

《原 著》

左心室の3次元解析に関する研究 [I]

—左心室の3次元イメージ—

浅原 朗* 上田 英雄** 若林 重興***

要旨 2台の Scintillation camera で直角に交叉する2方向から、同時に左心室血液プールのデータを記録し、Computer 解析により左心室を3次元像として表現する方法およびその目的のソフトを開発し、基礎的検討と臨床応用の検討を行なった。得られる3次元イメージは従来の2次元イメージと全く異なるものであり、左心室を長軸に垂直なスライス面の積み重ねとして立体的に表現している。

本法は心室が長軸を中心とする回転橢円球体であるとの理論に基づき計算式が組み立てられており、従って複数の平面から成る構造体は正しくその形を表現できないが、周辺が橢円弧の合成より成る構造体は、かなり複雑な形状も正しく表現できることが Phantom 実験から確認された。心室は変形こそあれほぼ橢円球体であり、臨床応用にあたっても難は認められなかった。

臨床応用上、左心室の3次元イメージは心室の大きさ、形態、胸腔内における3次元的な位置関係をよく現し、心筋の運動異常、軸の変動、収縮の様相がよく示される。心筋梗塞の病巣、特に Akinesis や Dyskinesis が明瞭にとらえられ、心室瘤の表現も明瞭であり、診断的応用に高い価値が期待される。これらの所見は、他の検査法による異常所見ともよく一致し、信頼性の高いものであった。

I. 緒 言

近年、核医学における Imaging 技術の進歩はめざましい。得られるイメージは臓器の形態学的診断のみにとどまらず、機能的な診断情報をも提供し、心臓のように動きのある臓器は、動きのままに表現することも可能となった。更に表現方法は体軸に平行な面のみでなく、垂直方向の横断面として得ることも可能である。

しかし、これらのイメージは表現こそ違いはあるにしても、あくまでも2次元的なイメージであり3次元的な構造を有する臓器の形態を正しく表現しているとは言い難い。この意味から臓器をあ

りのままに3次元的に表現しようとする試みは当然の要求であり、X線診断学の分野でも最近3次元 Imaging の技術が報告されている¹⁾。

われわれは以前からこの面の技術的検討を行ないすでに報告してきたが³⁻⁸⁾、この度左心室の血液プールを3次元的に表現する方法を検討し、成果を得た。本稿では、左心室の3次元イメージ作製ソフトについてその過程を解説し、応用に関する基礎的検討と臨床成績を示し、臨床応用への価値を検討する。

II. 3次元イメージ作製法

1) 測定器およびデータ採取法 四肢に心電図端子を装着し仰臥位に位置した被検者的心臓部を、Searle 社製シンチカメラ Pho/Gamma HP およびLEM の2基で90度異なる2方向(右前30度斜位および左前60度斜位)から指向し(Fig. 1)、右肘静脈から^{99m}Tc 標識人血清アルブミン(^{99m}Tc-HSA) 20 mCi を急速静注し生理食塩水 20 ml でフラッシュした。注入された^{99m}Tc-HSA の Bolus

* 中央鉄道病院放射線科

** 中央鉄道病院

*** 島津製作所医用技術部

受付: 55年1月28日

最終稿受付: 55年4月9日

別刷請求先: 東京都渋谷区代々木2-1-3 (番151)

中央鉄道病院放射線科

浅原 朗

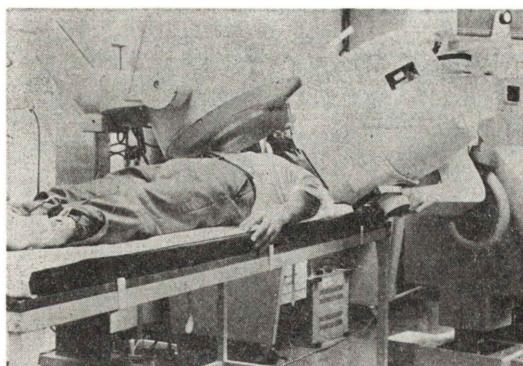


Fig. 1 The subject is positioned between 2 scintillation cameras set in a right angle.

