

《原 著》

四肢動脈閉塞性疾患における RI 動態検査

大 島 純 男*

1. 緒 言

四肢動脈閉塞性症の診断において、血管造影法は動脈の閉塞部位を明らかにし、診断および手術適応の判定に意義を有することはいうまでもない。

しかしそれは血流導管である動脈の閉塞状態の一断面を映像化するもので、その動脈によって養われる組織の循環動態まで描出することはできない。たとえば、四肢動脈の慢性閉塞性症の特徴的症候である間歇性跛行の病態を明らかにするには、四肢筋の組織レベルでの循環動態を検討しなければならない。

ここで報告する^{99m}Tc-pertechnetate(以下^{99m}Tc)を使用した動態検査法は、四肢動脈閉塞性症における乏血組織の循環動態を機能的に診断することをその目的としている。

2. 動 物 実 験

2-1. 実験材料および方法

実験材料には、10kg前後の雑種成犬を用い Thiamylal Sodium 30mg/kg を腹腔内注入後臥位で固定した。動注法の場合は外径 0.55 mm の針で大腿動脈を直接穿刺し、^{99m}Tc を約 1.5 mCi (0.5cc) 反応性充血なしまたは反応性充血後に

one shot として注入した。静注法の場合には、肘静脈または外頸静脈より外径 1.2 mm のテフロン針を挿入後、^{99m}Tc 約 3.5 mCi (1 cc) を反応性充血なしまたは反応性充血後に注入し三方活栓の他方から生理食塩水で flush した。反応性充血を起こす操作としては、血流を完全に遮断するまで大腿部を強く阻血し、同時に 2 分間足関節の屈伸運動を与えた。圧をゆるめると反応性充血の状態となる。

注入された^{99m}Tc の放射活性は体表計測用 NaI (Tl) クリスタル付シンチレーションカウンターで測定し、経時的に記録した。コリメーターは直径 1 インチを各両側下腿の皮膚面に位置しておく。Time-activity curve (放射活性曲線) の記録条件は、time constant 1.0 秒、speed 125 cm/分とした。計数率は 1 秒間に 10×10^3 カウントとした。

2-2. 実験結果

正常な犬の大腿動脈から、反応性充血なしに^{99m}Tc を動注した際の time-activity curve は Fig. 1 の上方のごとくである。注射直後に著明な放射活性のピークが出現し、以後徐々に下降する。反応性充血後に動注した場合もほぼ同様 pattern を示した。次に頭側大腿動脈を分枝した末梢を結紮後反応性充血なしに大腿動脈から^{99m}Tc を動注した際の curve は、Fig. 1 の下方のごとくでありピークを認めず正常な場合の curve と明らかに異なる。同部位を結紮後、反応性充血後に大腿動脈より動注した際の curve は反応性充血を行なわない場合とほぼ同様であった。

正常な犬で反応性充血に^{99m}Tc を静注した際の time-activity curve は、Fig. 2 の上方のごとくで

* 名古屋大学医学部放射線医学教室

* 現：筑波大学臨床医学系放射線部

受付：52年1月27日

最終稿受付：52年3月4日

別刷請求先：茨城県新治郡桜村（〒300-31）

筑波大学臨床医学系放射線部

大島 純 男

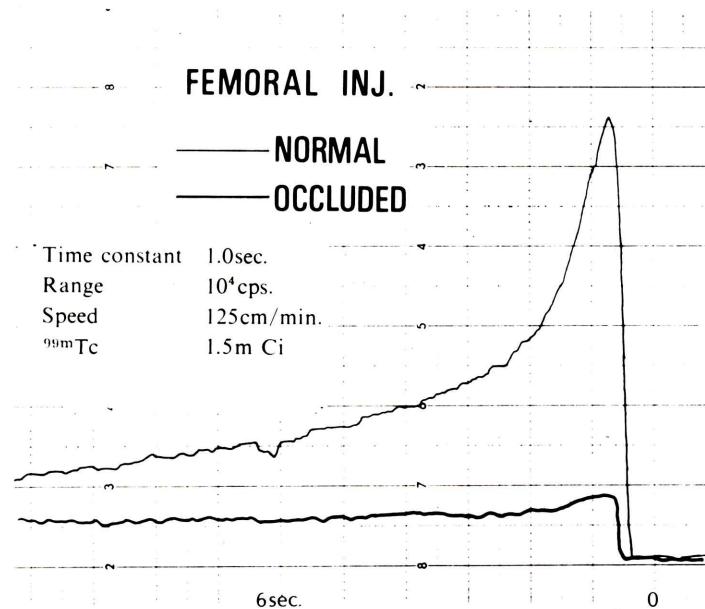


Fig. 1 Upper: Time-activity curve of the hind leg of a normal dog following injection of ^{99m}Tc-pertechnetate into the femoral artery. The curve shows a marked peak and descends gradually downwards.
Lower: Time-activity curve of the hind leg of a dog with occlusion of the femoral artery below the origin of the cranial femoral artery, following injection of ^{99m}Tc-pertechnetate into the femoral artery. The curve shows the absence of a peak.

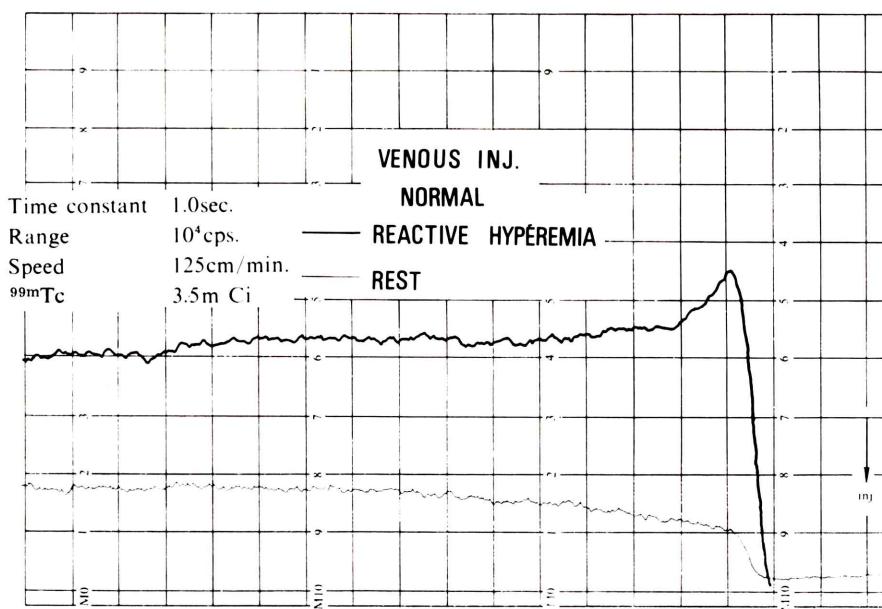


Fig. 2 Time-activity curves of the hind leg of a normal dog following injection of ^{99m}Tc-pertechnetate into the antecubital vein. The upper curve with reactive hyperemia shows a peak; the lower without reactive hyperemia shows the absence of a peak.

