

コンピューター心断層法の動  
画観察による心筋梗塞の局所  
壁運動評価

Evaluation of regional  
wall motion in myocar-  
dial infarction using  
animation ECG gated  
cardiac computed tomo-  
graphy

清水 孝彦  
兵頭 春夫\*  
林 輝美  
山本 英雄  
八木 繁

Takahiko SHIMIZU  
Haruo HYODO\*  
Terumi HAYASHI  
Hideo YAMAMOTO  
Shigeru YAGI

**Summary**

Regional wall motion of the left ventricle was evaluated in 21 patients with myocardial infarction using an animation system of gated cardiac computed tomographic (CT) images (animation gated CCT). The results obtained were compared with data by two-dimensional echocardiography (2-DE).

1. Evaluation of the asynergic area by animation gated CCT and 2-DE :

Animation gated CCT detected the following specific regions with asynergy established by 2-DE; 10/10 cases (100%) at the anterior wall of the left ventricle, 14/14 cases (100%) at the interventricular septum, and 9/11 cases (81.8%) at the infero-posterior wall. In addition, one false positive case and one negative case were observed at the lateral wall and the apex, respectively. Of 37 instances with asynergic areas established by 2-DE, 21 cases or 89.2% were detected by animation gated CCT; the sensitivity was 91.9%.

2. Evaluation of severity of asynergy by animation gated CCT and 2-DE :

The degree of asynergy evaluated by both methods was compared with each other, and the agreement was as follows: 10/10 cases (100%) at the left-ventricular anterior wall, 13/13 cases (100%) at the interventricular septum, and 7/9 cases (77.8%) at the infero-posterior wall.

3. Evaluation of the asynergic area by nonanimation gated CCT and 2-DE :

Nonanimation gated CCT detected asynergic areas ascertained by 2-DE at the following areas; 8/10 cases (80%) at the left-ventricular anterior wall, 12/14 cases (85.7%) at the interventricular septum, and 4/11 cases (36.4%) at the infero-posterior wall. The difference between animation and nonanimation gated CCT was statistically significant ( $p < 0.05$ ). The severity of asynergy could not be evaluated by nonanimation gated CCT.

獨協医科大学 循環器内科

\*同 放射線科

栃木県下都賀郡壬生町大字北小林 880 (〒321-02)

Department of Medicine, Division of Hypertension and Cardiorenal Disease, and \*Department of Radiodiagnosis, Dokkyo University School of Medicine, Mibu, Tochigi 321-02

Received for publication October 20, 1983 (Ref. No. 26-51)

For the evaluation of severity as well as detection of asynergy of the left ventricle, animation gated CCT was more useful than non-animation gated CCT. False negative cases observed at the infero-posterior wall and apex were decreased by alteration of a gantry, improvement of software and hardware, and additionally by an injection of contrast medium. Animation gated CCT is considered to become a useful clinical method in evaluating myocardial infarction and other cardiovascular disease in future. However, we will need the further improvements, such as reduction of administration dosage of contrast media, shortening of film shooting and irradiation times.

**Key words**

Myocardial infarction      ECG gated cardiac computed tomography

はじめに

心疾患における ECG gated cardiac computed tomography (gated CCT) の応用は, 1977 年, Harrell ら<sup>1)</sup>が stop action method を報告して以来, 種々の研究<sup>2-8)</sup>がなされている. 心筋梗塞での局所壁運動解析の研究<sup>2-9)</sup>も散見されるが, これらは心収縮期像と拡張期像の subtraction 像や trace 像を利用しているため, 心収縮に伴う心の位置移動が評価上の問題となっている<sup>10)</sup>.

今回われわれは, 局所壁運動の解析をより詳細に行なうため, 新たに開発した gated CCT を動画として表示するシステム<sup>11)</sup>を使用し, 経時的に局所壁運動の評価を行なった. また本法による心動態評価の有用性を, 静止 gated CCT およびリアルタイム断層心エコー図法と比較検討した.

対象と方法

対象は臨床的に心筋梗塞と診断された男 17 例, 女 4 例の 21 例で, 年齢 53~78 歳, 平均 62.9 歳である (Table 1). CT 検査は梗塞発症後 1~60 カ月に施行した. 梗塞部位は心電図の診断基準に基づき, 前壁 11 例, 下壁 11 例, 中隔 9 例, 側壁 1 例, 心内膜下 1 例の, のべ 33 例である.

