

《ノート》

運動負荷 ^{201}Tl 心筋イメージにおける Circumferential Profile 法の検討Assessment of Circumferential Profile Analysis for Stress ^{201}Tl Myocardial Image

井上登美夫* 井上 寛一** 安藤 俊雄*** 吉村 克俊*

Tomio INOUE*, Kanichi INOUE**, Toshio ANDO*** and Katsutoshi YOSHIMURA*

*First Radiological Department,

**Department of Cardiology,

***Second Radiological Department, The Kanto Teishin Hospital

I. はじめに

虚血性心疾患のスクリーニング検査法として、 ^{201}Tl 心筋イメージングの有用性は高く、日常臨床検査法の1つとして不可欠なものになりつつある。心筋イメージの判定法として、視覚的判定と核医学データ処理装置を利用した定量的判定が行われている。前者は ROC 解析¹⁾の結果から読影結果の個人差が比較的少ないことが立証されているが²⁾、定量的判定に比べ、冠動脈病変に対する検出能が低いとされている³⁾。

定量的判定法は、現時点では様々な方式が試みられている。今回著者らは、運動負荷直後の ^{201}Tl 心筋イメージを対象として、circumferential profile⁴⁾ 法における心筋 ROI の設定(プロフィールカウント算出法) および判定基準の設定の2点について検討を行った。

II. 対象および方法

対象は、当院で運動負荷 ^{201}Tl 心筋イメージ

グを施行した正常志願者10例および冠動脈造影上75%以上の有意狭窄を認めた冠動脈疾患24例(心筋梗塞12例、狭心症12例)である。正常志願者10例の年齢範囲は30歳~60歳で平均44.5歳、男女比は7:3であった。また冠動脈疾患症例は、42歳~67歳で平均55.8歳、男女比は19:5であった。

運動負荷はエルゴメータを用い年齢別最大心拍数の85%、1mm以上の進行性ST低下、狭心痛、leg fatigueを負荷終了基準とした。負荷終了基準に到達した時点で $^{201}\text{TlCl}$ 2~4 mCiを静注し、さらに30~90秒間負荷を継続した。 $^{201}\text{TlCl}$ 静注後5~10分で撮像を開始し、前面像、LAO 30°、45°、60°像および左側面像を順次撮像した。今回は、5方向のうち前面像、LAO 45°像および左側面像の3方向を解析の対象とした。装置は、低エネルギー用高分解能コリメータあるいは汎用コリメータを装着した島津 LFOV ガンマカメラ、およびシンチパック 1,200 核医学データ処理装置を用いた。データ収集は、1方向300秒で128×128マトリックスサイズの2倍拡大収集モードで行った。画像処理は、64×64マトリックスサイズに変換後9点スムージングを行い、さらに右室および肝などの ^{201}Tl 高摂取部位を避けて任意に ROI を設定し、Goris⁵⁾ らの補間法によるバックグラウンドサブトラクションを行った (Fig. 1)。

Key words: circumferential profile analysis, ^{201}Tl myocardial image.

* 関東通信病院第一放射線科

** 同 循環器内科

*** 同 第二放射線科

受付: 57年11月25日

最終稿受付: 58年4月20日

別刷請求先: 品川区東五反田5-9-22 (☎ 141)

関東通信病院第一放射線科

井上 登美夫

1. プロフィルカウント算出法〔心筋 ROI 設定法〕

プロフィールカウントの算出法について次の2つの方式を行い、比較検討した。

(1) 左室心筋に用手法で ROI を設定し、自動的に求めた面積中心から3時方向より反時計方向へ10度間隔に36本の放射状のラインを引き、面積中心から心筋 ROI 辺縁までの線上の1マトリックスあたりの平均カウントを算出した (Fig. 1) (以下 total ROI 法と称す)。

(2) Total ROI 法と同様に左室心筋全体に ROI を設定後、さらに左室内腔に相当する放射能減少部に ROI を設定し、(1)と同様に面積中心から36本の放射状のラインを引く。心筋全体の ROI と内腔の ROI の間、すなわちコリメータ面に対し、垂直方向の心筋部位の1マトリックスあたりのカウントを算出した (Fig. 1) (以下 outside ROI 法と称す)。

プロフィールカーブの表示は、いずれの方法においても、縦軸は36本の線上の最大平均カウントを100%とした相対的カウント(%)を表し、横軸はラインの位置を表すライン No. を示す。各画像ごとに心尖部を通るラインの位置を任意に指定し、その平均カウントが常にライン No. 17 に表示され、ライン No. が大きくなるに従い、放射状のラインを反時計まわりに進むように表示されている (Fig. 1)。すなわち、LAO -45° 像のプロフィールカーブに例をとると、ライン No. 0~17 は中隔側を、ライン No. 18~35 は側壁側を表わすことになる。