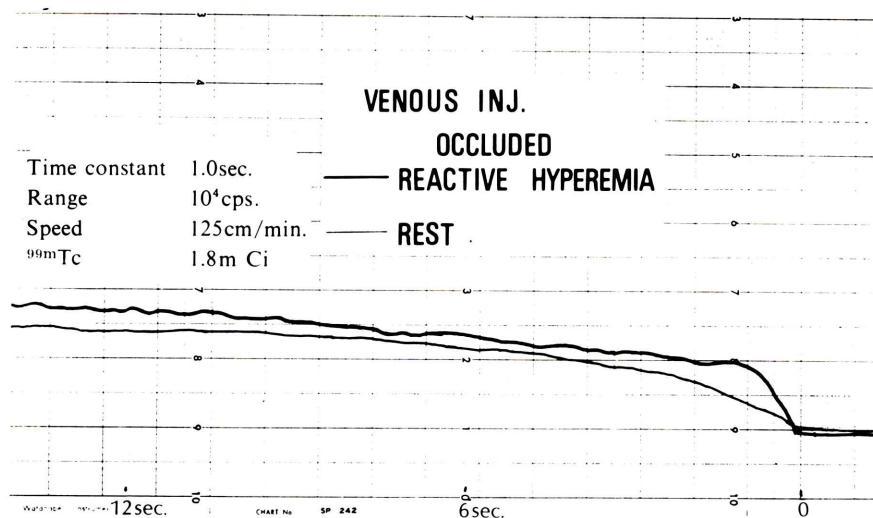


Fig. 3 Time-activity curves of the hind leg of a dog with occlusion of the femoral artery below the origin of the cranial femoral artery following injecting of ^{99m}Tc -pertechnetate into the vein, with reactive hyperemia (the upper curve) and without reactive hyperemia (the lower curve). Both curves show gradual upward slope.

あり注射後約10秒後にピーク値を示し以後下行し平衡に達する。反応性充血なしに静注した場合はFig. 2 の下方のごとくであり、ピークを認めず徐々に上昇する curve を示す。

頭側大腿動脈を分枝した末梢を結紩後、反応性充血後に ^{99m}Tc を静注した場合の curve は Fig. 3 の上方のごとくであり、ピークを認めず徐々に上昇する curve を示した。同部位を結紩後、反応性充血なしに静注した場合もほぼ同様 pattern を示した (Fig. 3 の下方)。

2-3. 小括

大腿動脈より ^{99m}Tc を動注すれば反応性を利用することなしに正常と閉塞ある場合とを鑑別できる。しかしこの方法は大腿動脈より中枢すなわち腸骨動脈等に閉塞性病変がある場合には適さない。

一方静注法の場合には、四肢に反応性充血を起こさせて ^{99m}Tc を投与してその放射活性の動態をみるのは正常肢を動脈閉塞肢とを鑑別して四肢の機能的診断をするために不可欠である (Fig. 2, 3)。正常肢にみられるピークは反応性充血時における主幹動脈内に強い放射活性をもつボーラスが通過

することを意味し、主幹動脈が開存していることを示唆するものと思われる。これに反しピークを欠くゆるやかな上昇カーブは、反応性充血を起こしても主幹動脈に閉塞があるため側副路を介して放射活性が徐々に運ばれることを示唆するものと考えられる。

3. 臨床

3-1. 対象と方法

バージャー病 24 例、閉塞性動脈硬化症 13 例、

Table 1 Summary of Subject Material

Disease	No. of patients	No. of examined extremities
Buerger's disease	24	64
Arteriosclerosis obliterans	13	36
Raynaud's phenomenon	4	8
Venous thrombosis	5	12
Neuropathy	3	6
Miscellaneous	3	10
Total	52	136

下肢静脈血栓症5例、レーノー病4例、血管神経症3例、その他3例、計52例、136肢を対象とした(Table 1)。

下肢を検査する場合には腹臥位にし、ガンマカメラは両側下腿の皮膚から20cm上に置いた(Fig. 4の(i))。足を検査する場合には背臥位にし、ガンマカメラは両足背に平行に皮膚から20cm上に置いた(Fig. 4の(ii))。また特に足指を検査する場合には、同様に背臥位とするがガンマカメラは足底に接して置いた(Fig. 4の(iii))。手を検査する場合にはガンマカメラのヘッドを上向きにし、

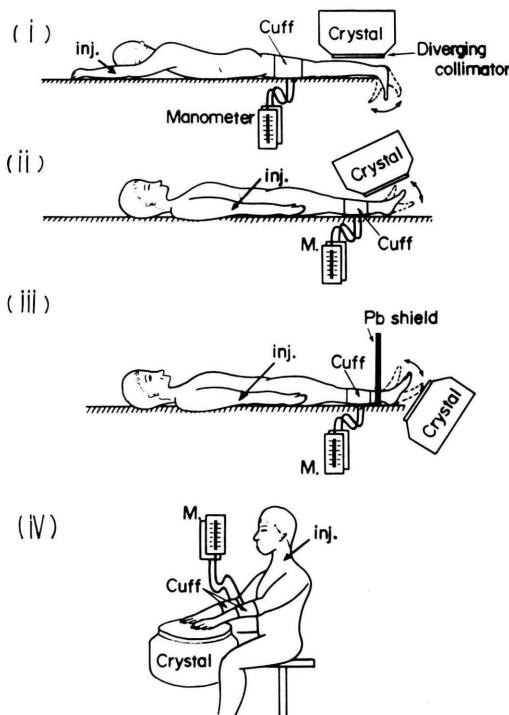


Fig. 4 The diagram shows the methods of examination. When studying legs, the patient lies face down, and the detector of the gamma camera is placed over the calves of both legs. A cuff is applied to each thigh, and the manometric pressure is raised 50 mmHg above the systolic pressure. Ischemia is maintained for two minutes of active muscular exercise of his feet. This results in a state of maximum hyperemia after releasing the cuff pressure. The same method may be used in examining the hands and feet.

発泡スチロールで作った鋳型をその上に敷き、両手をその中に置いた(Fig. 4の(iv))。また、いずれの場合もダイバージングコリメーターを使用した。

反応性充血の操作：下腿を検査する場合には大腿部を、足を検査する場合には下腿を、手を検査する場合には前腕を、それぞれcuffで巻き収縮期圧の少なくとも50mmHg以上とした。同時に前肘静脈の内側に外径1.6mmのテフロン針を挿入しておく。完全な阻血状態が得られた状態で2分間の足関節または手関節の運動負荷を与えた。Cuffをゆるめ反応性充血が得られた状態でただちに^{99m}Tcを静注した。^{99m}Tcは10mCi(0.5~1.0cc)前後使用し注入後三方活栓の他方から生理食塩水でflushした。

放射活性の各部位での取込みはガンマカメラのモニタースコープに描出し、同時にビデオテープに240秒間収録した。Time-activity curveの記録条件は、time constant 1.0秒、speed 3インチ/分とした。上記条件下での計数率は1分間に 30×10^3 または 100×10^3 カウントであった。

正常肢におけるtime-activity curveは動物肢(Fig. 2の上方)と同様にピークを示し240秒後にはすべて平衡に達した。そこでピーク値と平衡値の比をperfusion index(P.I.)とした。