方法は Table 2 に示すごとく, Gated CCT には東芝製 TCA 60 A 30 を使用し, 動画化は放射線科と東芝 CT 技術部で開発した software と hardware により行ない 吸気時相にて呼吸を停止させて scan を行なった. 最初に subseries scan と称する連続 3 回の scan を行なったが, これは

**Table 1. Clinical data of subjects**

Subjects	21
Male	17
Female	4
Age (years)	53-78 (an average of 62.9)
Date of attack	1-60 months before CT
Areas of myocardial infarction by ECG	
Anterior	11
Inferior	11
Septal	9
Lateral	1
Subendocardial	1

**Table 2. Specification for CT scanning**

CT Scanning (Toshiba TCA-60A-30)	
Scan time	4.5 sec
Scan interval	2.0 sec
Pulse interval	11.25 msec
CT number	-1000 (air)~0 (water)~+1000 (bone)
Matrix	320×320
Gray scale	250 level
Slice thickness	5, 10 mm
X-ray generator	120 KV, 500 mA

clockwise, counterclockwise の回転方式のため, scan time が 4.5 秒, scan interval が 2 秒, 全体で 17.5 秒を要した. Subseries scan 1 回のみでは動画化のデータとして不足なため, 最低 3 回以上の subseries scan を行なった. CT の pulse interval は 11.25 msec. である. CT number は -1000 を空気, 0 を水, 骨を +1000 とした.

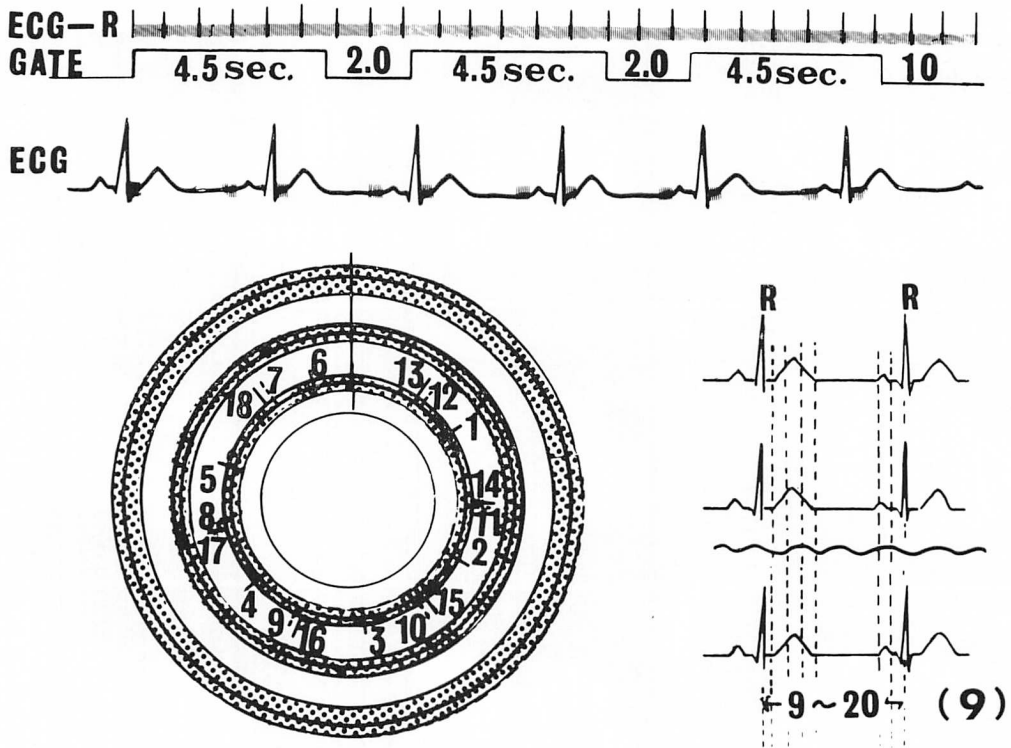


Fig. 1. Method of animation ECG gated cardiac computed tomography.

The data for moving CT images are collected by subseries scan that scan in triplicate for 2.4 sec over three times. Gated images are separated into 9 frames one R-R interval.

