



Title	輝尽性蛍光体イメージング・プレートを用いたデジタル・アンジオグラフィーの基礎的及び臨床的検討
Author(s)	工藤, 祥
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1985, 45(12), p. 1503-1516
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17482
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

輝尽性蛍光体イメージング・プレートを用いたデジタル・

アンジオグラフィーの基礎的及び臨床的検討

九州大学医学部放射線科学教室（主任：松浦啓一教授）

工　藤　祥

(昭和60年8月1日受付特別掲載)

(昭和60年10月28日最終原稿受付)

Digital Subtraction Angiography with Scanning Lazer Stimulated Luminescence; Experimental and Clinical Evaluations and Comparisons with Digital Fluorography and Conventional Angiography

Sho Kudo

Department of Radiology, Kyushu University Faculty of Medicine
(Director: Prof. Keiichi Matsuura)

Present Address: Department of Radiology, Saga Medical School, Nabeshima, Saga 840-01, Japan

Research Cord No. : 508.4

Key Words : Computed radiography, Digital subtraction angiography, Digital fluorography, Scanning laser stimulated luminescence, Imaging plate

Fuji Computed Radiography (FCR) utilizes imaging plates of scanning lazer stimulated luminescence. FCR can be used for intravenous digital subtraction angiography (IVDSA) and for intraarterial studies because of its high contrast and spatial resolution. Pixel size of the imaging plates for angiography is 0.2 mm.

Experimentally, it could demonstrate a vessel 1 mm in diameter with a contrast of 0.1, when opacified with a contrast medium of 3% iodine concentration, and could image a vessel 3 mm in diameter with contrast of 0.1, when opacified with 1% contrast medium. A 20% stenosed portion of a vessel 3 mm in diameter was identified when opacified with 3% contrast medium, and a 20% stenosed portion of a vessel 2 mm in diameter was identified when opacified with 10% contrast medium.

In 105 IVDSA examinations of 75 patients, FCR was superior to Digital Fluorography (DF) in spatial resolution, size of examination field, dynamic range and exposure dose. Also noted was the high diagnostic value of the live images of FCR•IVDSA.

Among 133 intraarterial examinations of 92 patients, FCR was superior to conventional film angiography as to contrast resolution, dynamic range and radiation dose. Practically, FCR arteriography was as good as film arteriography, even when performed with half-concentration contrast medium or with half the usual dose.

It takes about 30 minutes to process 8 imaging plates; therefore, it is somewhat inconvenient. However, FCR may surpass both DF and conventional angiography in the near future, considering its obvious advantages of digitalization.

現所属：佐賀医科大学放射線科学教室

I. はじめに

デジタル画像処理技術による診断能の向上と画像情報の整理、保存、転送の簡便さの故にX線検査其地の映像診断法は、近年ますますデジタル化の傾向にある¹⁾²⁾。血管造影の分野も例外ではなく、1979年以来Digital Fluorography(以下DFという)がその高いコントラスト分解能と低い侵襲性故に導入され、これによるDigital Subtraction Angiography(以下DSAという)が急速に普及してきた。しかし、DFは、Image Intensifier(以下II)を用いることから空間分解能に制限があるため、フィルム法血管造影の替わりにすべての症例をDFのみで検査するわけにはいかないのが現状である^{3)~9)}。そこで、DF同様に高いコントラスト分解能を持ち、しかもDFよりも高い空間分解能を持った新しいDigital Angiographyのシステムが求められていた。

この目的に沿って最近種々のComputed Radiographyのシステムが開発されてきた¹⁾²⁾¹⁰⁾¹¹⁾。その一つにいわゆる輝度性蛍光体をX線のセンサーとし、フィルムのかわりにイメージング・プレートを用いるものが日本に於て他国に先駆けて開発された(Fuji Computed Radiography, 以下FCRといふ)。このシステムは、

- 1) フィルムと同じく広い検査野が得られる、
 - 2) 高いコントラスト分解能を持つ、
 - 3) 0.1~0.2mmの小さいピクセルを持つ、
 - 4) 広いダイナミック・レンジをもつ、
 - 5) 高度の画像処理機能を持つ、
- などの特徴を持っている^{10)~15)}。そして、このイメージング・プレートはX線フィルムと同様に速写装置に送り込んで血管造影を行うことができる。これから新しい血管造影システムとしての期待が持たれている^{9)16)~21)}。

これを用いた血管造影の有用性の報告はすでにいくつかあるが^{9)16)~21)}、DFやX線フィルムを用いての検査との画質に関する詳細な比較検討はいまだなされていらず、また実際行う時の造影剤濃度やX線量などの技術的条件はいまだ十分解明されていない。

血管造影検査は他の検査に比して比較的に患者

被曝線量が多い検査法であり、また、多量の造影剤を使用しなければならない。ところが、FCRでは上記の特徴からより少ないX線量、より少ない造影剤量で十分に検査ができると期待されるので、どの程度までX線量または造影剤量を減少させてもDFまたはフィルム法血管造影と同等の診断情報を得られるかについての検討を中心に研究を行った。

まず、FCRを用いて血管造影(以下FCR-DSAとする)を行う際の造影剤濃度、X線量、拡大率と血管の描出能との関係をファントムを用いて実験的に検討した。更に臨床例において、造影剤の静注法(IVDSA)及び動注法(IADSA)によるFCR-DSAをそれぞれ、DFおよび従来のフィルム法血管造影と比較し、その臨床的有用性及び実際に使用する時の造影剤濃度及びX線量について検討した。また、サブトラクションを行わない画像(以下ライブ像といふ)の診断価値についても検討した。

II. 研究目的

1) FCRを用いたDSAを臨床に応用する場合の至適なX線量及び造影剤の条件を実験的に検討した。

2) 臨床的にFCRを用いてIVDSAを行い、我々が日常使用してきたDFによるIVDSAと比較し、FCRの臨床上の有用性及びX線量低減の可能性を検討した。

3) FCRを用いた経動脈造影(IADSA)を行い、フィルム法血管造影と比較検討し、FCRの臨床上の有用性、及びX線と造影剤量の低減の可能性について検討した。

III. 研究方法

1. 装置

Computed Radiography Systemには、FCR-101(富士メディカルシステム社)、DFには、Angiotron(Siemens社)を用いた。