すなわち、

$$P.I. = \frac{\text{ピーク値}}{\text{平衡値}(240\text{秒})}$$

ただし、閉塞性疾患がある場合のactivity curveはピークを示さず徐々に上昇する曲線を示す。この場合のピーク値に相当する点の求め方は、曲線の立上がりの傾斜に引いた接線と240秒の値からの水平線との交点を垂直におろし、曲線と交叉する点を便宜上のピーク値とした。したがってこの場合のP.I.は必ず1.0以下となる。

また、^{99m}Tcを肘静脈より注入後検査部位に到達するまでの時間をta(秒)とした。

3-2. 結 果

3-2-1 動脈閉塞部位との相関

本検査を施行した症例を主幹動脈の開存および

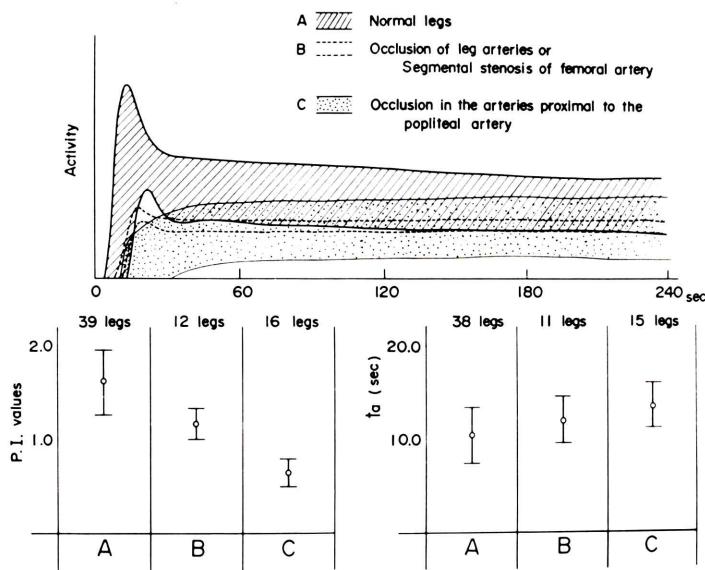


Fig. 5 The upper figure shows time-activity curve of the leg of the patients. The subjects' legs under study were divided into three patterns. Group A represents normal legs without clinical evidence of vascular disease. "Note a peak." Group B represents occlusion of leg arteries or segmental stenosis of the femoral artery. "Note a slight peak." Group C represents occlusion in the arteries proximal to the popliteal artery. "Note a gradual upward slope."

The left lower table shows the relation between the perfusion index (P.I.) and the sites of arterial occlusion in legs. The result was statistically significant among group A, group B and group C. The right table shows the relation among ta (the first appearance time of activity in the calf muscles) and group A, B and C. The result was statistically significant between group A and C.

閉塞の状態から分けると次の結果となった。なお閉塞の状態は血管撮影によって確かめてある。

下腿において得られた time-activity curve の結果を、各症例につきトレースしまとめると、次の3群のパターンに分類することができた。ただしこの場合、注入量の多少や検出器のあて方や患者の皮膚の厚さによって各群は斜線を引いた領域内や点を打った領域内に分布した (Fig. 5)。すなわちA群は臨床的に下肢の動脈拍動が正常で乏血症状のないもので斜線を示したごとく著明なピークを示すパターンであり、B群は下腿動脈に閉塞があるかまたは浅大腿動脈に1/2以上の分節的狭窄があるので点線を示した曲線で、わずかにピークを示すパターンであり、C群は膝窩動脈より近位に閉塞があるのでピークを全く示さないパター

ンであった。各群におけるP.I.値を求めるとき、A群(39肢)では 1.62 ± 0.35 、B群(12肢)は 1.17 ± 0.16 、C群(16肢)は 0.65 ± 0.16 であった。この結果各群は0.1%以下の危険率で統計学的に有意差を認めた。また、taはA群は 10.44 ± 3.02 、B群は 11.91 ± 2.50 、C群は 13.41 ± 2.50 で、A群とC群は1%以下の危険率で有意差を認めた (Fig. 5の下段)。

なお、血管造影像で識別できない臨床症状の推移を本検査法によって鑑別できたが、このことについて後述する (3-2-8)。

足および手における検査結果をまとめると次のとくなる (Fig. 6)。すなわち、下肢の動脈拍動が正常で乏血症状のない群(10肢)のP.I.値は 1.53 ± 0.21 、脛骨動脈(前脛骨動脈、後脛骨動脈)

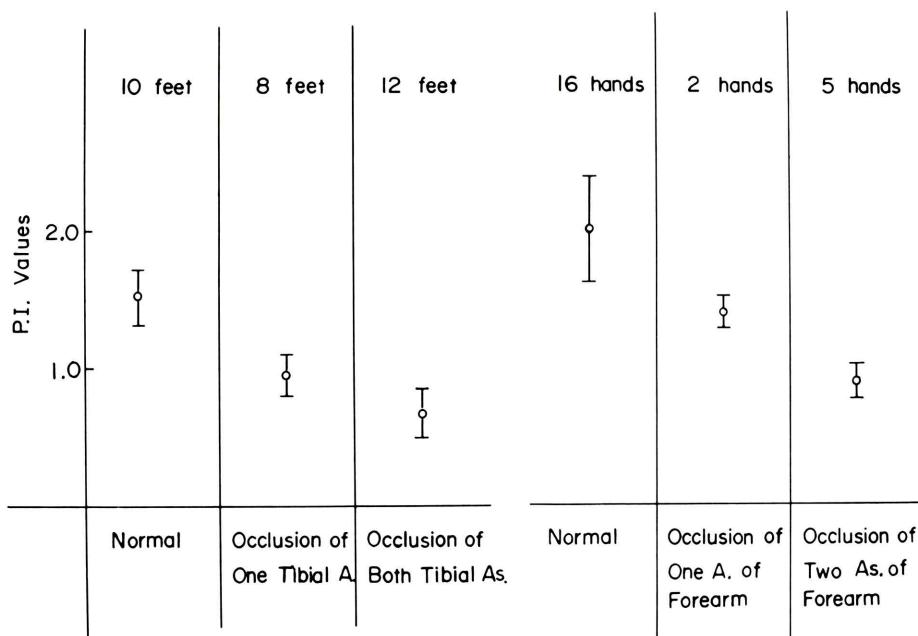


Fig. 6 The tables show the relation between the perfusion index, and the sites of arterial occlusion in feet (left) and hands (right). These results were statistically significant between normal and occlusion of both tibial arteries, and between normal and occlusion of the two arteries of the forearm, respectively.