が左心に流入をはじめた時点から約10秒間のデータを心電図信号とともに2台カムラデータ採取用インターフェイス⁹⁻¹²⁾を通し島津製作所製核医学データ処理装置 SCINTIPAC-200 に入力し List mode でこれを記録した。

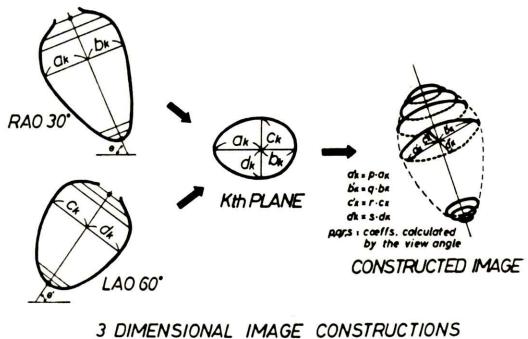
2) データ処理 おのののシンチカメラからのデータについて心電図記号を Trigger として 50 msec の Gate で約 10 心拍を集積し、1 心拍間の Multi-gated image を作製した。

各位相の90度異なる方向からみた2つのGated imageについて、今回新しく開発した「3次元 Imaging Program」により処理を行なった。

3) 「3次元 Imaging Program」による3次元イメージの作製 術者はディスクに記憶されている2次元 Gated image を順次選択し、CRT 上に表示された同じ位相の2つの Gated image について、心室の長軸および左室の輪郭をカーソルを動かして指定する。幾つのスライス面 (n: 最高20まで任意)としてイメージを表現するかも同時に指定する。

Computer は指定された心室の長軸を n 等分し、長軸に垂直方向のスライス面を設定し、おのののスライス面について長軸から辺縁までの距離を算出する。おのののスライス面の座標は、長軸を原点とし右前 30 度方向からみた 2 次元 Gated image の辺縁を X 軸上の正負 2 点とし、左前 60 度斜位像から Y 軸上の正負 2 点が決定される。

これら XY 軸上の 4 点から、近接する 2 点間を結ぶ 4 分の円弧を計算して組みあわせ一つのスラ



3 DIMENSIONAL IMAGE CONSTRUCTIONS

Fig. 2 Production process of three dimensional images.

イス面を作る。すなわち本法は心室が回転楕円球体であるとの前提のもとに成り立った心室の形態表示法理論である。できた n 個のスライス面は、2 つの 2 次元 Gated image における長軸の傾きと長さから、XY 方向および Z 方向の傾きに修正が加えられ、これを等間隔に積み上げて立体像(3 次元イメージ)が完成される。この際 3 次元イメージの表示にあたっては、座標の変換によりいずれの方向からみた像も表現でき、前面になる部分を実線で画かせ、背面側を点線で表現するものとしている (Fig. 2)。

さらにこれら基本的なイメージのほかに、周辺の形状を強調する目的でスライス間あるいは円弧を細分し影をつける表示法も行ない得る。

III. 基礎実験方法および臨床応用

種々の形のプラスチックファントームに ^{99m}Tc を封入し、90度異なる 2 方向から同時にデータを記録し、3 次元イメージを構成し、本法により構成された 3 次元イメージが実際の構造をいかに正確に表現しているかを確認した。

