

多断層心電図同期心臓 CT
法 (ECG-gated CT): 左室
容積および壁動態について

Multiserial ECG-gated
computed tomographic
method: Evaluation of
left ventricular volumes,
wall thickness and wall
motion

大西 祥平
村山 晃
永田 雅良
谷 正人
小川 聡
山崎 元
中沢 博江
半田俊之介
中村 芳郎

Shohei OHNISHI
Akira MURAYAMA
Masayoshi NAGATA
Masato TANI
Satoshi OGAWA
Hajime YAMAZAKI
Hiroe NAKAZAWA
Shunnosuke HANDA
Yoshiro NAKAMURA

Summary

The purpose of this study was to investigate the potential usefulness of multiserial ECG-gated computed tomography (CT) (GE CT/T 8800) for a quantitative assessment of left ventricular volume, wall thickness and wall motion in 15 patients with coronary heart disease. In order to obtain ideal left ventricular short-axis images, the gantry was leaned to the cephalad 15 degree with patients on the right lateral position. Five ECG-gated scans (5.6 sec for one scan) were performed in each patient with intravenous injection of contrast material (Urografin 76). Left ventricular volumes were computed by a modified Simpson's rule and segmental wall motion was analyzed at three levels (base, papillary muscle and apex) by tracing the endocardial outline at end-diastole and end-systole.

Left ventricular systolic and diastolic volumes (LVSV, LVDV) had a good correlation with those measured by left ventriculography (LVG) ($r=0.75$ and 0.66). Wall thickness of the interventricular septum and left ventricular posterior wall obtained by CT was correlated with those by M-mode echocardiography ($r=0.82$ and 0.71).

Comparative analysis of segmental wall motion by CT, two-dimensional (2D) echocardiography and left ventriculography was done. The 2D echocardiographic segments with normal and abnormal wall motion were accurately identified by CT, best at the papillary muscle level (91%), and less at

慶応義塾大学医学部 内科呼吸循環科
東京都新宿区信濃町 35 (〒160)

Cardiopulmonary Division, Department of Medicine,
Keio University, Shinanomachi 35, Shinjuku-ku,
Tokyo 160

Presented at the 25th Meeting of the Cardiography Society held in Tokushima, November 9-11, 1982
Received for publication December 14, 1982

the base (71%) and the apex (73%). Similarly, 85% of left ventriculographic segments could be detected by CT.

In conclusion, ECG-gated computed tomography proved to be a useful method for evaluating left ventricular function in coronary heart disease.

Key words

ECG-gated computed tomography Left ventricular volume Wall thickness Wall motion
Coronary heart disease

はじめに

心臓は他臓器と異なり拍動している。それに伴う心室壁の動きは早く、従来の CT 法を心疾患の心機能の評価に応用することは困難であった。しかし心電図と同期させた CT 法 (以下 ECG-gated CT と略す) が開発され、ほぼ任意の心周期の静止画像を得ることが可能となり、定量的な心機能検査が行えるようになった。

本論文の目的は ECG-gated CT による冠動脈疾患患者の左室容積、壁厚、壁運動を心エコー図と左室造影 (以下 LVG と略す) の結果とで対比し、心疾患の診断への有用性を検討することである。

対 象

慶応義塾大学医学部内科呼吸循環科に狭心症か心筋梗塞症のため入院し、M モード心エコー図、断層心エコー図および心臓カテーテル検査を施行した冠動脈疾患患者 15 例を対象とした。年齢は 33~74 歳, 平均 49.8 ± 11.6 歳, 全例男性例である。

方 法

左室壁厚、壁運動を正確に評価するためには左室長軸に対して直交する短軸像を得る必要がある。一般的体位である仰臥位で CT スキャンを行うと Fig. 1 のように左室は円形とならず、左房と重なり左室の長軸に直交する短軸像は得られない。Horizontal 面, frontal 面, sagittal 面の各面に対する左室長軸の位置関係は被験者の個体差により必ずしも一定しないが、スライス面を心

