

低線量 X 線撮像システムによる心の高速度 CT 像について

Electrocardiogram gated cardiac images of computerized axial tomography employing low-dosage X-ray imaging system

増田 善昭
村木 登
山崎 茂
渡辺 滋
稲垣 義明
内山 暁*
大野 博*
有水 昇*
渡辺 英二**

Yoshiaki MASUDA
Noboru MURAKI
Shigeru YAMAZAKI
Shigeru WATANABE
Yoshiaki INAGAKI
Gyo UCHIYAMA*
Hiroshi OHNO*
Noboru ARIMIZU*
Eiji WATANABE**

Summary

Cardiac and vascular images of computerized axial tomography (CT) with or without synchronization with electrocardiogram (Ecg) trigger were obtained in normal health and diseases by "JEOL dynamic scanner (Nihon Densi, Co., Japan)", which has been recently developed as a low dosage high speed X-ray microbeam generator.

The cardiac CT, not synchronized with Ecg, was scanned within 10-20 sec. Its images might be utilized for the determination of the contour and dimension of the cardiovascular system. The images of CT at the level of the 2nd to the 5th intercostal space of a case with aortic sclerosis was shown in Fig. 4. The calcification of the ascending aortic wall and aortic dilatation were clearly seen at the 2nd and 3rd intercostal spaces (ICS) (Fig. 4, right and left upper panels). The gated cardiac images of CT in end-diastolic and end-systolic phases were obtained by the Ecg trigger method, and the time required for one scanning X-ray image was 6-10 min. These cardiac images were useful for the analysis of cardiac movement. For instance, both the cardiac images of CT and the trace of the borderline in a case of myocardial infarction were shown in Fig. 7 and 8, in which paradoxical movement of the anterior

千葉大学医学部 第三内科
*同 放射線科
千葉市亥鼻 1-8-1 (〒280)
**日本電子(株)
昭島市中神町 1418 (〒196)

The Third Department of Internal Medicine, and the
*Department of Radiology, Chiba University School
of Medicine, Inohana 1-8-1, Chiba 280
**Japan Electron Optics Laboratory, Nakagamicho
1418, Akishima 196

Presented at the 14th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, April 3, 1977
Received for publication June 23, 1977

wall and hypokinesis of the left lateral wall were seen.

Key words

Computerized tomography Cardiac dimension Cardiac movement Paradoxical cardiac movement
Aortic wall calcification

はじめに

X線診断分野において、最近著しい発展を示しているものに computerized axial tomography (CT) がある。しかし、現在の CT は完全なものでなく、多くの改良すべき点を残している。そのうちで最も大きな問題は、撮影時間と X 線被曝量であり、これらの制約によってこれまで本法を動的なもの、たとえば、心運動の分析に応用することは困難とされていた。

最近開発された低線量 X 線撮影システム、JEOL dynamic scanner (日本電子製) は flying spot を使用し、従来の方法に比べ、はるかに低線量の X 線で、かつ、10~20 秒の短時間で CT 像をうることができるため、心電図と同期することにより、種々の時相での心断層が可能である。今回、我々は本装置を使用し、正常ならびに病的状態の心血管系についての、高速低線量 CT を施行したので、その結果を報告する。