2. 再現性の検討

Total ROI 法と outside ROI 法の2法について、正常者および欠損像を呈した狭心症例の2例の LAO 45° 像を対象に、プロフィールカーブの再現性を検討した。再現性は、5回の反復処理による観測者内変動 (intra-observer variance) とデータ処理経験のある5名による観測者間変動 (inter-observer variance) について検討した。

3. 虚血性心疾患に対する有病正診率⁶⁾

正常志願者10例の3方向(前面像, LAO 45° 像,

左側面像)の検討から判定基準を設定し、虚血性心疾患24例の有病正診率を求めた。

判定基準の設定は、相対的プロフィールカウントの一定レベルを基準値とする方法⁷⁾と、各撮像方向ごとに各ライン上の平均 -2 SD 値を基準値とする方法^{4,8,9)}の2通りの基準を設定した。Total ROI 法および outside ROI 法の2法についてのおの2通りの判定基準を求め、これらを組み合わせた計4通りの方法について虚血性心疾患の有病正診率⁶⁾を比較した。なお、判定基準および有病正診率の検討においては、弁口部生理的欠損を除くため、プロフィールカーブ上のライン No. 4 よりライン No. 32 までを解析の対象とした⁷⁾。

III. 結 果

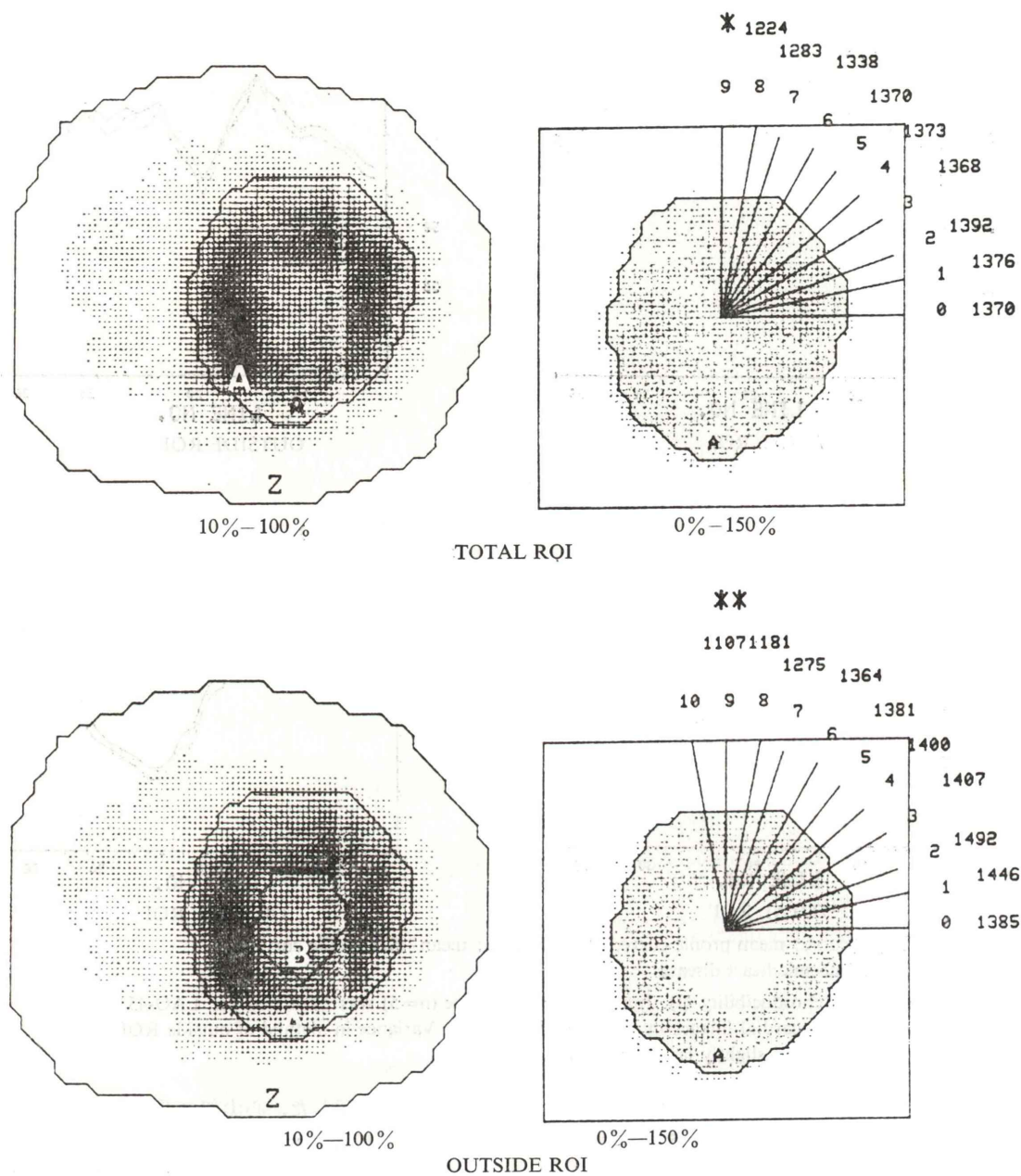
1. 再現性の検討

正常者および狭心症例の LAO 45° 像における観測者内変動の結果を Fig. 2 に示した。Total ROI 法において36本のラインにおける変動係数の平均は正常者 2.8%, 狭心症例 3.5% であり、outside ROI 法では、正常者 4.4%, 狭心症例 7.5% であった。また、同一症例についての5名の観測者間変動の結果を Fig. 3 に示した。変動係数の平均は、total ROI 法では、正常者 3.7%, 狭心症例 6.3% に対し、outside ROI 法は正常者 6.6%, 狭心症例 13.3% であった。いずれの症例においても outside ROI 法は total ROI 法に比べ、やや再現性が劣る結果を得た。

2. 判定基準の検討

プロフィールカウントの一定レベルを基準とする際の判定基準値を求めるため、正常下限値を50%から95%まで5%ずつ上げた場合の正常者10例における偽陽性率 (FPR) の変動を求めた (Fig. 4)。なお、各症例ごとの偽陽性の判定は、3方向のうちいずれか1方向以上において、正常下限値以下のライン No. が3つ以上連続した場合を偽陽性とした。

その結果、FPR 10% 以下を許容範囲とした場合の「一定レベルの基準」は、total ROI 法では70%, outside ROI 法では60%であった。



ROI Z: region of interest for interpolative background subtraction

ROI A: region of interest of myocardium

ROI B: region of interest of central low activity area

* counts per pixel along a line from center to margin of ROI A

** counts per pixel along a line from margin of ROI B to margin of ROI A

Fig. 1 Circumferential profile analysis.

