actual clinical practice. We believe that FPD-DR will be able to pave the new way to the really digitalized diagnosis in GI examinations, resulting in epoch-making advancement of the operability due to its compact and space-saving design, as well as the improved image quality.

Key Words: Digital Radiography, Flat Panel Detector, Clinical Evaluation

1. はじめに

一般X線撮影における画像のデジタル化はComputed Radiography (CR)において達成され¹⁾、多くの施設において急速に普及しつつある。一方、消化管造影検査を含め透視が必要とされる検査ではI.I.-TV方式²⁾³⁾⁴⁾が標準的であり、現在ではCCD-DRにより画像のデジタル化が行われている⁵⁾⁶⁾。CCD-DRはFS系に匹敵した解像力(2k×2k)を持つDR装置であり、われわれも消化管造影検査における有用性について報告してきた⁷⁾⁸⁾。しかし最近の画像工学やコンピューター技術の進歩は著しく、CRに替わり得るX線平面検出器としてFPDが登場し、胸部、四肢骨、乳房等のデジタルX線撮影に用いられるようになった。これまでのFPDは透視画像を得るのが困難であり消化管造影検査に用いられることはなかったが、最近、低線量透視機能を備えた大視野のFPDが開発され、これを用いた消化管DRシステムが可能になった⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。

本稿では、われわれの施設におけるCCD-DRを用いた消化管造影検査の現況、FPDを用いたDRシステム(FPD-DR)開発の現状と今後の計画を紹介し、将来のデジタル消化管造影検査に対する展望を述べる。

2. 消化管透視コーナー(国立がんセンター中央病院)

1999年初めの新棟移行時に一般撮影はCRにより、透視撮影はI.I.-TV方式のDRによりX線画像の完全なデジタル化を達成した。しかし現状ではドライ方式のレーザープリンターにより全てのX線画像のハードコピーを作成し、従来どおりシャーカステンにおいて診断を行っており、PACS(picture archiving communication system)化が今後の大きな課題として残っている。透視コーナーには5つの検査室があり、うち3室が消化管造影検査専用でC-armタイプ、オーバーチャー

ブタイプ、アンダーチューブタイプの3台のCCD-DRが設置されている(図1)。それぞれのCCD-DRはDRネットワークにより2台のレーザープリンターやMODライブラリーと接続さ

れており、検査と平行して診断画像が処理されると同時に、DICOM変換の後ゲートウェイを介して病院情報システム(HIS)に参照画像が送られる(図2)。検査時の患者基本情報は