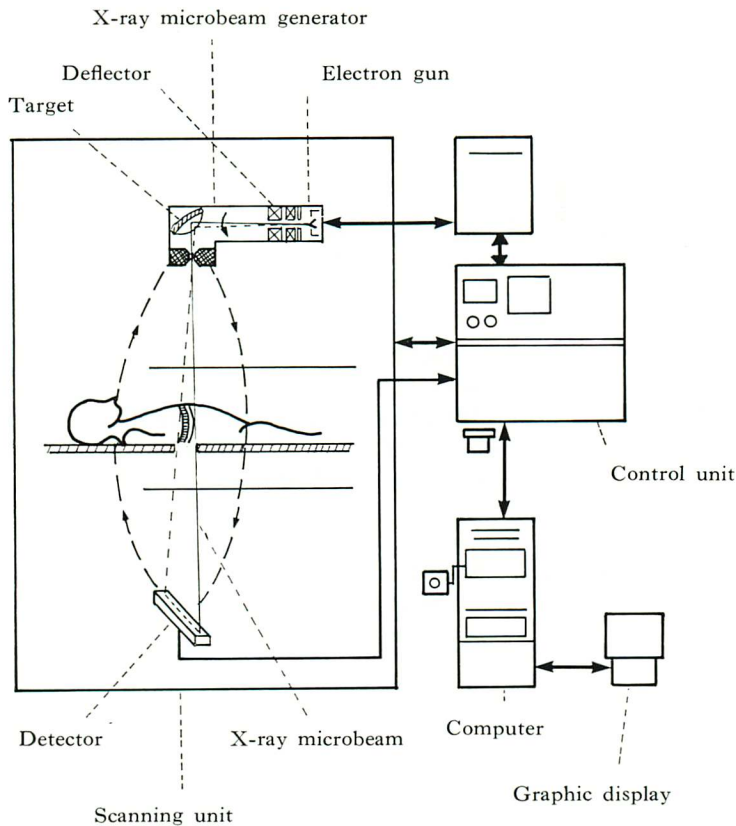


Fig. 1. Principle of scanning X-ray imaging.

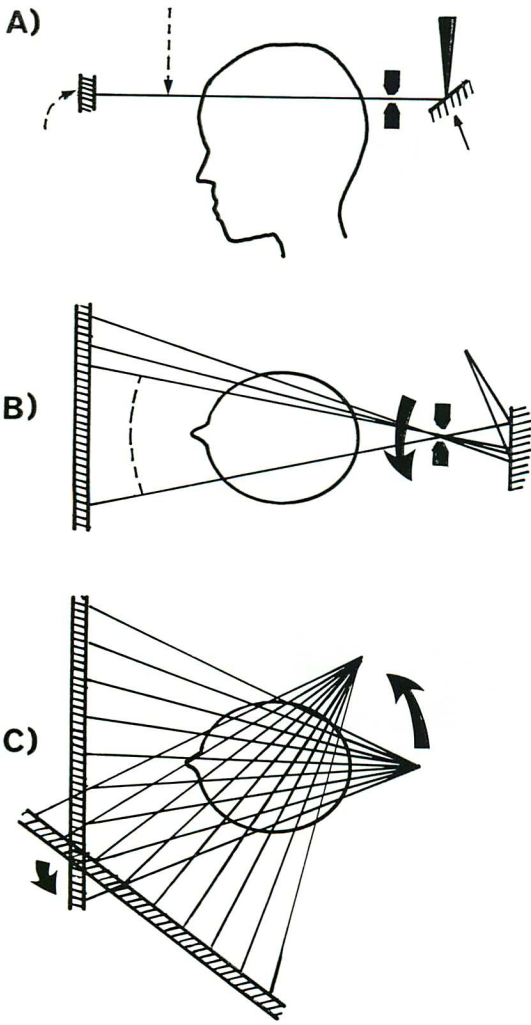


Fig. 2. Method of the computerized tomography.

A: generation of the X-ray microbeam, B: electric scanning by the X-ray microbeam, C: rotation of the X-ray generator and detector.

方 法

JEOL dynamic scanner は全身用の CT 装置であり、Fig. 1のごとく、電子銃より発射された電子ビームを電磁レンズにより $0.4 \times 0.4 \text{ mm}$ の細さにしぼってターゲットに当て、細い高輝度の

X 線ビームを取り出すものである (Fig. 2-A). このさい、電子ビームを電子走査コイルによって、ターゲット面を移動させることにより (flying spot), きわめて短時間に X 線ビームによる人体走査を行うことができる (Fig. 2-B). CT 撮影にさいしては、観察台を中心に対称的な位置に取りつけられた X 線発生機と, NaI X 線検出器を連続的に 230 度回転させながら, flying spot 法により高速 X 線走査を行い (Fig. 2-C), X 線検出器にて測定した種々の方向の X 線透過量をコンピュータ処理し, 人体の横断像をうるもので, スライスの厚さは, 対象にもよるが最大 8 mm である. また, スキャン幅は 頭部用 26 cm から全身用 43 cm まで, 3 段階に切り変えることができる. Picture element の大きさは, 26 cm スキャン幅で $1.6 \times 1.6 \text{ mm}$, 43 cm スキャン幅で $2.7 \times 2.7 \text{ cm}$, サンプルング回数は 256×230 , ディスプレイ・マトリックスは 160×160 である.