さらに上記方法により各種臨床症例についてデータを記録し、心室の 3 次元イメージを作り病巣所見の検討および他検査法による所見との比較検討を行なった。

IV. 結 果

1. Phantom による 3 次元イメージ表示に関する基礎的実験

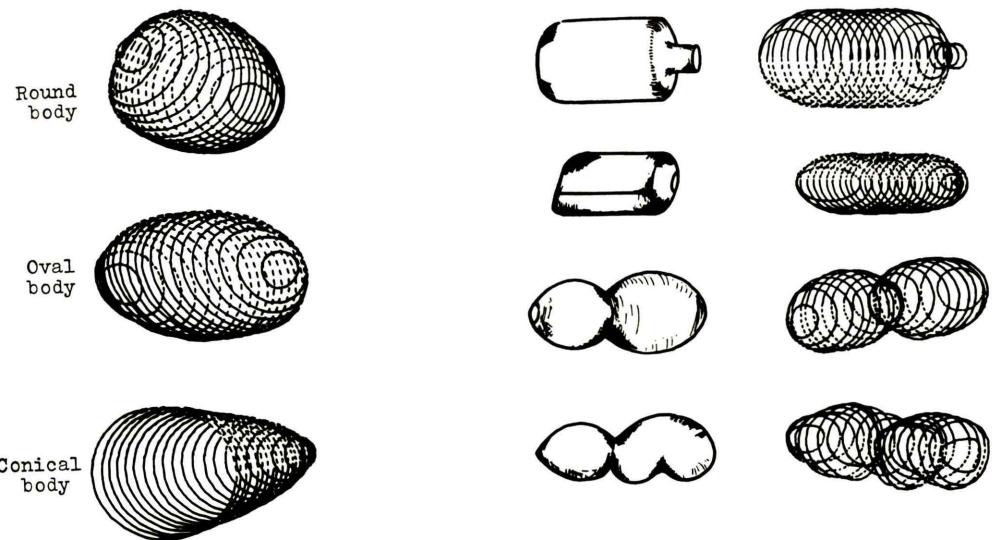


Fig. 3 Test result on three dimensional images using phantoms.

種々の形をした Phantom から構成された 3 次元イメージを Fig. 3, 4 に示した。Fig. 3 に示す結果は、完全な球体、橢円球体および円錐体の 3 次元イメージである。球体および橢円球体はほとんど完全にこれを表現している。円錐体の場合は底面がどちらかの検出器に平行となる位置に置かれた場合は正しい像を表現できるが、底面が検出器面と斜になる位置では正しい形を表現できない。

Fig. 4 は左に Phantom の形を示し、右にその 3 次元イメージが示されている。結果はかなり複雑な形をした Phantom もよくその形を表現しているが、4 面体(3 角錐体)や 6 面体(立方体)など周辺が平面のみで構成された構造体は、その形態を表現できない。その理由は、今回開発したプログラムの応用が心室の Imaging を目的としているため、周辺を回転橢円球体として構成しているからである。しかし、平面が 1 面に限られ、その面がいずれかの検出器に平行となる場合はその限りでなく、これを正しく表現できることは円錐体の成績から知られるところである。われわれの目的とするものは心室の形態の 3 次元表示であり、心室の形態がいくつかの平面の合成として構成されていることはまず有得ない。心室の形態は変形

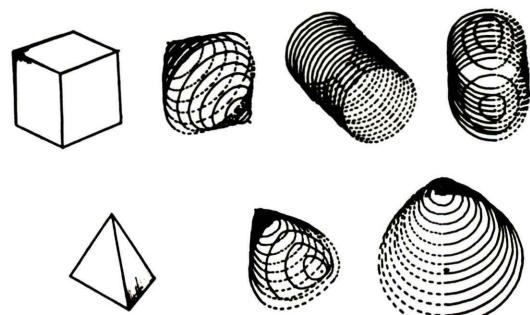


Fig. 4 Test result on three dimensional images using phantoms.

Left: Form of original phantoms.

Right: Three dimensional images obtained.

The oval-shaped phantoms can be reproduced accurately as three dimensional images, but those with plain surfaces cannot be reproduced.

こそあれほぼ橢円球体であると思われる。従って、以上の実験結果からして本法による 3 次元イメージは心室の形態を十分正しく表現できるものと考えられる。

2. 3 次元イメージ表示様式の検討

イメージ全体の構成は、基本的には最高20までの任意の数のスライス面として表現される。10スライス以下のイメージは全体に粗なイメージとなり細かい部分の表現が不可能である。15~20スライスでの表現が最も適当であった。

