

# N-13 アンモニアポジトロンコンピュータ断層法による虚血性心疾患の評価：タリウムエミッション CT との比較検討

# Myocardial positron computed tomography using N-13 ammonia for evaluating coronary artery disease: Comparison with thallium-201 emission computed tomography

玉木 長良  
米倉 義晴  
児玉 秋生  
千田 道雄  
佐治 英郎  
鳥塚 莞爾  
神原 啓文\*  
河合 忠一\*  
小西 裕\*\*  
伴 敏彦\*\*

Nagara TAMAKI  
Yoshiharu YONEKURA  
Shusei KODAMA  
Michio SENDA  
Hideo SAJI  
Kanji TORIZUKA  
Hirofumi KAMBARA\*  
Chuichi KAWAI\*  
Yutaka KONISHI\*\*  
Toshihiko BAN\*\*

## Summary

To assess myocardial perfusion in patients with coronary artery disease (CAD), N-13 ammonia positron computed tomography (PCT) was performed for 32 cases, and the PCT images were compared with those of single-photon emission computed tomography (SPECT) using thallium-201. Myocardial perfusion images were obtained with a whole-body multislice PCT device following the intravenous injection of 10 to 20 mCi N-13 ammonia at rest (32 cases) and during exercise (23 cases). Eleven cases underwent serial 15-20 second dynamic studies immediately following the N-13 ammonia injection.

1. Serial dynamic study showed the blood-pool images in the first scan, and enabled assessment of tracer washout from the blood-pool, and the lung as well as washin into the myocardium.

2. PCT provided clear resting myocardial perfusion images in all cases. PCT images were of higher quality than those of SPECT due to higher spatial resolution with less statistical noise, allowing

京都大学医学部 放射線核医学科

\*同 第三内科

\*\*同 心臓血管外科

京都市左京区聖護院 (〒606)

Departments of Radiology and Nuclear Medicine,

\*Internal Medicine, and \*\*Cardiovascular Surgery,

Kyoto University Medical School, Shogoin, Sakyo-ku,

Kyoto 606

Received for publication October 26, 1984; accepted January 10, 1985 (Ref. No. 29-K 5)

delineation of the right ventricular myocardium and papillary muscles in many cases.

3. Both PCT and SPECT detected perfusion abnormalities in 18 of the 19 cases with myocardial infarction, without false positive findings.

4. PCT yielded stress myocardial images and permitted comparative evaluations of myocardial perfusions at rest and during exercise in all 23 cases.

5. Perfusion abnormalities were detected in 14 cases (74%) at rest and in 18 cases (95%) during exercise among 19 patients with CAD. No false positives were observed, either by resting or stress PCT imaging.

6. Stress myocardial PCT identified regional perfusion abnormalities in 30 of the 34 regions supplied by stenosed vessels (88%).

7. High resolution PCT images enabled precise evaluation of myocardial perfusions which proved valuable for assessing myocardial perfusions before and after aorto-coronary bypass surgery.

The present study proved advantages of N-13 ammonia PCT in creating three-dimensional high resolution images of the myocardium, which facilitates precise evaluation of myocardial perfusions. Furthermore, its potential capabilities in quantifying coronary reserve function will be very useful. This method should provide valuable pathophysiological information for CAD, as well as for metabolic PCT imaging.

#### Key words

Positron emission tomography (PCT)

N-13 ammonia

Coronary artery disease

Thallium-201

#### はじめに

RI の体内分布を断層表示する emission CT (ECT)<sup>1)</sup> は、回転型ガンマカメラの開発と共に急速に普及するようになった。ECT は通常の  $\gamma$  線放出核種を用いる single-photon ECT (SPECT) と、陽電子放出核種を用いる positron CT (PCT) とに大別される<sup>2)</sup>。我々は以前より心臓の SPECT の有用性を報告してきた<sup>3,4)</sup>。一方、京大病院では 1983 年 4 月より全身用多層 PCT 装置が稼動し、心臓のイメージングも可能となった<sup>5)</sup>。今回は N-13 アンモニアによる心筋血流 PCT を施行し、その有用性を述べるとともに、タリウム SPECT との比較検討を行ったので報告する。

#### 対象および方法

対象は健康人 6 例および虚血性心疾患 26 例(うち心筋梗塞 19 例)の計 32 例である。このうち健康人 4 例と虚血性心疾患 19 例の計 23 例には、安静時に引き続いて、運動負荷スキャンも施行し

た。

N-13 は小型サイクロトロン (Cyprus) を用いて蒸留水に陽子を照射し、 $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$  反応で産生し、これを還元して N-13 アンモニアを製造した。静注は、pH および浸透圧を調整の後、行った。

PCT 装置は全身用多層 PCT 装置 (Positologica III) を用いた (Fig. 1)。本装置は 1 リングに BGO 検出器が 192 個、4 リングにわたり配列され、連続回転方式を利用している。計測には対向するリング (in plane) と隣接するリング (cross plane) とで各々同時計測するため、同時に 7 スライスが得られる<sup>5)</sup>。本装置の空間分解能は視野中央で 7.6 mm である<sup>6)</sup>。

被験者はまず安静仰臥位とし、心尖拍動の位置より位置決めを行い、吸収補正のための transmission scan を施行した。その後 N-13 アンモニア 10~20 mCi を肘静脈より急速注入し、11 例には同じ位置にて静注直後から 15~20 秒ごとの dynamic scan を施行した (Fig. 2)。3 分後より 5 分間の static scan を施行、さらには被験者