臓短軸に近づけるためには被験者の体位およびガントリー角度を変える必要がある (Fig. 2)。現在我々が使用している CT 装置の GE 製 CT/T 8800 は心臓に対して特に開発されたものでないため、ガントリー内の有効面積は狭い。ガントリーの可動範囲も制限されており、その中で被験者に理想の体位をとらせることは容易ではない。さらに被験者自身も同一体位を長時間保持することは難しいため、被験者体位を右側臥位として CT スキャンを行った。そのさい、ガントリーを頭側に 15° 傾けることにより frontal 面の心臓の長軸にほぼ直交する心臓短軸断面像が得られることが多く (Fig. 3)、この方法を用いて CT スキャンを行った。1 例の左室短軸像を Fig. 4 に示す。左房と左室後壁は分離されほぼ円形に近い左室短軸像が得られた。

左室容積計算ならびに壁運動解析のため、スライス幅 1 cm とし心基部から心尖部まで 5~7 スライスの CT スキャンを行った。造影剤はウログラフィン 76 を使い、左肘静脈より自動注入器を用い毎分 40 ml の速度で注入した。ECG-gated CT スキャン時には次に示すプログラムに従って撮影を行った。造影剤注入 12~15 秒後よりスキャンを開始した。1 スキャンに要する時間は 5.9 秒、スキャン間の停止時間 1.5 秒で合計 5 スキャン 34 秒かけて行った。Gate は心電図上の R をトリガーとし R-R 間隔を 8 分割し、前後 100 msec の情報より一画面を構成することにより 1 心周期あたり 8 画像を得た。この画像の中で最も拡張した画像を左室拡張期像、最も収縮した画像を左室収縮期像とした。CT による左室容積測定

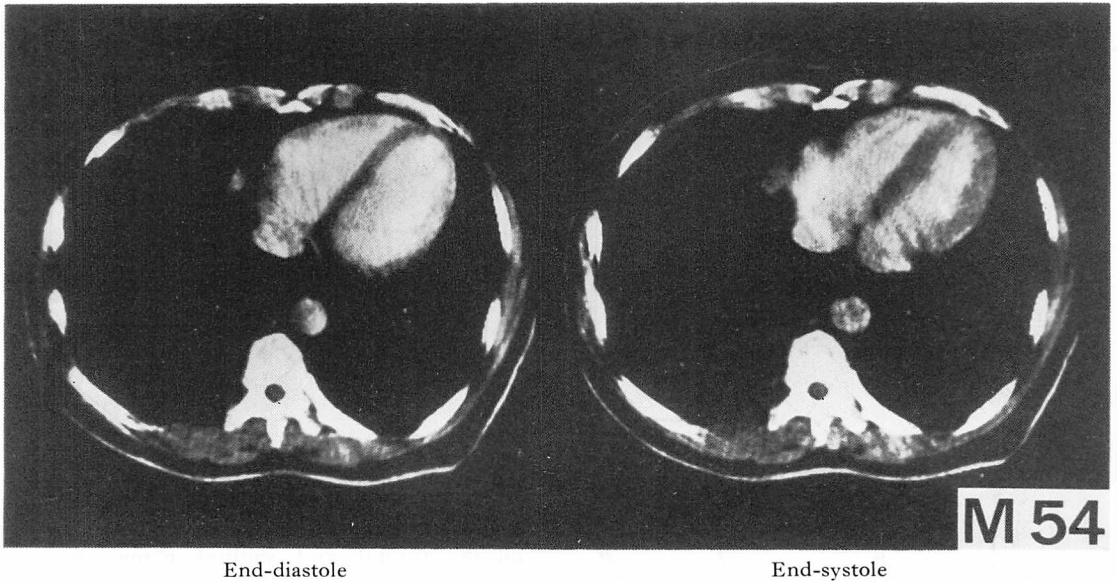


Fig. 1. Conventional ECG-gated CT images at the level of papillary muscles recorded from a patient on the supine position.

Note that the left ventricular cross sectional image is not aligned to the short axis and is represented as an oval shape, and the left ventricular posterior wall can not be visualized.