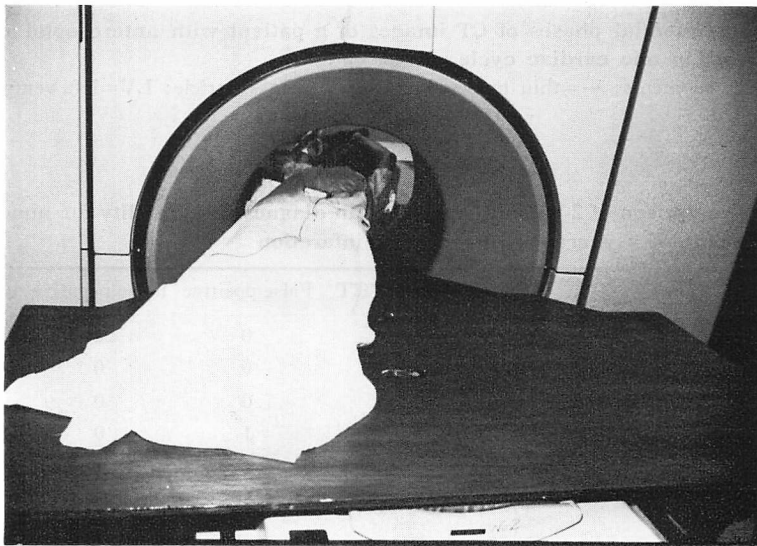


Fig. 2. Examination of a patient by gated cardiac computed tomography.

A patient takes 30° right lateral recumbent posture on the table in order to obtain short-axis cardiac images.

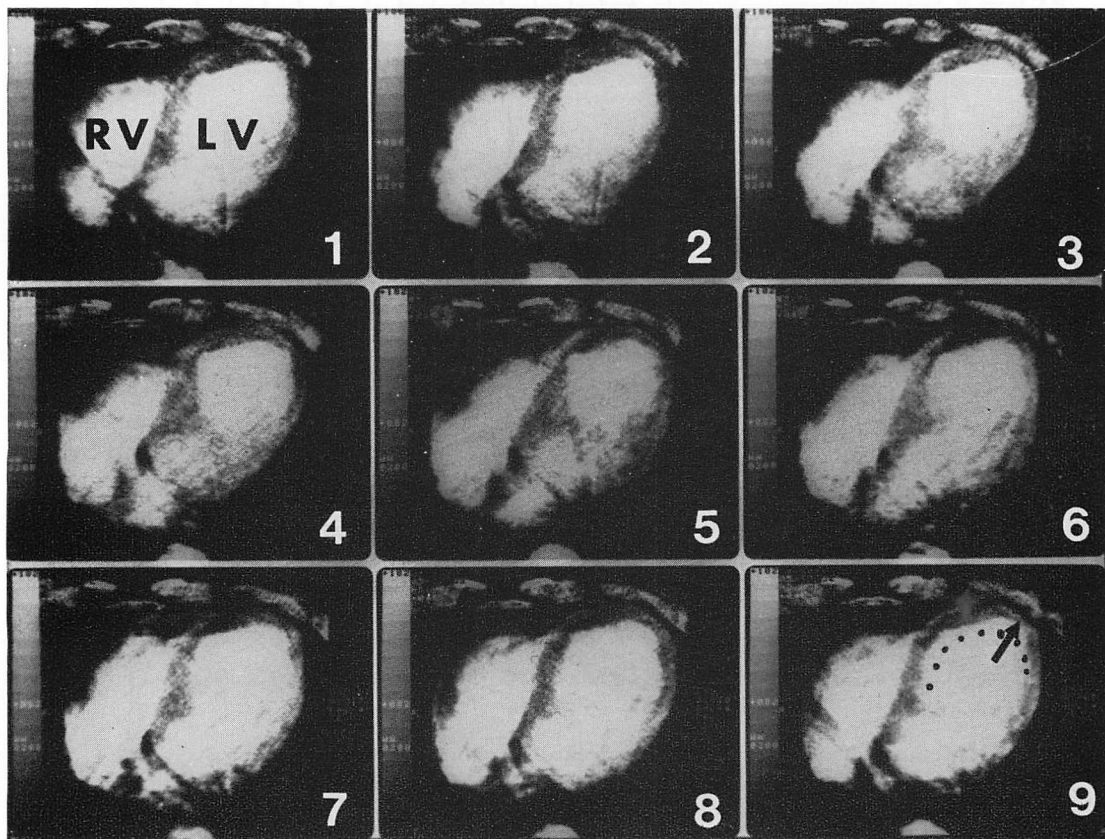


Fig. 3. Nine sequential phases of CT images of a patient with anteroseptal myocardial infarction covering one cardiac cycle.

... =akinetic segments; ←=thin myocardium; RV=right ventricle; LV=left ventricle.

Table 3. Comparison of 2-DE and gated CCT in diagnostic reliability for abnormal segments of asynergy in myocardial infarction

Segments	2-DE	Gated CCT	False positive	False negative	Agreement (%)
Infero-posterior wall	11	9	0	2	81.8
Interventricular septum	14	14	0	0	100
Anterior wall	10	10	0	0	100
Lateral wall	1	1	1	0	50
Apex	1	0	0	1	0
Total	37	34	1	3	89.2

2-DE=two dimensional echocardiography; Gated CCT=animation ECG gated cardiac computed tomography.

