

《原 著》

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—

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***

要旨 全身用ポジトロン CT 装置を用いて N-13 アンモニアの心筋多層ポジトロン CT (PCT) 像を作成し、その特長をタリウムシングルフォトン ECT (SPECT) と対比検討した。Derenz phantom では PCT は 2.5~3.0 mm の hot spot の描出が可能なのにに対し、SPECT では 5.0 mm がかろうじて分解できたにすぎず、PCT は分解能にすぐれていた。臨床例 11 例の安静時の検討でも PCT は高い分解能と多い収集カウントのため、SPECT に比べ画像が鮮明であり、心筋壁は薄く、乳頭筋も描出可能で、全例で右室の描出もみられた。また心筋梗塞 8 例中 2 例に肺(とりわけ背側肺)へのアンモニアの集積増加がみられ、肺うっ血の評価に有用と考えられた。一方 SPECT は、心筋が厚く描出され、右室や肺の評価には困難であった。心筋梗塞 8 例全例で PCT, SPECT ともに病変を検出すことができた。ただ SPECT は横断断層像だけでなく、任意の断層像の再構成が容易にでき、病変の広がりを把握するうえで有利と考えられた。

I. はじめに

RI の体内分布を断層表示により立体的に表わそうとする試みは、1963年の Kuhl ら¹⁾の仕事以来、X 線 CT の進歩に刺激されて近年急速に普及するようになった。このエミッション CT (ECT) 法は、通常の γ 線放出核種を利用する single photon ECT (SPECT) と、陽電子放出核種を利用するポジトロン ECT (PCT) とに大別され²⁾、われわれはタリウムを用いた心筋 SPECT について検討を加えてきた^{3, 4)}。一方昨年から京大病院に設置された全身用多断層 PCT 装置 (Positologica III)^{5, 6)} は脳、肺、心臓の多層の横断断層像が得られ⁷⁾、著者らは N-13 アンモニアによる心筋 PCT を評価する

機会を得た⁸⁾。ここでは心筋 PCT 画像を紹介するとともに、従来より行われてきた心筋 SPECT と対比検討したので報告する。

II. 対象と方法

健常人ボランティア 3 例、および臨床経過や心電図所見から診断の確定した心筋梗塞 8 例の計 11 例を選んだ。

^{13}N 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、 $^{16}\text{O} (\text{p}, \alpha) ^{13}\text{N}$ 反応で產生し、これを還元して ^{13}N -アンモニアを製造した。静注の際には pH および滲透圧を調整の後投与した。

PCT 装置は全身用多断層 PCT 装置 (Positologica III) を用いた。本装置は $12 \times 24 \times 24 \text{ mm}$ の BGO 結晶が直径 82 cm の円周に 1 リング当たり 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^{5, 6)}。計測には対向するリング (in place) と隣接するリング (cross plane) とでおのおの同時計測するため、同時に 16 mm 間隔の 7 スライスが得られる。空間分解能は半値幅で視

* 京都大学医学部放射線核医学科

** 同 心臓血管外科

*** 同 第三内科

受付：59 年 7 月 23 日

最終稿受付：59 年 10 月 9 日

別刷請求先：京都市左京区聖護院川原町 54 (番 606)

京都大学医学部放射線核医学科

玉木 長良

野中央 7.6 mm, 中央から 20 cm で 8.7 mm である^{5,6)}。

被検者を安静仰臥位とし、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、同じ位置にて静注直後より 15~20 秒の dynamic scan を施行した後、3 分後より 5 分間の static scan を施行、さらには検査台を 8 mm ずらして 5~10 分間の static scan を施行した。したがって 8 mm ごとの心筋断面が得られることになる。

これらの emission data を検出器の感度補正、体内の吸収補正、および偶発同時計数の補正の後、重畠積分法を用いて画像再構成した。再構成像のマトリックスは 256×256 であるが、データは 128×128 に圧縮して日立社製データ処理装置 HARP に転送し、種々の画像処理を行った。

一方 SPECT は全例 PCT の施行の 2 週間以内に施行した。タリウム約 2 mCi を投与後、回転

型ガンマカメラを用いて体軸の LPO から RAO まで 180° 回転させ、5.6° ごと 32 方向からデータ収集した^{3,4)}。なお撮像は、PCT と比較するため安静時投与か、運動負荷後 2 時間以上経過した再分布時とした。画像再構成には重畠積分法を用い、6 mm 間隔ごとの横断断層像を得た。この際吸収補正是行わなかった。さらには心臓の軸に沿った短軸・長軸断層像も再構成した^{3,4)}。