方法は Simpson 法に基づき、心基部から心尖部までの 5~7 スライスの内腔容積を合計して求めた。LVG による左室容積測定方法は Dodge の single plane area-length 法を用いた。このようにして CT および LVG より求めた左室容積の対比検討を行った。

左室壁厚は ECG-gated CT スキャンより得られた左室拡張期像で、心室内腔または心筋側から CT 値が最大に変化する部位を境界とし、中隔厚、後壁厚を測定した。対照として M モード心エコー図より測定可能な部位での中隔厚、後壁厚を求め、CT より求めた値との対比検討を行った。

壁運動の解析方法として ECG-gated CT 画像をブラウン管上に拡張期から収縮期まで連続的にディスプレイし定性的評価を行い、次に胸骨ならびに椎骨をリファレンスポイントとして固定し拡張期・収縮期画像の左室心内膜をトレースし重ねあわせ、心臓専門医 3 人の合意により壁運動正常

および異常 (hypokinesis, akinesis および dyskinesis) の判定を行った。ECG-gated CT より得られた心基部から心尖部まで 5~7 スライス of 左室短軸断面像から心基部、乳頭筋部ならびに心尖部レベルと思われる 3 スライスを選びだした。我々は冠動脈支配領域を考慮し、断層心エコー図の左室短軸面を前壁・側壁・後壁・前中隔・後中隔に分けている^{2,3)}。CT 画像の短軸面をこれにならって分割し、断層心エコー図での壁運動と対比検討した (Fig. 5)。断層心エコー図では左室長軸面・短軸面・心尖部第一斜位像ならびに四腔断面像から心基部、乳頭筋部、心尖部の各区域に相当する部位の壁運動を検討した。LVG の壁運動は AHA 分類の右前斜位ならびに左前斜位像 7 区域において正常と異常とに分けた。CT で得られた左室短軸面を LVG での各区域と対応すると考えられる部位に分け、LVG の壁運動と対比検討した。

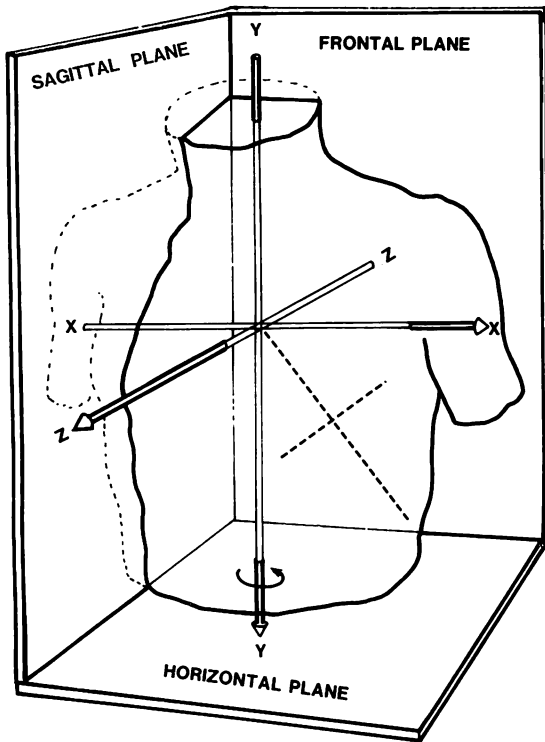


Fig. 2. A diagram showing the cardiac position in reference to three spatial axes when a patient is on the supine position.

結 果

CT より求めた左室拡張期容積は平均 $112.3 \pm 28.6 \text{ ml/m}^2$, 左室収縮期容積は $60.9 \pm 27.9 \text{ ml/m}^2$ であった. CT と LVG との間の左室容積の対比では左室拡張期容積で $r=0.75$, 左室収縮期容積で $r=0.66$ の相関が得られた (Fig. 6). CT と M モード心エコー図で計測した中隔および後壁厚の対比では, 心室中隔で $r=0.82$, 後壁で $r=0.71$ であった (Fig. 7). CT と断層心エコー図との壁運動の評価の一致率は心基部 71.1%, 乳頭筋部 91%, 心尖部 73.3% であった. LVG との一致率は 85.5% であった (Fig. 8). 冠動脈造影所見と対比すると有意な冠動脈病変を有する症例の 75% でその推定灌流領域に一致して, CT により壁の