Matrix は 320×320 で gray scale は 250 level である。Slice 幅は 5 または 10 mm を使用できるが、今回は 5 mm とし、X-ray generator を 120 KV, 500 mA の条件下で施行した (detector は 512 Xe gas detector を用いた)。Gated image は心電図の R 波を基準に R-R 間隔を 9~20 frame に分割可能であるが、実用上 9 frame に分割し (Fig. 1), display monitor 上に順次描出させ動画化した。Gantry は前壁中隔梗塞例で尾側へ 10 度、下壁梗塞例で頭側へ 10-15 度傾けた。またスライス面を 90 度に近づけるため、体位変換可能なテーブルを試作し、体を右方へ約 30 度傾けた (Fig. 2)。造影剤には 65% アンジオグラフィンまたは 76% ウログラフィンを用い、bolus injection およびそれに続く rate injection によって、計 100~180 ml を経静脈的に投与した。

局所壁運動の評価に関しては、正常者壁運動に比し動きの悪いものを hypokinesis、動きのほとんどみられないものを akinesis、収縮期に paradoxical に動くものを dyskinesis とした。

さらに 9 分割された静止 gated CCT を 1 枚のレントゲンフィルムに撮影し、asynergy の有無を観察した。

断層心エコー図 (2-DE) は東芝製 SSH-11A により、2.4 MHz 探触子を使用し、左室長軸、短軸断層像、四腔断層像、右前斜位相等像などの実時間観察を行なった<sup>12)</sup>。その他、ラインスキャンレコーダーによりオシログラフペーパーに記録した M モード心エコー図も参考とした。左室 asynergy の評価は gated CCT と同様、hypokinesis, akinesis および dyskinesis とし、両検査法によって得られた結果を、左室前壁、心室中隔、下壁、後壁、側壁、心尖部の各部位について、 $\chi^2$  検定による有意差検定を行った。Sensitivity は true positive/(true positive+false negative) により算出した。

## 結 果

### 1. Gated CCT で akinesis を証明した症例の呈示 (Fig. 3)

症例は 64 歳の男性で、心電図上、前壁中隔梗塞を示した。Gated CCT により得られた 9 frame を順次 display monitor 上で動画化すると、左室前壁より心室中隔前部に akinesis を認めた。また前壁の一部には心筋の非薄化もみられたが、心室瘤、壁在血栓などはみられなかった。一方静止 gated CCT では、前壁中隔に asynergy が存在することは確認されたが、asynergy の程度の評価は困難であった。

### 2. 2-DE と動画 gated CCT による asynergy の部位診断の比較 (Table 3)

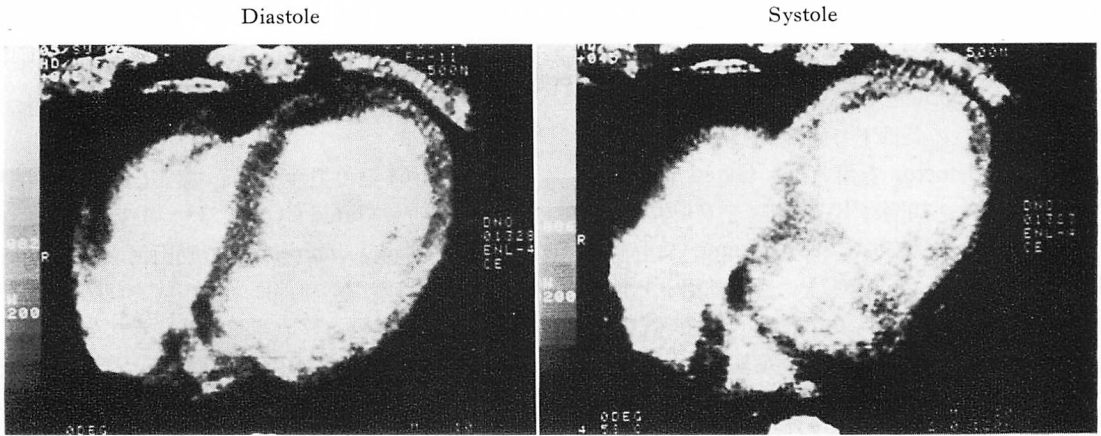
心室中隔、左室前壁で両方法の診断一致率は 14 例中 14 例、10 例中 10 例と 100% であり、下壁・後壁では 11 例中 9 例で 81.8% であった。側壁では 2 例中 1 例が一致したが、false positive も 1 例みられた。また心尖部と下壁・後壁にそれぞれ 1 例と 2 例の false negative がみられ、全体で 89.2% の一致率であった。2-DE による診断に対する sensitivity は 91.9% であった。