X線発生装置はPandros Optimatic、X線管球は密着撮影にはOPTI 140/40 72C、焦点1.0mm、拡大撮影にはOPTI 110/12/50HSG 焦点0.2mmを用いた。なお、DFには前者管球の焦点0.6mm

を用いた。

2. 研究方法並びに対象

1) 基礎的研究

5cm 厚のアクリライト箱内に水を満たし、その上下にそれぞれアクリライト板を5cm 厚に重ね、15cm 厚のファントムとした。内径8mm, 6mm, 3mm, 2mm, 1mm のアクリライトでできた管の中央部2cm 長に20%の狭窄部を作り、模擬血管としてファントム中央部にX線束に直交するように設置した。

イメージング・プレートは14×14インチ(ピクセルサイズ0.2mm)のものを用いた。

模擬血管内のヨード濃度は0.5%—37%から任意に選び、造影剤注入前後の撮影を行いサブトラクション像を得た。

X線量は、フィルム・焦点間距離100cm の通常撮影(増感紙: G-8, フィルム: RXO-G, グリッド使用)によりフィルムの素地濃度が1.76になる撮影条件(66KVp, 10mAs)により放射されるX線量を腹厚15cm の人間の撮影に必要な線量の近似値と考え、これを相対線量1とした。そして電流を変えて相対線量が1, 1/2, 1/4になるように線量を調整して撮影した。

拡大撮影の場合は、焦点とイメージング・プレートとの距離を一定に保つことにより、拡大によるX線量の変化が少ないようにした。

FCR・DSA像の処理には、階調AよりNまでの選択のうち、初期の臨床経験でサブトラクション像に適していると思われたKとLを使用した。他の条件も同様な理由で中心濃度0.5, ラティチュード1.7, 勾配1.0とし、周波数強調は0とした。相対撮影感度E値は、X線量の変化に応じて70—2700となった。

各撮影条件での肉眼による模擬血管の狭窄部の識別能を判定した。また、マイクロデンシトメーター(サクラ PDM-5, Type-B.BR)にて黒化度を測定し、造影された模擬血管のコントラストをもとめた。

また、X線量の変化による背景のRMS (root mean square of deviation) 粒状性の変化を調べた。なお、この検討には相対線量1/7(55KVp 2.5

mAs), 2(66KVp 20mAs)及び4(77KVp 10mAs)の条件も含めた。

2) 経静脈性動脈造影 (IVDSA)

昭和59年8月より昭和60年3月までに九州大学放射線科にてFCRとDFの両方によるIVDSAを行った75名105造影を検討の対象とした。臨床診断名は、胸腹部大動脈瘤15名、大動脈炎症候群8名、末梢動脈閉塞性疾患17名、脳血管障害17名、腎癌4名、肺癌2名、其他血管のmapping目的のもの又は異常なしと判定したもの12名である。腹部、下肢でそれぞれ3例タイミング推定のミスのための検査失敗例があるが、これらは検討対象から除外した。

造影剤の注入方法はFCR, DF同一条件にした。6フレンチのピッグテイル・カテーテルの先端を上大静脈と右房との境界部に留置し、水溶性造影剤(Urograffin—76%, ヨード濃度37%), 30—40mlを20—30ml/secの率で注入した。

DFは7, 9, 12インチのIIモードを必要に応じて使い分けた。また、DFの照射線量率は500μR/secであった。

まず、DFを行い、病変部の確認と血流速度の推定を行った。ついで、FCR・DSAは14×14インチのイメージング・プレートを用いてマスク像2枚を含めて1回8枚のステレオ撮影を行った。

FCRの撮影は、フィルム法血管造影に必要と思われる線量(相対線量1), 又は電流を変化させて、相対線量1/2, 1/4で行った。また、頭部は全例拡大撮影を行った。

FCRの画像処理にあたり、階調曲線はサブトラクション像はKとL, ライブ像には主としてAを用いた。中心濃度は0.5とし、勾配は検査部位のコントラストと造影剤濃度に応じて0.6—2.0, ラティチュードは1.7—2.6と変化させた。相対撮影感度E値は、X線量の変化に応じて130—1300となつた。空間周波数強調は0とした。像の重ね合わせ処理は3例のみ行った。

各症例についてFCR像とDF像の画質を比較し、4段階に評価した。

3) 経動脈性造影

昭和59年8月より昭和60年3月までに九州大学

放射線科にて FCR とフィルム法の両方による動脈造影を行った92名133造影について検討した。

造影の種類は延べ数で胸腹部大動脈造影27例、密着選択的動脈造影62例、及び拡大選択的動脈造影44例である。密着選択的動脈造影は腹腔動脈又はその分枝38例、上腸間膜動脈又はその分枝8例、下腸間膜動脈2例、腎動脈2例、及び肺動脈12例であり、拡大選択的動脈造影は腹腔動脈又はその分枝15例、上腸間膜動脈又はその分枝3例、腎動脈10例、内腸骨動脈4例、四肢動脈6例、気管支動脈4例、腰動脈1例、及び下甲状腺動脈1例である。

頭部は今回の検討の対象には含めなかった。

臨床診断名の内訳は、肝癌15名、其地の上腹部腫瘍23名、腎癌10名、其地の後腹膜及び骨盤内腫瘍10名、肺癌7名、四肢の腫瘍4名、副甲状腺腫瘍1名の計70名が腫瘍性疾患であり、他は、門脈圧亢進症6名、膵炎4名、閉塞性動脈疾患4名、其地8名である。

造影剤は、四肢には metrizamide (ヨード濃度30%に調整)、其地の部位には Urografin 76% (ヨード濃度37%)を用いた。フィルム法にはこれらを希釈せずに用い、FCR には非希釈液、1/2希釈液、又は1/4希釈液を用いた。注入される造影剤の容積はフィルム法と同一とした。

X線量は、各症例毎にフィルム法に用いた条件を相対線量1とし、FCR には相対線量1、1/2又は1/4を用いた。

FCR の画像処理にあたり、階調曲線はサブトラクション像には K と L、ライブ像には主として A を用いた。勾配、ラティチュードはそれぞれ0.4—1.4、1.3—2.5を用いた。ライブ像は、中心濃度0.6—1.6、空間周波数処理条件は1 cycle/mm の部分を強調0—5とし、サブトラクション像は、中心濃度0.5—0.6、空間周波数強調0とした。また、相対撮影感度E値はX線量に応じて270—2000となった。