このような基本的なイメージでも周辺曲面の状態

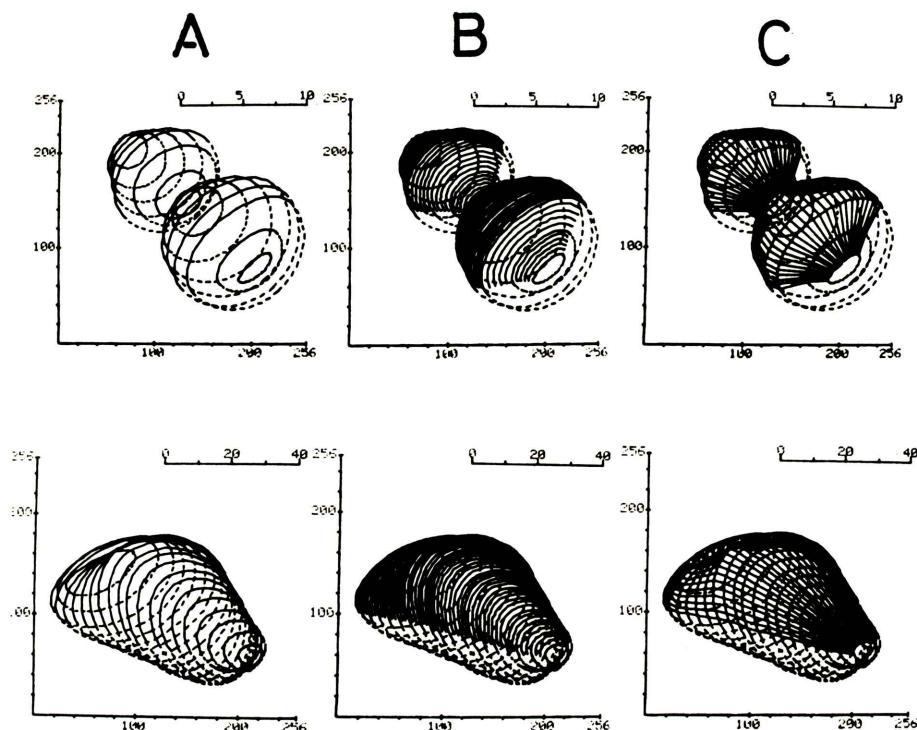


Fig. 5 Method of image expression.

- A: The standard method of expression.
 B, C: The method to emphasize the peripheral shapes, giving shadows.
 Top: Phantom images.
 Bottom: The left ventricle of a clinical case.

はよく表現され、曲面変化の急激な部位と比較的平坦な部位とはスライス間隔の大小によって判断が可能である。しかるにさらにこれを強調し、かつ前面と背面とをより明瞭に区別するために、イメージ上で一定の法則にしたがい陰影をつける方法を試みた。各スライス面間を前面のみについてさらに均等に細分割して表現したイメージ (Fig. 5-B) は長軸方向の形態の変化がより強く表現され、形状判断が容易となることが知られる。またスライス周辺をおのおのスライスについて均等分割し長軸方向に影をつけたイメージ (Fig. 5-C) では全体の立体感がよく表現される。

前面のみにこのような影をつけた結果は、背面部分との区別が容易になり心室の胸腔内における傾きや軸変異の表現がより明瞭に判定できた。

3. 臨床応用

1) 正常心の3次元イメージ Fig. 6 は Volunteer で記録した正常心室の3次元イメージである。右前30度斜位および左前60度斜位からみた拡張終期および収縮終期の像が示されている。心筋収縮に伴い心室腔はその周辺が全体にはほぼ均等に収縮し、容積を減じている。心室の辺縁はほぼ完全な橢円弧からなり全体に平滑で心尖部の変位に比べ弁口部の位置の変化は少ない。

2) 病態心 Fig. 7 の症例は約1年前に心筋梗塞発作を生じ加療により順調に経過した陳旧性前壁心筋梗塞症例の右前30度斜位からみた左心室のイメージである。冠動脈左前下行枝の障害により ^{201}Tl Scintigraphy では前壁に広く病巣が認められる。心駆出率は41%であり心室の拡大がある。