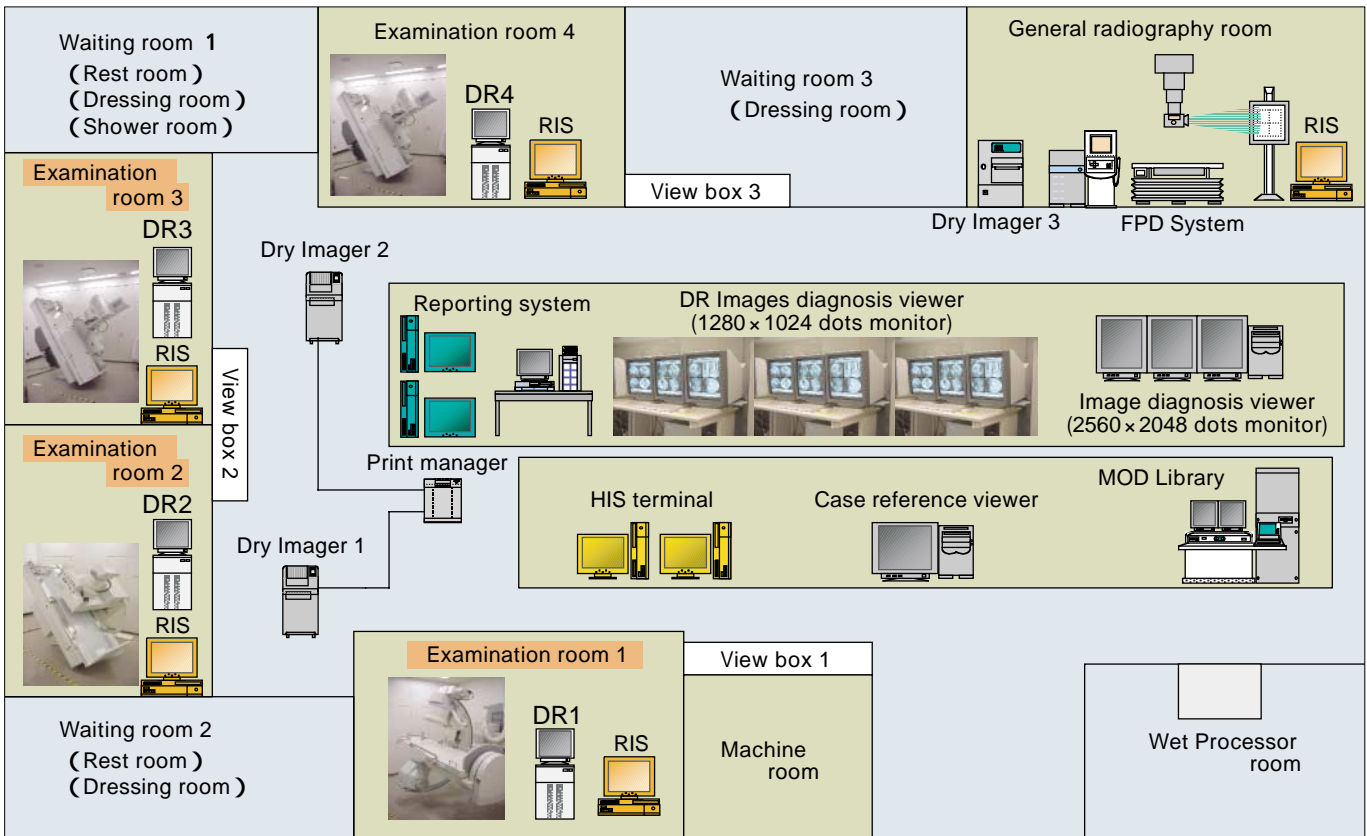


図1：国立がんセンター中央病院4階消化管透視コーナー(消化管造影検査ではroom1、2、3を使用)