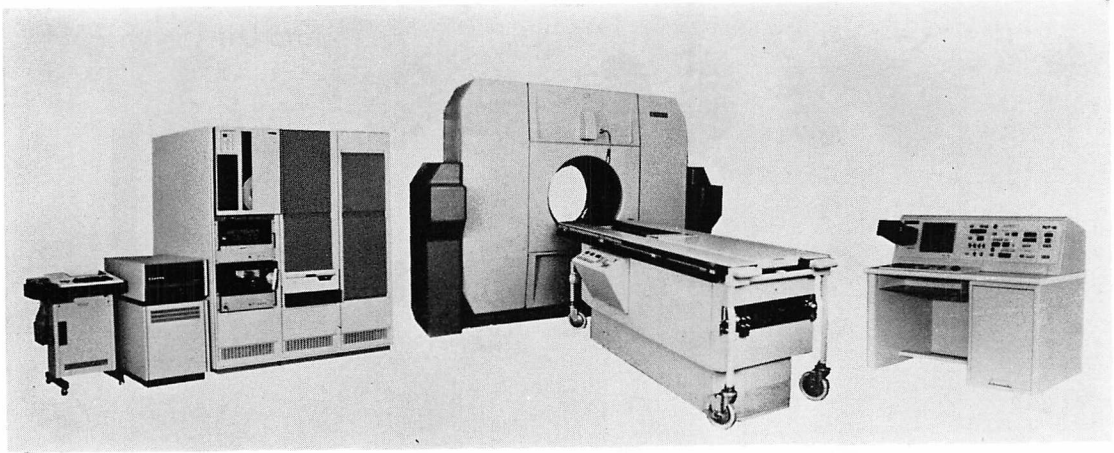


Fig. 1. A whole-body multislice positron CT device (Positologica III).

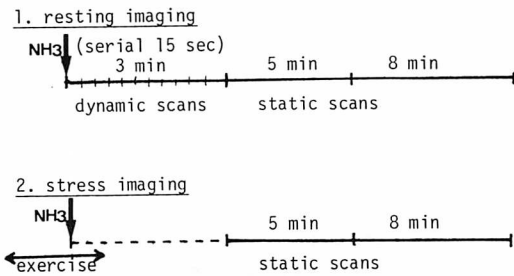


Fig. 2. Data collection in positron CT at rest and during exercise.

を奥に 8 mm ずらして、5~10 分間(通常 8 分間)の static scan を施行した。これにより 8 mm ごと連続した 14 スライスが得られた。23 例については一回目の静注より約 90 分以上経過した後、仰臥位エルゴメーターによる多段階運動負荷を行い、最大負荷時に N-13 アンモニアを静注し、負荷を約 30 秒持続させた。静注 3 分後より安静時と同様に static scan を 2 回施行した (Fig. 2)。

これらの収集データより、検出器の感度補正、体内の吸収補正を行った後、重畳積分法を用いて体軸横断層像を再構成した。再構成の画像は日立製データ処理装置 HARP に転送した。これらの画像より RI の心筋内への分布状態を視覚的に判定すると共に、運動負荷イメージについては、

circumferential profile curve を作成して、虚血の判定に利用した。

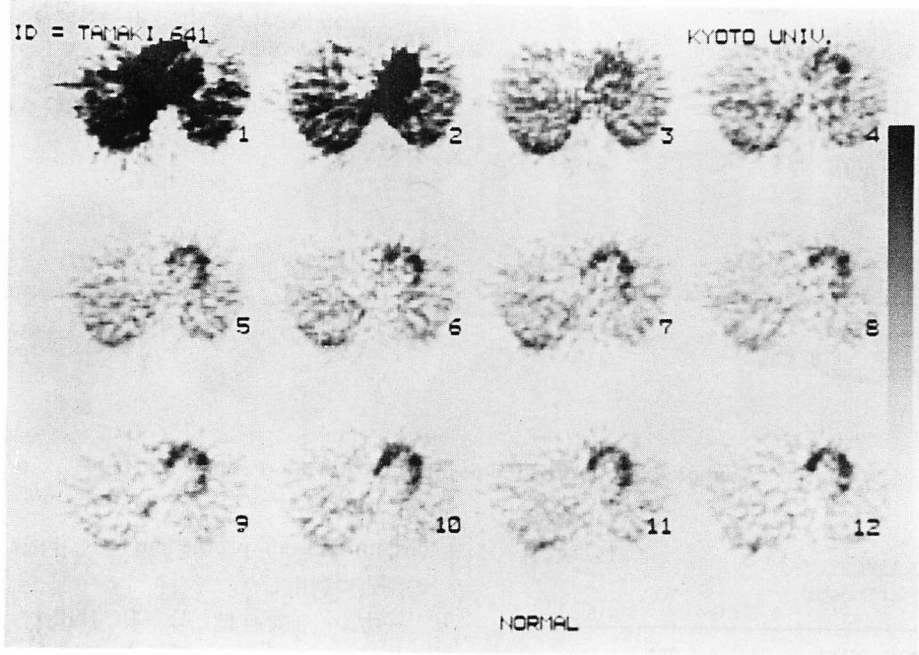
一方、一部の症例には、PCT 施行の 2 週間以内に、回転型ガンマカメラによるタリウム心筋 SPECT を施行し、同じ断面での PCT 像と SPECT 像とを対比検討した。