本装置は電氣的に高速スキャンを行うことができるので, 静止した対象物については, 1 断面 10~20 秒で撮影が可能であり, 従来の CT 装置

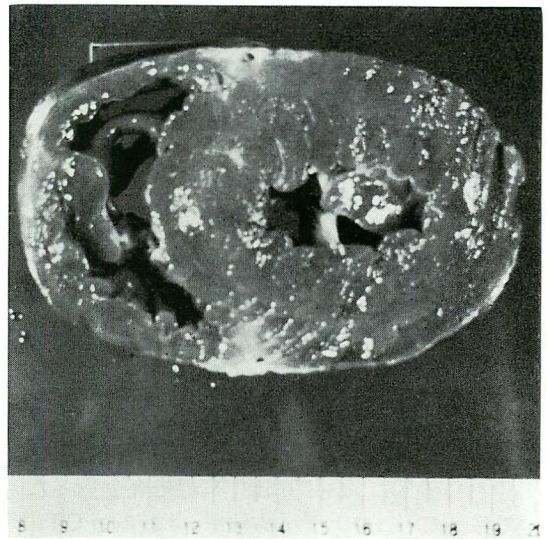


Fig. 4. Cross-section of the extracted pig heart at the same level of Fig. 3-A.

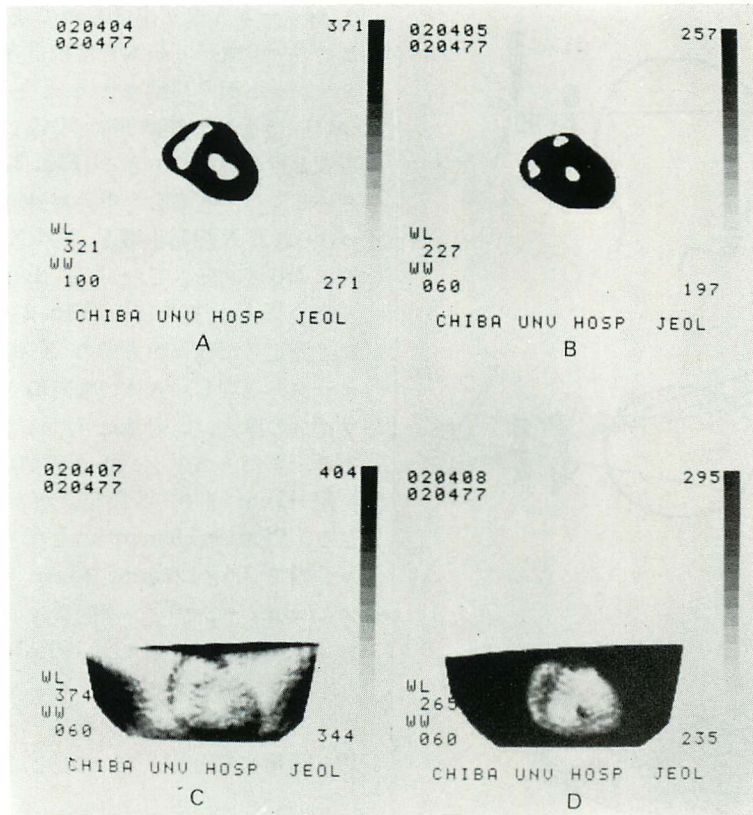


Fig. 3. CT images of a extracted pig heart.

A: cross-sectional image of the right and left ventricles in the air, B: cross-sectional image of the right atrium and ventricle and left ventricle in the air, C: cross-sectional image of the heart in saline at the same level of A, D: cross-sectional image of the heart in X-ray contrast liquid solution at the same level of A.

に比べ、照射 X 線ビームの細いこと、短時間で撮影が済むことより、1 回のスキヤニングに皮膚面の受ける被曝量は、ほぼ 30 m rad にすぎず、これは EMI scan の 1/100 程度の被曝量である。

心臓の CT に当たっては、心電図および呼吸と同期を行った。すなわち、1 心拍ごとに 1 度ずつ X 線発生機を移動し、230 度の観測角について、心電図 R 波より定められた任意の時間的位置で、50 m sec の間、電気的高速 X 線走査を行った。したがって、このような方法で、1 断面の CT に要する心拍は 230 心拍であり、かつ、深吸気にて呼吸を停止した時にのみ、スキヤンを行ったので、