PCT と SPECT の比較はまず直径 20 cm の円筒型の hot spot ファントム (Derenzo phantom) を用い、画像の分解能を評価した。このファントムには直径 2.5 mm, 3.0 mm, 3.5 mm, 4.0 mm, 5.0 mm および 6.25 mm の hot spot がおのおの直径の 4 倍の距離をおいて並べられている。PCT では⁶⁸Ga を、SPECT では^{99m}Tc を封入し、おのおの 1 スライス当たり 1,000 万カウント以上収集した。被験者の ECT 像は、ほぼ同じ断面と思われる横断断層像を並べてその画質を評価するとともに、おのおの得られた多層断面より病変の検出

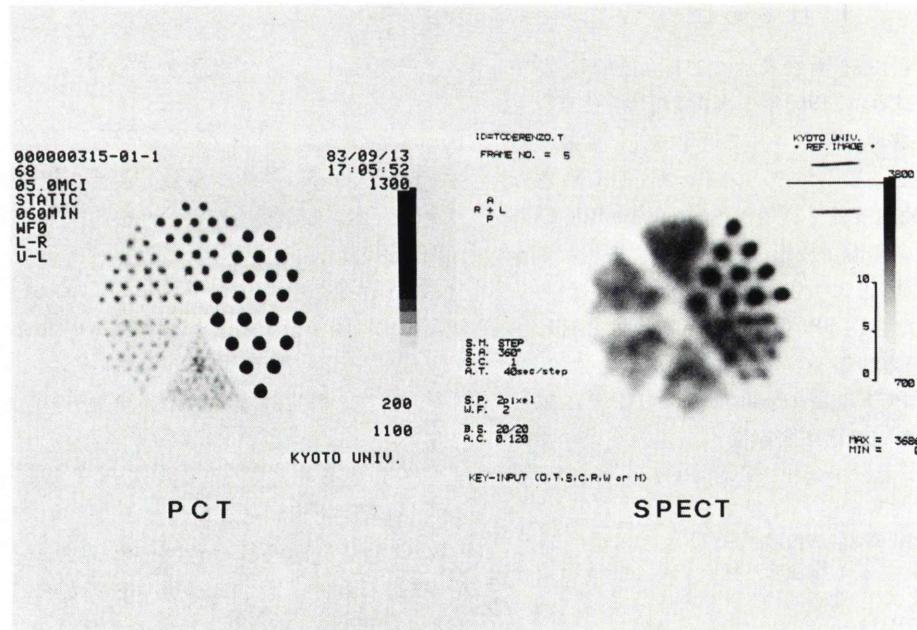


Fig. 1 Hot spot phantom (Derenzo phantom) images by positron CT (PCT) (left) and by single photon emission CT (SPECT) (right). (Diameter of the hot spots: 2.5 mm; 3.0 mm; 3.5 mm; 4.0 mm; 5.0 mm; and 6.25 mm) This phantom study indicates remarkable difference in spatial resolution between PCT and SPECT.

能につき検討を加えた。なお収集されたカウントは、1スライス当たりPCTで300~1,200万カウント、SPECTで10~25万カウントであった。

III. 結 果

基礎検討としてDerenzzo phantomのPCT、SPECT像を作成した(Fig. 1)。PCTでは3.0 mmのhot spotが明瞭に描出され、2.5 mmのhot spotもほぼ分解可能であった。一方SPECTではかろうじて5.0 mmのhot spotを分解できたにすぎず、両者の分解能の差はれき然としていた。

Figure 2に健常人の心筋PCT像とSPECT像を示す。ほぼ同じ位置の断面を示しているが、PCTでは上方のスライスで後乳頭筋が明瞭に描出されている。一方SPECTでは、同部は局所的なタリウム分布の増加として描出されている。PCT像は空間分解能が高いため、心筋の壁は比較的薄く、より鮮明に描出されている。また淡く右室も描出されているが、SPECTでは描出されなかった。

Figure 3に下壁梗塞例の心筋PCT像とSPECT像を示す。PCTの上方のスライスでは前乳頭筋の一部が描出され、右室の描出も明瞭である。PCTでは側壁から後壁にかけての分布の低下が明らかであったが、SPECTでも同部位に明瞭な欠損を描出した。前例と同様PCT像では心筋はSPECT像よりも薄く鮮明に描出されていた。