## 結 果

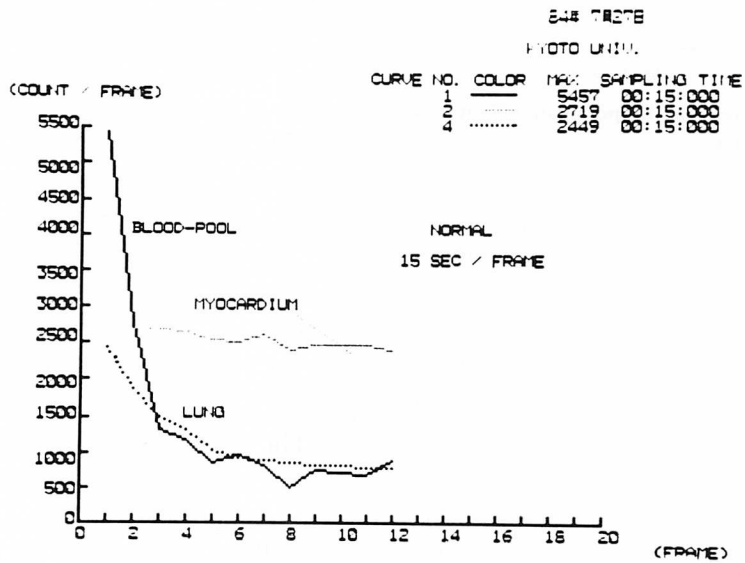
### 1. 動態画像

Fig. 3 に健常人の N-13 アンモニア静注直後より 15 秒ごとに得られた PCT 動態画像と、これらより得られた time activity curve を示す。第一スキャンにて両心室腔の血液プール像が得られ、第三スキャンから左室心筋が明瞭に描出されていた。血液、肺からの RI の排泄はすみやかで、心筋の RI 分布は早期よりピークに達していた。

Fig. 4 に前壁梗塞例の N-13 アンモニア動態画像とその time activity curve を示す。第一スキャンにて心室腔の血液プール像が得られた。肺への RI の停滞があり、特に背側肺で著しく、左室心筋は第 5~6 スキャンよりかろうじて描出されていた。同例の肺からの排泄曲線は健常例に比べ遅延しており、心筋への移行もやや緩慢であった。



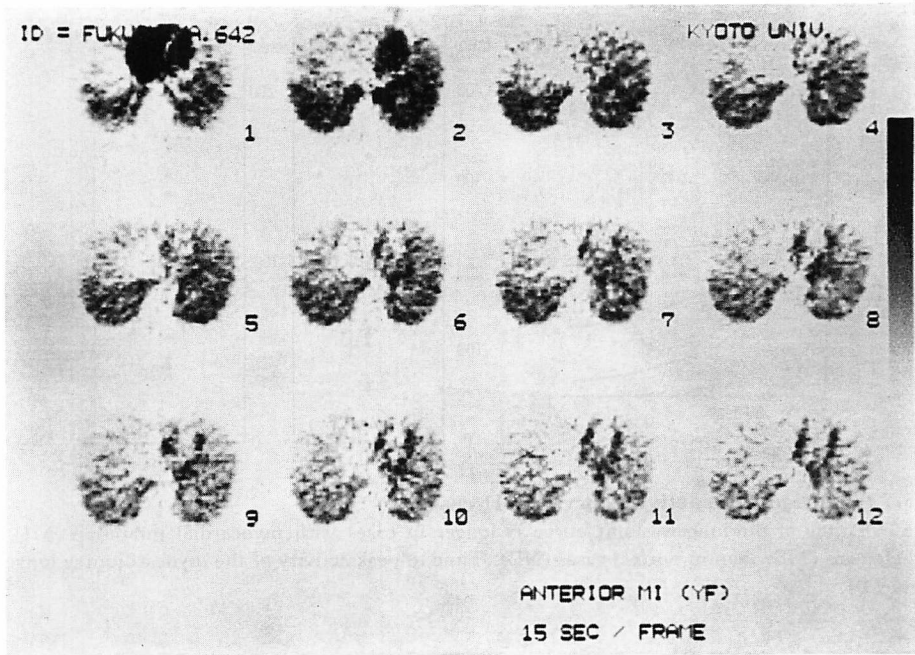
(A)



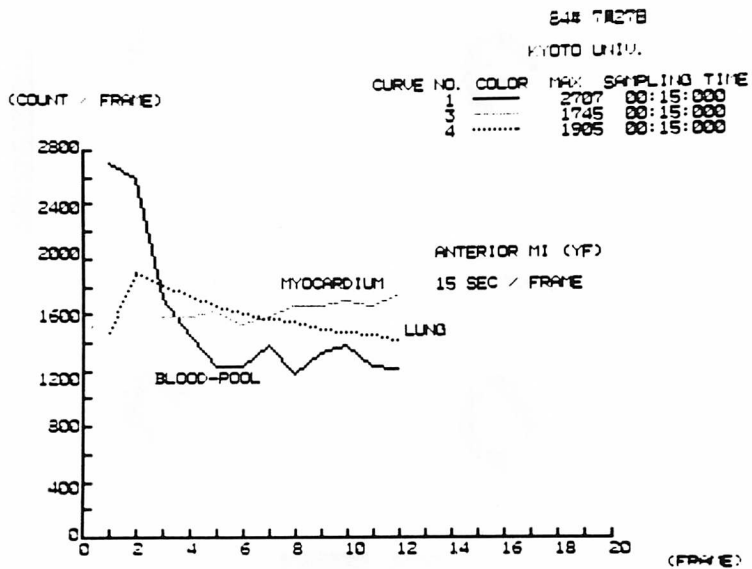
(B)

Fig. 3. Serial 15-second dynamic images (A) and the time activity curves (B) obtained from the dynamic scan following intravenous injection of N-13 ammonia in a normal case.

The ventricular blood-pool image can be obtained in the first scan. The time activity curves show a rapid tracer washout from the blood-pool and lung with early peak of the myocardial activity.