実際に CT を撮影する時間は、一断面当たり 6~10 分を要した。なお、CT 像の心時相として、今回は拡張末期および収縮末期を選び、両時相における心運動の比較を行った。

CT 像の表示は水を 0 とし、空気を -500、骨を +500 とするスケールを採用しているが、任意に設定できる window level と、9 段階に切り変えることのできる window 幅によって、必要な X 線吸収度域を選ぶことが可能である。像表現方法は、白黒またはカラー 16 段階であり、ディスプレイ装置として、12 秒静止像 CTR、または 20 秒カラー CTR を使っている。データ保存は、個

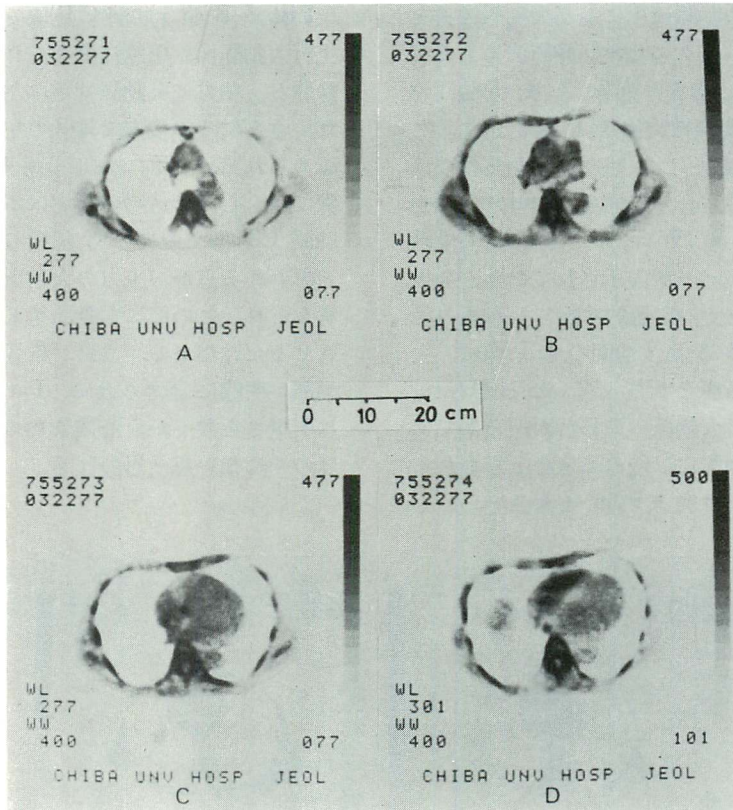


Fig. 5. Cardiac images of CT in a case of aortic sclerosis with artificial right ventricular pacing (F. T., 65-year-old male).

A: 2nd ics, B: 3rd ics, C: 4th ics, D: 5th ics. Aortic dilatation and aortic wall calcification are seen in the panel A and B. Pacing electrode seems to be within the right posterior border.

人別にフロッピーディスクに記録し、必要画像は数分以内に取り出すことができる。

結 果

1. 摘出心について

ブタ摘出心について、左室中央部の断面が切れる位置での CT 像をみると **Fig. 3** のごとくであり、これは摘出心をそれぞれ空気中 (**Fig. 3-A, B**)、生理的食塩水中 (**Fig. 3-C**)、造影剤希釈液中 (アンギオコンレイ 0.01% 液; **Fig. 3-D**) におき、ほぼ同一断面を記録したものである。C, D における心内腔の表示はまだ不明瞭であるが、今後の技術的改良により、心筋壁と血液の区別が

可能であることを思わせる所見である。 **Fig. 4** は CT 撮影後、摘出心のほぼ同一断面を輪切りにして示したもので、CT 像とよく一致している。

2. 心電図同期によらない心血管像 CT について

心電図と同期しない心血管 CT 像は 10~20 秒で撮影可能であり、心臓の大きさ、形、大血管の走向、太さ、石灰化が容易に判定できた。また、肺内の血管像は window level を負方向に設定することにより、かなり末梢までの血管の判読が可能であった。しかし、心内の構造、たとえば、心筋、弁、血液などの区別は不十分であり、CT 像全体が心運動による影響のため辺縁部がぼける印象を与えた。