Figure 4は広範囲前壁梗塞例の心筋PCT像とSPECT像を示す。両者とも前壁中隔から心尖部に大きな欠損がみられ、左室拡大を呈し心筋が希薄化している様子がよくわかる。PCTでは肺のとり込みの増加がみられ、肺うつ血が示唆されるが、その傾向は背側に著しいことがわかる。SPECTではバックグラウンドがやや高いのみで、肺へのRIのとり込みについては評価できなかった。

11例のPCTおよびSPECT上の所見をTable 1にまとめた。健常人では左室心筋へのほぼ均等な分布がみられ、分布の低下はみられなかった。心筋梗塞8例ではいずれもPCT、SPECTで欠損が認められ、病変の検出能に差はみられなかった。

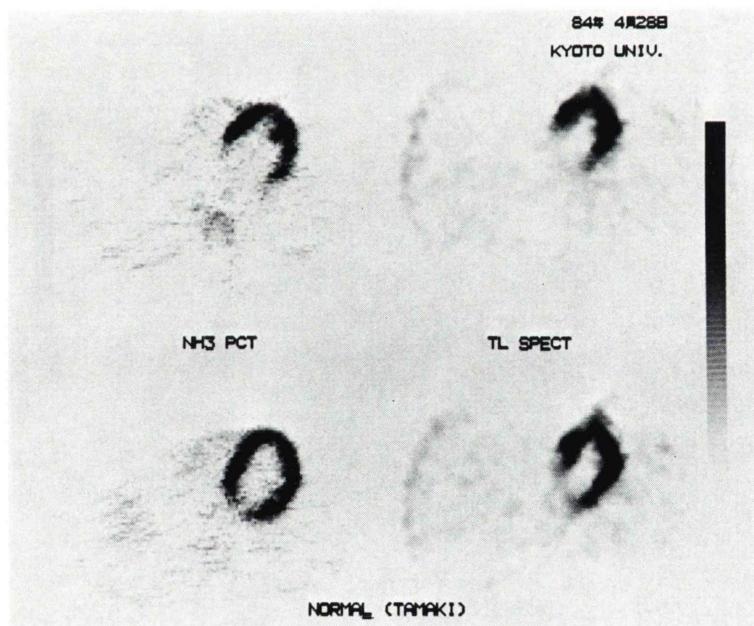


Fig. 2 N-13 ammonia PCT (left) and thallium-201 SPECT (right) images of a normal case (Case 2). PCT delineated the posterior papillary muscle clearly, while SPECT showed increased uptake in the same region.

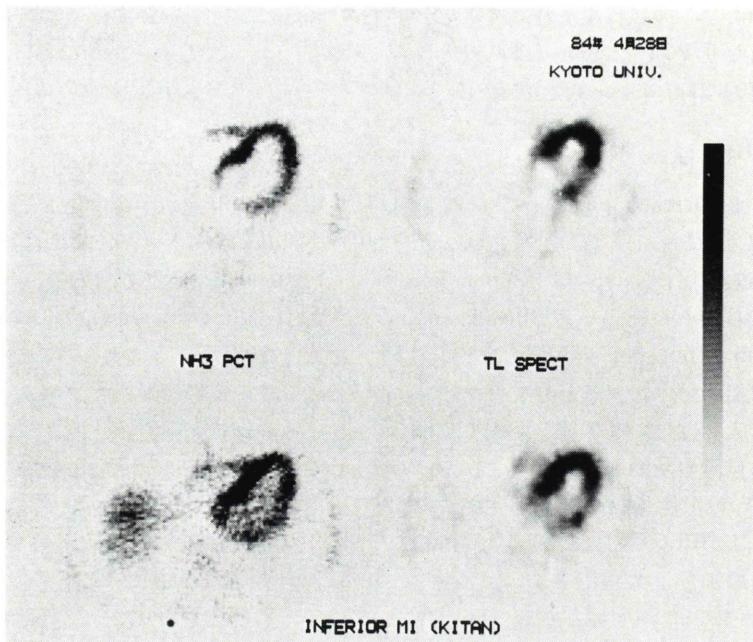


Fig. 3 N-13 ammonia PCT (left) and thallium-201 SPECT (right) images of a case with inferior myocardial infarction (Case 4). Perfusion defect was delineated in postero-lateral wall by both PCT and SPECT, however, PCT showed thinner myocardium with significant right ventricular activity.

