

《原著》

Rotating Bilateral Collimator 法による ECG 同期 心筋断層シンチグラフィー

—臨床応用とアーティファクトに関する検討—

駒谷 昭夫* 高橋 和栄* 高梨 俊保* 山口 昂一*

要旨 バイラテラルコリメータ回転によるタリウム (Tl-201) 心筋断層シンチグラフィーを心拍同期法にて行った。約16分間のデータ収集により実用的な画像が得られ、日常検査への導入が可能であった。臨床使用において下壁～心尖部にアーティファクトによる欠損像(疑似欠損像)が頻発した。その原因を究めるため、ファントームによる実験、および呼吸同期法による画像再構成を行い、呼吸による心臓の移動や左室容積の変化について検討した。その結果、呼吸により左室中心の位置は約 15 mm 移動し、左室容積は約 40% 变化することがわかった。疑似欠損の主因は、呼吸に伴うこれらの動きと、横隔膜による周期的なマスキングであると考えられた。したがって、欠損像の真偽の判定には、心拍に伴う心筋厚の変化や壁運動、および横隔膜との位置関係を併せ考慮することが肝要である。

I. はじめに

塩化タリウム ($^{201}\text{TlCl}$) による心筋シンチグラフィの断層法には、7 ピンホールコリメータ法、スラント、またはバイラテラルコリメータ回転法、およびシンチカメラを体軸中心に回転させる方法がある。前二者はシンチカメラ固定式であるため、比較的短時間のデータ収集で心拍同期が可能である。しかし、7 ピンホール法は、深さ方向の分解能が劣り、かつアーティファクトが生じやすいために確診率が低いと指摘されている^{1,2)}。一方、バイラテラルコリメータ回転法は、深さ方向の分解能において 7 ピンホール法よりきわめて優れており、シンチカメラ回転法に匹敵する性能を有する³⁾。本論文は、バイラテラルコリメータ回転法を心拍同期にて行う方法と、実用的なデータ収集時間との兼ね合いにおける有用性、および心拍同

期法にて頻発する疑似欠損の原因検討を主旨とする。

II. 方法および結果

1. 心拍同期法について

バイラテラルコリメータを装着したシンチカメラを左前斜位に設置し、コリメータを 45 度ごとに回転しながら得られる 4 対 (8 方向) のイメージデータをコンピュータ (DEC PDP-11/34) に ECG 信号とともに収集した。コリメータホールの傾き (slant angle) は中心に向っておののおの 30 度 (CMS 社製) のものを用い、断層像構成は、damping factor を 1 回目は 0.06, 2, 3 回目はおののおの 0.1, 0.12 とした。スライス数は 16, スライス間隔は 0.8 cm とした。データ収集は R-R 間 10 フレームとし、断層像の構成は、通常、拡張末期 (ED) と収縮末期 (ES) について行い、必要に応じ他の任意のフレームも選択できるようにした。

データ収集時間：心拍同期に伴うデータ収集時間の延長について検討した。Table 1 に $^{201}\text{TlCl}$ 2 mCi を投与した患者の実測値を基に算出した、pixelあたり 200 カウント⁴⁾を得るのに要した時間

* 山形大学医学部放射線科

受付：59年6月11日

最終稿受付：59年9月6日

別刷請求先：山形市藏王飯田字西の前 (番号 990-23)

山形大学医学部放射線科

駒 谷 昭 夫

Table 1 Required acquisition time

Method	Matrix size	Counts per pixel	Frames per beat	Acquisition time
Rotating Bilat. Tomo. (ECG-gate)	64×64	200	10	4 min.×4 (16 min.)
Without ECG-gate	128×128	200	—	1.6 min.×4 (6.4 min.)
7-Pin Tomo. (ECG-gate)	64×64	200*	10	12.4 min.

*At the center image

を示す。心拍同期法では、1心拍10フレームなので、そのままでは単純に10倍のデータ収集時間を要することになるが、マトリックスサイズを64×64と粗くすることにより、一方向あたりの収集時間は約4分となった。したがって、コリメータ回転による4対(8方向)のデータ収集には約16分かかり、7ピンホールの心拍同期法に比べ若干長い収集時間を要した。

分解能について：水平方向と深さ方向の分解能をFWHM値としてFig. 1に示す。また、データ収集時のマトリックスサイズを128×128から64×64と粗くすることによる分解能の低下の程度も調べた。シンチカメラ面でのpixelの大きさは128×128では2.9 mm²、64×64では5.8 mm²と2倍になるが、FWHM値はFig. 1に示すごとく、水平方向で0.11 cm、深さ方向では0.19 cmの増加にとどまった。この増加分は、全体の深さが0.7~1 cmだけ深くなることによる分解能低下に相当する。