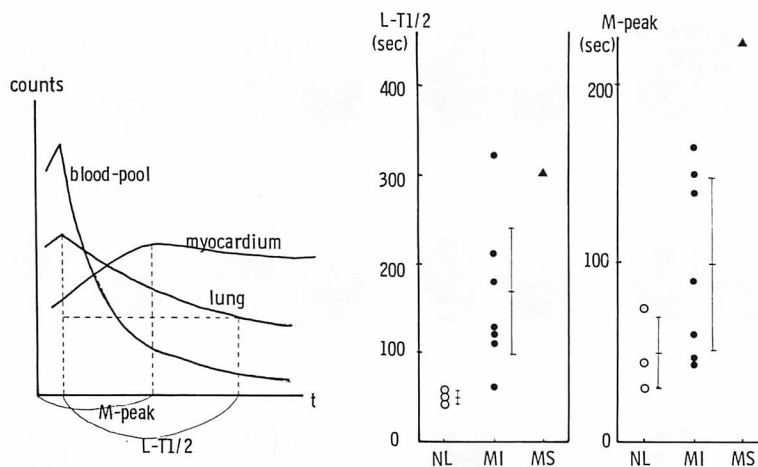
(A)



(B)

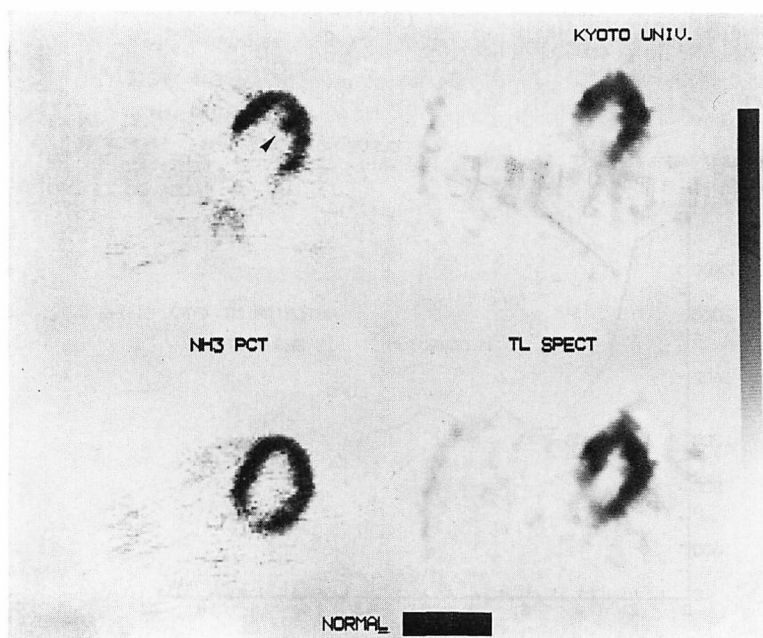
Fig. 4. Serial 15-second dynamic images (A) and the time activity curves (B) obtained from the dynamic scan in a case with anterior wall myocardial infarction.

Tracer retention in the lung is noted.



**Fig. 5. Results of time activity curves in 11 cases.**

The half time of the lung washout curve is longer in cases with myocardial infarction (MI) and mitral stenosis (MS) than in normal cases (NL). Time to peak activity of the myocardium is longer in MI and MS.



**Fig. 6. N-13 ammonia positron CT images (left) and thallium-201 single-photon emission CT images (right) in a normal case.**

The posterior papillary muscle is delineated (arrow) due to high spatial resolution positron CT images.

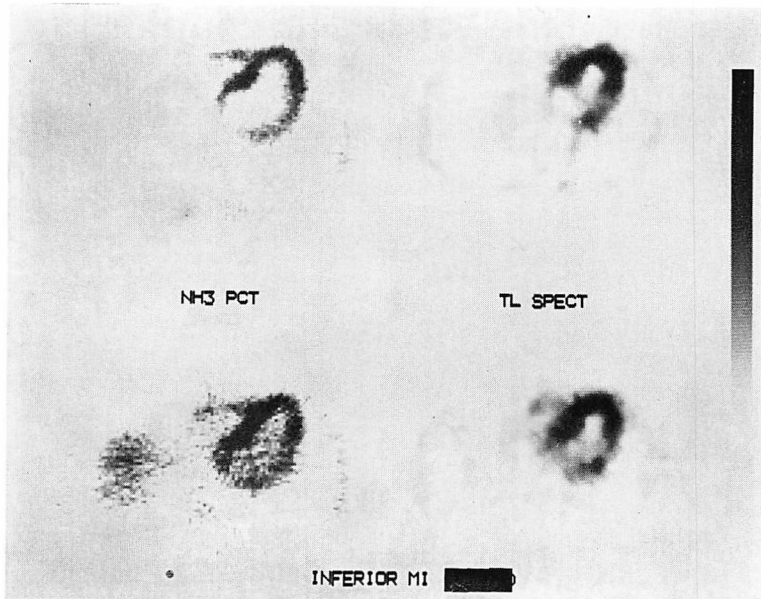


Fig. 7. N-13 ammonia positron CT images (left) and thallium-201 single-photon emission CT images (right) in a case with inferior wall myocardial infarction.

Both images show a perfusion defect in the lateral wall. Positron CT images reveal the thinner myocardium with visualization of the right ventricular myocardium.

これらの time activity curve より、肺の排泄の半減期 (L-T1/2) と心筋のカウントの最大に達するまでの時間 (M-peak) を求めた (Fig. 5). 11 例の検討では、心筋梗塞例の大部分で L-T1/2 は延長し、M-peak も長くなる傾向にあった。参考として計測した僧帽弁狭窄症の 1 例でも、L-T1/2 および M-peak は延長を示し、これらは肺うっ血を示唆する所見と考えられた。

2. 安静時血流分布像

32 例全例に左室心筋が明瞭に描出された。Fig. 6 に健常人の心筋 PCT 像と SPECT 像のほぼ同一断面を示す。両者とも左室心筋に RI が均等に分布していることが分かるが、PCT の方が分解能が高く統計ノイズも少ないため、画像が鮮明であり、後乳頭筋も描出されているのが分かる。Fig. 7 に下壁梗塞例の心筋 PCT 像と SPECT 像とを示す。両断面法とも側壁の RI 分布の低下が明らかであり、梗塞病変の検出が可能であった。PCT は分解能が高いため心筋壁が薄く描出され

Table 1. Diagnostic accuracy for detecting myocardial infarction by N-13 ammonia positron CT (PCT) and thallium single-photon emission CT (SPECT)