各症例について FCR とフィルム法の画質を比較し、4段階に評価した。フィルム法では診断上必要な時のみサブトラクション処理を行ない、FCR は、ライブ像とサブトラクション像を合わせ

て評価した。

IV. 結 果

1) 基礎的研究

Fig. 1は相対線量を1とした時の造影剤濃度とコントラストとの関係を示す。血管径の大小にかかわらず、造影剤濃度が高くなるほどコントラストも高くなった。コントラスト0.1を識別の境界と

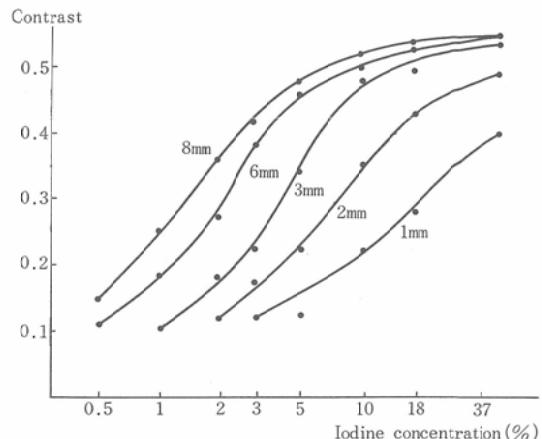


Fig. 1 Changes in contrast related to vessel size and iodine concentration

Other technical factors were

Relative exposure dose: 1(66KVp 10mAs)

Magnification factor: 1.16

Phantom thickness: 15cm

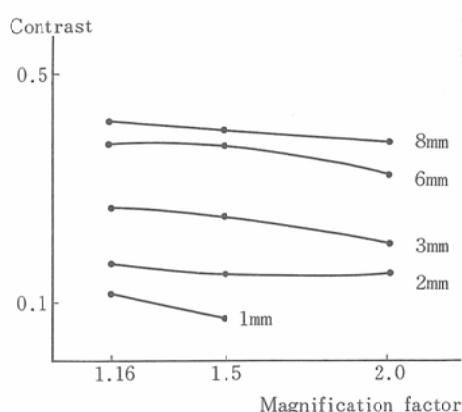


Fig. 2 Correlation between contrast and magnification factor by vessel size.

Other technical factors were

Relative exposure dose: 1(66KVp 10mAs)

Iodine concentration: 3%

Phantom thickness: 15cm

すれば、1%ヨード濃度では3mm径の血管を識別できたが、3%ヨード濃度では1mm径まで識別できた。

拡大撮影では、拡大率の増大とともにコントラストはやや低下したが著明な低下ではなかった(Fig. 2)。

また、造影剤濃度を一定にしX線量を低下させたが、コントラストの低下は認められなかった

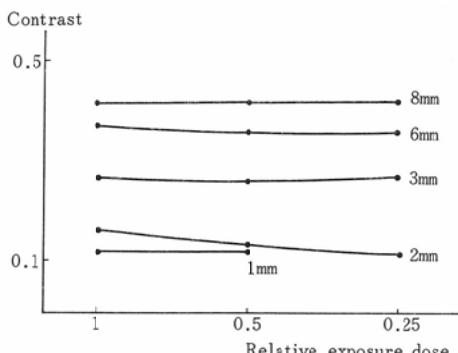


Fig. 3 Changes in contrast related to vessel size and relative exposure dose.

Other technical factors were

Magnification factor: 1.165

Iodine concentration: 3%

Phantom thickness: 15cm

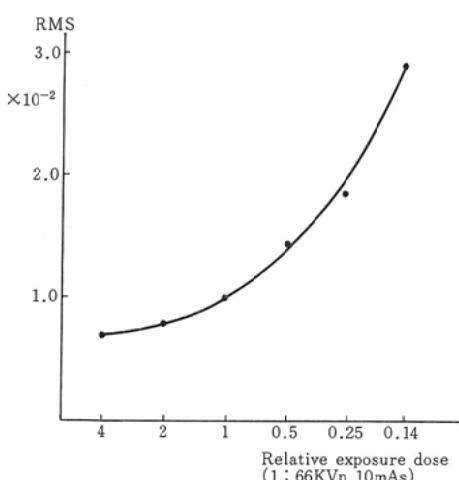


Fig. 4 Changes of RMS granularity of the background relative to exposure dose.

Other technical factors were

Magnification factor: 1.16

Phantom thickness: 15cm

(Fig. 3).

しかし、Fig. 4に示す如く、背景のRMS粒状性は線量に依存し、X線量を相対線量1/2以下に低下すると著明に悪化した。しかし逆にX線量を相対線量1よりも増しても粒状性は大きくは改善しなかった。

X線量及び造影剤濃度と空間分解能との関係を模擬血管の狭窄部位の肉眼的判別であらわし、Table 1に示した。X線量が多い程、また、造影剤濃度が高い程、診断に適した画像が得られた。1.16倍拡大よりも2.0倍拡大の方がより小さい血管まで識別可能であったが、造影剤濃度3%程度以下では拡大しても像の顕著な改善は得られなかった。

1.16倍拡大にて、3%ヨード濃度では3mm径の、そして10%ヨード濃度では2mm径の血管の20%狭窄部を認めることができた。この2mm径の血管の20%狭窄部位は左右対象なので片側0.2mm、すなわちピクセルと同じサイズの変化である。また、2.0倍拡大撮影では18%ヨード濃度で1mmの血管の20%狭窄部を認めることができた。これは、ピクセルの半分のサイズの変化をピクセルのサイズに拡大して診断したことになる。

Table 1 Diameter (mm) of the smallest phantom vessel of whose 20% stenosed portion was clearly identified, at each contrast concentration and exposure dose

Iodine concentration	Magnification factor								
	1.16			2.0					
	Relative exposure dose			1	1/2	1/4	1	1/2	1/4
37%	2	2	2	1	1	2			
18%	2	2	3	1	2	2			
10%	2	2	3	2	2	3			
5%	3	3	6	2	2	3			
3%	3	6	8	3	6	6			
2%	6	6	8	6	6	6			
1%	8	8	x	6	8	8			
0.5%	x	x	x	8	x	x			

