

心血管造影法における新しい放射線診断法：三次元放射線診断装置の応用

Three-dimensional radiologic device as a new diagnostic aid in angiocardiology

武山 稔  
藤野 安弘\*  
三国谷 淳\*  
小野寺庚午\*

Minoru TAKEYAMA  
Yasuhiro FUJINO\*  
Atsushi MIKUNIYA\*  
Kogo ONODERA\*

Summary

Angiography with 180° arc was performed using a rapidly rotating stereoradiographic device and a single injection of contrast medium. Duration of rotation of the X-ray tube through 180° was 2.25 sec. The angiograms displayed in a rotating manner were three-dimensional with depth information. Every adjacent angiograms were obtained by the rapidly rotating X-ray tube at slightly different angles and positions, resulting in paired stereo images. The angiograms can be displayed on side-by-side monitors and viewed stereoscopically with a stereoviewer. Rotating images were displayed at 30 frames/sec (60 fields/sec) and were viewed in a fluorographic manner.

To apply the data to angiocardiology the following procedures were required: 1) the start of rotation of the X-ray tube was synchronized with the R wave of the EKG, 2) suspension of respiration, and 3) the subject's upper extremities were immobilized at his head.

To obtain left atrial angiograms the following steps were taken: 1) the circulation time from the pulmonary artery to the left atrium was estimated by injecting 15 ml contrast medium into the pulmonary artery under the fixed X-ray tube, then, 2) X-ray exposures of 20 fields/sec were obtained during 15 sec, and 3) left atrial arteriograms were taken by using the rotating X-ray tube referring to the circulation time.

With this method, stenotic lesions of the coronary arteries and collateral pathways were easily observed simultaneously with morphological changes in a 180° arc. In cases of acute myocardial infarction, percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA) and percutaneous transluminal coronary reperfusion (PTRC) utilizing this technique had great merit, because the examination time was greatly reduced due to the three-dimensional information. Therefore, there were possibilities of screening coronary artery diseases and of detecting complicated cardiac malformation and high-risk patients.

青森労災病院 第一内科  
八戸市白銀町南ヶ丘 1 (〒031)  
\*弘前大学医学部 第二内科  
弘前市在府町 5 (〒036)

The First Department of Internal Medicine, Aomori Rosai Hospital, Minamigaoka 1, Shirogane-cho, Hachinohe 031

\*The Second Department of Internal Medicine, Hirosaki University School of Medicine, Zaifu-cho 5, Hirosaki 036

Received for publication October 25, 1990; accepted May 9, 1991 (Ref. No. 37-114)

**Key words**

Three-dimensional radiodiagnostic device

Angiocardiography

Cardiac catheterization

はじめに

1987年, 乙供らは 180° 方向からの連続した立体画像を得ることができる三次元放射線診断装置を開発した<sup>1)</sup>. 本装置では1回の造影剤の注入で180° 方向からの立体血管像が得られるので, 撮影時にいろいろな角度の設定が必要でないという利点があった. 今回我々は本装置を先天性心疾患, 虚血性心疾患, 弁膜疾患, 心筋疾患, 大動脈疾患, 心膜疾患等の心血管造影に応用し, その有用性を確認することができたので報告する.