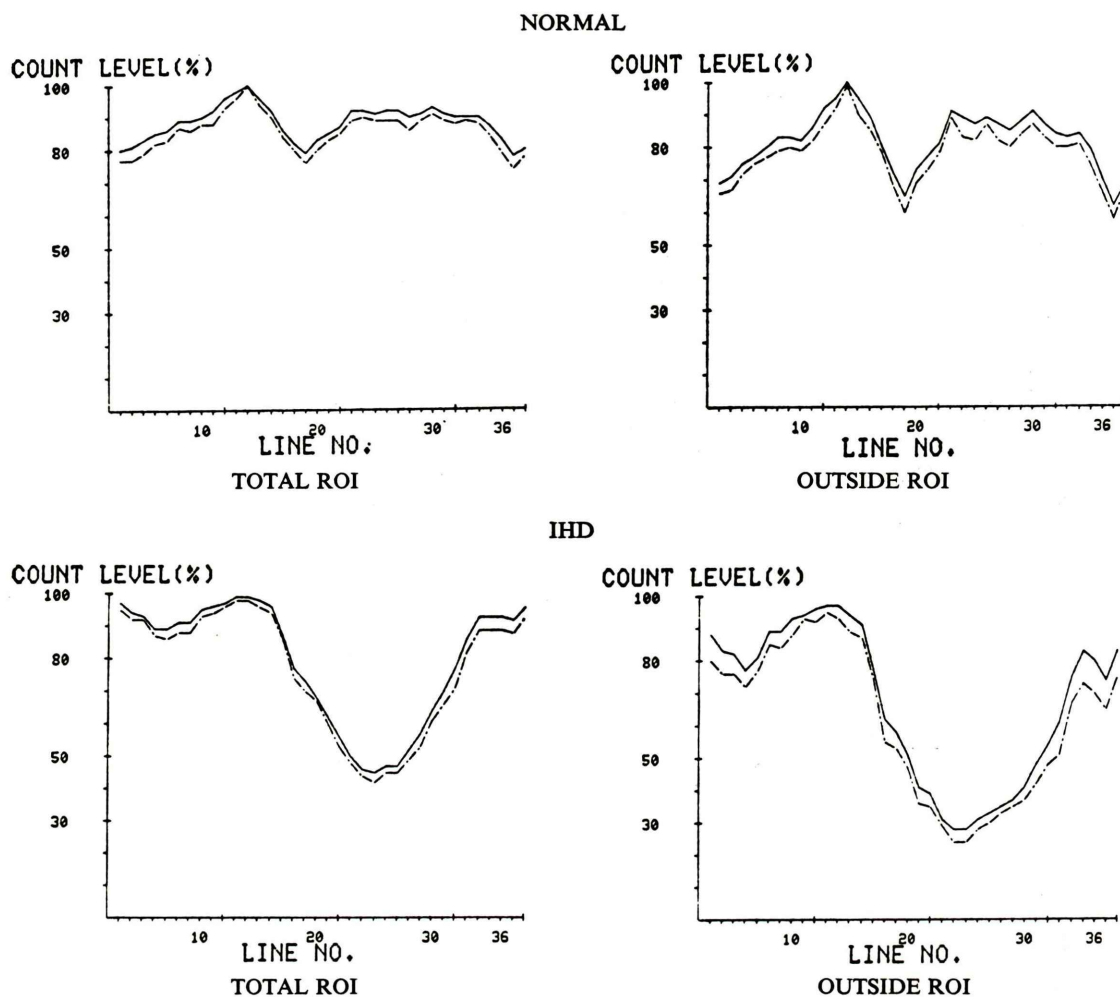
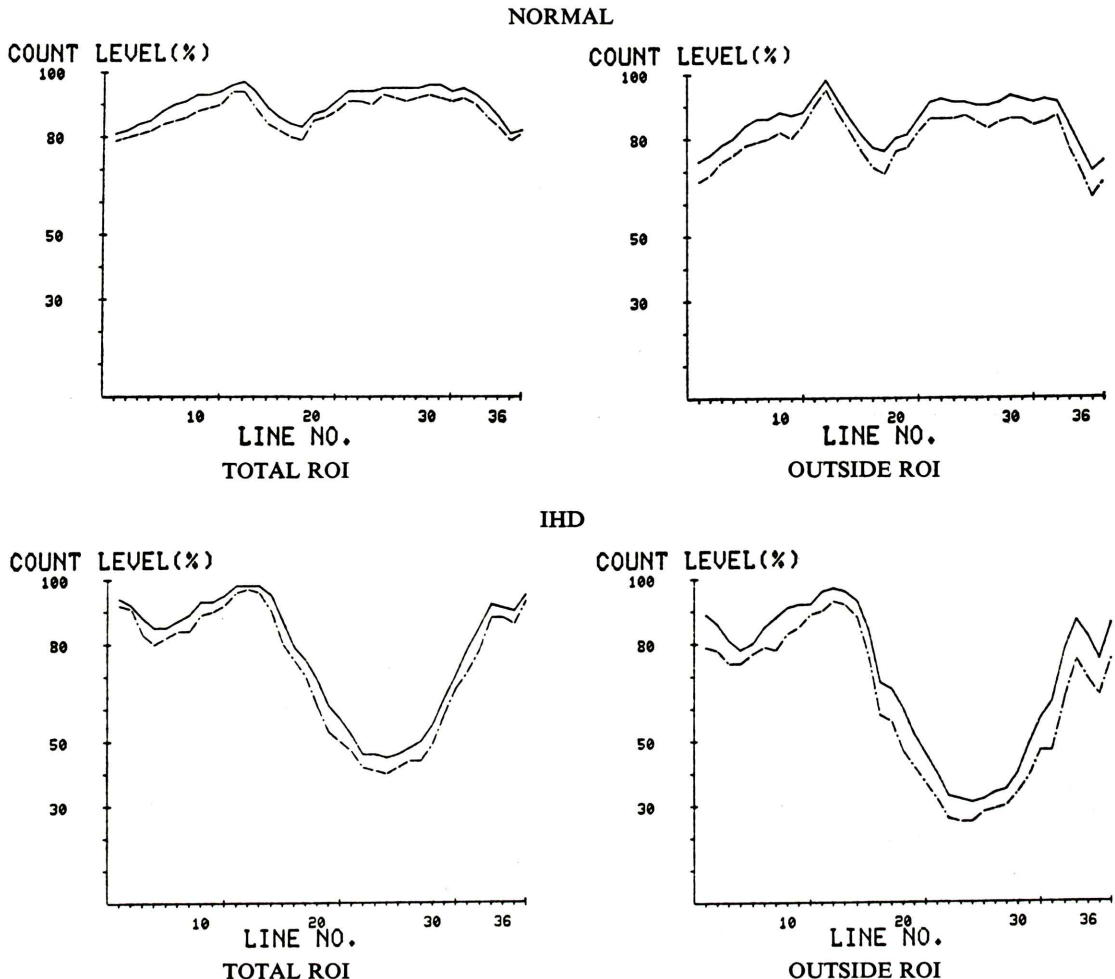


Fig. 2 Reproducibility (I). Intra-observer variance ($n=5$) was evaluated for LAO-45° myocardial images in normal and IHD case. Variance in method of outside ROI showed slightly larger than that of total ROI.