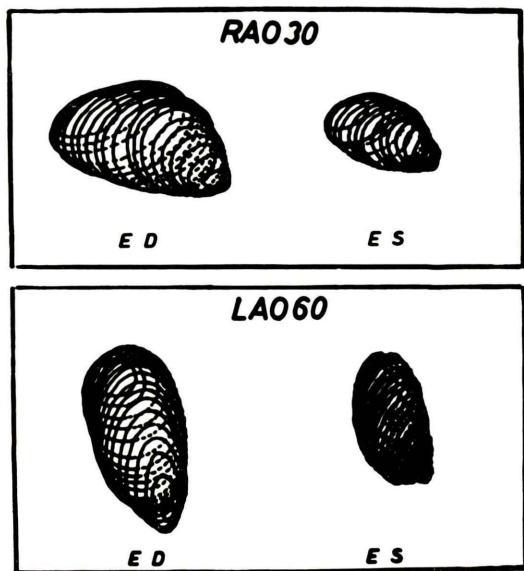


Fig. 6 Three dimensional images of the ventricle blood pool of the normal heart.

得られた3次元イメージは、前壁に心室の変形があり心筋運動に伴い心尖上部に Akinesis があり心尖部は心室瘤を呈する。心尖部の軸方向への動きは少なく、下壁側と前壁上部で強い収縮運動が認められる。これらの所見は X 線 Cineangiography による成績とよく一致していた。

Fig. 8 の症例は 6か月前に発作を生じた後壁から下壁の一部にかけて病巣を有する心筋梗塞の症例である。心室の肥大が強く、心駆出率は 37.2% に低下している。

本例の3次元イメージは、心室の拡大と同時に後壁上部の運動が極端に弱く Akinesis を示している。心筋運動は前壁で強く認められる。収縮時に心尖部に近い下壁で Dyskinesis が認められる。これらの異常部位は、²⁰¹Tl Scintigraphy の所見とよく一致している。

Fig. 9 の症例は Effort angina の症例であり、心電図所見や ²⁰¹Tl Scintigraphy の所見から高位前外側壁に冠動脈循環障害が疑われている。3次元イメージ上では心室の拡大は軽度であり、前壁上外側に軽度の変形はあるが、心筋収縮に伴う形態変化に著明なものはない。

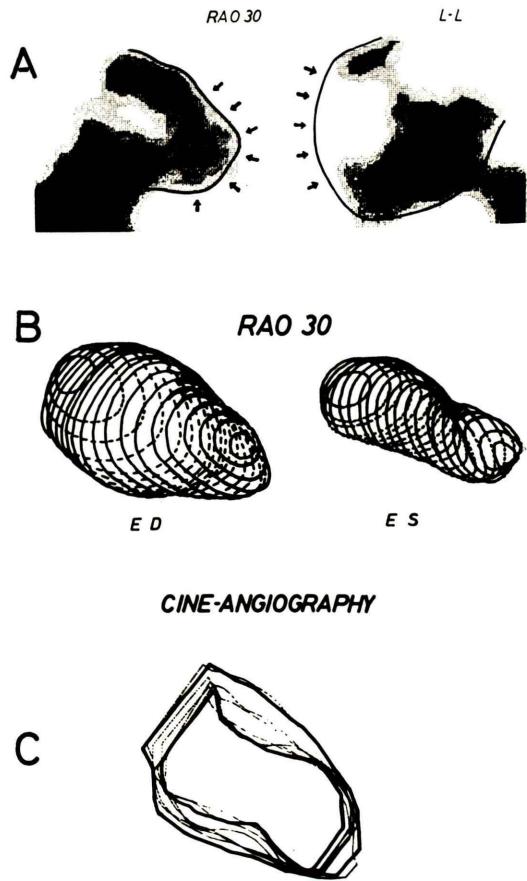


Fig. 7 Case of myocardial infarction.

A: Myocardial image taken by the ²⁰¹Tl. Myocardial foci are widely observed at the anterior wall.

B: Three dimensional images of the left ventricle. Dilatation at the left ventricle, deformity in the anterior wall, akinesis in the apex upper anterior wall are observed. The apex movement is weak. Myocardial contraction is strongly observed at the lower wall and upper anterior wall.