	Sensitivity	Specificity	Accuracy
PCT	18/19 (95%)	4/4 (100%)	22/23 (96%)
SPECT	18/19 (95%)	4/4 (100%)	22/23 (96%)

ており、安静時にも拘らず右室の描出も可能であった。ただ SPECT ではこのような横断断面だけでなく、左室短軸、長軸断面の再構成も容易に行えるため、特に下壁梗塞の病変の広がりを把握することが容易であった。

健常人 4 例および心筋梗塞 19 例の計 23 例に心筋 PCT と SPECT の両者を施行し、心筋梗塞の診断能を対比検討した (Table 1). 心筋梗塞 19 例中、心内膜下梗塞の 1 例を除いた 18 例 (95%) に、PCT および SPECT とともに RI の分布異常がみられ、病変部を検出することが可能であつ

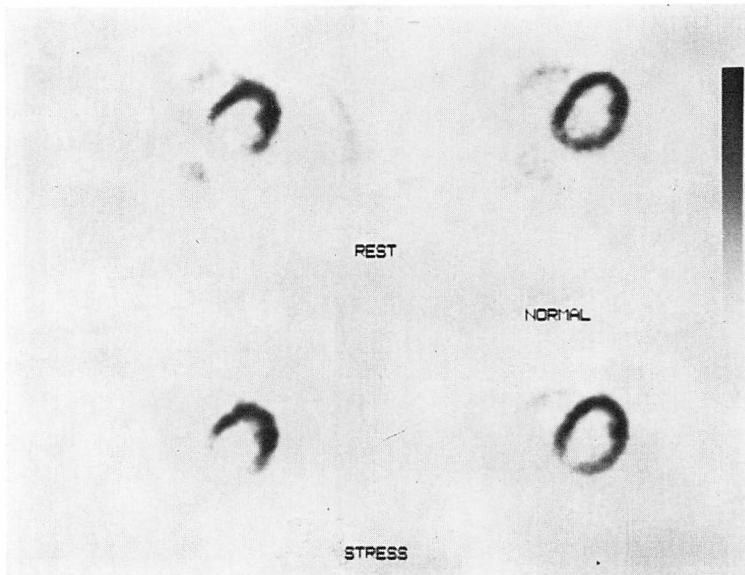


Fig. 8. N-13 ammonia positron CT images at rest (top) and during exercise (bottom) in a normal case.

Homogeneous tracer distribution is well seen both at rest and during exercise.

た. 一方健常人4例ではいずれも均等な RI 分布がみられ, false positive 例はみられなかった. したがって overall accuracy は両者とも 96% と高い値を示した. すなわち両断層法とも, 分解能の差はあるものの, 心筋梗塞の診断能は高く, 両者に差はみられなかった.

### 3. 運動負荷血流分布像

23 例全例で明瞭な左室血流分布が得られ, 安静時像との対比が可能であった. Fig. 8 に健常人の安静および運動負荷時の心筋 PCT 像を示す. 安静時, 運動負荷時ともに RI は左室心筋に均等に分布し, 局所的な血流低下は認められなかった.

Fig. 9 は心筋梗塞後に狭心症を合併した症例の安静時および運動負荷時の心筋 PCT 像である. 両者とも左室腔は拡大し, 右室も明瞭に描出されている. 安静時には前壁中隔および側壁に RI 分布の低下があり, 心筋梗塞巣と考えられた. 運動負荷時には前壁中隔から側壁にかけて著明な RI の低下がみられており, 心筋梗塞周囲の虚血病変の存在が強く示唆された. この例の同一断面の安

静時, 運動負荷時 PCT 画像から, 面積中心より放射状の線の最大カウントを 360° 方向にわたり展開し, circumferential profile curve を作成した (Fig. 10). 安静時に中隔および側壁の軽度の分布の低下があり, 運動負荷により同部の分布の低下が著しくなる様子が明瞭であった.

この運動負荷 PCT を虚血性心疾患の AC bypass 前後の評価に利用した (Fig. 11). この例では術前に安静時に前壁中隔の軽度の分布の低下があり, 運動負荷にて同部の著明な分布低下がみられ, 虚血病変と考えられる. 本例に左前下行枝の bypass を施行した後の PCT 像では, 安静時運動負荷時ともに前壁中隔の軽度分布低下があるものの, 一過性虚血巣はなく, 心筋血流の改善が認められた.

安静時および運動負荷 PCT を施行しえた 23 例の PCT の診断精度を Table 2 にまとめた. 虚血性心疾患 19 例中, 安静時 PCT にて異常を認めたのが 14 例 (74%) であった. このうち心筋梗塞の既往のある 11 例全例が異常を示したが,



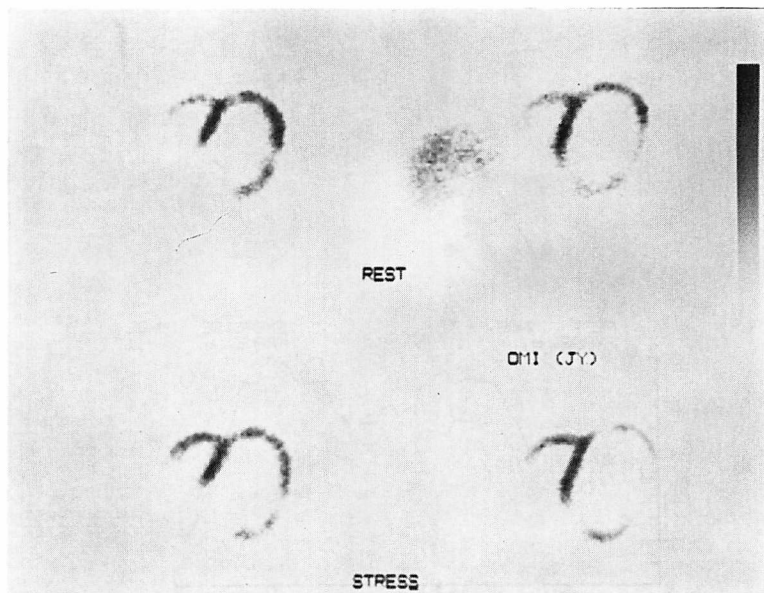


Fig. 9. N-13 ammonia positron CT images at rest (top) and during exercise (bottom) in a case with myocardial infarction.