Phantom thickness: 15cm

Relative exposure dose: 1 (66KVp 10mAs),

1/2 (66KVp 5mAs), 1/4 (66KVp 2.5mAs)

x: Stenotic portion of the 8mm vessel could not be identified

lp/mm, 3.54lp/mmまで判読可能であった。同じ条件でのフィルム法の結果は、それぞれ3.19lp/mm及び4.37lp/mmであった。

2) 経静脈性動脈造影 (IVDSA)

胸部は肺動脈系と大動脈系とに分け、腹部、下肢、それに頭頸部拡大撮影のグループ別に FCR 像と DF 像を比較した結果を Table 2 に示す。

肺動脈例では、相対線量 1 又は 1/2 の場合全例で Fig. 5 にみられるように血管が末梢まで良く描出され、FCR が DF に勝っていた。また、肺動脈ではサブトラクション像のみならず、ライブ像も全例 FCR の方が DF より画質が優れており、診断



Fig. 6a DF・IVDSA live image of a patient with a dissecting aneurysm of the ascending aorta shows the lesion poorly.

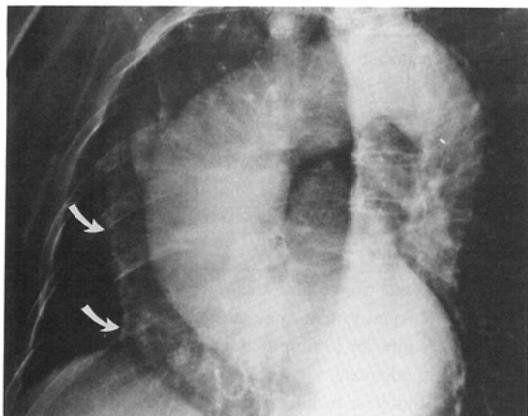


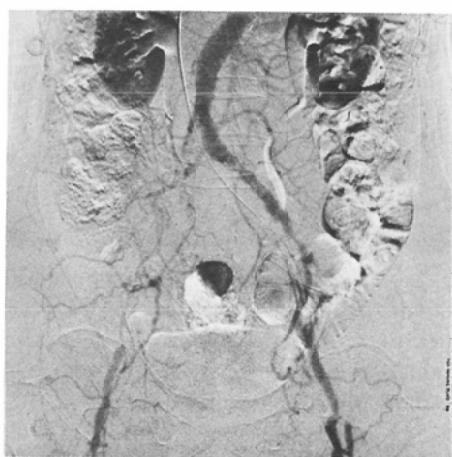
Fig. 6b FCR・IVDSA live image clearly demonstrates the aneurysm and clotted pseudolumen (arrows). This was proven at surgery.

昭和60年12月25日

(7)

に役立った。

胸部の大動脈系 (Fig. 6), 腹部 (Fig. 7a), 下肢 (Fig. 7b) あるいは頭頸部 (Fig. 8) のいずれでも 80 例中 4 例を除いて相対線量 1/2 まで減少させてもすべての例で FCR が DF と同等又は DF よりも優れていた。しかし、相対線量 1/4 まで減少させると粒状性の悪化により、FCR の方が劣った。また、14 例についてはライブ像が、血管外病



a



b

Fig. 7a, 7b FCR・IVDSA's large examination fields facilitated evaluating a patient with occlusive peripheral vascular disease using only two injections of contrast material. Occlusion of the right external iliac and superficial femoral arteries and multiple stenotic lesions are clearly demonstrated.

ラストがやや低い印象であったが細かい血管の描出において FCR は DF に比しやや優れていた。外頸動脈正面像の描出は DF ではダイナミック・レインジを越えるため難しいのに対し、FCR では良く描出された (Fig. 8)。

腎癌の症例では FCR, DF のいずれも IVDSA では腫瘍の存在診断はできたが腫瘍血管の性状や腫瘍の進展範囲などの詳細な診断はできないものが多くかった。そして、両者間に差は認められなかつた。

肺癌例では、大きな動脈枝の encasement が DF, FCR のいずれにても良く描出されたが、FCR のライブ像は周辺の病変をも同時に現わすのに優れていた (Fig. 5a)。

手術前の血管解剖を知る目的の検査や、血管病変のスクリーニングで結果的に正常だった例などでは、診断的意義が増したとは言えないが、画像は FCR の方が明らかに優れていた。

3) 経動脈性造影 (IADSA)

造影方法及び条件別に FCR をフィルム法と比較した結果は Table 3 に示す。

FCR では造影剤または X 線量を 1/2 まで低下させても大動脈造影はフィルム法に匹敵またはそれ以上の画質が得られ、造影剤または X 線量を 1/4 まで低下させるとフィルム法よりは劣るが、それでも vascular mapping としての目的は果たせる画像が得られた。

密着選択的造影、拡大選択的造影のいずれにおいてもやはり、造影剤または X 線量を 1/2 まで低下させてもフィルム法に匹敵又はそれ以上の画質が得られた (Fig. 9, 10)。しかし、両方とも 1/2 またはそのどちらかを 1/4 まで低下させると画質はフィルム法に比し著しく劣る症例が増した。特に造影剤濃度 1/4 では X 線量にかかわらず診断不能のものが多かった (Fig. 11)。

肝癌症例ではフィルム法で判別し難い横隔膜直下や椎体と重なった部分の血管の走行や腫瘍濃染の有無の診断に FCR が有用であった。

また、門脈圧亢進症シャント術後の状態では、低い造影剤のコントラストと椎体との重なりのためフィルム法ではシャントの開存が描出困難で

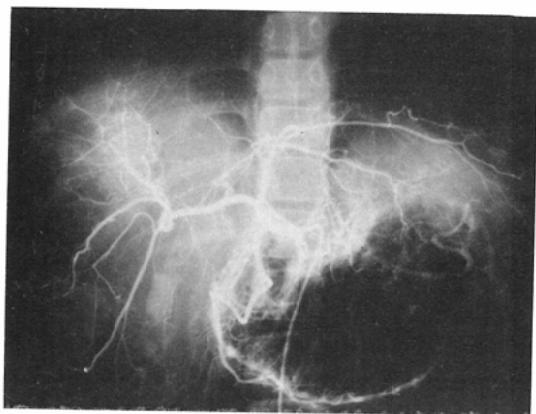


Fig. 9a Film arteriography of a patient with focal nodular hyperplasias of the liver associated with glycogen storage disease type-I shows multiple hypervascular masses in the liver.