方 法

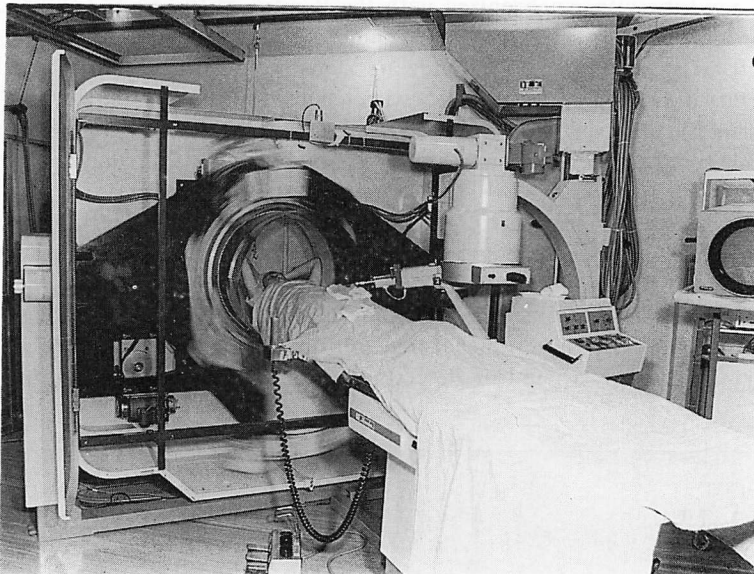
1. 三次元放射線診断装置と撮影法

撮影装置は X 線管球と image intensifier を対とし, 180° 間を 2.25 秒で回転しながら撮影でき

る Shimadzu ROTATO-360 (Fig. 1) と, 付属の digital subtraction angiography 装置 Shimadzu DF-150 である<sup>1)</sup>.

心血管造影でサブトラクションを行なう場合には, 心臓の拍動と呼吸による横隔膜の高さをともに一致させる必要があり, そのため, 前者は患者の心電図 R 波に X 線管球の回転の開始時間を同期させ, 後者は呼吸停止位置を予め患者に訓練させた<sup>2)</sup>. 回転撮影では側面で上肢の陰影が入り込むので, 撮影時に両上肢を挙上させて行なう必要があった.

本装置では 90° 間を 2.25 秒で回転し, 通常の 2 分の 1 の速度で撮影ができる. この方法では, 同じ角度内に 68 fields から 136 fields と, 2 倍の情報が得られるので, 心室造影等, 詳細な情報を要する際に利用できた. また cranial と caudal



**Fig. 1. Three-dimensional radiodiagnostic apparatus.**

Shimadzu ROTATO-360 has the capacity of radiographing through a 180° arc using rotating X-ray tube and paired image intensifier in 2.25 sec.

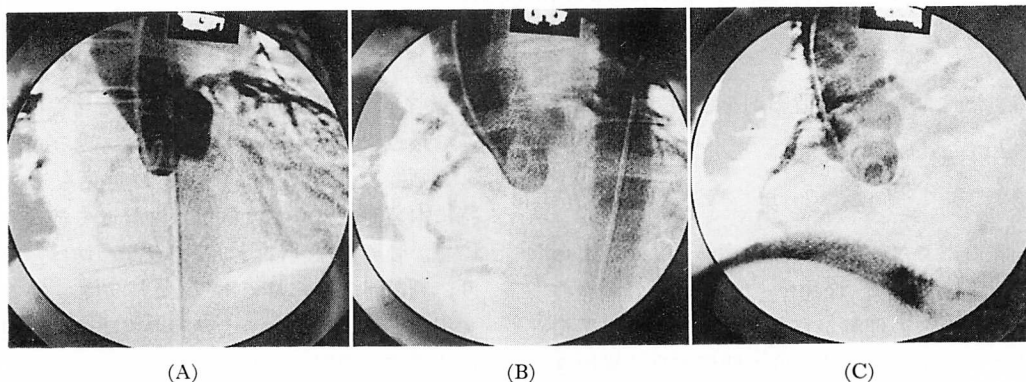
方向への tilting 角度は  $\pm 20^\circ$  までが可能である。

### 対象と方法

1987年4月から1989年3月まで当科で行なった心臓カテーテル検査は220例である。このうち、冠動脈奇形およびA-Cバイパス後のグラフト造影等を含む虚血性心疾患17例、大動脈疾患4例、弁膜疾患4例、先天性心疾患2例、心筋疾患2例、心膜疾患2例、計31例に回転立体撮影法を行なった。使用したカテーテルは左室と大動脈造影で

は6F Cordis製pigtail、冠動脈造影ではCordis製Judkins型あるいはAmplatz型カテーテル、Schneider & Shiley製同型のsoft-tipカテーテル、心右系の造影ではArrow製7F Berman angiographic balloon catheterである。