のうち1本が閉塞の群（8肢）は、 0.95 ± 0.15 、2本ともに閉塞の群（12肢）は、 0.67 ± 0.18 であった。この結果、正常群と2本ともに閉塞群の間に有意差を認めた。ta またそれぞれ 13.11 ± 3.44 、 15.28 ± 4.72 、 15.88 ± 3.71 で有意差を認めなかった。

手では前腕動脈（橈骨動脈および尺骨動脈）の拍動が正常の群（16肢）のP.I. 値は 2.01 ± 0.38 、前腕動脈のうち1本が閉塞の群（2肢）は 1.41 ± 0.11 、2本ともに閉塞の群（5肢）は、 0.89 ± 0.13 であった。この結果、正常群と2本ともに閉塞の群とは有意差を認めた。また ta はそれぞれ 9.03 ± 2.01 、 11.45 ± 3.55 、 7.92 ± 1.32 で有意差を認めなかった。

以上により、足および手において、正常と前腕または下腿動脈のうち2本閉塞群との間には、明らかに差があったが、1本閉塞と2本閉塞の間には明らかな差はなかった。これは本検査法が血管造影では識別できない手や足の循環動態を明

らかにし得ることを物語っている。

3-2-2 血行再建術前後における比較

血行再建術前後における time-activity curve をとって検討したところ、手術の成功度および患者の自覚症状の改善に相応したP.I. 値を得た。すなわち手術前（7肢）のP.I. 値は 0.65 ± 0.15 であったが術後（7肢）は、 1.27 ± 0.25 となった。

症例 1

症例は52歳の男性で腹部大動脈および両側腸骨動脈に閉塞のある閉塞性動脈硬化症の患者である。術後の time-activity curve は徐々に上昇する曲線を示すが、Yグラフト術後はピークを認めた（Fig. 7）。

3-2-3 交感神経切除術前後における比較

交感神経切除術は皮膚の血流は増加するが筋血流は増加しないと報告されているが¹⁾、腰部交感神経切除術または胸部交感神経切除術前後の、本検査における手、足、下腿において、P.I. 値に有

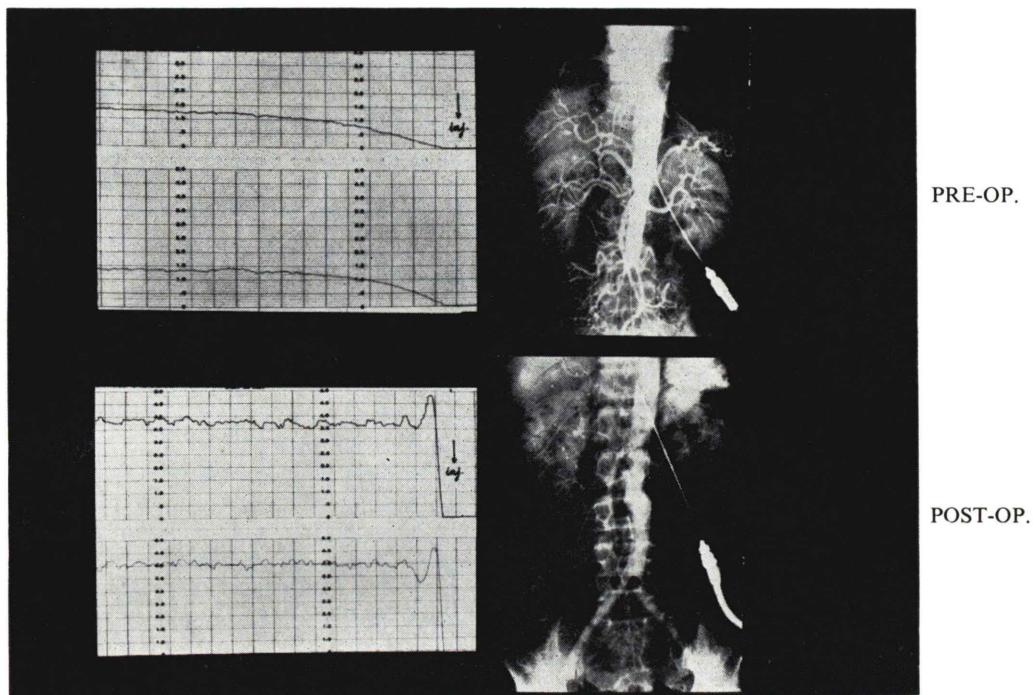


Fig. 7 Shown here is a 52-year-old man of ASO with an occlusion of the abdominal aorta and bilateral iliac arteries. Preoperatively the time-activity curve showed a gradual upward slope. After aortofemoral bypass grafting was performed, aortography revealed patency of the graft, and the time-activity curve returned to a normal pattern.

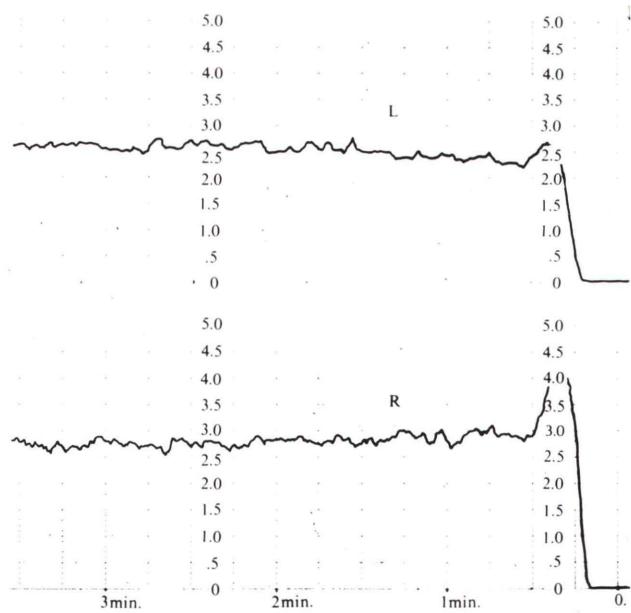


Fig. 8 Shown here is a 47-year-old male of TAO with an irregularity of left popliteal artery and an occlusion of two tibial arteries. Time-activity curve of the left showed a slight peak, and of the right a peak,

意差はなかった。

3-2-4 バージャー病および閉塞性動脈硬化症における P. I. 値。

下腿、足および手における time-activity curve から得た P. I. 値を総合して計算すると次のようになる。バージャー病(45肢)における P. I. 値は 0.92 ± 0.3 であり、閉塞性動脈硬化症(22肢)における P. I. 値は 0.82 ± 0.3 であった。バージャー病における P. I. 値が比較的 1.0 に近いのは病変が軸幹の中枢よりも手指や足指のような末梢に起こるためと考えられる²⁾。したがってこれら手指や足指における time-activity curve が必要である。

症例 2

症例は47歳の男性で、血管撮影で左膝窩動脈の不整、前脛骨および後脛骨動脈の閉塞と腓骨動脈の下 $\frac{1}{3}$ で閉塞のある、バージャー病の患者である。足における time-activity curve では左足はわずかしかピークを示さず、右足は著明なピークを示した(Fig. 8)。同時期における足指だけの R. O. I. の time-activity curve を比較すると、左は全くピークを示さず徐々に上昇する abnormal pattern を示すのに反し、右はピークを示す normal pattern を示した(Fig. 9)。

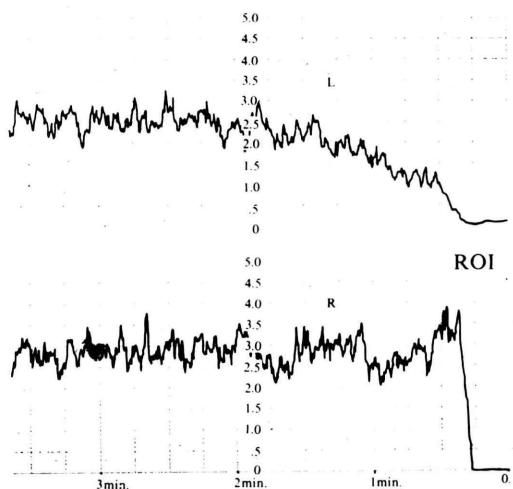


Fig. 9 ROI of the left toe showed a gradual upward slope (an abnormal pattern), on the contrary the right showed a peak.