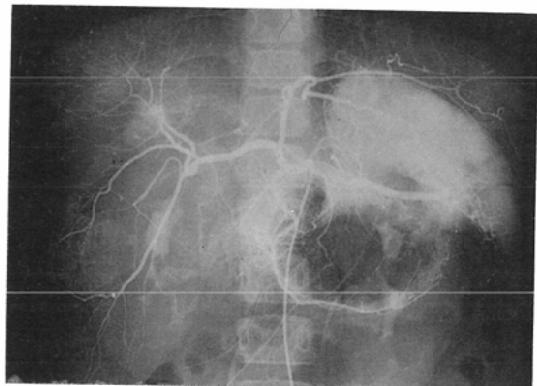


Fig. 9b FCR arteriography live image performed with half dilution contrast material shows the lesions better than film angiography. This image was adjusted to have slightly less contrast but wider latitude, compared with film arteriography.

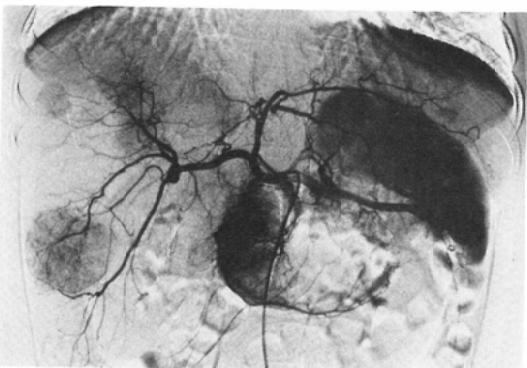


Fig. 9c FCR arteriography subtraction image reveals the number, size and the vascular nature of the lesions more clearly than did other images.

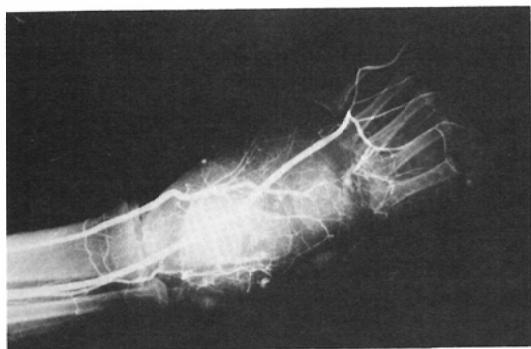


Fig. 10a Magnification film arteriography of a child with arteriovenous malformations of the right foot shows the peripheral vessels to be "burnt out" because of the relatively narrow dynamic range of the X-ray film.

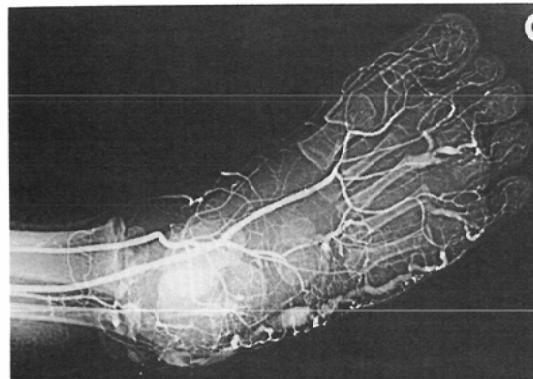


Fig. 10b Magnification FCR arteriography performed with half dilution contrast material shows the peripheral vessels and the lesions better than did film arteriography because of its wider dynamic range.

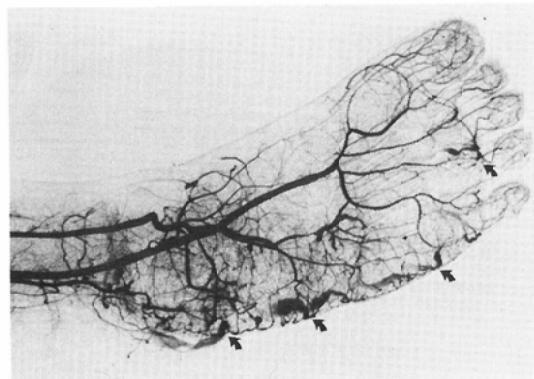


Fig. 10c FCR arteriography subtraction image shows the vessels and the lesions (arrows) much better than did other methods.

あった2例においてFCRのサブトラクション像にて明瞭に描出することができた。

腎腫瘍症例の選択的拡大造影では腎内の腫瘍血管及び濃染の描出はフィルム法との差を認めなかつたが、腎外側部より腹壁にかけて進展する腫瘍の描出にはFCRが優れていた。

フィルム法拡大撮影にて動脈のencasementが明らかであった腫瘍症例ではFCR拡大撮影でも十分診断可能であったが、テスト・チャートでの検討結果と同じく非常に細かい点ではFCRはフィルム法にやや劣っていた。

四肢の造影例では造影剤又はX線量を1/2まで低下させてもいざれもフィルム法と同等かそれ以上の結果を得た。FCRでは特にその広いダイナミック・レンジのため、皮膚直下の細かい血管まで良好に描出された(Fig. 10)。

肺癌例にFCRによる選択的肺動脈及び気管支動脈造影を行ったが、いざれの例でもライプ像で肺動脈分枝のencasementや気管支動脈のneovascularityと共に周囲の肺の状態の診断がフィルム法よりも容易であった。

フィルム法でサブトラクション処理が必要であった例では、サブトラクション像に必ずある程度の濃度のむらが見られたのに対し、FCRのサブトラクション像はむらがなく、フィルム法よりすぐれていた。

V. 考 察

1) 基礎的研究

FCR・DSAでの0.1コントラスト分解能は、相対線量1の場合、1%ヨード濃度で3mm径、3%ヨード濃度で1mmとなり(Fig. 1)，これは田村によるSiemens社のAngiotronを用いたDF像の値とほぼ等しい結果となった⁸⁾。フィルム法では通常30%ヨード濃度程度の造影剤濃度を必要とするので、コントラストで判断するとFCRはDFと同様フィルム法に比して著しく優れていると言える。