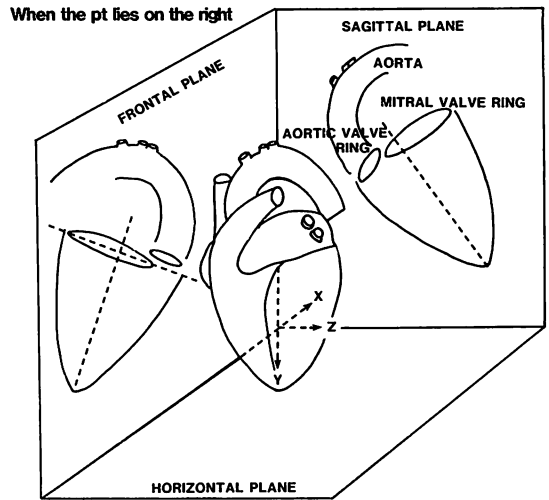


Fig. 3. A diagram showing projected figures on the frontal and sagittal planes when a patient lies on the right.

Having rotated in a 90 degree arc, the frontal plane holds on a previous sagittal plane position. This diagram shows that a nearly ideal short-axis image can be obtained if the gantry is leaned to the cephalad 15 degree with this position. However, oblique angle on the sagittal plane cannot be still resolved.

異常運動を認めた.

方法の項で述べたように被験者の体位を右側臥位とすることで可及的に左室短軸像を得ることができた. しかしながら Fig. 3 に示したように, sagittal 面に関しては長軸の傾きは未解決のままであり, 今後改善すべき課題である.

考 按

CT 法では心室容積を求めるにあたり, いわゆる Simpson's rule を用いることができる. この方法は心室の変形が強い, つまり回転楕円体として計算できない心室内容積を求めるのに適していると言われている. Lipton ら⁴⁾ はイヌの心臓を用いて, CT で求めた左室容積と Archimedes' principle により求めた真の左室容積と対比した結果, $r=0.99$ と極めて良い相関が得られたと報告している. このことより CT 法は心室内容積