3-2-5 動静脈瘻

A-V シャント部位は、手術前は血液が毛細管を通らずに静脈へ大量に流れるので、P. I. 値が著明に高く、その末梢はシャントがある部位より逆に低値を示した。手術後は、シャント部位の P. I. 値は正常に近い値を得た。

症例 3

症例は22歳の女性で数か月前より右手の腫脹および熱感があった。血管撮影では深掌動脈弓の A-V シャントがあった。同部位における time-activity curve にて、手術前は P. I. は 3.2 であったが術後は 2.6 と改善した(Fig. 10)。

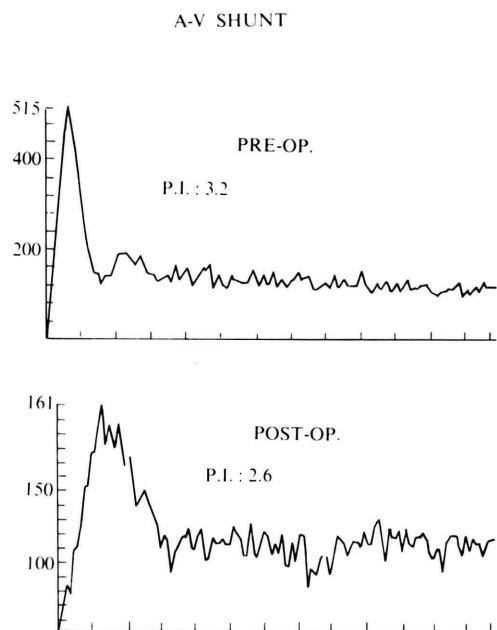


Fig. 10 This case is a 22-year-old female with A-V shunt of the right hand. In the time-activity curve of the area of the A-V shunt, the perfusion index before the operation was 3.2, and after the operation P.I. was 2.6. In the A-V shunt, ^{99m}Tc -pertechnetate bolus passed the main artery and returned to the accompanied vein without perfusion in the tissue. After the operation the peripheral circulation returned to normal. Therefore, the P.I. of the former is greater than the P.I. of the latter.

3-2-6 下肢静脈血栓症

下肢静脈血栓症（6肢）における P.I. 値は, 1.65 ± 0.1 であり正常値を示した。したがって動脈血行障害をおこすほどの重篤な静脈血栓症でない限り、軽度の静脈還流障害は本法の time-activity curve に与える影響はほとんどないとみてよい。

3-2-7 レノーネ病

レノーネ病（5肢）における P.I. 値は 1.81 ± 0.5 とほぼ正常値を示した。

3-2-8 病態との相関

腓腹筋における間歇性跛行の程度は次の3群に分けることができた。すなわち第1群は、1km歩行可能な群でほとんど正常とみなされる。第2群は1kmから200mの間歩行可能な群、第3群は200m以下しか歩行できない群である。これらとP.I. 値との相関を求めるとき、第1群（65肢）はP.I. 値 = 1.58 ± 0.35 、第2群（20肢）は 1.01 ± 0.3 、第3群（20肢）は 0.71 ± 0.18 であった（Fig. 11）。

以上のように間歇性跛行の程度と P.I. 値はよ

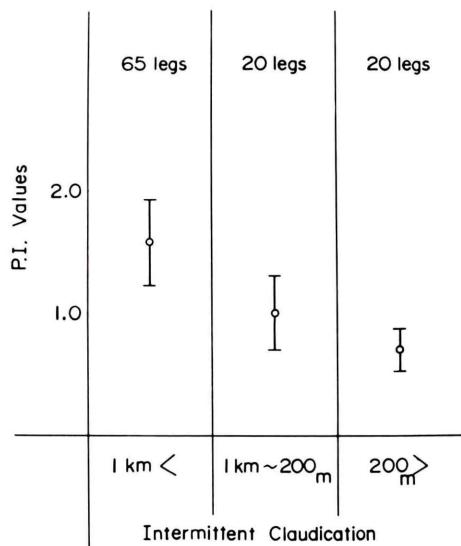


Fig. 11 The grade of intermittent claudication in the calf was divided into three groups. The first group is more than one kilometer; the second from one kilometer to 200 meters; and the third less than 200 meters. P.I. is correlated with the claudication distance.

い相関を示した。

症例 4

47歳の閉塞性動脈硬化症の患者で、血管撮影で浅大腿動脈に分節的狭窄を認めた。彼は100mの歩行にて腓腹部の間歇性跛行があった。同時期の time-activity curve はわずかにピークを示し、P.I. = 1.26 であった。6か月間の歩行訓練後は浅大腿動脈の狭窄は不变であったが、間歇性跛行なしに 2km 歩行可能となった。同時期の time-activity curve はピークを認め P.I. は 2.17 とほぼ正常値を示した（Fig. 12）。すなわち、本症例の場合は time-activity curve は臨床症状と非常によく一致した。

3-3. 小括

臨床においても反応性充血の期間中に、 ^{99m}Tc をボーラスとして静注すれば、正常ではピークを示し、閉塞ある場合にはピークを示さず徐々に上昇する曲線を示した。Time-activity curve は主幹動脈が閉塞した場合には、閉塞部位と相関することがまず実証されたが（Fig. 5），主幹動脈の閉塞があっても側副路が発達した場合には患者の自覚

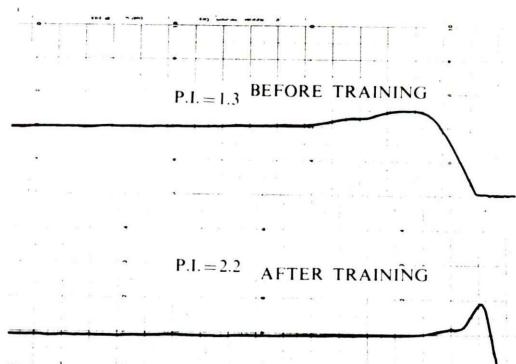


Fig. 12 Shown here is a 47-year-old man of ASO with a segmental stenosis of the superficial femoral artery. His claudication distance of the calf muscle was 100 meters. At that time, the time-activity curve of the calf showed the abnormal pattern. After a six months training course, he was able to walk 2 kilometers without intermittent claudication and the time-activity curve returned to normal pattern. In this case the time-activity curves correspond well with the clinical symptoms.