コントラスト分解能で判断したFCRの必要なX線量は、フィルム法で必要と認めた線量で十分であり、これはDFに必要な線量の数分の一乃至十数分の一に相当するものである³⁾⁽⁸⁾⁽²²⁾⁽²³⁾。更に線

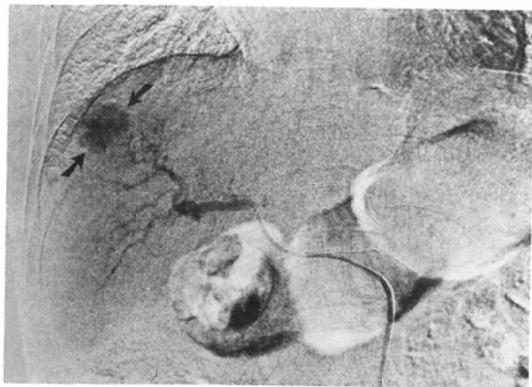


Fig. 11 The proper hepatic FCR subtraction arteriography performed with quarterly diluted contrast material and relative exposure dose 1/2 shows a hypervascular hepatocellular carcinoma (arrows). This quality is inadequate to securely rule out intrahepatic metastasis.

量を減少させてもコントラスト自体にはあまり変化はない(Fig. 3)。しかし、線量を低下させてゆくと粒状性が悪化し、特に造影剤濃度が低い場合は細かい診断が不可能となる(Table 1, Fig. 4, Fig. 11)。

マトリックスによる空間分解能をみると、DFではIIが大きくなるほどピクセルサイズは大きくなり、 512×512 のマトリックスで7インチのIIを用いた時のピクセルサイズは0.35mmである。これに対し、FCRの 14×14 インチのイメージング・プレートのピクセルサイズは0.2mmと固定されており、大視野でありながら非常に小さい。また、実際にこのピクセルのサイズの変化まで造影診断可能であることは本実験にて確かめられた。更にピクセル以下のサイズの病変は拡大撮影を行うことにより診断できる。

以上より、FCR-DSAはフィルム法と同じX線量でDFに匹敵する高いコントラスト分解能を持ち、しかも広い検査野でフィルム法と同様にDFよりも精密な診断の可能な検査法と言うことができる。

FCRは高いコントラスト分解能故に経静脈性動脈造影(IVDSA)が可能と考えられ、動脈側でのヨード濃度が約3%になる条件⁸⁾²⁴⁾²⁵⁾では、1mmの血管がコントラスト0.1で造影され(Fig.

1), しかも3mmの血管の20%狭窄部が識別できることが実験結果より推定される(Table 1)。その優れた空間分解能よりスクリーニングに止どまらず、血管病変の最終診断法としても期待できる。

FCRを用いて経動脈性動脈造影(IADSA)を行う場合は、フィルムに準じた高い空間分解能を要求されるが、10%のヨード濃度で2mmの血管の20%狭窄部まで識別可能であるので(Table 1), これでもフィルム法に用いられる29-37%ヨード濃度の造影剤をかなり希釈して用い得ることが期待できる。0.2mmのピクセルでは表せない微細病変の診断が必要な時は18%ヨード濃度以上の造影剤を用いて、拡大撮影を行う必要があるということが実験結果より推定される。また0.2mmまでの診断で十分な場合はTable 1の結果から見て、密着撮影でフィルム法に比し、造影剤、X線量、又はその両方を1/2-1/4に低減できる可能性があると思われた。

2) 経静脈動脈造影(IVDSA)

FCRではDFに比して、より少ないX線量でより高い空間分解能が得られるという実験結果が臨床例で裏付けられた。DFではフィルム法よりも画像あたり数倍乃至十数倍のX線量を必要とするが、FCRではフィルム法の半分にしてもDFに匹敵またはそれ以上の画像が得られた。

また、FCRは広いダイナミック・レンジを持っているためフィルム法やDFでは対応できない範囲のX線透過度の差を直線的な対応で現わすことができ、補償フィルターは必要でない。そのためDFで描出しにくい空気や骨に近接した血管、例えば外頸動脈、肺動脈それに四肢の動脈などはFCRでより良く造影され、また、動脈閉塞性疾患の側副血行路で皮膚に近いものもやはりFCRで良く描出された(Fig. 5, 7, 8)。

サブトラクション処理をしていない原像であるライプ像は、IVDSAでは通常造影剤の希釈のため診断に用いられない。ただ、胸部であれば診断に必要な造影剤濃度が得られるが、DFで周辺の肺野を含めるとダイナミックレンジを越すためやはり通常用いられていない。しかし、FCRのライプ像は肺動脈病変のみならず、胸部大動脈病変

の診断及び周囲組織との関係など縦隔を含めた胸部陰影の診断に優れていた (Fig. 5a, 6b).

拡大撮影では、実験の結果と同じく拡大によるためと思われるコントラストの低下がみられた。これは後処理で補正可能であるが、そのようにすれば粒状性がやや悪くなるので X 線量を低下させることは難しく、このことは特に頭部撮影の場合言えるように思えた。頭部では外頸動脈正面像の描出が他の血管と同様にできることが FCR・DSA の最大のメリットであった (Fig. 8).

FCR の撮影タイミングは、今回は DF を参考にして決定した。しかし、報告されているように¹⁹⁾色素希釈曲線による方法を用いるとタイミングをとる為の DF は必要としない。

現時点での FCR が DF により劣る相対的欠点の一つは処理時間が長いことである。現在、8枚のイメージング・プレートを処理するのに約30分要している。この点で FCR は即時性のある DF に著しく劣ると言わねばならない。しかし、改良型ではすでにある程度の時間短縮が得られているといわれ²⁶⁾、更なるシステムの進歩が待たれる。

3) 経動脈性造影 (IADSA)

Table 3 でみられたとおり、FCR を用いた血管造影は従来のフィルム法に替わり得るものであり、またフィルム法にない多くの利点を持つことが臨床例でも確認された。

その高いコントラスト分解能により、FCR ではより少ない造影剤を用いた血管造影が行えることが期待されたが、造影剤濃度を半分にしても差しつかえなかった。更に、造影剤濃度 1/4 でも FCR によるサブトラクション像が通常の濃度の造影剤で撮影したフィルム法に匹敵するものがあった。患者の動きなどによる障害陰影が問題になる場合はライブ像にて診断出来たが、この場合は造影剤濃度 1/2 以上であることが必要であった。

上腹部腫瘍の検査のように使用する造影剤の総量の多いものや、造影時の苦痛の大きい血管の検査時は X 線量よりも造影剤量を減らす方が望ましい。その点では、希釈した造影剤で良い像が得られる FCR の方がフィルム法よりも優れていた (Fig. 9, 10).