### 3. Asynergy の程度の評価

前壁では hypokinesis 7 例、akinesis 2 例、dyskinesis 1 例の全例が、2-DE と gated CCT で一致した結果を得た (Fig. 4)。心室中隔でも hypokinesis 12 例、akinesis 2 例の全例が一致した (Fig. 5)。下壁・後壁では hypokinesis 8 例全例が一致したが、2-DE で akinesis と診断した 1 例は gated CCT で hypokinesis と診断され、一致率は 88.9% であった (Fig. 6)。

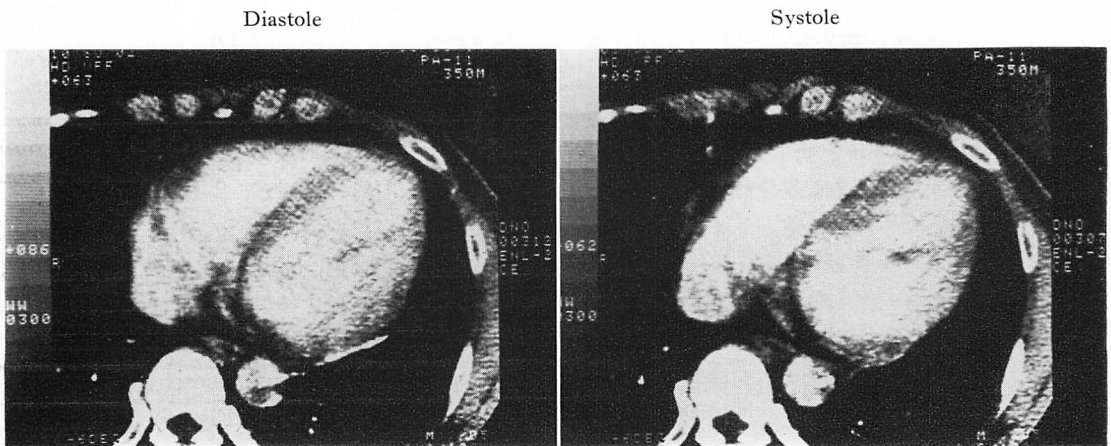
### 4. 静止 gated CCT による asynergy の部位診断

前壁では 10 例中 8 例 (80.0%)、心室中隔 14 例中 12 例 (85.7%)、下壁、後壁 11 例中 4 例 (36.4%) が 2-DE の診断と一致した。これらの結果と動画 gated CCT の結果で  $\chi^2$  検定を行なうと、左室前壁、心室中隔では有意差はないが、下壁・後壁では  $p < 0.05$  で有意差が認められた。静止



Grade of asynergy	2-DE	Gated CCT	Agreement (%)
Hypokinesis	7	7	100
Akinesis	2	2	100
Dyskinesis	1	1	100

Fig. 4. Comparison of the degree of asynergy in the anterior wall by 2-DE and gated CCT.



Grade of asynergy	2-DE	Gated CCT	Agreement (%)
Hypokinesis	12	12	100
Akinesis	2	2	100

Fig. 5. Comparison of the diagnostic accuracy of asynergy in the interventricular septum by 2-DE and gated CCT.