Fig. 5 は65歳の動脈硬化による大動脈拡張を示し、完全房室ブロックのため経静脈法による右室 pacing を行った患者の第2, 3, 4, 5肋間のそれぞれの心電図非同期胸部 CT 像を示す。これら CT 像は仰臥位として足のほうから頭のほうを見た像として示され、左隅に window level (WL) と window 幅 (WW) が、右側に16段階の濃淡差で CT ナンバーが表示されており、今後、各部位の X 線吸収度の定量的診断にも利用可能と思われる。**Fig. 5-A** 第2肋間の CT 像は、大動脈弓やや下部の断面を撮影していると思われる、上行大動脈から下行大動脈への移行が明らかである。また、上行大動脈には壁の石灰化と思われる像があり、大動脈径は約 4.5 cm と大きい。

Fig. 5-B 第3肋間 CT 像でも壁石灰化を示す上行大動脈像が明瞭に認められ、その右後に上大静脈が、左方に肺動脈幹が、左後方に気管がみられ、さらにその後方で椎骨の左側に下行大動脈が認められる。左下、右下の第4, 第5肋間の CT 像では、心内構造物の同定は不可能であり、第4肋間 CT 像で中央の X 線吸収度の強い石灰化像と思われる点が、上方の大動脈石灰化像の続きと考えられ、この部到大動脈基部があることを推定させるだけである。また、椎骨の左側には下行大動脈が明瞭に認められる。Pacing 用カテーテルは明瞭さを欠くが、心陰影内の右下の X 線吸収度のやや強い点と思われる。

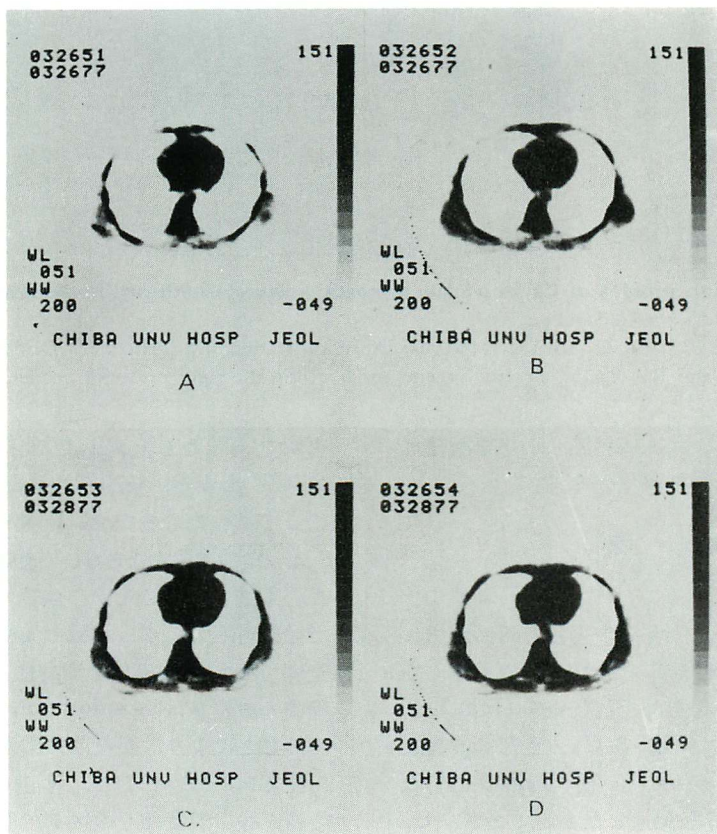


Fig. 6. Cardiac images in a young normal (S. M., 27-year-old male).

A: 4th ics, end-diastole, B: 4th ics, end-systole, C: 5th ics, end-diastole, D: 5th ics, end-systole.

ついで、第4、第5肋間における拡張末期および収縮末期のCT像を示す。心の輪郭は明瞭であるが、心内構造物の区別は不可能である。心辺縁運動は、拡張末期と収縮末期のCT像をトレースすることにより、容易に分析される。

Fig. 7は同一例のトレース像を示したものであるが、実線が拡張末期、点線が収縮末期の心横断像を示している。心運動は良好であり、第4肋間では、左右方向の運動、第5肋間では前後方向の運動、とくに左後方から前方への収縮が著明であり、胸骨後方の心前縁の動きは不良であった。この所見は、他の2例の正常例についても同様であり、心基部に近い部分と心尖部に近い部分で、心臓の運動様式が異なっていることを思わせる所見である。