若年者や小児の場合は状況に応じて X 線量の軽減をすることが望ましい。FCR では、相対撮影感度 E 値を上げることにより低い X 線量でも適当な黒化度を得ることができる。この場合、造影剤濃度が 1 の場合は X 線量を 1/2 に下げてもフィルム法と同等かそれ以上の画質が得られ、1/4 でも診断可能な例の多かったことから X 線量の点で FCR はフィルム法よりも優れているといえる。

ただ、造影剤、又は X 線量の何れをも少なくしていけばそれに応じて FCR 像のコントラストが低下し、粒状性は悪くなり画像の質が低下してゆくことは実験でも認められた通りであった (Fig. 11).

拡大撮影で肺癌による小血管の encasement などのように非常に細かい部分の診断をする時は撮影条件の高いことが望ましい。しかし、それほど細かい診断の必要でない場合は、造影剤又は X 線量 1/2 の撮影で十分と思われた。実際に、現在のイメージング・プレートでの 2 倍拡大撮影で得られる以上の細かい所見 (0.1mm 以下) の診断が要求されることはまれと思われる。

FCR の広いダイナミック・レンジによる利点は IVDSA の項でも述べたが、IADSA に於ても X 線透過性に大きな差のある部位が近接している場合などの診断に有用であった。肺動脈や気管支動脈、横隔膜や腹壁に近い腫瘍や血管性病変の診断、それに四肢末梢の造影検査などではフィルム法ではサブトラクション処理をしても良い像を得ることが難しいのに対し、FCR ではラティュードの広いライブ像、またはむらのないサブトラクション像にて診断が容易となり、良い適応と思われた (Fig. 10).

VI. 総 括

1) FCR の性能を 15cm 厚のファントムを用いた実験的に検討した結果は次の如くであった。

(1) 3% ヨード濃度で 1mm 径の血管の造影がコントラスト 0.1 で描出可能であり、3mm 径の血管の 20% 狹窄部を肉眼的に識別できた。

(2) 1% ヨード濃度で 3mm 径の血管をコントラスト 0.1 で描出できた。

(3) 10%ヨード濃度では2mm径の血管の20%狭窄部を識別できた。

(4) テスト・チャートの撮影では、密着撮影、2.0倍拡大撮影ではそれぞれ2.32lp/mm, 3.54lp/mmまで判読可能であった。同じ条件でのフィルム法の結果は、それぞれ3.19lp/mm 4.37lp/mmであった。

(5) コントラストは拡大率の増大とともにやや低下したが、X線量の低下では変化しなかった。

(6) X線量の低下と共に粒状性の悪化がみとめられ、フィルム法に必要な線量の1/2以下ではそれが顕著であった。

以上の結果は、FCR・DSAがコントラスト分解能と空間分解能の点でDFとフィルム法血管造影のいずれもの利点を備えていることを示しており、その上にDigital Radiographyとしての独自の画像処理機能をもつことを考慮するとFCRを用いた血管造影での評価は高く、臨床的応用を強く示唆するものであった。

2) 臨床例のIVDSAにおいてFCRとDFとを比較検討した結果は以下の如くであった。

(1) FCRは、その検査野の広さ、高い空間分解能、広いダイナミック・レインジ、それに多種の画像処理機能と多くの点でDFに勝っていた。

(2) FCRはDFよりはるかに低いX線量でもDFと同様又はそれ以上の画像が得られた。

(3) FCRでは胸部ライブ像の診断的価値が高いことがあきらかになった。

(4) 8枚のイメージング・プレートを処理するのに約30分を要した。

以上よりFCRはDFに比して画像処理の即時性という点を除く他のすべての点で優れていると思われた。

3) 臨床例の経動脈性造影においてFCRとフィルム法を比較検討した結果は次ぎの如くであった。

(1) FCRを用いたIADSA及びライブ像は、その高いコントラスト分解能、低いX線量、広いダイナミック・レインジそれに多種の画像処理機能と多くの点で従来のフィルム法血管造影を凌ぎすべての血管造影に用い得ることが臨床例において

確認された。

(2) 造影剤又はX線量は1/2まで低下させてもフィルム法に劣らない十分な診断が可能であった。X線量1/4ではフィルム法には劣るもの診断可能であったものが多かったが、造影剤量1/4では診断不能例が多かった。

(3) 空間分解能はフィルム法にやや劣るが診断に差し支えるほどのものではなかった。

(4) FCRによる血管造影特に良い適応は、従来のフィルム法では隣接部間のX線透過性の差が大き過ぎて良い造影のできなかった部位の検査であった。

以上よりFCRは全体としてはフィルム法よりも優れた検査法であると思われた。

VII. おわりに

FCR装置は日本が他に先駆けて開発した輝尽性蛍光体イメージング・プレートを用いたComputed Radiography Systemである。本研究ではFCRを血管造影特に診断上要望の強いDSAに用いる価値につき、従来のDF及びフィルム法血管造影と比較検討した。

その結果、FCRはDFと同等のコントラスト分解能を持ち、広い検査野とDFよりはるかに優れた空間分解能、及び自由に階調を変えうる画像処理機能を持ち、更にX線量も低くてすむことからDFよりも明らかに優れた検査法であることが明らかになった。

また、FCRはフィルム法血管造影に比しわずかに空間分解能において劣るが診断に差し支える程のものではなく、むしろその特徴である高いコントラスト分解能、広いダイナミック・レインジ、低いX線量でも診断可能のこと、それに高度の画像処理機能により全体としてはフィルム法よりも優れた検査法であるとおもわれた。