C: Data traced around the left ventricle from cineangiography taken in RAO 30°. Akinesis is observed at the upper apex anterior wall.

以上のごとく、臨床的に得られた心室の3次元イメージは、左室の大きさ、形態を示すのみでなく胸腔内における左心室の3次元的な位置関係を示し、同時に心筋収縮の状態をも観察でき、そこ

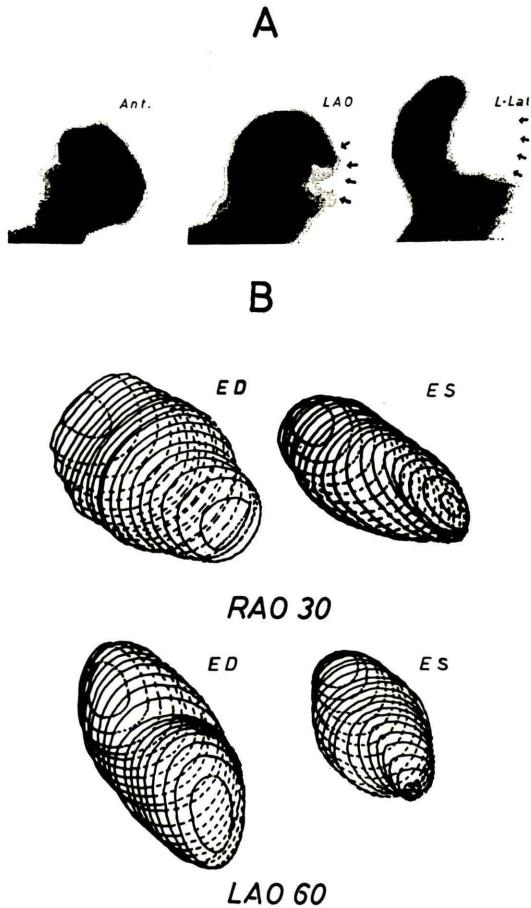


Fig. 8 Case of myocardial infarction.
A: Myocardial scintigraphy taken by ^{201}TI .
 Foci are observed from posterior wall to a part of the lower wall.
B: Three dimensional images of the left ventricle. There is a dilatation of the left ventricle and the movement of the posterior is very weak. Diskinesis is observed at the lower wall near the apex.

から得られる所見は他の検査成績ともよく一致し、本法の臨床応用に対する信頼性を強く示すものである。

V. 考 察

従来行なってきた Scintigraphy の技術は、体内の RI 分布を検出器に平行な面としてとらえる 2 次元的な表現にとどまっていた。しかし、体内の

臓器は全て 3 次元的な構造をもっている。これら臓器を実際の形により近く 3 次元的に観察したいと考えることはしごく当然な要求であるといえる。最近、X 線法による臓器の 3 次元表示法¹⁾や超音波による類似の試み²⁾が報告されてきたことはこれを物語るものであろう。

われわれはいわゆる「2 台カメラ同時記録解析法」を開発し^{9~12)}、これを種々の臓器の Dynamic study に応用してきたが^{13~15)}、これを更に発展させ心室の 3 次元的なイメージの記録法へと研究を進め、そのためのソフトの開発を行ない検討を加えた成績が本稿の内容である。

今回われわれが開発した「3 次元 Imaging Program」は心室が長軸を中心とする回転橢円球体であるという基本的な考えのもとに成り立っている。その結果は Phantom を用いた基礎実験で示したごとく辺縁が橢円弧からなる形状はかなり複雑なものでも正確に 3 次元イメージとして表現できた。しかし、仮に基本的な橢円球体の概念を完全にはずれた心室が存在した場合は、構成された 3 次元イメージが実際のものと異なる可能性は当然あり得る。しかし、心臓は運動流体力学の適用のもとに完全にポンプ機能を発揮している臓器であり、極端な心室腔の形態はあり得ないものと思われ、現在の Program でも十分満足のいく成績が得られている。心筋病巣が存在し、かなり変形した心室腔であっても、症例に示したごとくよくその形態を表現できている。特に得られた 3 次元イメージの病的所見が X 線 Cineangiography の成績や ^{201}TI Scintigraphy の所見とよく一致することは、イメージの信頼性と同時に臨床的にその応用価値が認められるものと言えよう。