正常志願者 10 例から求めた平均および平均 $-2SD$ のプロフィールカーブを Fig. 5 に示した。前面像では、後中隔から下壁側 (ライン No. 4~ライン No. 16) のカウントは、前側壁側 (ライン No. 17~ライン No. 32) のカウントより低く、かつ個人差が大きい傾向を示した。この結果は、outside ROI 法においてより明確に認められた。LAO 45° 像では、心尖部 (ライン No. 17) 付近のカウントが低く、中隔側と側壁側はほぼ同じカウ

ントレベルを示した。心尖部の生理的欠損は、outside ROI 法においてより明確に示された。左側面像でも心尖部付近のカウントが低く、前壁側および下壁側のカウントが高い結果を示し、outside ROI 法においてその差がより顕著であった。すなわち、outside ROI 法は、total ROI 法より平均 $-2SD$ 値が低く、正常心筋の部位ごとのカウント変化が大きく算出される傾向を示した。



Upper curve: mean profile curve, Lower curve: mean-SD profile curve

Fig. 3 Reproducibility (II). Interobserver variance ($n=5$) was evaluated for two images in Fig. 2. Variance in method of outside ROI showed slightly larger than that of total ROI.

3. 虚血性心疾患の有病正診率

正常志願者10例の検討から、一定レベルの判定基準値を total ROI 法 70%, outside ROI 法 60% とし (Fig. 4), また 2 法における平均 -2 SD 値を基準値 (Fig. 5) とした場合の有病正診率を求めた。その結果、一定レベルを判定基準とした場合に、outside ROI 法の有病正診率は total ROI 法より有意に高く ($p<0.01$), また total ROI 法においては、平均 -2 SD 値を判定基準とした場合の有病正診率が、一定レベルを基準とした場合より有

意に高い ($p<0.01$) 結果を示した (Table 1)。

心筋 ROI の設定および判定基準の設定法により、心筋プロフィール解析の判定が異なった症例を呈示した (Fig. 6)。症例は、冠状動脈造影で左前下行枝近位部に 90% の有意狭窄を認めた狭心症患者である。 ^{201}Tl 心筋シンチグラムは、左側面像で前壁に ^{201}Tl 低摂取病巣を示した (Fig. 6a)。Total ROI 法においては、プロフィールカーブ上、前壁側と下壁側のカウント差が小さく、70% の一定レベルを基準とした場合では前壁の異常を判定できな

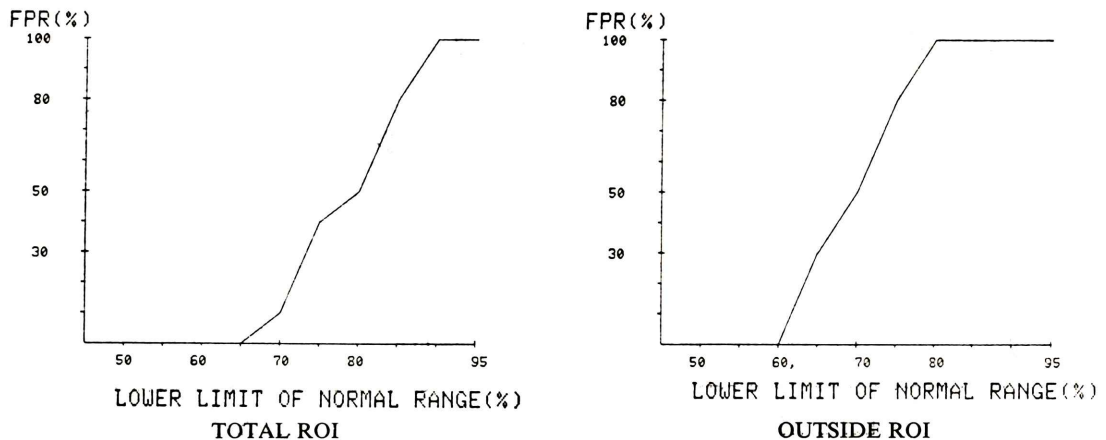


Fig. 4 Correlation between false positive ratio and constant lower limit of normal range. In order to keep FPR below 10%, lower limit of normal range were set at 70% count level in method of total ROI and at 60% count level in method of outside ROI.

Table 1 True positive ratio for ischemic heart disease

	Total ROI	Outside ROI
Constant level	79%	92%
Mean-2SD	92%	100%

TPR by method of total ROI using criteria of constant level showed significantly lowest value ($p < 0.01$).

TPR by method of outside ROI using criteria of mean-2SD profile curve showed highest value among four approaches.

い。一方、平均-2SD値を基準とした場合に軽度の異常が検出された (Fig. 6b)。これに対し、outside ROI法では、60%の一定レベルを基準とした場合に軽度の異常を検出し、平均-2SD値を基準とした場合には、明確に前壁の異常を検出した (Fig. 6c)。

IV. 考 察

虚血性心疾患のスクリーニング検査法として、運動負荷 ^{201}Tl 心筋シンチグラフィの有用性は高く評価されている。特に臨床症状として胸痛を訴え、かつ LBBB や WPW 症候群など運動負荷心電図上虚血性変化の判定が困難である状況下において、従来の非侵襲的検査を補足する意味での役割は大きいといえる。 ^{201}Tl 心筋シンチグラムは、左室心筋内の相対的血流分布を視覚的にとらえる