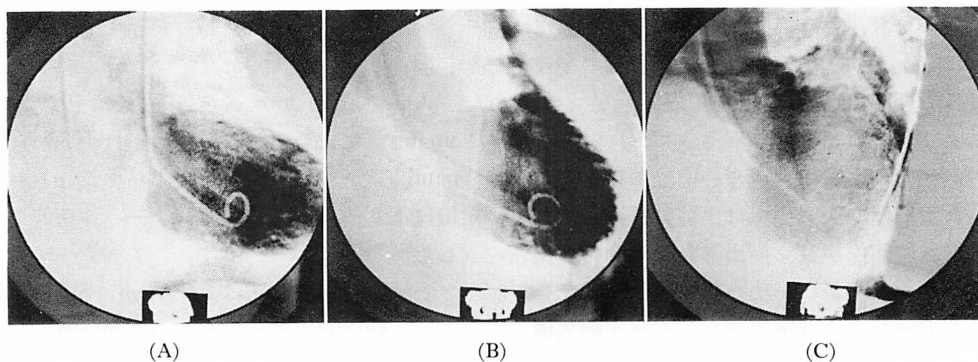
造影剤にはinhexol (350 mg I/ml) を用い、大動脈造影では15 ml/秒で40-55 ml (Fig. 2), 左室造影では10 ml/秒で40 ml (Fig. 3), 右心系造影では10 ml/秒で40 ml をインジェクター・ポンプ (Angiomat 3000) にて注入した (Fig. 4). 冠



**Fig. 2. Aortograms demonstrating single coronary artery.**

Injection of 40 ml contrast medium was performed at 15 ml/sec using an injector pump (Angiomat 3000).

A) right anterior oblique, B) anteroposterior, and C) left anterior oblique projections.



**Fig. 3. Left ventriculograms in a case with ischemic heart disease.**

In this case, 40 ml contrast medium was injected at 10 ml/sec.

A) right anterior oblique, B) anteroposterior, and C) left anterior oblique projections.

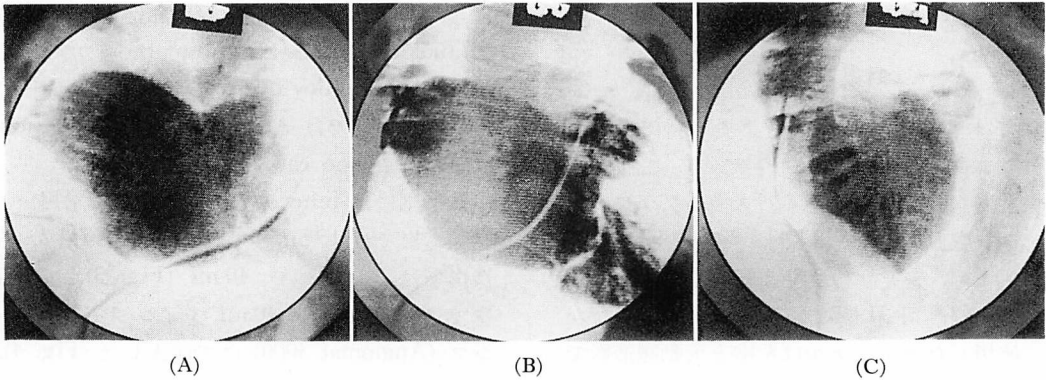


Fig. 4. Pulmonary angiograms of a case with mitral stenosis.

40 ml contrast medium was injected at 10 ml/sec.

A) right anterior oblique, B) anteroposterior, and C) left anterior oblique projections.

動脈造影では 5-8 ml の造影剤を手動で注入した (Fig. 5).

### 結 果

大動脈造影では解離性大動脈瘤の intimal flap や, entry あるいは reentry, ならびに腎動脈の解離の波及などの理解が容易となり, 大動脈閉鎖不全症では心室への逆流と弁の関係が良く描出された.

冠動脈から左室, 右室, 肺動脈への瘻が 3 例, 冠動脈起始走行異常が 2 例, 単冠動脈症例 2 例では, 血管の走行が立体的に観察できるので, その理解が容易であった. また, 虚血性心疾患における冠動脈病変では, 狭窄部位とその程度, さらにその形態が三次元的に理解でき, 側副血行の発達の状態も良く理解できた (Figs. 6, 7).

左室および右室の回転サブトラクション像では, 心室内部の乳頭筋の構造や心室瘤の把握が容易であった. 僧帽弁狭窄症では, 肺動脈造影で左心房と僧帽弁の関係が良く描出された. 僧帽弁閉鎖不全症では, 左室から左房への逆流による左心房の拡張の方向が良く理解できた. 心室中隔欠損症では jet stream の方向を観察し得, また修正大血管転位症ではその形態把握が容易であった.