症状は比較的軽いことがある。すなわち四肢局所の循環血流量が増加し乏血症状が改善される。しかし側副路による循環動態を血管撮影で判定するのは困難で機能的診断法が要求されることが理解される。下肢の循環障害の指標である間歇性跛行の程度と、P. I. 値を比較したところ良好な相関が得られた (Fig. 11)。したがって本法は主幹動脈および側副路を含む循環動態を示す一つの指標となりうる。

なお、ta については 3-2-1 で述べたごとく下腿では A 群と C 群において有意差を認めたが、足や手においては症例数も少ないとあって有意差がなかった。

血管撮影は血管閉塞部位を明らかにする形態学的診断法であり、これに対し ^{99m}Tc を用いた本検査法は機能的診断法といえる。

4. 被曝線量の測定

本検査施行中 (^{99m}Tc を含むバイアルおよびシ

リンジ取扱い時) における術者ならびに被検者(患者)における被曝線量を測定した。なおシリジンは 3 mm の鉛を含む防護筒で必ず遮蔽した。

患者 1 人あたりのシリジン取扱い時間は平均 1 分であった。測定には極光 TLD-1200 を用い TLD 素子は $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Tb}$ をガラス容器に封入したもので、1 個の大きさは $2 \text{ mm} \phi \times 10 \text{ mm}$ である。方法は素子を検査前に患者の前頸部、前胸部、臍部および左右鼠蹊部に、また術者については左右の拇指と示指、右の手掌と手背および生殖腺部にそれぞれ貼付した。被検者は入院患者のみを対象とし、TLD は検査終了後 24 時間経過してから、また術者は当日の検査 (2 ~ 4 人) 終了後にはずし、それぞれ測定した。結果は Fig. 13 に示すごとくであった。すなわち患者の被曝線量は上記のいずれの部位も 100 ~ 300 mrad/24hours であった。腹部においてバラツキを認めるのは、膀胱内の尿量が関係していると思われる。術者の被曝線量は右示指が最も大きく、100 ~ 300 mrad/day であり、

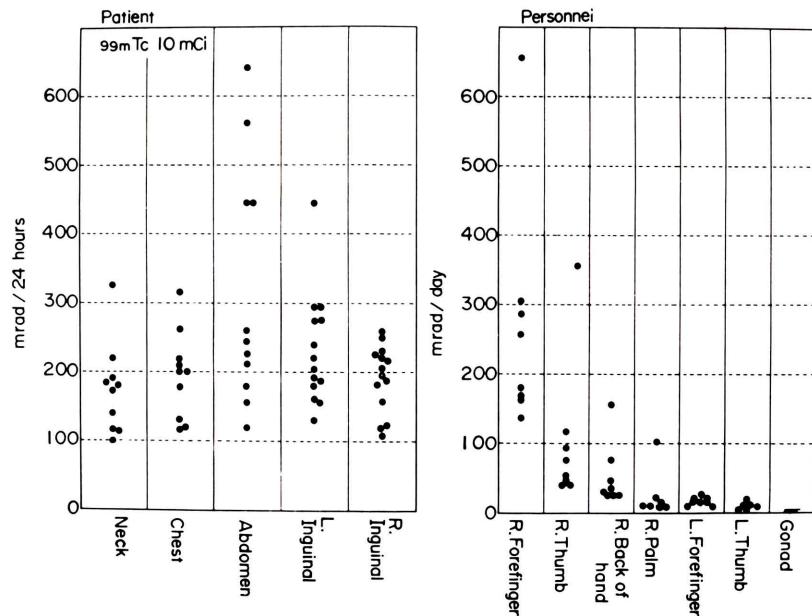


Fig. 13 The radiation dose delivered to the patient and the dosage to the physician after administration of the 10 mCi of ^{99m}Tc -pertechnetate were estimated.

The radiation dose of the patient at the surface of the neck, anterior chest, abdomen, and bilateral inguinal regions was from 100 to 300 mrads per 24 hrs; the physician's right second finger, 100 to 300 mrads.

他の手指および生殖線量は 100 mrad 以下であった。

5. 考 察

末梢血管疾患の核医学的診断法としては、古くは ^{24}Na を静注して arm-to-foot 循環時間を測定する方法³⁾ や ^{24}Na を下腿筋に筋注し、そのクリアランスを測定する方法⁴⁾ があった。

1952 年、MacIntyre らは、 ^{131}I -labeled serum albumin (RISA) を静注して arm-to-foot の循環時間を測定した⁵⁾。この方法は RISA を使用して末梢血管疾患を診断したという点においてよく知られている。

Perfusion scanning 法としては、 ^{131}I -labeled macroaggregated albumin (MAA) を動注する方法^{6,7)} や $^{99\text{m}}\text{Tc}$ albumin microsphere を動注する方法^{8,9)} がある。これらは RI を動注して微小循環系に microembolism を起こさせる方法である。したがってこの検査法では放射活性が増加している部位は、組織における血流量が増加している、と考えられる⁹⁾。しかし、この方法では解剖学的な情報は提供してくれるが、客観的な定量を行なうことは困難である。

1964 年、Lassen らにより行なわれた ^{133}Xe muscle clearance 法は ^{24}Na に比べて個々の筋血流量の測定が可能で正常筋と血行不全筋を明瞭に鑑別できる点^{10,11)}において、その後も広く施行されているが、腓腹筋、ヒラメ筋および前脛骨筋等の下腿筋にもっぱら限られる。

最近は intravenous radionuclide peripheral arteriography (IRPA) 法も行なわれていて¹²⁾、静注法であるので被検者の負担も少なく操作も簡単であるが、動脈撮影に比し微細な血管の描出は困難である。

一方、peripheral perfusion は物理的または化学的物質の刺激により変化することが知られている¹³⁾。これらの刺激により maximal vasodilatation がひき起こされる。

注射前に cuff を各部位に巻き最高血圧より高くし完全に阻血された状態で運動負荷を与え、注

射直前に cuff をゆるめる方法、すなわち反応性充血を利用した方法で下肢の動脈撮影を行なう方法がある^{13)~16)}。この方法によれば通常の動脈撮影に比して微細な小血管も描出されることが報告されている。

反応性充血が起こる成因については現在なお不明の点が多いが以下のとく考えられている。すなわち第 1 は tissue anoxia と化学的物質である carbon dioxide, lactic acid, bradykinin 等の蓄積による血管拡張反応と、第 2 は局所動脈圧の下降に伴う物理的血管緊張の低下による血流の増加、の 2 点である^{17),18)}。

1962 年、Cuypers らは反応性充血の期間中 RISA を静注する方法を行なった。彼らは、反応性充血の期間中、正常では下肢の遠位部分における循環速度が増加するが、閉塞性動脈疾患では循環速度が一般に減少する等の結論から、反応性充血中における循環測定は、閉塞性動脈疾患者の虚血の程度を量的および質的に評価するのに優れている¹⁹⁾、と報告したが正確な分析にまで到らなかった。

反応性充血期間中に ^{131}I -labeled macroaggregated albumin(MAA) を大腿動脈よりも $^{99\text{m}}\text{Tc}$ albumin microsphere を総腸骨動脈より動注して perfusion scan をする方法もある^{17),20)}。この方法は反応性充血なしに動注する方法^{8),9)}に比べて解剖学的情報を知るうえにおいてより有利であるが、動脈穿刺するため患者の負担が大きい。

患者への侵襲を少なくし、反復検査を可能にするには静注法によらなければならない。上腕を収縮期圧以上で圧迫し、肘静脈より注入された $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を一時停留させた後に圧迫を一気に解除して注入すれば (Oldendorf 法)、正常では大腿部においてピークを示す activity curve が得られる、という報告²¹⁾もあるが、下腿および足等の末梢においては単にボーラスとして静注したのみでは、ピークをもった曲線は得られない。これは本研究の動物実験の成績から明らかである (Fig. 2)。