利点をもつが、画質の良否が正診率に与える影響が大きく²⁾、読影の客観性に問題があると思われる。視覚的判定をより客観的かつ定量的に行う方法の1つとして、Burrowら⁴⁾の提唱したいわゆる circumferential profile 法は、1方向3分間程度の処理時間で行える迅速かつ簡便な解析法である。今回著者らは、circumferential profile 法におけるプロフィールカウントの算出法と判定基準の設定法について検討を行った。プロフィールカウントの算出は、心筋 ROI の面積中心から ROI 辺縁までの1マトリックス当たりの平均カウントを求める方法 (total ROI 法) より、左室内腔に相当する放射能減少部を除いた部分の1マトリックス当たりの平均カウントを求める方法 (outside ROI 法) が再現性の点ではやや劣るものの、有病正診率を高くする可能性が示唆された。視覚的に判定する場合でも、各撮像方向においてコリメータ面と直交する方向の心筋部位の ^{201}Tl 分布状態を観察するのが一般的と思われ、本論文で outside ROI 法と称した方式はこの読影原理に則した方式といえる。しかし、2つの ROI を設定することにより、total ROI 法に比べ再現性の点でやや劣るが、スクリーニング検査法の解析方法としては診断率の高い方式を重視すべきであると思われる。今回検討した

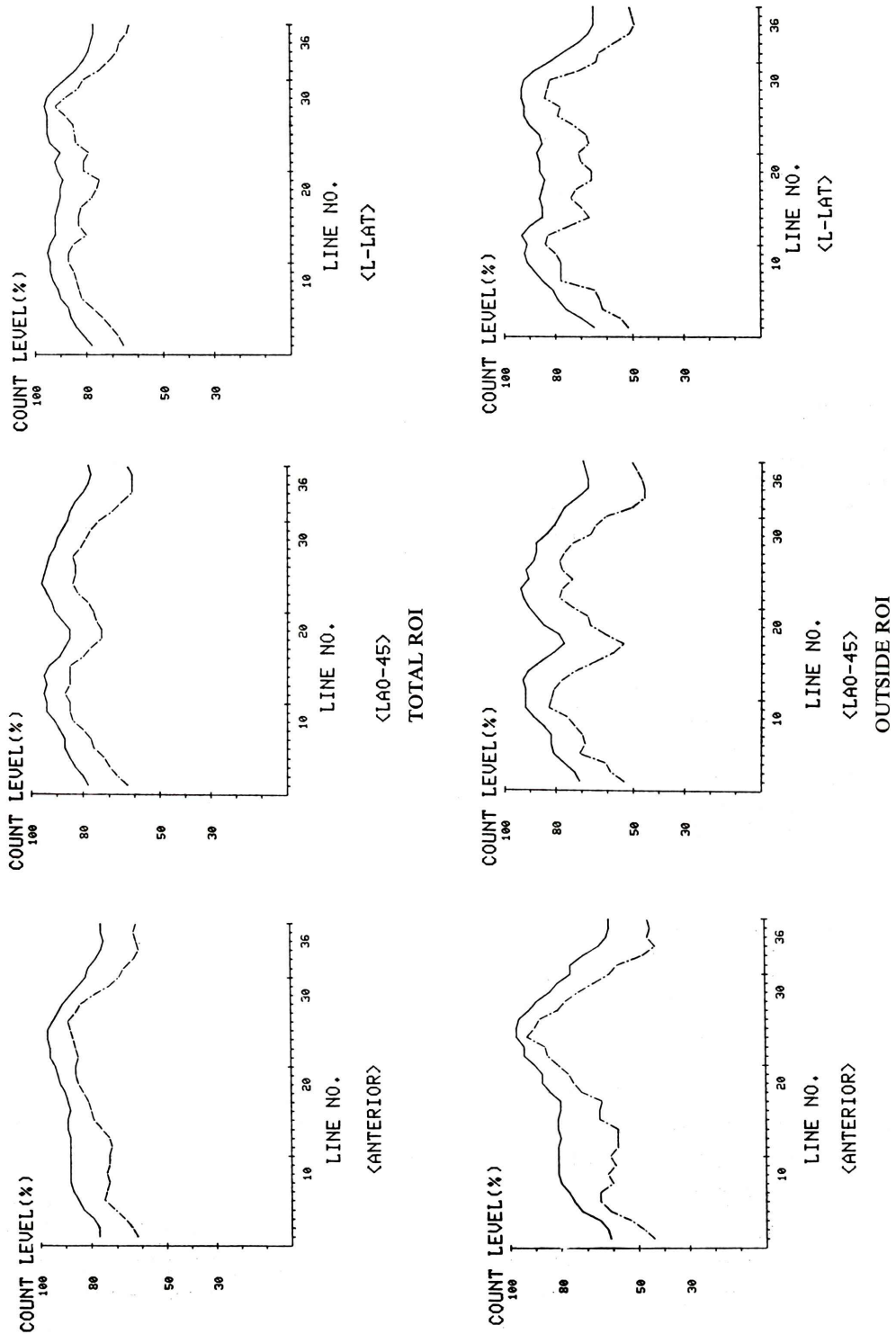


Fig. 5 Circumferential profile curves of 10 normal cases.