Table 2. Diagnostic accuracy for detecting coronary artery disease (CAD) by N-13 ammonia positron CT (PCT)

	Sensitivity	
	CAD patients (19)	Diseased vessels (34)
Resting PCT	14/19 (74%)	19/34 (56%)
Stress PCT	18/19 (95%)	30/34 (88%)
	Specificity	
	No CAD cases (4)	No diseased vessels (35)
	4/4 (100%)	34/35 (97%)

梗塞の既往のない3例も異常を示した。運動負荷を加えることにより18例(95%)に異常が認められた。また罹患冠動脈の34本のうち、運動負荷PCTにて30本(88%)の異常を指摘しえた。specificityはほぼ100%を示しており、運動負荷PCTは虚血性心疾患の診断および罹患冠動脈の検出に高い診断精度を示すと考えられた。

### 考 按

PCTは種々の利点を持つ。まずその物理的特性から感度が高く、分解能も優れており、また吸収補正が正確に行えることから、RIの濃度の定量的解析が可能となる。さらには $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ といった生体構成元素の同位体がポジトロン放出核種であり、これらの標識化合物の利用により生理的、生化学的過程を追跡することが可能である<sup>2)</sup>。ただこれらの物質は半減期が短く、今回の運動負荷イメージングのように、種々の負荷を加えた再検査が容易にできる反面、その製造には医用小型サイクロトロン の 病 院 内 設 置 が 必 要 である。このためPCTは世界でも脳や心臓を中心に研究用として進められており、とりわけ全身用PCTによる心臓の研究は、ごく限られた施設で行われているにすぎない。

ここで用いたN-13アンモニアはタリウムと同様、血流分布に従って血管外に滲み出し、心筋で代謝を受けるため、心筋内に留まる。したがって

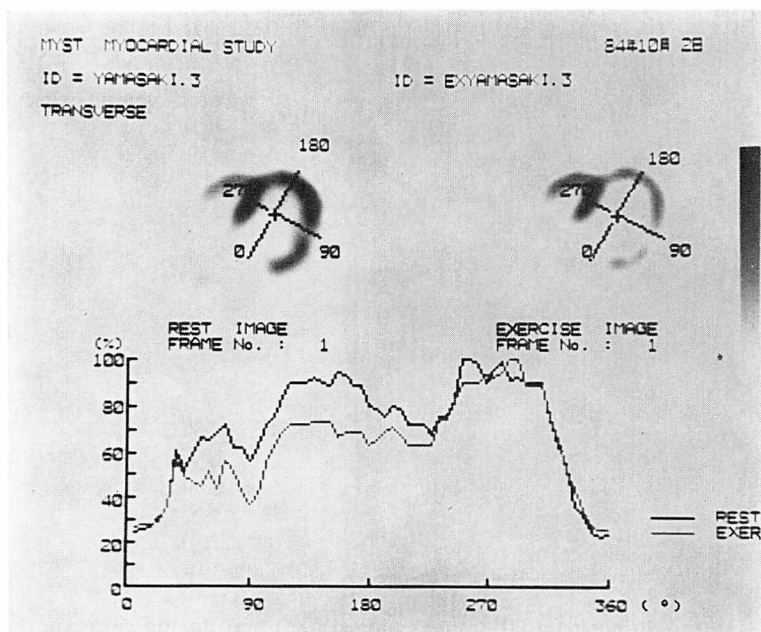


Fig. 10. Circumferential profile curves at rest and during exercise in the same case as Fig. 9.

Hypoperfusion in the apical and lateral walls seen at rest is severer during exercise, suggesting the presence of ischemia around the infarct segment.

その早期の分布は心筋血流分布を示しているといわれ<sup>7,8)</sup>, タリウムの開発以前より用いられていたが<sup>7)</sup>, PCT の開発とともに, 心筋血流イメージング製剤として広く用いられるようになった<sup>9~13)</sup>.

今回用いた全身用 PCT 装置は感度が極めて高く (回転型カメラ SPECT の約 30 倍), かつ N-13 アンモニアをタリウムの 5 倍以上投与することが可能であったため, SPECT の場合の約 100 倍のカウントを収集でき, したがって統計ノイズの少ない良好な画像が得られた<sup>14,15)</sup>. また分解能も視野の中央で 7.6 mm と, SPECT (16~18 mm) に比べて優れていた<sup>14,15)</sup>. したがって PCT の心筋画像は鮮明であり, 心筋壁は薄くかつ乳頭筋や右室の描出も可能になったものと考えられる. ただ PCT も SPECT も心筋血流分布状態を断層表示しているため, 小さな病変の検出も可能であり, 心筋梗塞の診断能はどちらも高く, 有

意な差はみられなかった. 病変の広がりを知るといいう上では, 心臓の短軸, 長軸断面も容易に再構成できる SPECT の方が有利と考えられた<sup>14,15)</sup>.

一方, PCT の高感度の利点により, 短時間の動態計測も可能となった. これにより RI の血液, 肺からの排泄や, 心筋への移行を解析することができ, とりわけ肺うっ血の評価に有用と考えられた<sup>16)</sup>. 今後このような動態計測を用いて, 種々のコンパートモデルの解析を行い, ブドウ糖や脂肪酸などの代謝過程を定量的に解析できるようになると思われる.