2. 疑似欠損像とその原因

心拍同期の断層法は、心筋のTl分布のみならず、心拍に伴う心筋厚の変化や局所壁運動も同時に把握できる利点を有する。ところが、Fig. 2に示すごとくの下壁から心尖部にかけて欠損像の抽出が頻発し、その大部分は心電図や冠動脈造影、RIアンジオグラフィー等の結果より、何らかのアーティファクトによる疑似欠損像であることがわかった。その原因を解明するため、次の検討を行った。

斜入投影の影響：7ピンホール法では、心筋の長軸がシンチカメラ面に対して垂直でない時にアーティファクトが生じやすいと指摘されている。

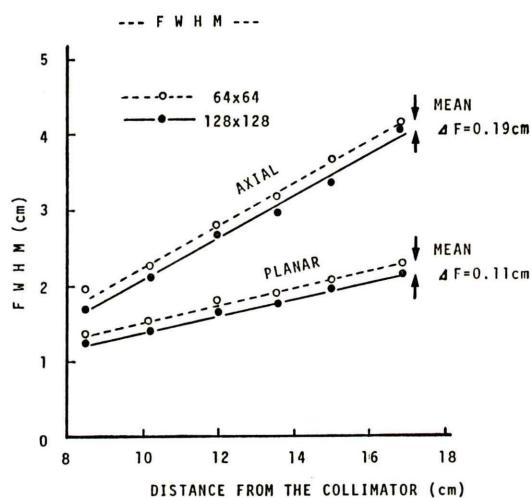


Fig. 1 Spatial resolution (FWHM) as a function of the distance from surface of the collimator.

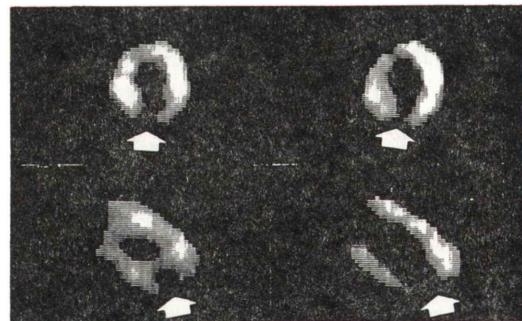


Fig. 2 ECG-gated myocardial tomo-scintigrams with Tl-201 (end diastole). Both images of short axial (upper) and long axial (bottom) showed artificial defect (arrow).

この斜入投影の影響を調べるために、Fig. 3に示すごとく、円筒形のhot phantomを正面からと、20°傾けた状態で撮って、おののの断面像を比

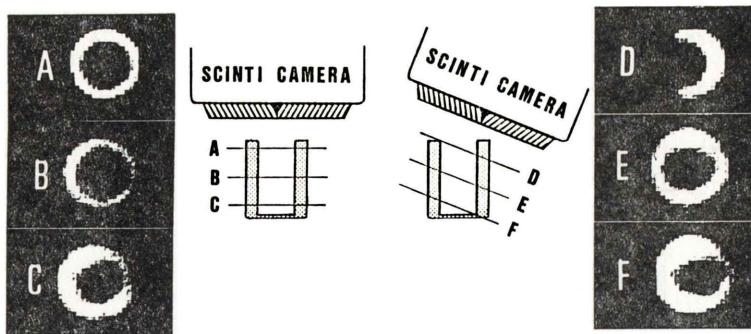


Fig. 3 Frontal and oblique projection of cylindrical hotphantom. No influence of oblique projection on artificial defect was shown in slice "E".

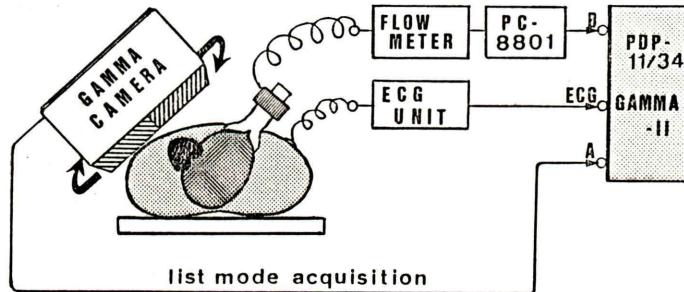


Fig. 4 Block diagram of the system in which image data, ECG signal and breath signal were acquired simultaneously. Breath signal was generated by hot-wire flow meter and processed with micro computer.