技術的には 2 台のシンチカメラで同時に 2 方向からデータを採取するという独特な方法が用いられているが、これに更に 45 度ずつ異なる方向からデータを採取し、あるいは「2 方向コリメーター」を用いるなどしてデータ量を増やし、スライス周辺を 8 分橢円弧の合成としてイメージを構成すれば、現在の Program の基本的な構成を変えることなく更に複雑な形態をより正確に再構成できる

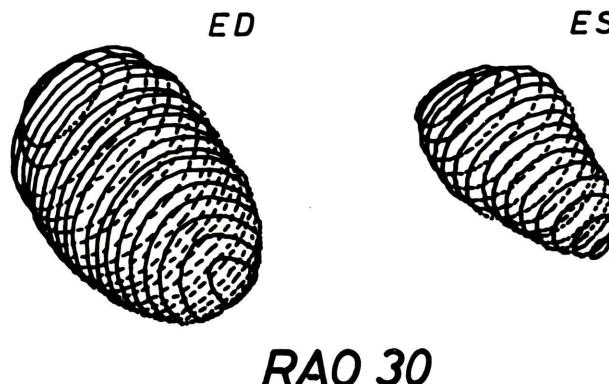


Fig. 9 Three dimensional images of the ventricle of the effort angina.
There is a mild hypertrophy of the left ventricle.
The myocardial constriction is apt to be irregular.

可能性がある。この点は現在追求中であり、心室辺縁の Computer による自動読み取り方法と共に今後の課題として検討中のところである。

本法による心室の3次元イメージは従来見なかった全く新しい核医学的なイメージの表示法である。従来の2次元イメージに比較して、心室をより実際のそれに近く立体的に表現している。さらに心室軸の変化や心筋運動の様相をもよく表現でき、心室の胸腔内における3次元的な位置関係をも表現するなど、得られる情報は非常に多面にわたり、臨床的に期待されるところが大きい。

今回開発した「3次元 Imaging Program」をこのまま他臓器の3次元イメージの記録に応用することはできない。しかし、これにさらにいくつかの他の Factor を加えることにより種々の臓器の Imaging も決して不可能とは言い切れない。今後の問題として興味のもたられるところである。

VI. 結 論

- 1) 2台のシンチカメラで90度異なる2方向から同時にデータを採取し、Computer 解析により左心室を3次元的に表現する Program を開発した。
- 2) 得られる3次元イメージは従来の2次元イメージと全く異なり、左心室を立体的に表現する新しいイメージの表示法である。
- 3) この3次元イメージは周辺が橢円球面から

成るものでは、かなり複雑な形態をもよく表現できる。

- 4) 心室の3次元イメージは、その大きさ、形態をよく示し、心筋病巣による形態の変化、運動異常、収縮の様相がよく表現される。
- 5) 心室軸の変位、胸腔内における心室の3次元的な位置関係が表現できる。
- 6) 心筋梗塞の病巣所見、Dyskinesis, Akinesis, 心室瘤が明瞭に示されて、これら病巣の診断的応用の可能性が高い。
- 7) 非観血的手技により、短時間のデータ採取で多面にわたる情報が得られ、臨床応用に期待されるところが大きい。

文 献

- 1) 松尾導昌、藤井 進、金田悠紀夫、他：CT 画像の3次元立体表示システムの開発。影像情報 **11**: 465-475, 1979
- 2) Rasmussen SN, Haase L, Kjeldsen H, Hancke S: Determination of renal volume by ultrasound scanning. J Clin Ultrasound **6**: 160-164, 1978
- 3) 浅原 朗、上田英雄、若林重興、他：2台カメラ同時記録解析法に関する研究(第4報)。心大血管 Image 及び機能診断への応用。核医学 **15**: 882, 1978
- 4) 浅原 朗、上田英雄、若林重興、他：2台カメラ同時記録解析法に関する研究(第5報)。移動型小型カメラ使用による心室の3次元表示。日医放学会誌 **39** (Ex): 40, 1979
- 5) 浅原 朗、上田英雄、若林重興、他：2台カメラ同