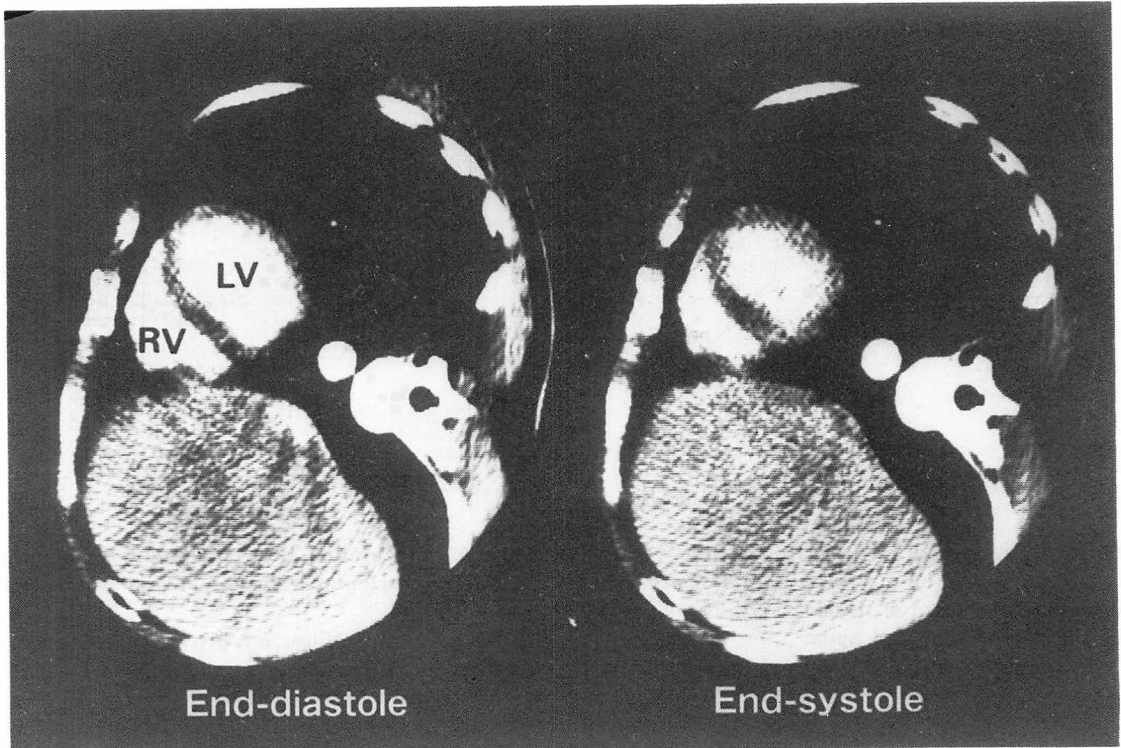


Fig. 4. Representative short-axis CT images of a patient with angina pectoris at end-diastole and end-systole.

Nearly ideal short-axis images of the LV are obtained with high resolution. Both the interventricular septum and posterior wall are clearly visualized.

を測定するのに優れた方法であると考えられる。一方、LVG では Dodge の area length 法により左室容積を求めているが、本法は左室を回転楕円体として想定し容積を求める方法であり、変形のある左室では測定誤差が大きくなる。このことについて渡辺ら⁵⁾は、CT と LVG で求めた左室拡張期容積は両者の間に良い相関を得ているが、心室瘤合併例では $r=0.63$ と低下し、左室造影法による容積測定は心室瘤のある場合、測定誤差が大きくなると指摘した。我々も左室拡張期容積を CT と LVG とで対比したところ、両者の間に良好な相関関係を得たが、左室収縮期容積では $r=0.66$ と低下していた。その理由として、構成している 1 スライス画面の時間は 100 msec であるた

め得られた画像が必ずしも心周期における収縮末期でないこと、心内膜の動きが速いため壁と内腔の境界が不明瞭となり、容積測定において誤差がでやすいこと、さらに収縮期において心基部に近いところでは左房との重なりが大きくなり、境界を設定する上での誤差が大きくなることが考えられる。

心室壁厚、とくに心室中隔厚を CT と autopsy で測定した値とで対比検討し、良好な相関を得たとの報告がみられる⁶⁾。左室自由壁は non-gated CT では心室中隔に比し描出し難く、壁厚の検討は困難であるが ECG-gated CT では明瞭な左室自由壁の像が得られ、その結果両者の間に良い相関 ($r=0.71$) が得られた。心室中隔の計測値に

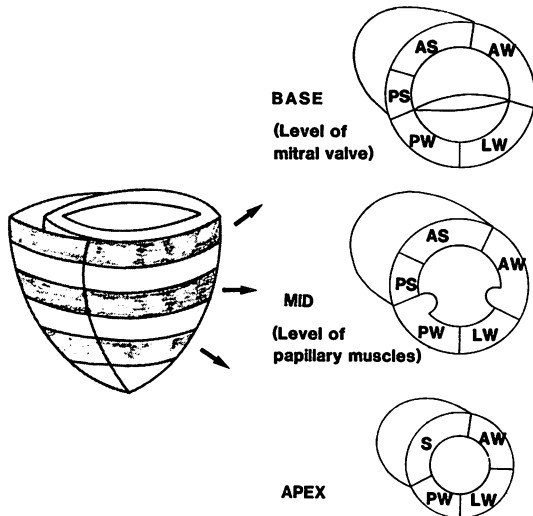


Fig. 5. A schematic diagram of left ventricular segments on cross sectional short axis images at the level of mitral valve (base), papillary muscle (mid) and apex.

AS=anterior septum; AW=anterior wall; LW=lateral wall; PW=posterior wall; PS=posterior septum.