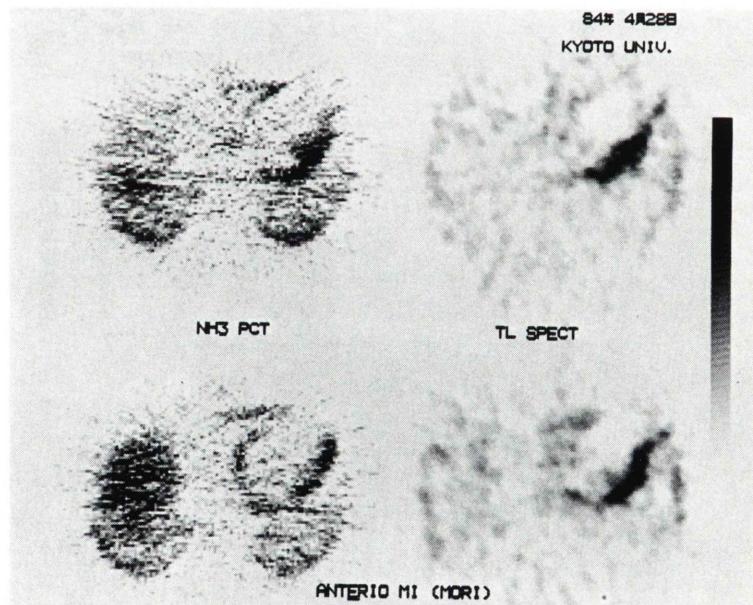


Fig. 4 N-13 ammonia PCT (left) and thallium-201 SPECT (right) images of a case with broad anterior myocardial infarction (Case 5). Large perfusion defect in septal and apical regions clearly by both PCT and SPECT. Increased lung uptake was visualized by PCT.

Table 1 Results of PCT and SPECT myocardial images in 11 cases

Case No.	Age	Diagnosis	PCT findings	SPECT findings
1	35	normal	normal	normal
2	31	normal	normal	normal
3	58	normal	normal	normal
4	52	MI (inf)	lat defect	lat, inf defects
5	50	MI (ant)	ant defect lung uptake	ant defect
6	52	MI (ant, inf)	sept, ap, post defects	ap, post defects
7	48	MI (inf)	lat defect	lat defect
8	59	MI (ant)	ap defect	ap defect
9	67	MI (subendo)	lat defect	lat defect
10	56	MI (ant, inf)	ant, postlat defects lung uptake	ant, postlat defects
11	66	MI (inf)	postsep defect	postsep, inf defects

MI=myocardial infarction; ant=anterior; inf=inferior; lat=lateral; sep=septal; ap=apical; subendo=subendocardial

ただし PCT では横断断層像のみしか得られないのに対し、SPECT では左室短軸・長軸断面など任意の断面が得られるため、病変の位置と広がりを把握するのは容易であった。PCT ではいずれの症例でも右室の描出が認められ、また心筋梗塞の 8 例中 2 例に肺へのとり込みの増加がみられ、肺うつ血の評価に役立つと考えられた。

IV. 考 察

N-13 アンモニアによる心筋イメージングはタリウムよりも古く、1972年の Harper⁹⁾らの報告にさかのぼるが、実際に PCT として断層表示されたのは1976年 Phelp らの報告¹⁰⁾以来である。その後も N-13 アンモニアを用いた PCT の検討がなされているが^{11~14)}、現在通常に行われているタリウム心筋シンチグラフィーと対比検討した報告はない。著者らは RI の心筋内分布を断層表示する SPECT の有用性を検討してきたが^{3,4)}、ここでは N-13 アンモニア PCT の画像を SPECT の画像と対比することにより、それぞれの有用性と問題点を検討し、いくつかの興味ある知見を得た。

まず PCT 画像は空間分解能が良い。著者らの用いた Positologica III の空間分解能は、視野の中心で 7.6 mm, 20 cm 離れた部位で 8.7 mm であり⁵⁾、SPECT の分解能の 17 mm 程度³⁾に比べると明らかにすぐれている¹⁵⁾。したがって Derenzo

phantom でも hot spot の分解能の著明な差として表われ、また臨床例でも PCT では鮮明な心筋画像が得られたものと考えられる。分解能の差は partial volume effect の差としても表われる。心筋のように壁の薄い部位では、実際のカウントよりもみかけ上は少なく表現される。この効果は壁が薄いところほど著しいが、分解能の低い SPECT ほど心筋の厚みの影響を受けやすい¹⁵⁾。Fig. 1 でみられた左室乳頭筋は、PCT では分解できたが、SPECT では重なってみられ、みかけ上分布の増加として表われたのは、この効果のためと考えられる。さらには SPECT では右室が描出されないのは、右室の血流が左室より少ないとされることながら、右室の壁が薄いために分布のみかけ上の低下として表現されたと考えられる。他方、分解能の高い PCT では、安静時のスキャンにもかかわらず、全例右室の描出が可能となった。