較した。斜入の場合、同図右側の断面 D, F では phantom の一部が断層面から逸脱するための当然の欠損像が認められるが、中心部の E 断面では有意の low up take region は認められなかった。したがって、心筋の傾きが疑似欠損の主因ではないと考えられた。

呼吸に伴う心臓移動、容積変化の影響：呼吸による心臓の移動と左室容積の変化、およびそれらの疑似欠損への関与性を調べるために Fig. 4 に示すシステムを作成した。従来の心拍同期システムに、呼吸同期信号検出のための熱線流量計、およびその信号処理用マイクロコンピュータ (NEC PC-8801) を付加し、一呼吸ごとの信号と一定流量 (10 ml) ごとの信号をホストコンピュータの "B" アイソトープ入力端子に入力した。この呼吸信号

とシンチカメラの画像信号、および ECG 信号を同時収集するためのソフトウェアは独自に開発した⁵⁾。画像データはリストモードで収集し、フレームモードへの変換は心拍同期と呼吸同期の二方法で行った。心拍同期法では R-R 間 10 フレーム、呼吸同期法では一呼吸あたり 9 フレームの構成とした。

Tc-99m 赤血球 in vivo label 法⁶⁾による blood pool の LAO 像より Area-length 法⁷⁾にて左室容積を算出し、その呼吸による変化を求めた (Fig. 5)。この容積は心拍同期をしていないため、全心拍周期の平均的な容積であるが、吸気時に最大となり、安静呼吸において、吸気時には呼気時に比べ約 40% 増加した。

左室の面積重心の呼吸による移動を軌跡として

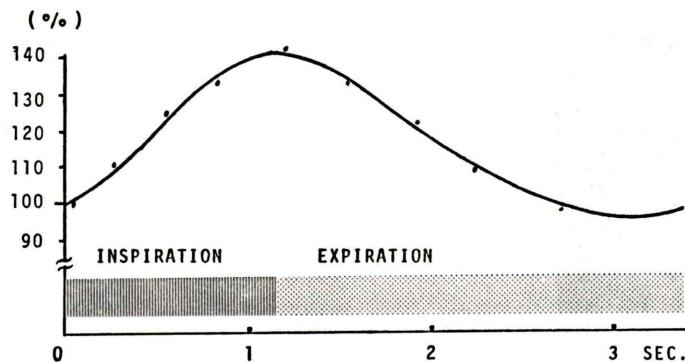


Fig. 5 A change of left ventricular volume due to respiration. The volume changed about 40% during stable respiration.

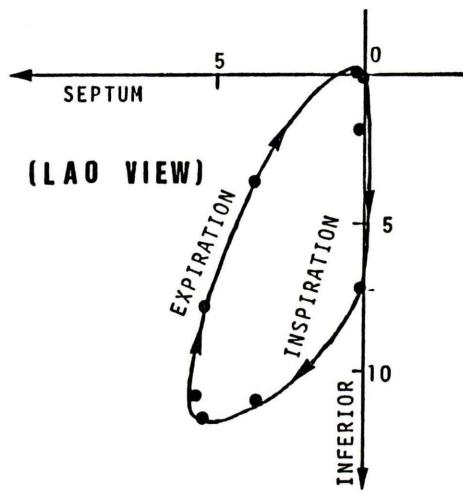


Fig. 6 Movement of the heart due to respiration indicated as a locus of center point of the left ventricle.

示すと Fig. 6 のようなループ曲線となった。LAO 像であるので図の左側が中隔方向、下は下壁方向への移動を示し、見かけ上の最大振幅は約 1.5 cm であった。辺縁部は、前述の容積変化分も加わるので、さらに大きく移動すると考えられる。

$^{201}\text{TlCl}$ 心筋断層像における心筋の輪郭を、吸気時は白、呼気時は灰色の線で示した (Fig. 7)。同図 (a) は LAO の直接断層像で、(b) は再構成による長軸断層像で RAO 像に対応する。呼吸により全体が移動するとともに、左室内腔の大きさも変化することが明確である。

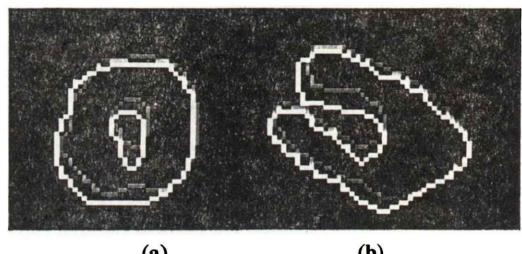
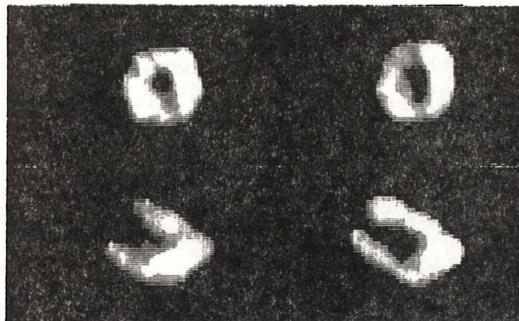


Fig. 7 Outline of the myocardium superimposed inspiratory phase (white line) and expiratory phase (gray line). Short axial (a) and long axial (b) tomo-scintigrams indicated the movement and volume change of the left ventricle.