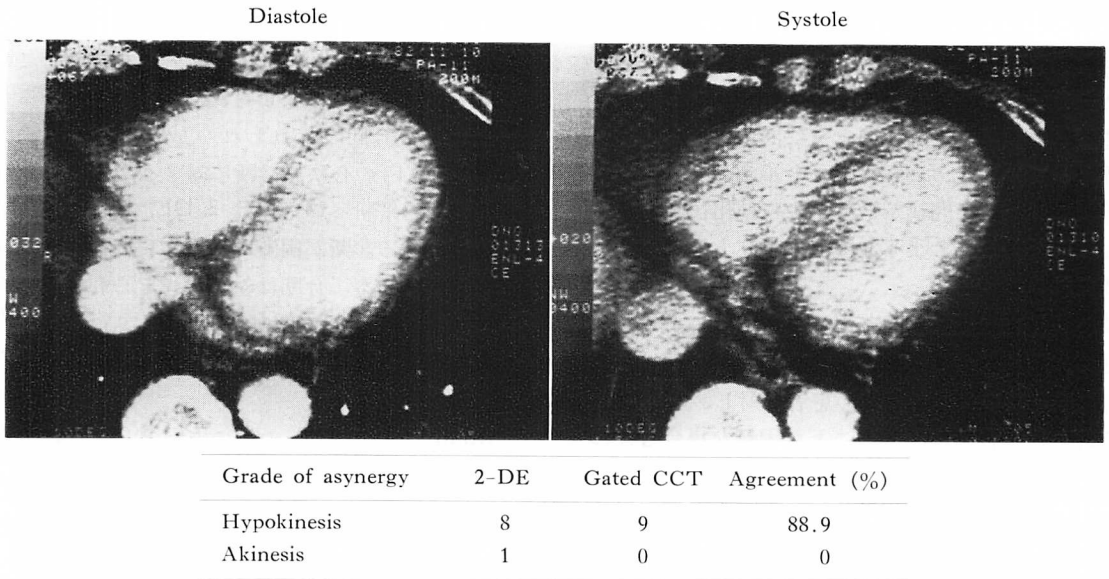


Fig. 6. Comparison of the degree of asynergy in the inferior-posterior wall by 2-DE and gated CCT.

gated CCT による asynergy の程度の評価は困難であった。

#### 考 察

Luckner ら<sup>13)</sup>は左室造影で収縮異常を認めた130例に nongated もしくは gated CCT を施行し、71例 54.6% で壁運動異常の診断が完全に一致したと報告している。井上ら<sup>10)</sup>も、左室造影によって得られた左室心尖の asynergy を、gated CCT でも同様に6例中5例で検出している。しかし asynergy の程度が左室造影、gated CCT 両者で一致したものは5例中2例であり、asynergy の程度の診断率は比較的低くなっている。一方、渡辺ら<sup>6)</sup>は、データ整理方式による心同期 CT においても、左室造影による梗塞部位とほぼ一致して壁運動異常がみられたと報告している。われわれの 2-DE と動画 gated CCT による asynergy の解析では、84% の例で壁運動異常部位の一致をみており、他の研究とほぼ同様の結果を得た。しかし静止 gated CCT では、前壁・中隔では動画 gated CCT の結果と差はみられないも

の、下壁・後壁では動画 gated CCT の評価が高くなっている。また asynergy の程度の評価では動画 gated CCT の場合 100% の一致率が得られたのに対し、静止 gated CCT では評価は困難であった。これは心前壁側には前胸壁が近接しているため壁運動の評価はしやすいけれども、後壁側は基準となるものがない。そのため心収縮に伴う回転がある場合評価が困難になると考えられる。このことから、心臓収縮に伴う心の回転がある場合は、動画 gated CCT の方が心の局所壁運動の評価を得ようとする場合、静止 gated CCT よりも優れた非侵襲的検査法であると思われる。Gated CCT と 2-DE の asynergy 評価不一致例に関しては、側壁に false positive 1例、後壁と心尖部に false negative が3例みられたが、Luckner ら<sup>13)</sup>の報告でも同様に、後壁で false negative が最も多く、gantry の変更で良好な結果を得ている。われわれの症例では、特に研究初期の例に false negative, false positive がみられていた。これはその後 gantry の変更により改善されたが、画像の鮮明度にも問題があると考え、hardware

および software の改良と, 造影剤の投与法の検討を繰り返した. それらの結果, 現在では安定した像を得られるまでに至っている. しかしながら造影剤の投与量は前述のように, 比較的大量を必要としているため, ヨードアレルギーや腎機能低下例には施行に問題があり, 少量使用により鮮明な画像が得られるような機械および方法の改良が望まれる.

心筋梗塞は比較的高齢者に発生する疾患であるため, 肺気腫やその他の肺疾患を合併している者もある. このような状態の患者に対し, 2-DE を施行した場合画像を得ることが困難な場合もまれではなく, 心機能の評価は非常に難しい. これは肥満者でもしばしば経験することがある. 記録時に坐位または左側臥位にするなどの処置によって画像はある程度は改善されるが, それでもなかなか超音波という特性のため, この問題は回避し難いことが多い.

心筋梗塞後の心室瘤などが存在する場合, 手術適応の決定という意味も含め, これらの患者では心機能の評価はさらに重要である. 本法では, 心エコーによる評価が困難な患者でも非侵襲的に心臓の画像を得られ, asynergy の程度まで評価が可能のため, 診断・治療への応用が十分期待できるものと思われる.