Upper curve: mean profile curve, Lower curve: mean -2SD profile curve as the lower limit of normal range.

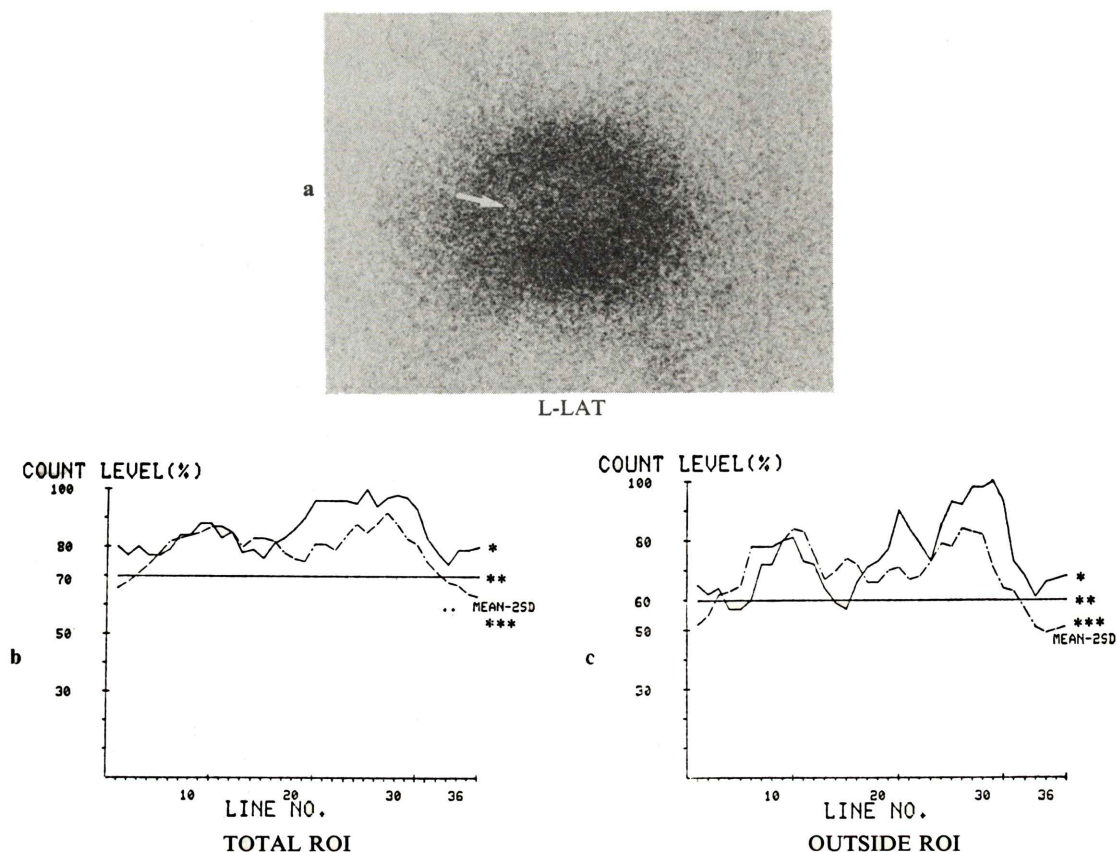


Fig. 6 A case with ischemic heart disease.

a: stress ^{201}Tl myocardial image of left lateral view showed hypoperfusion area in anterior wall (arrow)

b: * circumferential profile curve
 ** 70% count level used as lower limit of normal range
 *** mean-2SD curve used as lower limit of normal range

c: * circumferential profile curve
 ** 60% count level used as lower limit of normal range
 *** mean-2SD curve used as lower limit of normal range

Results by method of outside ROI using criteria of mean-2SD profile curve showed best correlation to results of coronary arteriogram and ^{201}Tl myocardial images.