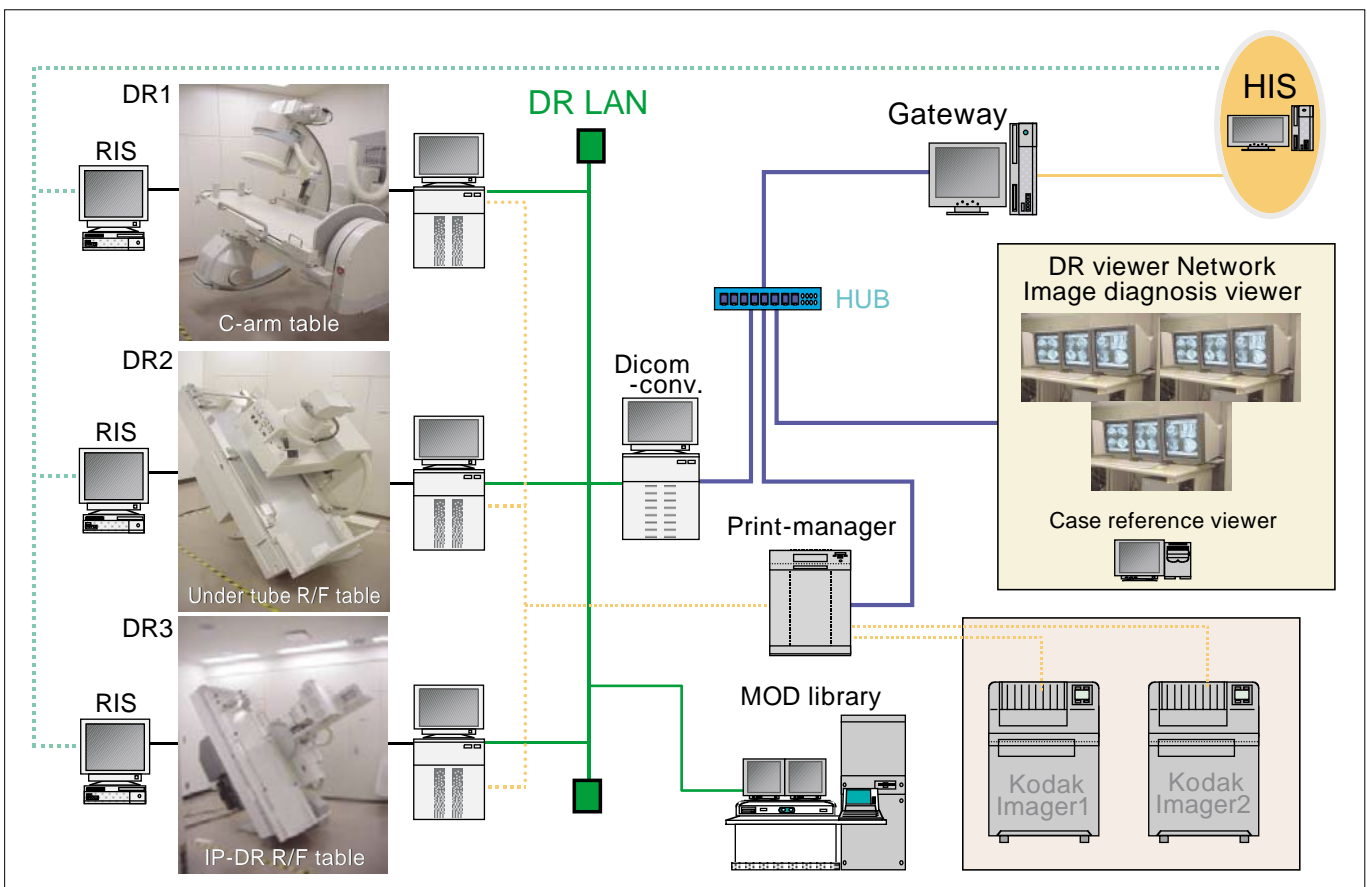


図2：消化管透視コーナーにおけるDRネットワーク

放射線情報システム(RIS)を介してHISより個々のCCD-DRへ送られ、検査終了と同時に実施情報がRISを介しHISへと送られる。DICOM変換後の画像は3台のイメージワークステーション(水平解像度1000本)において診断可能である。これまでモニター診断の臨床における可能性を研究してきたが、現状のシステムにおける問題点が明らかになったため、実際の臨床におけるモニター診断は行っていない。

3. 透視対応型 FPD の登場

消化管造影検査においては透視が不可欠であり従来のFPDは適応にならなかった。しかしわれわれは1998年に透視可能なFPDであるVIP-9(Varian Medical Systems)を用いたDRシステムの開発に着手し、物理学的評価およびファントム画像を用いてFPDの基本特性の研究を行ってきた。VIP-9は低線量時のS/N(signal/noise)比に問題があり、I.I.-TV方式と同程度以下の線量で実際の臨床に耐え得る透視画像を得ることは困難であった。その後2000年に透視画像のS/N比が大幅に改善されたPaxScan4030A(図3)が登場しCCD-DR(DR-2000X)をベースとして、このFPDをX線検出器として用いたFPD-DRシステムを開発した。この新しいFPD-DRは撮影・透視画像の物理的基本特性において十分に臨床応用可能なレベルにあり、さらにCCD-DRの開発で得られた経験を基に撮影画像の最適表示階調処理や画像ハンドリングを含めた改良を行った。



Detector	Specification
Receptor Type	Amorphous Silicon
Conversion Screen	Cesium Iodide
Active Image Area	397mm x 298mm
Pixel Size	194 μm
Nyquist Frequency	2.58 lp/mm
Digital Output	14bit
Dynamic Range	66dB
Contrast Ratio	100 (at 10%)
Radiographic Mode	2048(h) by 1536(v) at 7.5fps
Fluoroscopic Mode (2 × 2 binned)	1024(h) by 768(v) at 30fps

図3 : PaxScan4030A(Varian Medical Systems)

4. 開発当初の消化管造影検査における FPD-DR の透視像と診断画像

基礎的研究によりFPD-DRの透視検査における可能性が確認されたため、消化管造影検査における評価を計画した。われわれの施設と(株)日立メディコはFPD開発に関する共同研究契約を結び、平成13年10月より実際の透視検査を目的として改良されたPaxScan4030A(薬事承認済)を用いたFPD-DRを消化管コーナー1番検査室のC-arm透視台に装着し、消化管造影検査において評価を開始した(図4、5)。この透視台では、電動回転装置によりI.I.-TV装置とFPD装置を簡単に、かつ短時間で交換可能であり(図6)、実際の臨床で被検者の両装置への割付による比較評価を可能にするものである。本格的な臨床評価前のパイロットスタディーとして少数例においてFPD-DRを用い実際に消化管造影検査を行ったところ、撮影画像において以下の印象を得た。