4例の心筋梗塞中、陳旧性前壁心筋梗塞の1例

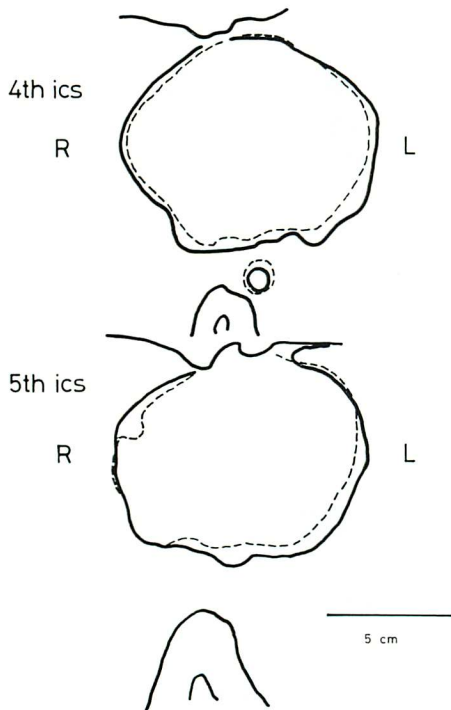


Fig. 7. Tracings of the cardiac border in Fig. 6.

Solid line shows end-diastole and dotted line shows end-systole.

3. 心電図同期によるCT像

病的心の対象として心筋梗塞4例を選び、正常者3例と比較を行った。Fig. 6は正常者1例にをのぞいた3例は心運動が正常例に比し不良であり、心電図上心筋梗塞部位と思われる部分の運動減少がとくに目立った。Fig. 8は広範な前壁梗塞の1例の第4、第5肋間の拡張末期および収縮末期のCT像であり、Fig. 9の輪郭像にみるごとく、第4肋間ではほとんど運動がなく、第5肋間でも後壁の動きに比べ、前壁および側壁の一部はほとんど動きがみられず、この部の心臓瘤を思わせる所見であった。

考 案

本装置により、従来行うことのできなかった心

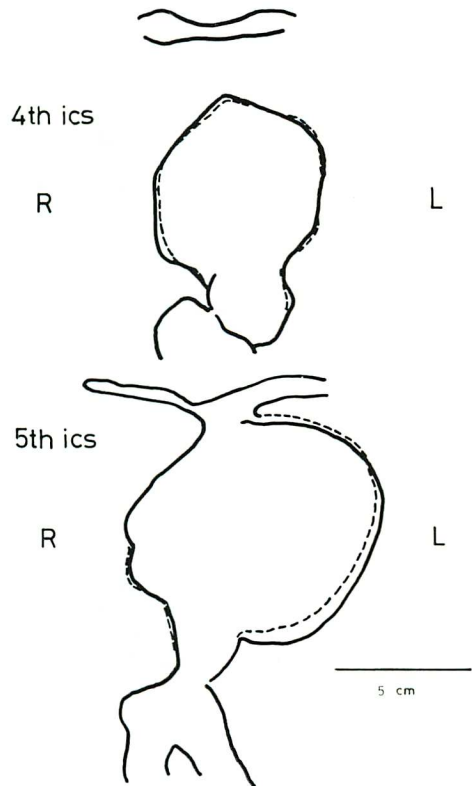


Fig. 9. Tracings of the cardiac border in Fig. 8.

Solid line shows end-diastole and dotted line shows end-systole.

血管系の時相別横断像を容易に得ることができるようになり、臨床診断面での応用範囲が広がられた。心電図非同期心 CT 像は 1 断面約 10~20 秒で得られ、心臓の大きさ、形、大血管の走向、太さ、石灰化の判定に有用であり、従来的一般胸部 X 線では、診断が困難である動脈壁の小石灰化像の診断も可能であると思われる。また、window レベルと、window 幅を変えることにより、同一 CT 像から様々な情報を引き出すことができ、肺うっ血などの診断、各部位の X 線吸収度の定量的診断にも利用できる。