これに対して, サブトラクションをしない通常

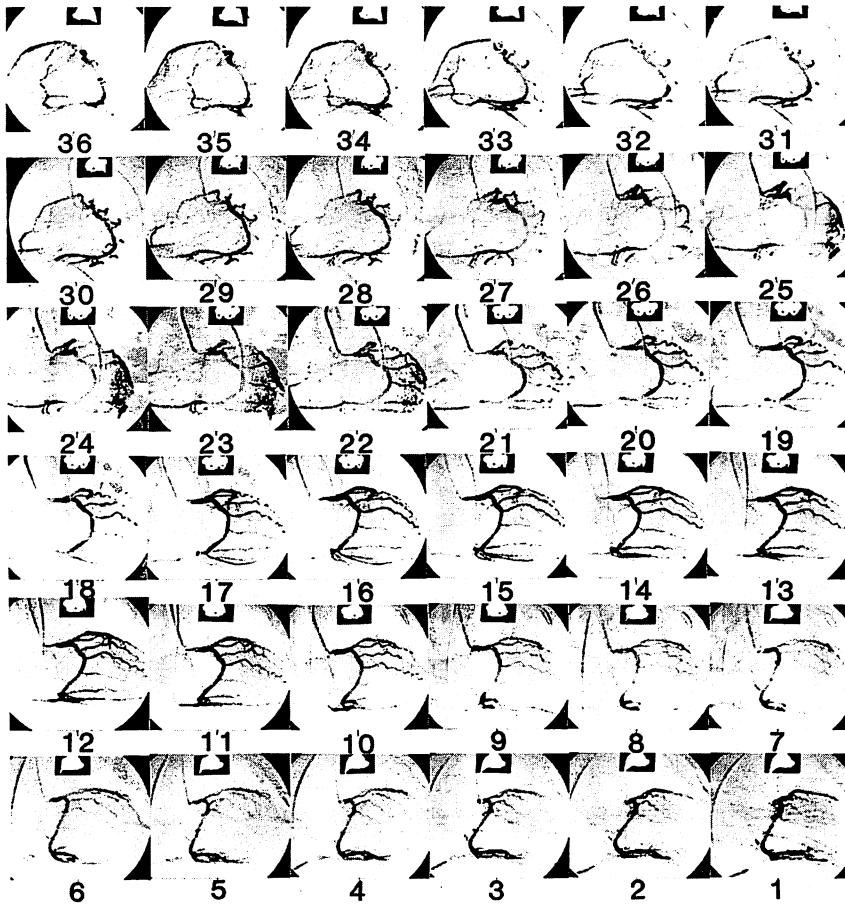
のシネモードと同様の画像放映も勿論可能である. 最近ではその digital 画像は, サブトラクション画像に劣ることはないとの意見もあるが<sup>3)</sup>, 特に本装置で得られた画像は回転して放映されるので, 骨の重なりによる読影診断の妨げがなくなり, 判読がより容易であった. しかし, 心室中隔欠損症とか, 僧帽弁や大動脈弁の閉鎖不全症における逆流の読影は, サブトラクション法の方が優れていた.

この他, 収縮性心膜炎による心外膜の石灰化症例 (Fig. 8) や心膜囊腫症例では, 造影剤を注入しない単純回転立体で, その形態把握はより容易であった.

### 考 察

人間の心臓カテーテル法は, 1929 年 Forsmann<sup>4)</sup> によるが, 今日の基礎は 1936 年, Courmand ら<sup>5)</sup> と Richards<sup>6)</sup> によって築かれ, この功績により彼らは 1956 年, ノーベル医学賞を受賞した<sup>7)</sup>.

心臓カテーテル法は, 1953 年 Seldinger<sup>8)</sup> によって経皮的カテーテル法が開発されて以来飛躍的に普及し, 1959 年の Sones ら<sup>9)</sup>, あるいは 1962 年の Ricketts & Abrams<sup>10)</sup> を経て, 1967 年に Judkins<sup>11)</sup> により改良されたものが現在広く普及