1974 年 Gerritsen らは反応性充血の期間中に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ をボーラスとして静注し、下腿の time-

activity curve を求め、正常肢と異常肢の鑑別を行なった²²⁾。

本研究においても、反応性充血期間中に ^{99m}Tc をボーラスとして静注し、下腿、足および手における動態検査を施行しているが、本法では、 ^{99m}Tc が diffusible substance であるため、主要血管のみならず筋肉や皮膚を含んだ組織における放射活性を知ることができる。すなわち、正常や側副路が発達した場合の time-activity curve は、 ^{99m}Tc が測定部位に到達直後にピークを示すが時間の経過とともに ^{99m}Tc の一部は周囲に diffusion し、残りは体内循環するため放射活性が減少し平衡に達する、と考えられる。これに反して測定部位あるいはその近位における主要血管の狭窄や閉塞がある場合には、血管抵抗の大きい側副血行路を通らなければならぬので、反応性充血後も測定部位には徐々にしか放射活性が得られず、徐々に上昇する曲線を示すことが考えられる。すなわち前

者では測定部位で ^{99m}Tc がボーラスになっているのでピークを示し、後者ではボーラスとならないので徐々に上昇する、と考える。

本法により、まず time-activity curve が主幹動脈の閉塞部位と相關することが判明したが、(Fig. 5, 6)、本法による血管閉塞部位の診断は血管撮影が行なえない場合には、ある程度その代用になりうるが、そのような形態学的診断は本法の本来の目的ではない。むしろ血管撮影では知ることのできない病態（間歇性跛行等の臨床症状）との相関に本法の意義がある。すなわち血管撮影では不可能な循環動態の機能的診断が可能である点に本法の意義がある (Fig. 11, 12)。ただし、 ^{99m}Tc を静注後検査部位に到達するまでの時間 (ta) は、正常の場合と閉塞ある場合とを比較しても有意差がなく、臨床的にはあまり有用ではなかった。

静注法の場合の注射部位は、力んだりせずに普通の姿勢でかつ尺側皮靜脈 (basilic vein) がよいと

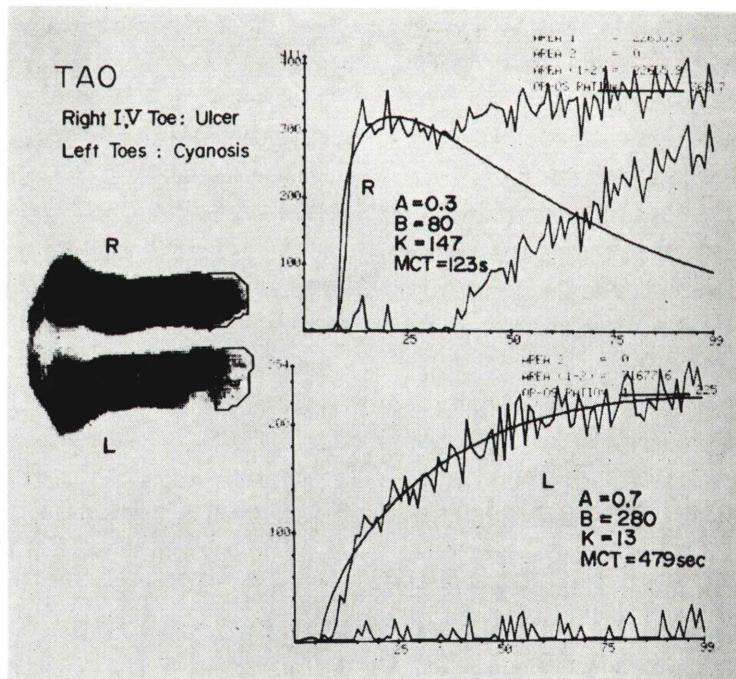


Fig. 14 Shown here is a 45-year-old male of Buerger's disease. He had ulcerations of the right first and fifth toes, and a marked cyanosis and coldness of the left foot. Each time frame histogram was simulated by gamma function; parameter A, B, K and mean circulating time (MCT) were calculated.

されている²³⁾。本検査において同一患者で外頸静脈からも注入を試みてこれと比較したところ大差ないことが判明したので、患者にできるだけ不快感を与えないためにも尺側皮靜脈を使用している。

本法は静注法であるので動脈穿刺を要せず反復検査が可能で再現性も高い点で秀れているが、慢性閉塞性肺疾患や心疾患がある場合には不適である。また当然再循環があるので activity curve の解析には今後、^{99m}Tc または ^{99m}Tc-MAA・¹³³Xe 等を動注した際の曲線との比較研究が必要である。

バージャー病は、主として末梢動脈の閉塞であるので²⁴⁾、手や足における time-activity curve だけでなく手指や足指等の限局した領域 (ROI) が必要で (Fig. 9)，それと弓状動脈、足底動脈や、浅、深手掌動脈弓等の閉塞状態、側副路の発達状態、さらに乏血症状との密接な比較研究が今後不可欠である。

バージャー病や閉塞性動脈硬化症における P.I. 値は 1.0 以下であった (3-2-4)。この場合正常な曲線におけるピーク値に相当する値は、曲線の立上がりの傾斜に引いた接線と 240 秒の値 (平衡値) からの水平線との交点を垂直に下ろし曲線と交叉する点、として求められたが、本研究においてこの点を検討したところ、立上がりの傾斜に接線を引く方法は、個人の主觀が入りバラツキを生じ問題となる。客観的な解析の方法が望まれるが、現在、time-activity curve を電算機を使用して、ガンマ関数でシュミレイトする方法も検討している。Fig. 14 はバージャー病の患者の足指における ROI の曲線をこの方法で解析し、パラメーターを求め、これらを症例ごとに比較検討することにより、正常と異常を鑑別しようとする一つの試みである。

6. 結 論

1. 動物実験により、動注法では反応性充血の有無にかかわらず正常ではピークを示し動脈血行不全肢ではピークを示さなかった。

静注法では、反応性充血を行なわなければ正常でもピークを示さず反応性充血を行なえばピーク

を示した。また動脈血行不全肢では反応性充血後もピークを示さなかった。

2. 動脈閉塞性疾患患者に、反応性充血の期間中に ^{99m}Tc をボーラスとして静注し、手、足、下腿における time-activity curve を求めるとき動脈閉塞部位の範囲と相関するのみならず、形態学的に判別できない循環動態の変化をも識別した。
3. 血行再建術前後における比較では、手術の成功度および患者の自覚症状の改善に相応した P.I. 値を得た。
4. 交感神経切除術前後における比較では、P. I. 値に有意差はなかった。
5. バージャー病においては手指や足指の ROI における検討が大切である。
6. 動脈瘤においては、P. I. は著明に高いが、術後は正常値を示した。
7. 下肢静脈血栓症では、動脈血行障害を起こすほどの重篤な静脈血栓症でない限り、本法の time-activity curve に与える影響はない。
8. レノー病では P. I. は正常値を示した。
9. 本法は、非外傷性で、反復検査が可能で、患者および術者における被曝線量が少ない機能検査法として、術前および術後の経過観察に有効な検査法である。