- 1) 撮影画像のダイナミックレンジが予想以上に広く、撮影部分が椎体と重なっても造影された胃や大腸の観察が容易であり、特に直腸の側面像が条件良く撮影可能であった。
- 2) CCD-DRと比較し撮影画像に立体感があり、画像診断上、病変の認識に優れる感があった(基本的な撮像系構造の差によると思われる)。



図4 : FPD 評価用 C-arm 透視台(消化管コーナー 1 番検査室)



図5 : FPD 評価用 C-arm 透視台(遠隔操作装置部分)

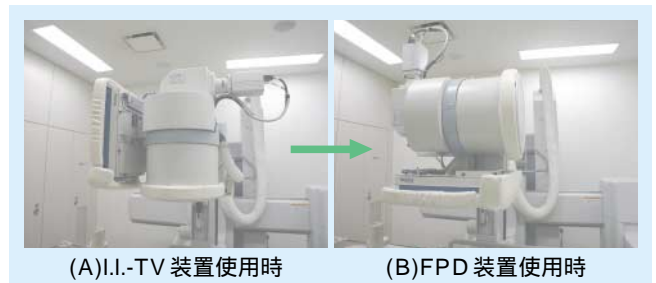


図6 : 電動回転式撮像系交換装置

3) FPD-DRの矩形で大視野の透視・撮影画像はI.I.-TV方式の円形で辺縁部分に死角ができるものと比較して、特に注腸X線検査において診断上有利と考えられた。

4) 注腸X線検査におけるfine net work patternがフィルム方式と同等以上に明瞭に観察される症例があった。

しかし透視画像においてはラインノイズが非常に目立ち、検査中に病変の認識が困難な場合があり、特に精密検査時に支障をきたすことがあった。また透視画像自体のラチチュードが狭く、低濃度と高濃度部分の差がある場合には大きなハレーションノイズが起り、検査が困難になる場合もあった。また、こうした透視上の問題点を解決するためフィルターを装着するなどの各種の試みを行ったが、逆に撮影画像の劣化の原因になるなどの問題点が多く、実際の臨床評価への移行はこの時点で困難と判断された。

5. 改良型 FPD-DR(改良型 PaxScan4030A)の登場

パイロットスタディーの結果明らかとなった撮影、透視画像におけるPaxScan4030Aの問題点を克服した改良型Pax

Scan4030Aが本年6月に登場し、このFPDを装着したFPD-DRを用いて実際の消化管造影検査における評価を再開した。新しいFPD-DRでは最大の問題であった透視画像におけるラインノイズがほとんど認められなくなり(物理データ上では半分以下)、画像のラチチュードも明らかに広く体厚やバリウム濃度の差によるハレーションも低く抑えられ、良好な透視像が得られるようになった。拡大モード(ズームモード)においてはノイズが強調される傾向にあるが、I.I.-TV方式と比較し十分に遜色のないレベルに達していると考えられる。特に注腸X線検査における直腸の側面透視はI.I.-TV方式よりも恒常的に良好で、検査全体に均一な透視像が得られ、臨床において十分に実用レベルに達していると考えられた。さらに撮影画像では(図7~11)、上部消化管、注腸X線検査とともに前FPD-DR以上に画質が改善され、よりダイナミックレンジの広いコントラストのある二重造影像が得られるようになった。特に濃度差の大きい画像の場合でも、画質の劣化の少ない良好な画質を得ることができた。



図7：食道ルーチン撮影(55歳男性)

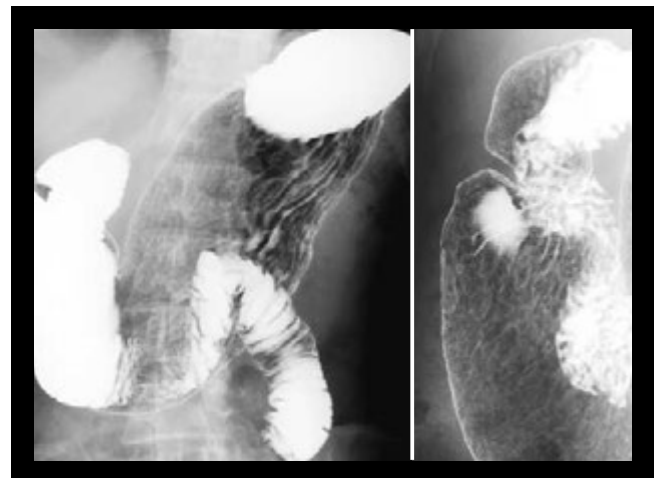


図9：胃ルーチン検査(61歳男性、前庭部スポット撮影)