**Fig. 5. Serial coronary angiograms of a case with a single coronary artery.**

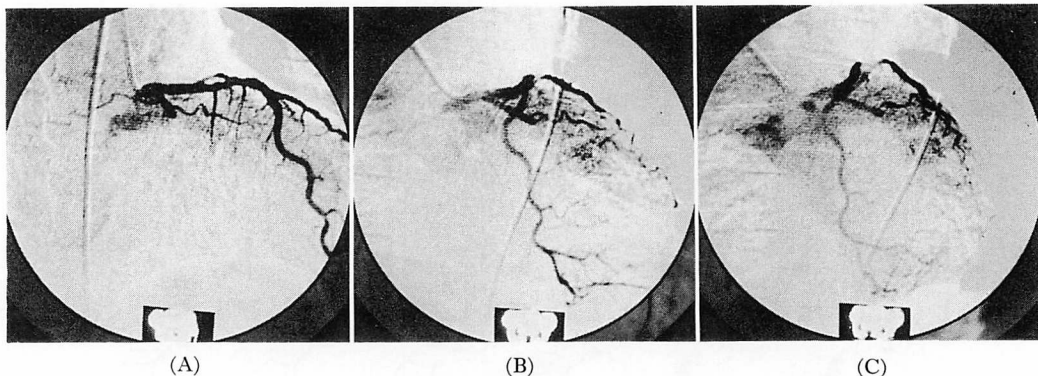
Detailed follow-up of the coronary artery was possible through a 180° arc utilizing stereoscopic viewing of images i.e., 1 and 2, 2 and 3, n and n+1.

している。

心臓は臓器が小さい上に、走行血管が周囲を取り囲むように走っているので、血管造影法では弁と心室の関係の描出、前壁と後壁を走る血管の重なりを防ぐことや、接線方向にある血管を視野の中央に持ってくるなどの工夫が要求されるので、多方向からの撮影が試みられてきた。一般にシネ冠動脈造影では、PTCA の場合も含めて左冠動脈では6-7方向、右冠動脈は3-4方向の入射を必要とする<sup>11-13)</sup>。先天性心疾患、弁膜症などでは、その疾患名に応じて病変部を鮮明に描出

するために、従来の方向に加え、体軸方向への傾斜を含めた multi-directional な入射法が要求され、そのため、tilting angle も cranial および caudal に 40-45° 必要である<sup>14,15)</sup>。

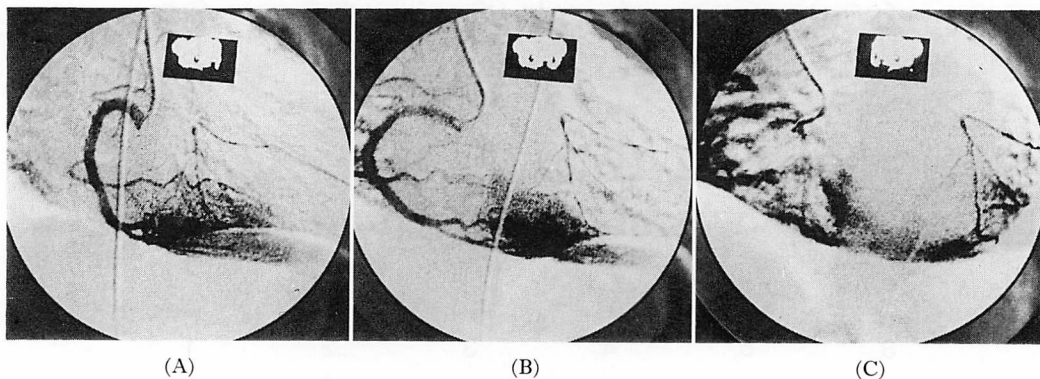
このように心血管造影法では、各々の目的血管により撮影する角度が異なるので、CあるいはUアームの設定が煩雑で、熟練した撮影技師がいても長い検査時間が必要であった<sup>16)</sup>。近年では、アームの設定は、コンピューター・ソフトで適切に angulation がなされる装置も開発されているが、この angulation に対する意見も統一されていない



**Fig. 6. Left coronary angiograms of a case with ischemic heart disease.**

Complete obstruction of the left circumflex artery was observed by the injection of 8 ml contrast medium manually.

A) right anterior oblique, B) anteroposterior, and C) left anterior oblique projections.



**Fig. 7. Right coronary angiograms of the same case (cf Fig. 6).**

Collateral blood flow from the right coronary artery was observed in the regions of the left circumflex artery which was completely obstructed.

A) right anterior oblique, B) anteroposterior, and C) left anterior oblique projections.