現時点では、FCRの画像処理にやや時間がかかりすぎるためDFやフィルム法の補助的手段として留まらざるを得ないが、この点の改良もすでに進みつつあり、また画像の点ではFCRはDFとフィルム法両者の利点を兼ね備え、しかもそのいずれにても得られない機能を持つシステムであることから、将来は血管造影はFCRを含めた

Computed Radiography に替わり得るものといえる。

稿を終えるにあたり、本研究の御指導、御校閲をいただいた九州大学放射線科学教室松浦哲一教授に深謝いたします。また、貴重な御助言をいただいた増田康治助教授、西谷弘助教授ならびに放射線影響研究所ウォルター・J・ラッセル博士に御礼申しあげると共に、血管造影診断に御協力いただいた血管造影グループの諸兄及び実験に御協力いただいた新開英秀副技師長他、放射線技師諸氏に感謝いたします。

本研究の一部は第44回日本医学放射線学会（1985、鹿児島）において発表した。なお、本研究の一部は厚生省がん研究助成金（飯沼班）の援助を受けた。

文 献

- 1) 片山 仁, 幾瀬純一: Digital Radiography—世界の動向—. 画像診断, 2: 214-216, 1982
- 2) 飯沼 武: デジタル X 線映像法一分類と定義一. 日本臨床, 41: 1383-1387, 1983
- 3) Harrington, D.P., Boxst, L.M. and Murray, P. D.: Subtraction Angiography: Overview of Technical principles. A.J.R., 139: 139-781 -786, 1982
- 4) Riederer, S.J. and Krugar,R.A.: Intravenous digital subtraction: A summary of recent development. Radiology, 137: 633-638, 1983
- 5) Crummy, A.B., Stieghorst, M.F., Turski, P.A., Strother, C.M., Lieberman, R.P., Sackett, J.F., Turnipseed, W.D., Detmer, D.E. and Mistretta, C.A.: Digital subtraction angiography: Current status and use of intraarterial Injection. Radiology, 145: 303-307, 1982
- 6) 高橋睦正, 広田嘉久, 土龜直俊, 宮脇正行, 佛坂博行, 上野助義, 三浦義一, 野中信人, 島倭文郎, 常岡雅幸: ディジタル透視血管造影法の臨床的評価. 画像診断, 2: 660-672, 1982
- 7) 西村 玄, 内藤博昭, 山口敏雄, 高宮 試, 小塙隆弘, 大野英丸, 安原 弘: Digital Subtraction Angiography (DSA) の臨床. 画像診断, 2: 182 -187, 1982
- 8) 田村正三: 静注法による Digital Subtraction Angiography の基礎的及び臨床的研究. 福岡医誌, 75: 661-682, 1984
- 9) 工藤 桂, 田村正三, 蓮尾金博, 内野 晃, 松野哲一: 放射線医学の進歩(1984) 血管造影の現況と動向. 放射線科, 4: 382-399, 1984
- 10) 高野正雄: 輝尽性蛍光体を使った新しい Computed Radiography. 日本臨床, 41: 1395-1403, 1983
- 11) Sonoda, M., Takano, M., Mihahara, J. and Kato, H.: Computed radiography utilizing scanning lazer stimulated luminescence. Radiology 148: 833-838, 1983
- 12) FCR 技術マニュアル. 富士メディカルシステム株式会社, 1983
- 13) 松原一仁, 佐久間貞行, 岡江俊治, 山口 宏, 松水 剛, 伊藤謙助, 松浦 浩: Computed Radiography の臨床応用と問題点. 日本臨床, 41: 1492-1501, 1983
- 14) Meritt, C.R.B., Matthews, C.C., Tutton, R.H., Miller, K.D., Bell, K.A., Kogut, M.S., Bluth, E. I., Balter, S. and Kalmar, J.A.: Clinical application of digital radiography : Computed radiographic imaging. Radiographics, 5: 397-414, 1985
- 15) Fraser, R.G., Breathnach, E. and Barnes, G.T.: Digital radiography of the chest : Clinical experience with a prototype unit. Radiographics, 5: 415-428, 1985
- 16) 蜂屋順一, 是永健雄, 桜井賢二, 酒井文和, 加藤久豊, 高野正雄: Digital Angiography の新しい試み. 臨放, 27: 705-710, 1982
- 17) 似鳥俊明, 蜂屋順一, 是永健雄, 古屋儀郎: FCR の臨床. 経静脈 DSA. 画像診断, 4(Suppl. 1): 53-63, 1984
- 18) 園田俊英, 池田耕治, 小林尚志, 富吉 司, 篠原慎治, FCR の臨床. 経動脈 DSA. 画像診断, 4(Suppl. 1): 64-71, 1984
- 19) 似鳥俊明, 蜂屋順一, 是永健雄, 宮坂康夫, 若狭勝秀, 古屋儀郎, 桜井賢二: IVDSA における色素希釈法循環時間測定の意義—至適造影時間の予知とその応用—. 画像診断, 4: 438-445, 1984
- 20) 松原一仁, 浅井英彰, 岡江俊治, 研垣武男, 佐久間貞行: Computed Radiography による経静脈性肺動脈造影. 日獨医報 29: 645-648, 1984
- 21) 是永建雄: 輝尽性蛍光体を利用したデジタル血管造影の基礎的並びに臨床的検討. 杏林医会誌, 15: 449-461, 1984
- 22) 淀野 啓, 福田栄子, 佐々木泰輔, 伊神 熊, 佐藤信子, 秋村留美子: Digital Subtraction Angiography の被爆線量に関する—Thermoluminescence dosimeter 測定による—. 映像情報, 16: 541-545, 1984
- 23) Rimkus, D. and Bailey, N.A.: Patient exposure requirements for high contrast resolution in digital radiographic systems. A.J.R., 142: 603 -608, 1984
- 24) Saddeki, B.D., Sos, D.R., Sniderman, K.W., Srur, M., Bodner, L.J., Kneeland, J.B. and Cahill, P.T.: Optimal injection technique for digital subtraction angiography. Radiology 150: 655-659, 1984
- 25) Modic, M.T., Weinstein, M.A., Pavlicek, W., Gallagher, J., Duchesneau, P.M., Buonocore, E. and Meaney, T.F.: Intravenous ditital angiography: peripheral versus central injection of contrast material. Radiology, 147: 711-715, 1984
- 26) CR201仕様書. 富士メディカルシステム株式会社, 1985