比バラツキが多かったのは個々の症例により完全な短軸面が得られない例があり, そのために左房との重なりが影響しているものと推測される。

非侵襲的検査法を用いて虚血性心疾患の壁運動を評価し, 壁運動に異常を認めた場合, その部位を灌流していると考えられる冠動脈に病変があると推測される。断層心エコー図法は非侵襲的検査法で繰り返し施行することができ, 心疾患に対して重要な検査法であることは言うまでもない。しかし断層心エコー図法では必ずしも全例解析可能な良好な画像が得られるとは限らない。骨格の発達した被験者, 肺気腫など慢性肺疾患を有する被験者などでは明瞭な超音波画像を得ることが困難である。また肺の影響により心尖部の描出が困難であることも多い。しかし CT の場合には被験者個々の条件に比較的左右されず, また肺の影響も受けず, 心基部から心尖部まですべての CT 画像を得ることができる点が画期的である。

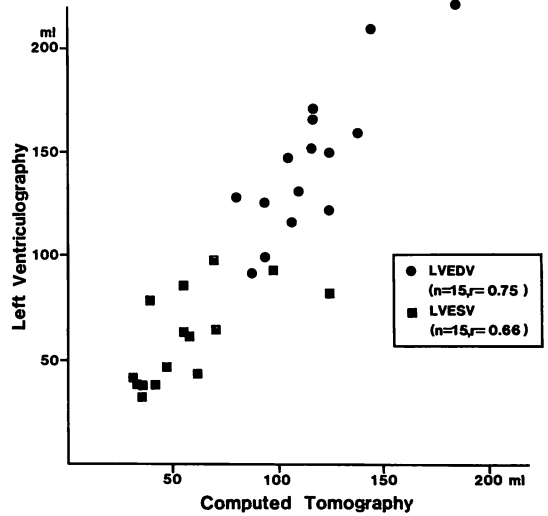


Fig. 6. Correlation between angiographic and CT left ventricular volumes at end-systole and end-diastole.

The regression lines are given by angiographic volume=1.53 (end-diastolic volume by CT)-13.37 ($r=0.75$) and 1.14 (end-systolic volume by CT)+7.92 ($r=0.66$). Note that CT volumes underestimate angiographic volumes.

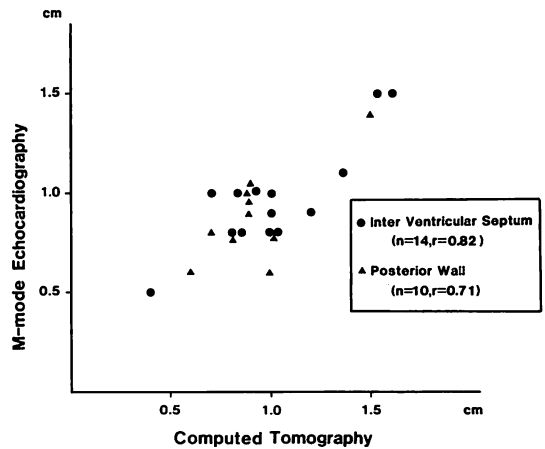


Fig. 7. Correlation between echocardiographic and computed tomographic LV wall thickness.

Echocardiographic wall thickness=0.66 (wall thickness by CT)+0.33 ($r=0.82$) (interventricular septum), and 0.70 (wall thickness by CT)+0.26 ($r=0.71$) (posterior wall).

Correlation between Wall Motion Analysis by Ultrasonic and Computed Tomographic Methods

		Base		Mid		Apex	
		Normal	Abnormal	Normal	Abnormal	Normal	Abnormal
Ultrasonic	Normal	32	8	34	4	29	3
	Abnormal	2	3	1	16	4	8

Correlation between Wall Motion Analysis by Angiographic and Computed Tomographic Methods

		Normal	Abnormal
Angiographic	Normal	21	1
	Abnormal	3	4

Fig. 8. Analysis of segmental wall motion by CT with reference to echocardiographic and angiographic wall motion.

Note that echocardiographic wall motion is accurately identified best at the papillary muscle level (mid) (91%).