いので、いまだ manual な操作で行なっているのが実情である。これに対して本装置では、造影剤の一回の注入で 180° 方向からの画像が得られ、かつ画像を撮影直後に観察できるため、cranialあるいは caudal 方向への tilting する角度撮影の必要性を直ちに判断できるので、造影剤の注入回数の減少と大幅な検査時間の短縮がもたらされた。

米国心臓病協会特別委員会 (AHA)<sup>17)</sup> の冠動脈病変の評価法によると、最大狭窄度が得られる方

向での内径の減少率 (%) を狭窄の指標とするとしているが、本法では冠動脈内の病変の形態を、例えば同心円状、偏心状、螺旋状、偏平状等に立体的に把握できるので、虚血性心疾患の治療法の評価が容易であった。AHA は、左室壁内を RAO 30° および LAO 60° の左室造影により 7 分画に分け、収縮様式を記載する方法を採用している<sup>17)</sup>が、本装置を用いた左室造影での画像も 180° 方向から観察できるので、この 7 分画の収縮様式の把握も容易であった。



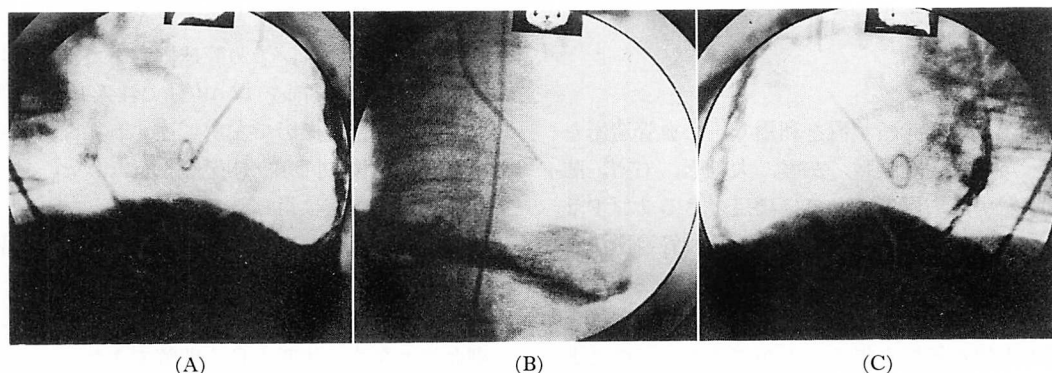


Fig. 8. Plane images of constrictive pericarditis.

A) right anterior oblique, B) anteroposterior, and C) left anterior oblique projections.

一方、1970 年前半に開発された digital subtraction angiography (以下 DSA)<sup>18)</sup> は、コントラスト分解能が優れているので、心血管造影法にも最近応用されてきた<sup>19-23)</sup>。そのシネフィルムと違うメリットは、画像のリアルタイム放映が挙げられる。しかし、一方ではフレーム分解能がシネ撮影に比し劣ること<sup>20)</sup>、あるいはデータのディスク保存に時間がかかる<sup>3)</sup>などの制約が挙げられてきた。

最近ではコンピューター・グラフィックスの普及で、『三次元』という言葉が良く使われるようになったが、広い意味の『三次元』の概念には、次の三つが含まれる。すなわち 1) 我々が通常 2 眼で立体的に経験しているように、少し角度が異なった所から撮影して得た画像(ステレオ対)を、左右の目で別々に観察して立体的に見る方法、2) 1 枚の静止画像の写真や絵で見るように、明暗、影、遮蔽、拡大などの手法から立体感を得る方法、3) 映画やビデオで見るように、画像を動かすことで立体感を得るなどである<sup>24)</sup>。

今回使用した装置は、同じ DSA 装置であるが、上記 3) で示したように放映画像が回転するので、画像に奥行きが得られる特徴がある。また、管球が回転しながら X 線を曝射撮影しているので、得られた画像は少しずつ角度が異なったものとなり、各々連続した 1 と 2, 2 と 3, 3 と 4...