稿を終えるにあたり、御指導および御校閲をしていただいた名古屋大学付属病院分院外科塩野谷 恵彦助教授、および被曝線量の測定に御協力いただいた名古屋大学医学部付属診療放射線技師学校前越 久講師に深謝します。なお本研究に御協力いただいた名古屋大学付属病院分院外科教室員、名古屋大学医学部付属病院アイソトープ検査室技師諸氏、愛知県立ガンセンター病院アイソトープ検査室技師諸氏に謝意を表します。なお本研究の一部は第 15 回日本核医学会総会 (1975 年 10 月、京都)、第 16 回日本核医学会総会 (1976 年 10 月、久留米) および第 10 回国際脈管学会総会 (1976 年 8 月、東京) で発表した。

文 献

- 1) Hoffmann, DC, and Jepson, RP: Muscle blood flow and sympathectomy. *Surg Gynecol Obstet* **127**: 12-16, 1968
- 2) Shionoya, S, Ban, I, Nakata, Y, et al: Diagnosis, Pathology, and treatment of Buerger's disease. *Surgery* **75**: 695-700, 1974

- 3) Smith, BC and Quimby, EH: The use of radioactive sodium as a tracer in the study of peripheral vascular disease. *Radiology* **45**: 335-346, 1945
- 4) Kety, SS: Measurement of regional circulation by the local clearance of radioactive sodium. *Amer Heart J.* **38**: 321-328, 1949
- 5) MacIntyre, WJ, Storaasli, JP, Krieger, H: ^{131}I -labeled serum albumin: its use in the study of cardiac output and peripheral vascular flow. *Radiology* **59**: 849-856, 1952
- 6) Shida, H. and Ohara, I: Study on peripheral circulation using ^{131}I -macroaggregated serum albumin. *Tohoku J. exp. Med.* **101**: 311-316, 1970
- 7) Wagner, HN, Jr, Jones, E, Two, D et al: A method for study of the peripheral circulation in man. *J Nucl Med* **6**: 150, 1965
- 8) Giargiana, FA, Jr, Siegel, ME, James, AE Jr, et al: A preliminary report on the complementary roles of arteriography and perfusion scanning in assessment of peripheral vascular disease. *Radiology* **108**: 619-627, 1973
- 9) Rhodes BA, Greyson ND, Siegel ME, et al: The distribution of radioactive microspheres after intra-arterial injection in the legs of patients with peripheral vascular disease. *Amer. J. Roentgenol* **118**: 820-826, 1973
- 10) Lassen, NA: Muscle blood flow in normal man and in patients with intermittent claudication evaluated by simultaneous Xe^{133} and Na^{24} clearances. *J Clin Invest* **43**: 1805-1812, 1964
- 11) Alpert, J., Garcia del Rio H and Lassen NA: Diagnostic use of radioactive xenon clearance and a standardized walking test in obliterative arterial disease of the legs. *Circulation* **34**: 849-855, 1966
- 12) Dibos PE, Muhletaler CA, Natarajan TK, et al: Intravenous radionuclide arteriography in peripheral occlusive arterial disease. *Radiology* **102**: 181-183, 1972
- 13) Khobreh, MT, and Roy P: Muscular angiographic patterns in lower extremities before and after exercise: Technic for study of blood flow and diagnostic applications. *Ann. Surg.* **164**: 883-890, 1966
- 14) Bojsen E, and Dahn I: Femoral angiography during maximal blood flow. *Acta Radiol Diagnosis* **3**: 543-553, 1965
- 15) Hishida Y: Peripheral arteriography using the reactive hyperemia. *Jap Circulat J* **27**: 349-358, 1963
- 16) Kahn PC, Boyer DN, Moran JM, et al: Reactive hyperemia in lower extremity arteriography: An evaluation. *Radiology* **90**: 975-980, 1968
- 17) Siegel ME, Giargiana FA, Jr, Rhodes BA, et al: Effect of reactive hyperemia on the distribution of radioactive microspheres in patients with peripheral vascular disease. *Amer J Roentgenol* **118**: 814-819, 1973
- 18) Zelis R, and Mason DT: Mechanism of systemic hemodynamic response during limb reactive hyperemia. *Amer J Physiol* **217**: 1742-1746, 1969
- 19) Cuypers Y, and Merchie G: Etude de la circulation sanguine périphérique à l'aide de la sérumalbumine humaine marquée à ^{131}I . II. La circulation sanguine au niveau du mollet. *Cardiologia* **41**: 166-178, 1962
- 20) Jones EL, Wagner HN, Jr and Zuidema GD: New method for studying peripheral circulation in man. *Arch Surg* **91**: 725-734, 1965
- 21) Moss CM, Delany HM, and Rudavsky AZ: Isotope angiography for detection of embolic arterial occlusion. *Surg Gynecol and Obstet* **142**: 57-61, 1976
- 22) Gerritsen HA, Kazem I, Hasman A, et al: A new approach to the evaluation of peripheral vascular disease using the gamma camera. *Radiology* **112**: 115-121, 1974
- 23) Watson DD, Nelson JP, and Gottlieb S: Rapid bolus injection of radioisotopes. *Radiology* **106**: 347-352, 1973

Summary

Radioisotopic Dynamic Study of the Assessment of Peripheral Obstructive Arterial Disease

Motoo OHSHIMA

*Department of Radiology, Nagoya University School of Medicine
(Present Address: Institute of Clinical Medicine, The University of Tsukuba)*

Arterial insufficiency of limbs was examined by injecting of ^{99m}Tc -pertechnetate intravenously.

In the animal experiment, it was proved that the intravenous injection of a bolus of ^{99m}Tc -pertechnetate under the condition of reactive hyperemia could so well differentiate normal limbs from the abnormal, as the intraarterial injection did.

Patients with Buerger's disease, arteriosclerosis obliterans, Raynaud's phenomenon, venous thrombosis, neuropathy, and miscellaneous were examined for about one and a half years. The total case studies were 52 patients.

When studying legs, the patients lay face down, and the detector of the gamma camera was placed over the calves of both legs. A cuff was applied to each thigh, and the manometric pressure was raised 50mmHg above the systolic pressure. Ischemia was maintained for two minutes by active muscular exercise. This resulted in a state of maximum hyperemia after releasing the cuff pressure, and ^{99m}Tc -pertechnetate was rapidly injected into the antecubital vein. Same method was used in examin-

ing the hands and feet.

The parameter, called the perfusion index (P.I.) defines the ratio of the counts of the peak of the activity curve to the counts of the plateau at equilibrium. The results were statistically significant between normal and occlusion of both tibial arteries, normal and occlusion in the arteries proximal to the politeal artery, and normal and occlusion of the two arteries of forearm, respectively.

The time-activity curve using intravenous ^{99m}Tc -pertechnetate injection was well correlated with sites of occlusive lesions which were proved by arteriography, and it revealed a peripheral arterial insufficiency that could not be recognized by arteriography.

This method is a simple and reliable vehicle for the functional diagnosis of peripheral vascular disease, and owing to intravenous injection and its low radiation exposure, it can be performed without risk.