PCT で鮮明な心筋画像が得られたもうひとつの理由は、収集のカウントの差である。SPECT では同時計数回路を用いた、いわば電気的コリメーションを用いているため、感度が高くなる²⁾。ちなみに感度は PCT で 34 kcps/ $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$ ⁵⁾ で、SPECT の約30倍をもつ¹⁵⁾。また N-13 アンモニアは短半減期のため被曝線量も少なく、タリウムの約 5~10 倍投与できる。実際に収集されたカウントは、PCT で 5~10 分収集と短いにもかかわ

らす、SPECT の30~100倍も得られた¹⁵⁾。したがって統計ノイズの少ない画像が得られるのは当然である。

PCT では肺や肝など心筋の周囲の RI 分布もみられ、肺うっ血の有無の評価が可能であったが、SPECT では評価不十分であった。SPECT においては心筋および病変部のコントラストを高めるために、心筋の後方のデータを除去した 180° 収集法を用いている¹⁶⁾。したがって深部や背面の情報は、感度が極端に低下してしまう。また γ 線の吸収補正も行っていないため、深部の情報は得られにくいものと考えられる。この点 PCT は対向する γ 線の同時計測を行うため、正確な吸収補正が可能であり、肺や心筋のカウントの定量的評価も可能と考えられる。

病変の検出能については、今回の11例の検討では PCT, SPECT ともに差はなく、心筋梗塞 8 例全例で病変部が明瞭に描出された。これは断層表示法によりほとんどすべての局所性病変を検出しうるためと考えられる。ただし SPECT は短軸・長軸断面の再構成が容易であるのに対し、X, Y, Z 軸の matrix size の異なる PCT では必ずしも容易ではない。特に下壁に限局した病変等の検出や広がりの把握には、横断断層像のみでは不十分であり、今後任意断面の再構成の開発が望まれるところである¹⁷⁾。

一方 SPECT の欠点のひとつは、カウント不足による画像の劣化である。タリウムは大量投与ができず、また放出エネルギーも低いため、ECT にはあまり適した RI とはいえない。現在米国では ^{99m}Tc 標識の心筋血流イメージング製剤が開発中であり^{18,19)}、これらの大量投与により、SPECT の大幅な画像の改善が望まれる。ただし空間分解能では大幅な差があり、かつ正確な吸収補正是困難なため、SPECT での定量的評価には十分注意を要すると考えられる。

V. まとめ

全身用ポジトロン CT(PCT)装置を用いて N-13 アンモニア心筋 PCT 像を作成し、同時期に施行

した回転型ガンマカメラによるタリウム ECT (SPECT) と対比検討した。

- 1) PCT では空間分解能が高く、乳頭筋や右室の描出が可能であった。
- 2) PCT は肺の集積増加の評価も可能で、肺うっ血の有無の判定に役立った。
- 3) 心筋梗塞例での病変の検出能は PCT, SPECT とで差はなく、どちらもすぐれていた。
- 4) SPECT は横断断層像だけでなく、短軸・長軸などの任意の断面が容易に再構成でき、病変の広がりを知る上で有用であった。