虚血性心疾患の評価には, このような血流イメージングに何らかの負荷を加える必要がある. Schelbert ら<sup>12)</sup>は, dipyridamole 負荷 N-13 アンモニア PCT により, 虚血性心疾患の評価を行い, 高い診断精度を得ている. われわれの運動負荷 PCT でも, 同様に高い診断精度が得られた. これらの成績は運動負荷タリウム SPECT とほ

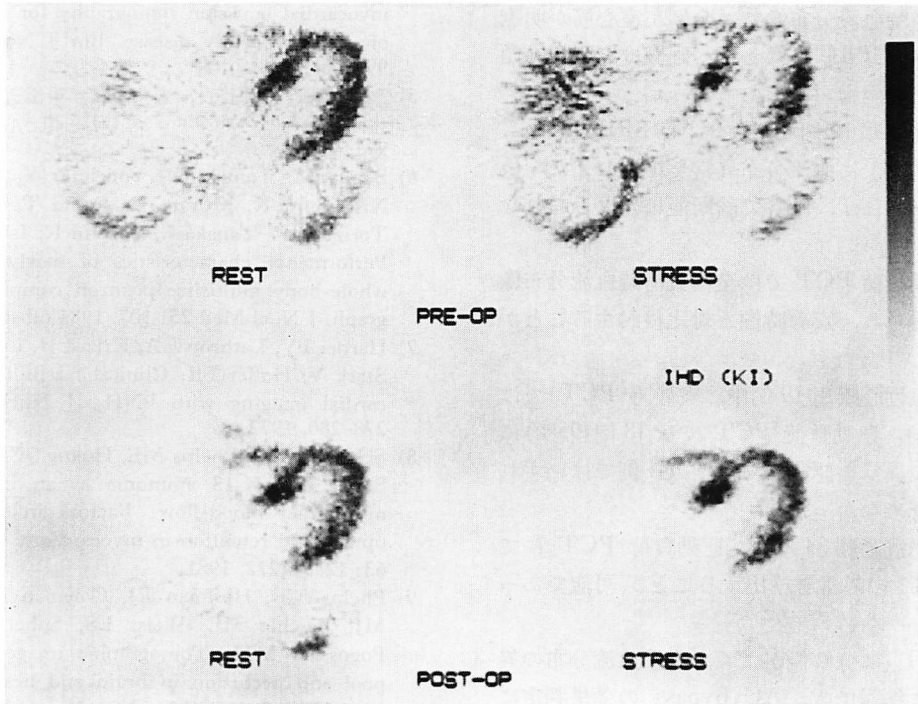


Fig. 11. Resting (left) and stress (right) positron CT images of a case with coronary disease before (top) and after (bottom) aorto-coronary bypass surgery.

ほ同等のものであった<sup>4,17,18)</sup>。これは血流分布像の断層表示により、深部の虚血病変や軽度の虚血変化をとらえることができたためと考えられる。とりわけ PCT は分解能がよいため、心筋血流分布異常を詳細に評価することができ、AC bypass などの評価に役立つものと考えられる。また PCT は定量性に優れるため、安静時から運動負荷時への局所心筋の RI 濃度の変化を定量的に解析することができ<sup>19)</sup>、冠予備能の評価を詳細に検討できるものと期待される。

ただ PCT は定量性に優れているとはいえ、心筋での RI 濃度を定量評価するには、partial volume effect<sup>20)</sup> や散乱線の補正など、解決しなくてはならない問題がある。また心筋血流量の絶対値を測定するには、N-13 アンモニアの心筋にとり込まれる率 (extraction fraction) や、心筋での N-13 アンモニアの代謝の影響が無視できず、現

時点では問題も多い<sup>8,21)</sup>。今後は PCT の定量性を生かして、種々の数字モデルの解析により、血流量や種々の代謝過程を定量的に評価されてゆくことを期待したい。

### 要 約

N-13 アンモニア心筋ポジトロン CT(PCT) を 32 例に施行し、虚血性心疾患の評価を行い、タリウム SPECT と対比検討した。N-13 アンモニア 10~20 mCi を安静時(32 例)および運動負荷時(23 例)に静注し、全身用多層 PCT 装置を用いて 3 分後より心筋血流スキャンを行った。なお 11 例には投与直後より 15~20 秒ごとの動態計測も行った。

1. 動態計測では第 1 スキャンにて血流プール像が得られ、肺や心筋への RI の移行状態を把握でき、肺うっ血の評価に有用であった。

2. 安静時血流分布像では全例左室心筋が明瞭に描出され, SPECT 像と比べ画像は鮮明で乳頭筋や右室の描出も可能であった.

3. 心筋梗塞 19 例では, PCT, SPECT ともに 18 例 (95%) に血流分布異常を検出しえた. 偽陽性例はみられず, 両者で診断能に差はみられなかった.

4. 運動負荷 PCT では全例負荷時血流分布像が明瞭に得られ, 安静時像と対比検討することができた.

5. 虚血性心疾患 19 例中, 安静時 PCT では 14 例 (74%), 運動負荷 PCT では 18 例 (95%) に血流分布の異常を認めた. 健康人 4 例ではいずれも異常を認めなかった.

6. 罹患冠動脈 34 本中, 運動負荷 PCT にて 30 本 (88%) の異常を検出することが可能であった.

7. PCT は分解能がよく, 心筋血流分布の異常を詳細に検討でき, AC bypass の効果判定にも役立った.

N-13 アンモニア PCT は, 心筋血流分布を立体表示できるだけでなく, 高い分解能の画像で表示するため, その詳細な検討が可能である. さらには定量性にも優れるため, 冠予備能の評価にも役立つと考えられる. 今後, 代謝イメージングとともに, 虚血性心疾患の病態生理の把握に有用な手法となりうると考えられる.