Gated CCT による心筋梗塞の診断には局所壁運動の解析のみではなく, 梗塞部の心筋変性, 灌流異常に伴う造影剤取り込み異常を観察する各種の研究も行なわれている<sup>14~21)</sup>. 得られる所見には, 比較的梗塞後急性期に出現し, 造影直後に認められ, 壊死部の表現とされる filling defect と, 梗塞後長期にわたって認められ, 造影剤の bolus 投与後 5~15 分でもっとも明瞭に描出される late enhancement がある<sup>22)</sup>. われわれの症例でもこれらの所見が見られたものがあることから, asynergy の評価に, 造影剤取り込みの状態に関する情報を加えることにより, gated CCT による心筋梗塞診断率は, 一層の向上が期待できると思われる.

現在本邦で臨床的に gated CCT の動画化を行っているのはわれわれの施設のみであり, この分野では欧米に一步先じられている状況にあるといえよう. 今回のわれわれの成績からも, 動画 gated CCT の心疾患診断に対する応用, 特に局所壁運動の解析への応用は 2-DE, 心臓カテーテル検査による診断が困難な例においては有用な検査法と思われる. 今回は対象疾患を心筋梗塞のみとしたが, その他の虚血性心疾患, 各種心筋症, 心臓腫瘍, 心膜疾患等への応用が十分可能であろうと思われる.

Robb ら<sup>23)</sup>は CT の他の方向として, 高速度 synchronous volume computed tomography の研究をすすめており, 心臓内外の形態の 3 次元の診断を行なおうとしている. コストの面での問題は残っているが, 臨床的な実用化が期待される. 現在のわれわれの方法ではスライス面を 1 つに限定しているため false negative の診断ができる可能性も否定できない. 今後スライス面の増加が必要であり, それを利用した定性および定量的な 3 次元の壁運動解析も期待できる. さらに 3 次元表示, 心内膜面トレースにより心拍出量, 駆出率<sup>24)</sup>などのより正確な心機能の測定や, 心筋梗塞量の測定などへの応用の可能性もあり, 多面的研究が期待される. 現実には撮影時間の短縮や X 線照射量の減量などの問題もまだ残されてはいるが, 画像の改善によって臨床的に使用が可能となっている現在, 今後有望な検査法となり得ると思われる.

## 要 約

Gated cardiac CT image (CCT) を動画化する system を使用し, 心筋梗塞の局所壁運動の評価を行ない, その有用性を静止 gated CCT と 2-DE による結果と比較し検討した.

1. 動画 gated CCT と 2-DE による asynergy 部位の比較

心室中隔 14 例中 14 例, 左室前壁 10 例中 10 例で一致率 100%, 下壁・後壁 11 例中 9 例 81.8%,



側壁 2 例中 1 例で一致した。その他、側壁に false positive 1 例、心尖部に false negative 1 例を認めた。全例での一致率は 89.2%、sensitivity は 91.9% であった。

## 2. 動画 gated CCT と 2-DE による asynergy の程度の比較

左室前壁、左室中隔は 100% 一致したが、下壁・後壁は 9 例中 7 例で一致した。

## 3. 静止 gated CCT と 2-DE による asynergy 部位の比較

左室前壁 10 例中 8 例 (80%)、心室中隔 14 例中 12 例 (85.7%)、下壁・後壁 11 例中 4 例 (36.4%) が一致した。

左室前壁と心室中隔では gated CCT による評価と静止 gated CCT による評価に有意差はなかったが、下壁・後壁では両群間に  $p < 0.05$  で有意差が認められた。静止 gated CCT による asynergy の程度の評価は困難であった。以上の成績から、動画 gated CCT による局所壁運動の評価は、asynergy の程度に関して静止 gated CCT よりも有用であると考えられた。

下壁・後壁、心尖部に false negative がみられたが、gantry の設定、software、hardware、造影剤投与方法の改良により改善した。今後動画 gated CCT は造影剤の減量、撮影時間、照射時間の短縮により、心筋梗塞や他の心疾患においても臨床的に有用な検査法になり得ると思われる。