の画像は、すべてステレオ対を形成することになった。したがって、これを左右並べたモニターに 1 と 2, 2 と 3, ... と順次放映し立体視鏡で観察すると、立体的に見えるわけである<sup>24)</sup>。

本法では画像を 1 秒間に 60 フレームで撮影しているのので、得られた画像を放映して観察することは、透視像を見ていることと見なすことができる。したがって本装置では、今まで最も理想として求められていた『立体透視』<sup>25)</sup>が、実現されたと言えよう。

得られた画像は、扇風機の首振り様に放映されるが、この左右の回転放映の静止と再開は、『スペース・パー』で随時行なえる。また、画像放映のスピードも、実時間に一致させた 1 秒間 30 フレームの放映から、2 分の 1, 3 分の 1 と遅くし、最終的には 30 分の 1 までゆっくりと放映ができる。しかし回転放映速度を遅くすると、個々の画像が残像によってもたらされる鮮明さを欠くために解像力が低下し、遅い回転では立体感が喪失するので、せいぜい 3 分の 1 位までの速度以内で観察することが望ましかった。

従来シネ撮影法では読影が難しかったが、本装置での心血管造影法では、冠動脈からの心筋内の微細な血管の局所灌流の状態が濃染像として得られるので、180° 方向からの三次元情報を基に、健常心筋と局所心筋灌流障害の判定に本法を応用で

きる可能性が示唆されると思われた.

## 結 論

三次元放射線診断装置を利用し, 心血管造影を行なった結果, 冠動脈, 左室, 大動脈, 右室, 肺動脈, 左房, 右房等で, ほぼ満足できるサブトラクション像を得ることができた. 心血管造影法を本装置下で行なうことによって, 角度を変えて造影剤を繰り返し注入する必要性がなくなり, 検査時間の大幅な短縮を得ることができた. このことは, 急性心筋梗塞初期における PTCA や PTCR を短時間に迅速に行なえることを意味する. また, 同様に小児における複雑心奇形診断への応用や, 腎機能や心機能の悪化している患者等, 一般状態の悪い症例への心血管撮影法の応用も可能と思われ, 冠動脈疾患のスクリーニング検査を含め, 本装置の有用性は高いと思われた.

## 要 約

2.25 秒間に X 線管球を 180° 回転撮影可能な装置を用い, 1 回の造影剤の注入により 180° 方向における血管像を立体的に観察した. 本装置では放映画像が回転して画像に奥行きが得られ, また回転する管球からの X 線曝射を撮影しているので, 得られる画像は少しずつ角度が異なり, 各々連続した 1 と 2, 2 と 3, 3 と 4...n と n+1 の画像はすべてステレオ対を形成する. したがってそのステレオ対を左右のモニターに 1 と 2, 2 と 3, ... と順次放映して立体視鏡により立体的に見た.

本法では 1 秒間に 60 フレームで撮影しており, 放映される画像は透視像を見ているのと同じ印象を与えた. したがって本装置を用いることにより, 最も理想的とされていた『立体透視』が実現された.

本装置を用い, 心血管造影でサブトラクションを行なう場合, 1) X 線管球の回転開始を心電図 R 波に同期させるか 2) 単純と造影の 2 回の回転撮影とも, 呼吸を停止するか, あるいは 3) 両上

肢を頭部で組ませるなどの方法が必要であった.

左房造影時には, 予め管球固定下で肺動脈にて 10-15 ml の造影剤を 12 ml/秒で注入し, 毎秒 20 フレームの連続撮影で左房に達する循環時間を測定し, その後に回転立体撮影を行なうと, 左房の立体造影が確実に得られた.

虚血性心疾患を中心に, 各種心疾患に本装置を応用した. 特に冠動脈病変では, 狭窄部位とその程度およびその形態が三次元的に理解でき, 側副血行の発達の状態も良く理解できた.