以外のプロフィールカウントの算出法としては、心筋を12あるいは16個の分画にわけ、各分画ごとに1マトリックス当たりの平均カウントを求める方法^{10,11)}や各ライン上の最高カウントを求める方法⁹⁾が報告されている。

判定基準の設定法として、一定レベルを基準とする方法と平均-2SD値を基準とする2方法について比較したが、total ROI法においては、明

らかに後者の判定基準が優れていると思われた。正常者における心筋イメージ上の ^{201}Tl 分布は必ずしも均一ではなく、一定レベルを基準とすると、無病正診率を高く保つ基準を設けた場合相対的 ^{201}Tl 分布の高い部位の軽度の異常を検出し難くなり、有病正診率が低くなると考えられる。一方、平均-2SD値を正常下限とする方法^{4,8,9)}は、各方向の各部位ごとに判定基準を変えるきわめて精

密な方法といえる。高岡¹⁰⁾は、平均 -2 SD 値に平均値を 100 とする補正係数をかけた補正プロフィールカーブを基準とする方式を報告している。今回の検討では補正プロフィールカーブの作成は試みなかったが、いずれにせよ正常者10例から算出した基準であり、さらに多数例の解析結果を基準とすべきと思われる。

心筋イメージの画像処理法として、Meade¹²⁾らはフーリエ変換を用いる方法を報告しているが、今回の解析では、前処理として全て Goris⁵⁾らの補間法によるバックグラウンドサブトラクションを行った。バックグラウンド処理を行う際の ROI を、右室心筋および肝などの ^{201}Tl 高摂取領域を避けて任意に設定することにより、バックグラウンドの過大評価を避けた。バックグラウンドサブトラクションは、いわゆる再分布像との経時の変化を解析する場合に必要とされている⁸⁾。今回の負荷直後のみの検討においても、バックグラウンド処理を行わない場合の有病正診率は、平均 -2 SD 値を判定基準とした outside ROI 法で88%であり、バックグラウンド処理を行った場合の100%に比して明らかに低い結果であった。すなわち、中居ら¹¹⁾の報告のごとく診断精度向上に関しても、バックグラウンド処理は有用な方法と思われた。

従来より定量的診断法の虚血性心疾患に対する検出率は視覚的診断法より高いとされており、今回の検討でも視覚的には79%の有病正診率であった。また、運動負荷直後および再分布完了時の経時の変化を定量的に解析することにより、さらに ^{201}Tl 心筋イメージングの診断精度が向上することが報告^{8,9,11)}されている。今回の検討結果をもとに、今後再分布状態も考慮したコンピュータによる自動診断プログラムを作成することにより、客観的かつ定量的な ^{201}Tl 心筋イメージ診断を試みる予定である。

V. ま と め

運動負荷 ^{201}Tl 心筋イメージの circumferential profile 法について検討した。プロフィールカウントの算出は、左室内腔に相対する放射能減少部を除

いた部位の平均カウントを求め、かつ判定基準を平均 -2 SD 値を正常下限とすることにより、虚血性心疾患の診断率が向上することが示唆された。

なお、本論文の作成にあたり、貴重な症例を提供して頂いた関東通信病院循環器内科の諸先生方に謝意を表します。

文 献

- 1) 飯沼 武：医用画像における臨床的有効度の評価 (II)—ROC 解析と意志決定—核医学 17: 1035-1043, 1980
- 2) ^{201}Tl 心筋梗塞イメージの客観的解析研究会 (委員長・永井輝夫)：放射性タリウム心筋梗塞イメージの客観的解析一班研究報告 (第1報). 心臓 14: 969-979, 1982
- 3) Beraman DS, Garcia EV, Maddahi J: Clinical nuclear cardiology, Berman DS and Mason DT. eds. Grune & Stratton, New York, 1981. p 88
- 4) Burow RD, Pond M, Schafer W, et al: "Circumferential profiles" a new method for computer analysis of thallium-201 myocardial perfusion images. J Nucl Med 20: 771-777, 1979
- 5) Goris ML, Daspit SG, McLaughlin P, et al: Interpolative background subtraction. J Nucl Med 17: 744-747, 1976
- 6) 飯沼 武：医用画像における臨床的有効度の評価—I) 決定マトリックスによる評価因子—核医学 17: 639-646, 1980
- 7) 宮永 一, 足立晴彦, 渡辺都美, 他：Tl-201 心筋シンチグラムの定量的評価への試み—Circumferential profile 法による評価—核医学 17: 1279-1284, 1980
- 8) Garcia E, Maddahi J, Berman D, et al: Space/Time quantitation of thallium-201 myocardial scintigraphy. J Nucl Med 22: 309-317, 1981
- 9) 多田 明：負荷心筋スキャンにおける circumferential profile 解析と wash out ratio 測定. ニュータウンカンファレンス 5: 37-40, 1982
- 10) 高岡 茂：タリウム心筋イメージの定量解析—プロフィールマップ補正法の検討—ニュータウンカンファレンス 3: 6-9, 1981
- 11) 中居賢司：冠動脈疾患の負荷 Tl-201 心筋イメージング—Circumferential profile 法による定量化の試み—ニュータウンカンファレンス 4: 76-79, 1981
- 12) Meade RC, Bamrah VS, Horgan JD, et al: Quantitative methods in the evaluation of thallium-201 myocardial perfusion images. J Nucl Med 19: 1175-1178, 1978