## 文 献

- 1) Harell GS, Guthaner DF, Breiman RS, Morehouse CC, Seppi EJ, Marshall WH Jr, Wexler L: Stop-action cardiac computed tomography. *Radiology* **123**: 515, 1977
- 2) Alfdi RJ, Haaga JR, Macintyre WJ, Bacon KT, Ferrario CM: Gated computed tomography of the heart. *Computed axial tomography*. **1**: 51, 1977
- 3) Sagel SS, Weiss ES, Gillard RG, Hounsfield GN, Jost RG, Stanley RJ, Terpogossian MM: Gated computed tomography of the human heart. *Invest Radiol* **12**: 563, 1977
- 4) Morehouse CC, Brody WR, Guthaner DF, Breiman RS, Harell GS: Gated cardiac computed tomography with a motion phantom. *Radiology* **134**: 213, 1980
- 5) Berninger WH, Redington RW, Doherty P, Lipton MJ, Carlsson E: Gated cardiac scanning: Canine studies. *J Comput Assist Tomogr* **3**: 155, 1979
- 6) Watanabe S: Diagnostic CT imaging of the heart and aorta in health and disease. *Jpn Circ J* **45**: 1030, 1981
- 7) Berninger W, Redington R, Leue W, Axel L, Norman D, Brundage B, Carlsson E, Herfkens R, Lipton M: Technical aspects and clinical applications of CT/X, a dynamic CT scanner. *J Comput Assist Tomogr* **5**: 206, 1981
- 8) Cipriano R, Nassi M, Brody WR: Clinically applicable gated cardiac computed tomography. *Am J Radiol* **140**: 604, 1983
- 9) Masuda Y, Yoshida H, Morooka N, Takahashi O, Watanabe S, Inagaki Y, Uchiyama G, Tateno Y: ECG synchronized computed tomography in clinical evaluation of total and regional cardiac motion: Comparison of postmyocardial infarction to normal hearts by rapid sequential imaging. *Am Heart J* **103**: 230, 1982
- 10) 井上英二, 田中忠治郎, 竹内一秀, 奥久雄, 生野善康, 吉村隆喜, 木積一憲, 南川博司, 小松裕司, 山下彰, 古川宏太郎, 西本正紀, 川合清毅, 坂口和成: ECG gated cardiac computed tomography による心筋梗塞の検討. *J Cardiology* **11**: 803, 1981 (in Japanese)
- 11) Hyodo H, Mishirot T, Kuramae S, Hayashi T, Shimizu T: Development of cardiac scan system with Toshiba CT and its clinical application. *Toshiba Med Rev* **9**: 23, 1983
- 12) Lackner K, Thurn P: Computed tomography of the heart: ECG-gated and continuous scans. *Radiology* **140**: 413, 1981
- 13) Gray WR Jr, Parkey RW, Buja LM, Stokely EM, McAllister RE, Bonte FJ, Willerson JT: Computed tomography: In vitro evaluation of myocardial infarction. *Radiology* **122**: 511, 1977
- 14) Siemers PT, Higgings CB, Schmidt W, Ashburn W, Hagan P: Detection, quantitation and contrast enhancement of myocardial infarction utilizing computerized axial tomography: Comparison with histochemical staining and Tc-pyrophosphate imaging. *Investigative Radiology* **13**: 103, 1978
- 15) Gray WR, Buja LM, Hagler HK, Parkey RW, Willerson JT: Computed tomography for localization and sizing of experimental acute myocardial infarcts. *Circulation* **58**: 497, 1978
- 16) Higgings CB, Siemers PT, Schmidt W, Newell

- JD: Evaluation of myocardial ischemic damage of various ages by computerized transmission tomography. *Circulation* **60**: 284, 1979
- 18) Lipton MJ, Higgins CB: Evaluation of ischemic heart disease by computerized transmission tomography. *Radiol Clin N America* **18**: 557, 1980
- 19) Skiöldebrand CG, Ovenfors C-O, Mavroudis C, Lipton MJ: Assessment of ventricular wall thickness in vivo by computed transmission tomography. *Circulation* **61**: 960, 1980
- 20) Doherty PW, Lipton MJ, Berninger WH, Skiöldebrand CG, Carlsson E, Redington RW: Detection and quantitation of myocardial infarction in vivo using transmission computed tomography. *Circulation* **63**: 597, 1981
- 21) Carlsson E, Palmer RG, Masuda Y: Cardiac computed tomography. *Am J Cardiol* **49**: 1362, 1982
- 22) 増田善昭, 山田善重, 本多瑞枝, 諸岡信裕, 吉田秀夫, 渡辺 滋, 宿谷正毅, 稲垣義明: CT による心筋梗塞の診断. *画像医学誌* **2**: 139, 1983
- 23) Robb RA, Ritman EL: High speed synchronous volume computed tomography of the heart. *Radiology* **133**: 655, 1979
- 24) Mancini GBJ, Peck WW, Slutsky RA, Mattrey RF, Higgins CB: Pharmacologically induced changes in wall thickening dynamics and mid-ventricular volumes in dogs assessed by prospectively gated computed tomography. *Am J Cardiol* **51**: 1739, 1983