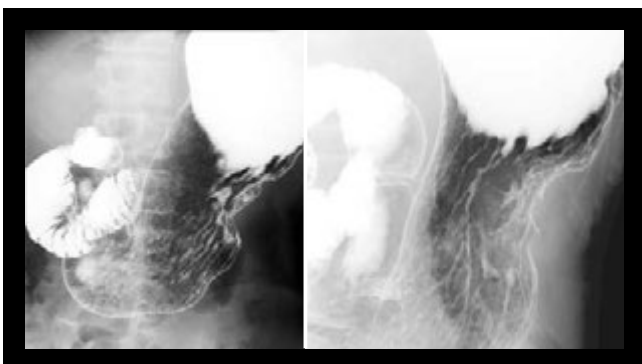


図8：胃術前検査(54歳男性、胃体中下部大弯、2型進行癌)

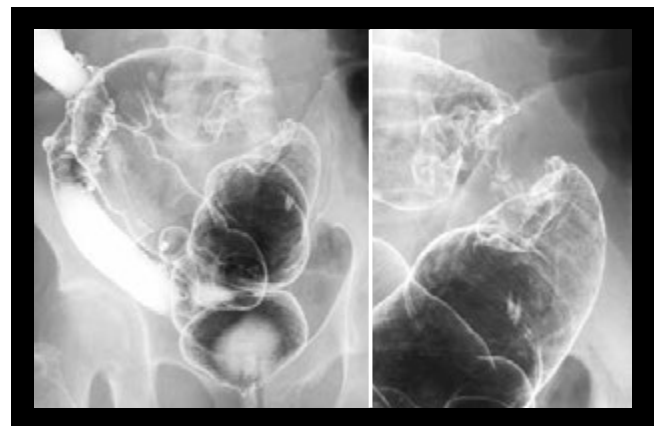


図10：大腸術前検査(61歳男性、S状結腸2型進行癌)



図 11：注腸ルーチン検査(38歳男性、直腸側面像)

6. 消化管造影検査における FPD-DR の有用性

空気とバリウムのコントラストで得られる二重造影像が主体となる消化管造影検査においては、広いダイナミックレンジを持つ診断画像が必要である。さらに体位により撮影条件が著しく変化するため、ラチチュードの広い透視画像も必要となる。改良型 PaxScan4030A はこうした消化管造影検査におけるニーズを高いレベルで達成した FPD-DR であり、今後の改良で CCD-DR を超える画質になると予想できる。今回の臨床評価における短期間のパイロットスタディー中に FPD-DR の画質は診断・透視画像とも著しく改善されることから考えても、消化管造影検査の画質改善において更に大きな可能性が期待される。他方、I.I.-TV 方式の DR における円形の撮影画像・透視画像と異なり、従来のフィルム方式と同様に FPD-DR の矩形で大視野の画像は、複数画像のシリーズや透視を用いて診断する消化管造影検査において、画像辺縁における死角が少ない点で明らかに有利であり、縦長の形状をもつ食道等の撮影においても有用性が高い。また理由は明らかでないが画質においてフィルム方式に近いニュアンスがあり、さらに I.I.-TV 方式と比較すると撮影画像に立体感があり、病変の認識に優れる感があった。これらの点から上部消化管 X 線検査はもちろん、特に注腸 X 線検査における FPD-DR の有用性が示唆された。

7. 今後の臨床研究の計画

先に述べたように、今回の臨床研究はわれわれの施設と(株)日立メディコとの共同研究により行われており、その内容については国立がんセンター共同研究審査委員会の承認を受けている。パイロットスタディーを含めた研究の詳細を記載したプロトコルが作成されており、その内容に沿って研究が進められている。今回の本研究の目的は診断医からみた