文 献

- 1) Kuhl DE, Edwards RQ: Image separation radionuclide scanning. Radiology **80**: 653, 1963
- 2) Goodwin PN: Recent developments in instrumentation for emission computed tomography. Semin Nucl Med **10**: 322-334, 1980
- 3) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al: 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, et al: Segmental analysis of stress thallium myocardial emission tomography for localization of coronary artery disease. Eur J Nucl Med **9**: 99-105, 1984
- 5) Senda M, Tamaki N, Yonekura Y, et al: Performance characteristics of newly developed whole-body multislice positron computed tomograph. J Nucl Med **25**: P 107, 1984
- 6) Takami K, Ueda K, Okajima K, et al: Performance study of whole-body, multislice positron computed tomograph—Positologica—. IEEE Trans Nucl Sci **NS-30**: 734-738, 1983
- 7) 鳥塚莞爾, 森田陸司, 米倉義晴, 他: ポジトロン CT 映像法と代謝情報. 日本臨床 **41**: 330-346, 1983
- 8) 鳥塚莞爾, 玉木長良, 米倉義晴, 他: ポジトロン CT. 肺と心 **31**: 258-265, 1984
- 9) Harper PV, Lathro KA, Krizek H, et al: Clinical feasibility of myocardial imaging with NH₃. J Nucl Med **13**: 278-280, 1972
- 10) Phelps ME, Hoffman EJ, Coleman RE, et al: Tomographic images of blood pool and perfusion in brain and heart. J Nucl Med **17**: 903-912, 1976
- 11) Schelbert HR, Phelps ME, Hoffman EJ, et al: Regional myocardial perfusion assessment with N-13 labeled ammonia and positron emission com-

- puterized axial tomography. Am J Cardiol **43**: 209–218, 1979
- 12) Schelbert HR, Wisenberg G, Gomes A, et al: Noninvasive 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, 今井均, 宿谷正毅, 他: ポジトロン CT による $^{13}\text{NH}_3$ 静注後の体内動態の研究. 呼吸と循環 **32**: 741–746, 1984
- 14) 宮戸文男, 舘野之男, 吉田勝哉, 他: $^{13}\text{NH}_3$ による心筋ポジトロン CT イメージングの心筋梗塞診断への応用—Positologica II による経時的イメージと多断層イメージ—. 核医学 **21**: 799–804, 1984
- 15) Tamaki N, Yonekura Y, Senda M, et al: Comparative study of myocardial perfusion imaging by Tl-201 single-photon ECT and N-13 ammonia positron CT. J Nucl Med **25**: P 6, 1984
- 16) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al: Comparative study of thallium emission myocardial tomography with 180° and 360° data collection. J Nucl Med **23**: 661–666, 1982
- 17) Terpogosian MM, Klein MS, Markham J, et al: Regional assessment of myocardial metabolic integrity in vivo by positron-emission tomography with ^{11}C -labeled palmitate. Circulation **61**: 242, 1980
- 18) Nishiyama H, Deutsch E, Adolph RA, et al: Basal kinetic studies of Tc-99m DMPE as a myocardial imaging agent in the dog. J Nucl Med **23**: 1093–1101, 1982
- 19) Dean RT, Adam MD, Miller FW, et al: Synthesis, characterization and identification of the hexakis Tc-99m technetium. (I) Cation as a myocardial imaging agent. J Nucl Med **25**: P 15, 1984

Summary

N-13 Ammonia Myocardial Positron Computed Tomography —(1) Comparative Study with Thallium-201 SPECT—

Nagara TAMAKI*, Michio SENDA*, Yoshiharu YONEKURA*, Shusei KODAMA*, Hideo SAJI*, Shuji TANADA*, Kiyoshi MURATA*, Kanji TORIZUKA*, Yutaka KONISHI**, Toshihiko BAN**, Hirofumi KAMBARA*** and Chuichi KAWAI***

*Department of Radiology and Nuclear Medicine, **Department of Cardiovascular Surgery,
***Department of Internal Medicine, Kyoto University Medical School

Myocardial positron computed tomography (PCT) was obtained in 11 cases and the images were compared with thallium-201 single-photon emission computed tomography (SPECT). The myocardial PCT was performed at rest after 10–20 mCi of N-13 labeled ammonia injection using whole-body multislice PCT device (Positologica III).

The PCT clearly delineated 2.5–3.0 mm hot spots while the SPECT barely showed 5.0 mm hot spots of Derenzo phantom. The myocardial images looked better in PCT because of the better spatial resolution and count statistics. The myocardium looked thinner and the papillary muscle was visualized by PCT. The PCT also showed the right

ventricle in each case. Furthermore, PCT detected increased lung uptake of ammonia in 2 of the 8 cases with myocardial infarction, suggesting presence of pulmonary congestion. Perfusion defect was clearly seen by PCT as well as SPECT. However, the cardiac short-axis and long-axis sections which were easily obtained by SPECT were useful for the localization of the lesion.

We conclude that both PCT and SPECT were valuable for the assessment of coronary artery disease.

Key words: Positron tomography, N-13 ammonia, Myocardium, Thallium-201, Commission CT.