左室壁運動に関して断層心エコー図法で評価し得なかった部位を CT で補うことができるかどうかを検討するため、今回 ECG-gated CT スキャンを行い、断層心エコー図法と対比しさらに LVG とも比較した。その結果、乳頭筋部位での壁運動の評価の一致率は良好であったが、心基部・心尖部での一致率は低値を示した。心基部での一致率が低い理由として、先に述べたごとく、CT 法では左房の重なりがあり、左室を十分に分離し得ないため、評価の誤りがおきた可能性がある。心尖部の壁運動の評価の一致率が低い理由として、この部位での断層心エコー図による評価が難しいこと、また長軸方向にも左室は収縮し心尖部が持ちあがること、そして心尖部が振り子状の動きによりずれることなどが CT による評価を難しくさせ、互いの評価の一致率が低かったものと考えられる。

今回我々は、壁運動の解析にあたり、通常行われているように心内膜の動きをトレースし評価を行った。しかし Fig. 4 に示すように ECG-gated

CT で心筋の心外膜側と心内膜側の動きを詳細に検討すると、心外膜側は心内膜側の動きに比し低収縮であった。この理由としては心収縮による左室長軸のずれと、心収縮により左室短軸面が斜めに切れること、そして画像表示における window level の調節などが関与しているのではないかと推測される。

临床上 CT 法をさらに心血管系に応用するためには、技術的改良によりスキャン時間を短縮すること、造影剤の使用量を少なくすること、解像力を向上させること、さらにガントリーの可動範囲を拡張、またガントリー内の有効面積を大きくすることによりさらに正確な短軸像を得ることが望まれる。

要 約

本論文の目的は多断層心電図同期心臓 CT 法 (ECG-gated CT) による、15 人の冠動脈疾患患者の左室容積、壁厚、壁運動の定量的解析の有用性を検討することである。理想的な左室短軸像を

得るために, 患者を右側臥位としガントリーを頭側へ15度傾けてスキャンを行った. ウログラフインを静注し, 1つの画像を得るのに5~6スキャンを行った. シンプソン法を用い左室容積を求め, 心基部・乳頭筋部・心尖部の3つのレベルで得られた左室短軸像の心内膜を収縮期と拡張期にトレースして壁運動を解析した.

CTによる左室収縮期および拡張期容積は通常の左室造影により得られた値と良い相関を示した ($r=0.75$, $r=0.66$). またCTによる心室中隔と左室後壁の拡張期壁厚はMモードエコーによる計測値と良い相関を示した ($r=0.82$, $r=0.71$). CTによる左室壁運動を正常と異常とに分け, 断層心エコーによる評価との一致率をみた. 一致率は乳頭筋部で最も良く(91%), 心基部では71%, 心尖部では73%であった. 左室造影による壁運動の評価との一致率は85%であった.

以上より心電図同期心臓CT法は冠動脈疾患の左室機能の評価する方法として有用であると考えられた.

文 献

- 1) Harell GS, Guthaner DF, Breiman RS, Morehouse CC, Seppi EJ, Marchall WH, Weler L: Stop action cardiac computed tomography. *Radiology* **123**: 515-517, 1977
- 2) Roberts WC, Gardin JM: Location of myocardial infarcts. A confusion of terms and definitions. *Am J Cardiol* **42**: 868-872, 1978
- 3) Fujii I, Mitamura H, Ogawa S, Murayama A, Chino M, Handa S, Nakamura Y: Two-dimensional echocardiographic approach to the localization of myocardial infarction: Echocardiographic, electrocardiographic and coronary arteriographic correlation. *J Cardiovasc Ultrasonography* **1**: 3-11, 1982
- 4) Lipton MJ, Hayashi TT, Boyd D, Carlsson E: Measurement of left ventricular cast volume by computed tomography. *Radiology* **127**: 419-425, 1978
- 5) 渡辺 滋, 山田善重, 西本良博, 吉田秀夫, 諸岡信裕, 高橋長裕, 宿谷正毅, 増田善昭, 稲垣義明, 永瀬佳子: コンピューター断層撮影(CT)による心容積の測定. *J Cardiography* **11**: 1273-1281, 1981
- 6) Skiolderbrand CG, Ovenfors CO, Mavroudis C, Lipton MJ: Assessment of ventricular wall thickness in vivo by computed transmission tomography. *Circulation* **61**: 960-965, 1980