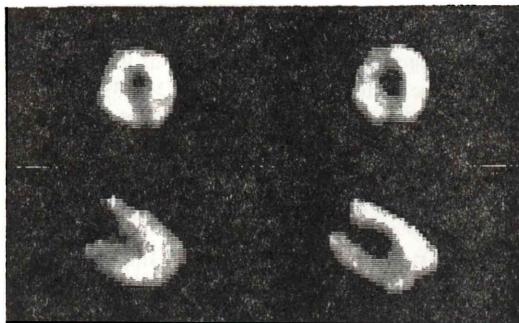
心拍同期法との比較：Fig. 2 に示した例は、心拍同期法による心筋断層像で、下壁～心尖部に明りような欠損像が認められたが、冠動脈造影や ECG, RI アンジオグラフィ等により心筋梗塞は否定された症例である。しかし、同一データを呼吸同期にて構成すると前述の欠損像は、呼気時にはかすかに見られるものの、吸気時の像ではほとんど消失した (Fig. 8)。このような現象はボランティアにおける他の 2 例でも全く同様であった。

III. 考 察

心筋断層シンチグラフィを心拍同期にて行うと、心拍に伴う局所壁運動や心筋の厚さの変化も同時に把握可能となり、この特質は、紛らわしい欠損像の病的意義の判定上きわめて有用であると考え



(a) Inspiration



(b) Expiration

Fig. 8 Myocardial tomo-scintigram by respiratory synchronization based on the same data that shown in Fig. 2. Artificial defect become significantly compared with that by ECG-gating method (Fig. 2).

る。シンチカメラ回転法は静止画像において最も頻用され、画質も優れているが⁷⁾、心拍同期の併用は収集時間が長くなり、日常検査としては必ずしも適当とはいえない。回転バイラテラルコリメータによる心拍同期法は、データ収集時間は約16分で、カメラ回転法のおよそ1/3程度であり、その点、日常検査への導入はきわめて実用的であった。症例を重ねるにつれ、下壁～心尖部に疑似欠損像が頻発することがわかった。この原因として、7ピンホール法での主因となった心筋長軸に対する斜入投影の影響については、ファントーム実験を行った結果、本法において疑似欠損は生じなかった。呼吸の影響を調べるため呼吸同期による吸気像、呼気像を作成し、同一データを基に作成したED像、ES像と比較した結果、呼吸同期法では疑似欠損は著減し、特に吸気像ではほとん

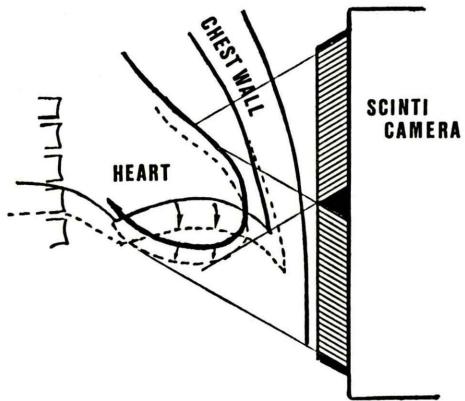


Fig. 9 Motion of the heart and diaphragm during stable respiration (solid line: expiration, dotted line: inspiration).

ど消失した。呼吸同期法では心拍同期をしていないために、心筋がやや厚く描出され、欠損が見え難くなるとも考えられたが、他部位との心筋厚さの相互比較よりその影響は軽微と考えられた。

一方、プランナーイメージにおいても、体位によっては下壁部が横隔膜にマスクされ、疑似欠損が生じることがある^{9,10)}。バイラテラルコリメータでは、コリメータホールの方向が、横隔膜下より心筋を見上げる角度からの像も含まれるため、特に呼気時の下壁部は淡く描出されやすい (Fig. 9)。