心電図と同期すれば、各心時相における CT 像を記録でき、その応用範囲は、さらに拡大する。残念ながら、現段階では心筋と血液を区別するこ

とができないので、今回は心辺縁運動の分析に主として用いたが、正常例では横断部位により心辺縁運動に差があり、一般に、心基部近くで、左右運動、心尖部近くで前後運動、とくに後方から前方への動きが著明であった。例数が少ないため、今後の検討を待たなければならないが、今後、心室造影法、超音波断層法などと比較することにより、心運動分析の新しい手技として確立するものと期待できる。

心筋梗塞例では、心辺縁運動が正常例に比較して減少しており、かつ、心電図より推定される梗塞部位と一致して、部分的に運動減少または消失がみられ、心臓瘤、心運動障害の診断に有益であると思われた。

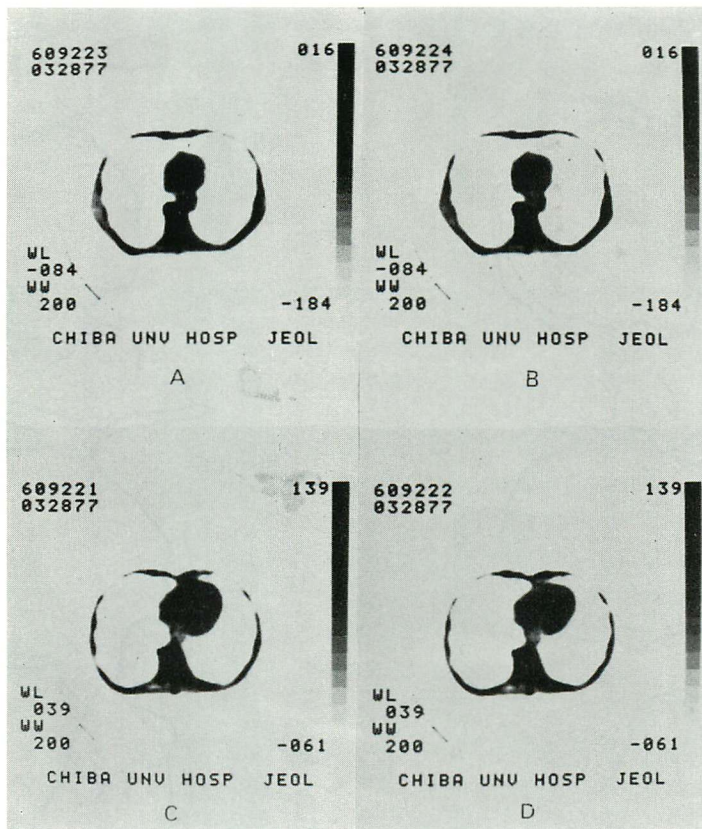


Fig. 8. Cardiac images in a case of anterior infarction (72-year-old male).

A: 4th ics, end-diastole, B: 4th ics, end-systole, C: 5th ics, end-diastole, D: 5th ics, end-systole.

なお、心内構造物の同定の問題に関しては、摘出心では心筋壁と心内腔の分離が可能であるので、今後の技術的改良により、心内構造物の区別が可能となることが期待される。また、造影剤使用により心筋壁と心内腔の分離は可能と思われるので、今後臨床例について、造影剤の使用を検討して行きたい。

ま と め

最近開発された JEDL dynamic scanner (日本電子製) を使用し、心、血管系の computerized axial tomography を行った。本装置は flying spot を利用し、X 線ビーム走査を行うことが特徴であり、短時間、低線量で CT 像を得ることができる。

心電図非同期 CT 像は、10~20 秒で撮影でき、心や大血管の形、大きさ、走行の判定に役立つ。

また、通常の X 線写真では判別できなかった大動脈壁石灰化の診断も可能であった。心電図同期 CT は、深吸気位の拡張末期および収縮末期で行ったが、1 断面を撮影するに要する時間は 6~10 分であった。

正常者 3 名、心筋梗塞 4 名の CT 像を比較すると、心辺縁の動きは正常者で大きく、心筋梗塞で小さかった。また梗塞部位にはほぼ一致して、とくに動きの悪い部分がみられた。CT 像による心筋と血液の分離は、臨床的には不可能であったが、摘出心では可能であった。

文 献

- 1) Tateno Y, Tanaka N: Low-dosage X-ray imaging system employing flying spot X-ray microbeam (dynamic scanner). *Radiology* **121**: 189-195, 1976
- 2) 吉村克俊: コンピュータ断層装置とその周辺. *日本臨牀* **34**: 698-707, 1976