#### 文 献

- 1) Kuhl DE, Edwards RQ: Image separation radio-nuclide scanning. *Radiology* **80**: 653-656, 1963
- 2) Phelps ME: Emission computed tomography. *Semin Nucl Med* **7**: 3370-365, 1977
- 3) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, Yonekura Y, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Clinical evaluation of thallium-201 emission myocardial tomography using a rotating gamma camera: Comparison with seven-pinhole tomography. *J Nucl Med* **22**: 849-855, 1981
- 4) Tamaki N, Yonekura Y, Mukai T, Fujita T, Nohara R, Kadota K, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Segmental analysis of stress thallium myocardial emission tomography for localization of coronary artery disease. *Eur J Nucl Med* **9**: 99-105, 1984
- 5) 鳥塚莞爾, 玉木長良, 米倉義晴, 千田道雄, 児玉秋生, 佐治英郎: ポジトロン CT. 肺と心 **31**: 266-273, 1984
- 6) Senda M, Tamaki N, Yonekura Y, Tanada S, Nishimura K, Murata K, Fujita T, Konishi J, Torizuka K, Tanaka E, Takami K, Ishimatsu K: Performance characteristics of newly developed whole-body multislice positron computed tomograph. *J Nucl Med* **25**: 107, 1984 (abstr)
- 7) Harper PV, Lathrop KA, Krizek H, Lembares N, Stark V, Hoffer PB: Clinical feasibility of myocardial imaging with  $^{18}\text{NH}_3$ . *J Nucl Med* **13**: 278-280, 1972
- 8) Schelbert HR, Phelps ME, Huang SC, Welch M, Sobel BE: N-13 ammonia as an indicator of myocardial blood-flow: Factors influencing its uptake and retention in myocardium. *Circulation* **63**: 1259-1272, 1981
- 9) Phelps ME, Hoffman EJ, Coleman RE, Welch MJ, Raichle ME, Weiss ES, Sobel BE, Ter-Pogossian MM: Tomographic images of blood pool and perfusion in brain and heart. *J Nucl Med* **17**: 603-612, 1976
- 10) Schelbert HR, Phelps ME, Hoffman EJ, Huang SC, Sellin CE, Kuhl DE: Regional myocardial perfusion assessed with N-13 labeled ammonia and positron emission computerized axial tomography. *Am J Cardiol* **43**: 209-218, 1979
- 11) Gould KL, Schelbert HR, Phelps ME, Hoffman EJ: Noninvasive assessment of coronary artery stenosis with myocardial perfusion imaging during pharmacological vasodilation. V. Detection of 47 percent diameter coronary stenosis with intravenous nitrogen-13 ammonia and emission-computed tomography in intact dogs. *Am J Cardiol* **43**: 200-208, 1979
- 12) Schelbert HR, Wisenberg G, Phelps ME, Gould KL, Hoffman EJ, Gomes A, Kuhl DE: Non-invasive assessment of coronary stenosis by myocardial imaging during pharmacologic coronary vasodilation: VI. Detection of coronary artery disease in human beings with intravenous N-13 ammonia and positron computed tomography. *Am J Cardiol* **49**: 1197-1207, 1982
- 13) 吉田勝哉, 宇田毅彦, 山田善重, 諸岡信裕, 宿谷正毅, 増田善昭, 稲垣義明, 金子作藏, 宍戸文男, 館野之男, 山崎統四郎: ポジトロン CT による心筋梗塞診断の試み. *J. Cardiology* **13**: 797-808, 1983

- 14) Tamaki N, Yonekura Y, Senda M, Fujita T, Murata K, Tanada S, Saji H, Torizuka K: Comparative study of myocardial perfusion imaging by Tl-201 single-photon ECT and N-13 ammonia positron CT. *J Nucl Med* **25**: 6, 1984 (abstr)
- 15) 玉木長良, 千田道雄, 米倉義晴, 児玉秋生, 佐治英郎, 棚田修二, 村田喜代史, 鳥塚莞爾, 小西裕, 伴敏彦, 神原啓文, 河合忠一: N-13 アンモニアによる心筋ポジトロン CT: (第1報). タリウム ECT との対比検討. *核医学* **22**: 185-191, 1985
- 16) Tamaki N, Yonekura Y, Senda M, Kodama S, Saji H, Murata K, Tanada S, Torizuka K: Dynamic positron tomography for N-13 ammonia myocardial imaging. *Circulation* (in press) (abstr)
- 17) 玉木長良, 米倉義晴, 向井孝夫, 鳥塚莞爾, 野原隆司, 鈴木幸園, 田巻俊一, 門田和紀, 神原啓文, 河合忠一: 運動負荷タリウム心筋エミッション CT: 冠動脈造影および左室造影所見との対比. *J Cardiology* **13**: 789-796, 1983
- 18) Tamaki N, Yonekura Y, Mukai T, Kodama S, Kadota K, Kambara H, Kawai C, Torizuka K: Stress thallium-201 transaxial emission computed tomography: Quantitative versus qualitative analysis for evaluation of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* **4**: 1212-1222, 1984
- 19) 玉木長良, 米倉義晴, 千田道雄, 児玉秋生, 佐治英郎, 棚田修二, 村田喜代史, 小西裕, 伴敏彦, 神原啓文, 河合忠一, 鳥塚莞爾: N-13 アンモニアによる心筋ポジトロン CT (第3報) 運動負荷スキャンによる虚血病変の評価. *核医学* **22**: 339-345, 1985
- 20) Hoffman EJ, Huang SC, Phelps ME: Quantitation in positron emission tomography. 1. Effect of object size. *J Comp Assis Tomogr* **3**: 299-308, 1979
- 21) Bergman SR, Hack S, Tewson TJ, Welch M, Sobel BE: The dependence of accumulation of  $^{13}\text{NH}_3$  by myocardium on metabolic factors and its implications for quantitative assessment of perfusion. *Circulation* **61**: 34-43, 1980