結局、心拍同期の断層心筋シンチグラムにおいて頻発する下壁～心尖部の欠損は、疑似欠損であることが多い、その主因は、呼吸に伴う心臓の運動、左室溶積の変化、および横隔膜による周期的な下壁部のマスキングであると考えられた。心拍と呼吸による同期を同時にすれば、全くの静止像が得られ理想的であるが、収集時間が極端に長くなり、日常検査への導入は不可能となる。現実的には、下壁～心尖部に生じた欠損像の病的意義の判定には、ED像とES像の比較による局所壁運動や、壁厚の心拍に伴う変化を参考にし、疑似欠損の特質を併せ考慮することが必須である。

IV. 結 論

バイラテラルコリメータ回転法による心拍同期の断層心筋シンチグラフィを、16分間のデータ

収集で行うことができた。本法において下壁～心尖部に頻発する欠損像は疑似欠損であることが多く、その主因は呼吸に伴う心臓の移動と左室容積の変化、および横隔膜による周期的なマスキングと考えられた。したがって、臨床応用においては、このアーティファクトの特質と、心拍同期によって得られる壁運動に関する情報を併せ考慮することが大切である。

文 献

- 1) Ritchie JL, Williams PL, Caldwell JH, et al: Seven pinhole emission tomography with thallium-201 in patients with prior myocardial infarction. *J Nucl Med* **22**: 107-112, 1982
- 2) 西村恒彦, 山田幸典, 植原敏勇, 他: 7 ピンホールコリメータによる心筋断層シンチグラフィー(第一報)——心筋梗塞症例における有用性と限界について——. *核医学* **18**: 1271-1285, 1981
- 3) 駒谷昭夫, 高橋和栄, 高梨俊保, 他: バイラテラルコリメータによる ECG-gated 心筋断層シンチグラフィー——基礎的検討と臨床上の有用性について——. *核医学* **19**: 1380, 1982 (abst)
- 4) 駒谷昭夫, 高橋和栄, 山口昂一: ECG 同期法による 7 ピンホール断層心筋シンチグラムの有用性と臨床応用. *核医学* **18**: 111, 1981 (abst)
- 5) 高橋和栄, 高梨俊保, 駒谷昭夫, 他: 呼気量同時測定法による肺局所換気効率の評価. *核医学* **20**: 1018, 1983 (abst)
- 6) Pavel DG, Zimmer AM, Patterson VN: In vivo labeling of red blood cells with ^{99m}Tc : A new approach to blood pool visualization. *J Nucl Med* **18**: 305-308, 1977
- 7) 玉木長良, 向井孝夫, 米倉義晴, 他: 回転ガンマカメラによる ^{201}Tl 心筋断層像: 特に 7 ピンホールコリメータによる断層法との比較検討——(第一報)基礎的検討——. *核医学* **18**: 793-799, 1981
- 8) Sandler H, Dodge HT: Use of single plane angiograms for the calculation of left ventricular volume in man. *Am Heart J* **75**: 325-334, 1968
- 9) David EJ, Frans JT, Harvey JB, et al: Effect of patient positioning on left lateral thallium-201 myocardial images. *J Nucl Med* **20**: 183-188, 1979
- 10) Michel MTP, Steven RB, Burton ES: Influence of cardiac and respiratory motion on tomographic reconstructions of the heart: Implications for quantitative nuclear cardiology. *J Comput Assist Tomogr* **6**: 1148-1155, 1982

Summary

ECG-gated Myocardial Tomo-scintigraphy by Rotating Bilateral Collimator —Clinical Application and Artificial Defect—

Akio KOMATANI, Kazuei TAKAHASHI, Toshiyasu TAKANASHI and Koichi YAMAGUCHI

Department of Radiology, Yamagata University School of Medicine

Tomo-scintigraphy of ^{201}Tl -myocardium by rotating bilateral collimator was performed in synchronization with cardiac cycle. Ten frames per R-R interval were acquired with ECG pulse signal during 16 min and tomographic reconstruction of end-diastolic and end-systolic image was done. This method was very useful to estimate not only three dimensional distribution of ^{201}Tl , but also wall motion and change of wall thickness during cardiac cycle. However, through its clinical application, artificial defect was frequently noticed at inferior-apical portion of the myocardium. In order to elucidate the cause of the artifact, influence

of tilted projection and cardiac motion due to respiratory was also investigated. During inspiratory phase of patients in rest, increment of volume up to 40% and 15 mm of caudal deviation of the left ventricle were observed. Furthermore, periodic motion of the diaphragm interrupted emission of gamma ray from the myocardium. It is proved that main cause of the artifact was not tilting projection, but these influence of respiratory motion.

Key words: Rotating bilateral collimator, ECG gated SPECT, Myocardial SPECT, Artifact of SPECT, Respiratory induced cardiac motion.