- 時記録解析法による左心室の3次元イメージ表示法に関する研究. 核医学, **16**: 217-219, 1979
- 6) 浅原 朗: 2台カメラ同時記録解析法に関する研究 (3). 心血液プールの3次元 Image 表示法. 交通医学, **33**: 276-287, 1979
 - 7) 浅原 朗, 上田英雄, 若林重興, 他: 左心室容積の算出に関する研究——2台カメラ同時記録解析法による3次元的解析. 核医学 **16**: 1208, 1979
 - 8) 浅原 朗, 上田英雄, 若林重興, 他: 左心室の3次元 Moving image. 核医学, **16**: 1280, 1979
 - 9) 浅原 朗, 上田英雄, 若林重興, 他: シンチカメラ2方向同時測定法に関する研究(第1報). 日医放学会誌, **37**(Ex): 56, 1977
 - 10) 浅原 朗, 上田英雄, 本間芳文, 他: シンチカメラ同時2方向記録解析法に関する研究(第2報). 核医学 **14**: 679, 1977
 - 11) 浅原 朗, 上田英雄, 本間芳文, 他: シンチカメラ同時2方向記録解析に関する研究. 影像情報 **9**: 39-44, 1977
 - 12) 浅原 朗: シンチカメラ2方向同時記録解析法に関する研究. 交通医学 **32**: 161-170, 1978
 - 13) 浅原 朗, 堀江重遠, 上田英雄, 他: シンチカメラ2方向同時記録解析法に関する研究(第3報), 肺機能検査への応用. 日医放学会誌, **38**(Ex): 44, 1978
 - 14) Asahara A, Ueda H, Wakabayashi S, Ueyanagi H: The clinical data process program for the dual-camera brain dynamic studies. Proc. 2nd International Congress of Nuclear Medicine, Washington D.C., 1978
 - 15) 浅原 朗: 2台カメラ同時記録解析法に関する研究 (2). 肺機能検査への応用. 交通医学 **33**: 204-211, 1979

Summary

Study on Three-Dimensional Analysis of the Left Ventricle (I): Three-Dimensional Image of the Left Ventricle

Akira ASAHARA*, Hideo UEDA** and Shigeoki WAKABAYASHI***

*Department of Radiology, Central Hospital of J.N.R.

**Central Hospital of J.N.R.

***Medical Systems Div., Shimadzu Corporation

The left ventricular blood pool data were recorded using two sets of scintillation cameras from two directions crossing each other in right angle simultaneously for computer analyses of the results, and thus the three dimensional software of left ventricle images were developed, which were studied for basic experiments and applied clinically. The three dimensional images thus obtained were found to be entirely different from the conventionally obtained two dimensional images. The image is a vertical pile of slices along the left ventricular axis.

This system was developed on the theory that the ventricle is a rotating oval-shaped body with the ventricular axis as its center. By its phantom experiments, it was confirmed that this system cannot express exactly the type of constructions consisting of extremely complicated plural surfaces, but can do the type which consists of elliptic arches along the peripheral even when its total shape is of complicated kind. The left ventricle is

a somewhat deformed oval-shaped body, and this system was found clinically applicable.

Its clinical applications revealed that the three dimensional image shown expressed the size of the ventricle, its state and position in the thoracic cavity in its three dimensional relation to the cavity, and it was possible to detect abnormal motions of myocardial muscles, variation in the axis and the way of contractions. It could detect myocardial infarction lesions, particularly in the cases of akinesis and dyskinesis as well as ventricular aneurysms.

Thus this method may possibly be evaluable diagnostically since its findings agreed well with findings by many other methods, showing its high reliability.

Key words: Three-dimensional image, Synchronous dual-camera recording and analysis method, Three-dimensional analysis, Rotating oval-shaped body, Left ventricle of the heart