## 文 献

- 1) Ottomo M, Basugi N, Handa H, Taniguchi T: Rotatostereoradiography: A new radiodiagnostic method: Development of a new three-dimensional radiodiagnostic device and evaluation in neurosurgical clinics. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 31: 69-76, 1991
- 2) 乙供通則, 武山 稔, 高橋賢二, 緑川 宏, 竹川鉦一, 中西 猛: 回転立体撮影法: 3 次元放射線診断装置による digital subtraction 法の諸問題. *日本医放会誌* 49 (臨時増刊号): 125, 1989 (抄)
- 3) 高宮 誠: DSA の進歩: デジタル冠動脈造影法: 冠動脈造影のシネレス化への可能性を探る. *医学のあゆみ* 142: 12-15, 1987
- 4) Forssmann W: Die Sondierung des rechten Herzens. *Klin Wschr* 45: 2085-2087, 1929
- 5) Cournand AF, Ranges HS: Catheterization of the right auricle in man. *Proc Soc Exper Biol & Med* 46: 462-466, 1941
- 6) Richards DW Jr: Cardiac output by the catheterization technique in various clinical conditions. *Fed Proc* 4: 215-220, 1945
- 7) Richards DW Jr: The contributions of right heart catheterization to physiology and medicine. *Am Heart J* 54: 161-171, 1959
- 8) Seldinger SI: Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography: A new technique. *Acta Radiol* 39: 368-376, 1953
- 9) Sones FM Jr, Shirey EK, Prondfit WL, Westcott RN: Cine-coronary arteriography. *Circulation* 20: 773, 1959 (abstr)
- 10) Ricketts JH, Abrams HL: Percutaneous selective coronary cine arteriography. *JAMA* 181: 620-624, 1962
- 11) Judkins MP: Selective coronary arteriography: A percutaneous transfemoral technique. *Radio-logy* 89: 815-824, 1967



- 12) Friesinger GC, Adams DF, Bourssa MG, Carlsson E, Elliott LP, Gessner IH, Greenspan RH, Grossman W, Judkins MP, Kennedy JW, Sheldon WC: Optimal resources for examination of the heart and lungs: Cardiac catheterization and radiographic facilities. *Circulation* **68**: 893A-930A, 1983
- 13) Bourassa MG, Alderman EL, Bertrand M, de la Fuente L, Gratsianski A, Kaltenbach M, King SB, Nobuyoshi M, Romaniuk P, Ryan TJ, Seruys PW, Smith HC, Sousa JE, Böthig S, Rapaport E: Report of the joint ISFC/WHO Task Force on coronary angioplasty. *Circulation* **78**: 780-789, 1988
- 14) Fellows KE, Kean JF, Freed MD: Angled views in cineangiography of congenital heart disease. *Circulation* **56**: 485-490, 1977
- 15) 太田光重, 有沢 淳, 松永尚文, 大久保敏雄, 植原敏勇, 林田孝平, 内藤博昭, 西村恒彦, 菅原徹雄, 前田宏文, 小塚隆弘: X線映画法を用いた血管心臓造影における angled view. *日医放会誌* **40**: 757-766, 1980
- 16) Bergamans RF: Oblique, caudal and cranial X-ray beam anguration with the poly diagnost C. *Mediacamundi* **21**: 114-120, 1976
- 17) AHA Committee Report: A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. *Circulation* **51**: News from the Heart Association. pp 5-40, 1975
- 18) Mistretta CA, Crummy AB, Strother CM: Digital angiography: A perspective. *Radiology* **139**: 273-276, 1981
- 19) Kruger RA, Mistretta CA, Houk TL, Kubal W, Riederer SJ, Ergum DL, Shaw CG, Lancaster JC, Rowe GG: Computerized fluoroscopy techniques for intravenous study of cardiac chamber dynamics. *Invest Radiol* **14**: 279-287, 1979
- 20) Mancini GB, Higgins CB: Digital subtraction angiography: A review of cardiac applications. *Prog Cardiovasc Dis* **28**: 111-141, 1985
- 21) Kozuka T, Ohta M: Evaluation of left ventricular function using digital subtraction angiography. *Jpn Circ J* **49**: 710-718, 1985
- 22) Foster CJ, Butler P, Freer CE: Digital subtraction angiography of the left ventricle. *Br J Radiol* **61**: 1009-1013, 1988
- 23) 武田 徹, 石川演美, 秋貞雅祥, 鯉坂隆一, 赤塚孝雄, 松田光夫: Intra-arterial digital subtraction angiogram により描出された毛細管相における心筋灌流異常: 左室造影および  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラムとの比較. *日医放会誌* **48**: 1069-1077, 1988
- 24) 乙供通則: 三次元放射線診断装置の開発: 血管の破れやすいところと閉塞し易い部分の早期発見ができるレントゲン装置. *ろうさいフォーラム* **2**: 11-13, 1989
- 25) 西山正治, 牧野純夫, 渡辺広行, 大野英丸: レンチキュラーシートを用いた X 線立体透視の実験的研究. *日医放会誌* **44**: 761-772, 1984