注腸 X 線検査における FPD-DR の診断能を CCD-DR と比較することである。実際の臨床において両装置に被検者を割りあて、その画像を複数の観察者によりランダム化、ブラインド化の手法を用いて読影実験を行い、大腸癌診断における客観的な比較評価を行う予定である。パイロットスタディーの結果改良された FPD-DR の画質は現状のスタンダードである CCD-DR に匹敵することが予想される。高画質化はもちろん撮影条件、最適表示階調処理、プリントの最適化、大視野化に対応する表示階調処理に関する改良をさらに行い、本格的な臨床評価研究を近日中に開始する予定である。この研究において FPD-DR が CCD-DR と同等以上の診断能を持つことを確認することにより FPD-DR の臨床応用の妥当性が明らかになる。そして CCD-DR の診断能を凌ぐ可能性を持つ FPD-DR により、本格的なデジタル消化管造影検査への道が拓かれるものと考えている。

8. FPD-DR を用いた次世代デジタル X 線撮影システムへの展望

今後の技術進歩により FPD-DR は CCD-DR やフィルム方式を超える画質を持ち、透視が可能な DR 装置として大きな可能性を持つ。さらに FPD-DR は I.I.-TV 方式よりも撮像系部分の形状が明らかに小さく、軽く、コンパクトであり撮影範囲も広いことから、特に C-arm タイプの透視台などに装着された場合、検査方法において従来の消化管造影検査を大きく変革することが確実である。こうした利点は透視を必要とする他の X 線検査(血管造影等)においても同じと考えられ、簡単に透視が可能となることにより、一般 X 線検査全体に大きな変革をもたらすと考えられる。われわれは今回の FPD-DR の臨床研究と平行してモニター診断における表示系最適化の研究も行っている¹²⁾。既に CCD-DR による消化管造影検査において大型高精細液晶(HDLC)モニター(図 12)の有用性を確認し、現在では HDLC モニターを FPD-DR の表示系として用いた実験も開始している。この“panel to panel”画像の極めて優れた画質については別の機会に報告したい。



図 12：大型高精細液晶モニター

最終的に消化管造影検査を含めた一般X線撮影は、FPD-DR + HDLCDモニターのような“panel to panel”デジタルX線診断装置により完成し、さらに画像の保管・検索・転送などデジタル化のメリットを生かすのみならず、CAD(computer-aided diagnosis)を用いたシステムへ発展していくと予想される。

参考文献

- 1) Sonoda M, et al : Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. Radiology 148 : 833-838, 1983
- 2) Hillman BJ, et al : Digital video subtraction angiography of renal vascular abnormalities. Radiology 139 : 277-280, 1981
- 3) 小池功一, ほか : リアルタイムデジタルラジオグラフィ装置(DR-2000H)の開発. MEDIX 21 : 9-15, 1991
- 4) Takahashi M, et al : Gastrointestinal Examinations with Digital Radiography. Radiographics 12 : 970-978, 1992
- 5) 石川 謙, ほか : 400万画素CCDカメラを用いたDR装置の画像特性. MEDIX 28 : 35-40, 1997
- 6) Takahashi F, et al : Development of a high definition real-time digital radiography system using a 4 million pixels CCD camera. SPIE 3032 : 364-375, 1997
- 7) 飯沼 元, ほか : 上部消化管造影検査における400万画素CCDを用いた Digital Radiographyの臨床評価 . MEDIX 29 : 19-25, 1998
- 8) Iinuma G, et al : Diagnosis of a gastric cancers : comparison of conventional radiography with a 4 million-pixels charge-coupled device", Radiology 214 : 497-502, 2001
- 9) Colbeth R, et al : 40 × 30cm Flat Panel Imager for Angiography, R&F and Cone-Beam CT Applications Medical Imaging 2001 Proceeding Volume 4320, 94p-102p
- 10) S.Ikeda, et al : Development of a Real-time Digital Radiography System using a Scintillator Type Flat Panel Detector Medical Imaging 2001 Proceeding Volume 4320, 516p-523p
- 11) Ogasawara S, et al : Fluoroscopic Low Contrast-Detail Detection with Flat-Panel Digital Radiography : Comparison with Conventional Radiography. RSNA, 87th Scientific Assembly and Annual Meeting, Scientific Sessions. Radiology 2001 ; 221(P) : 139.
- 12) Iinuma G, et al : Evaluation of Digital Radiography Using a 4 Million Pixel CCD for the Diagnosis of Colorectal Malignant Lesions during Barium Enema Examinations : Comparison of High Resolution CRT and Laser Hardcopy Images. RSNA, 86th Scientific Assembly and Annual Meeting, Scientific Sessions. Radiology 2000 ; 217(P) : 420.