

《原 著》

Tl-201 心筋 SPECT を用いた壁厚展開図による 心筋壁厚の定量評価とその臨床的有用性

堰合 恭弘* 沢井 通彦* 村山 晋* 丹野 恒明*
 三国谷 淳* 小野寺庚午* 西沢 一治** 兼平 二郎**
 岡本 勝博*** 鎌田 斉****

要旨 Tl-201 心筋 SPECT 像を用いて、心筋肥厚部位を客観的かつ定量的に評価するため、展開図形式の壁厚図を考案し作製した。壁厚図の意義を、ファントムを用いた基本的面ならびに心エコー法による臨床的面から検討した。壁厚図の作製には撮像した画像から 5.6 mm 間隔で短軸断層像、矢状断層像、および水平断層像を得て、心中央部では短軸断層像から、心尖部では矢状断層像、水平断層像の中心を通る断面から壁厚を求めた。壁厚の決定には cut off 法を用い、cut level 以上のピクセル数を壁厚とした。ファントムを用いた基本的検討では 10 mm 以下の壁厚の識別は不可能と思われたが、10 mm, 15 mm, 20 mm の壁厚の識別は可能であった。また、心エコー法で求めた心室中隔の厚さは本法で求めた値と良い正相関を示した ($r=0.96$)。われわれが作製した壁厚図は、心筋肥厚部位の客観的かつ定量的評価に有用な方法と思われる。

I. 緒 言

Tl-201 心筋シンチグラムは虚血性心疾患の診断に広く用いられているほかに、肥大型心筋症などの肥大大心の壁厚の評価にも使われている。しかしその評価は視覚的に行われ、定量的に評価されることは少なく、客観性に乏しい欠点があった¹⁻⁴⁾。われわれはこれまで Tl-201 心筋 SPECT 像の三次元的情報を定量評価しうる方法として、画像情報を一つの画面に表示する梗塞領域図⁵⁾、再分布図⁶⁾等の展開図法を報告してきた。

本研究では、心筋の壁厚を客観的に表示しかつ定量的に評価する目的で、展開図法を用いて Tl-

201 心筋 SPECT 像から壁厚展開図を作製した。そして作製した壁厚展開図の信頼性を心筋ファントムによる基本的検討から、また、その臨床的有用性を心エコー図法から求めた臨床データとの比較により検討した。

II. 対象および方法

1) 対 象

壁厚測定の基礎的検討には、Fig. 1 に示すように心筋ファントムモデル 1 とモデル 2 を用いた。モデル 1 は壁厚がそれぞれ 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm のいくつかのファントムからなり、モデル 2 は同一断面の壁厚を 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm に調節できる長軸方向 20 mm の欠損を有するファントムである。いずれのモデルでも中空内に Tl-201 3 $\mu\text{Ci/ml}$ の溶液を注入し基礎的検討をした。

臨床例では、Tl-201 心筋シンチグラムを施行した肥大大心を有する症例のうち、その 1 週間前後に心エコー法により拡張末期の心室中隔壁厚を測定した 10 症例について検討した。

* 弘前大学医学部第二内科

** 同 放射線科

*** 弘前市立病院内科

**** 同 放射線部

受付：62 年 9 月 18 日

最終稿受付：63 年 5 月 13 日

別刷請求先：青森県弘前市大字在府町 5 (☎ 036)

弘前大学医学部第二内科

小野寺 庚 午

2) 撮像方法

撮像には高分解能コリメータを装着した回転式ガンマカメラ(東芝製 GCA-70A)を用いた。ファントムおよび被検者の右前斜位 30° から左後斜位 60° にかけて 6° ずつカメラを回転させ、1方向 30 秒で 128×128 マトリックスでデータ収集した。データ処理には各画像の 9 点 smoothing を行い、Shepp & Logan filter 処理後、ミニコンピュータ(東芝製 GMS-55A)から画像再合成を行い、5.6 mm 間隔で左室短軸断層像、矢状断層像および水平断層像を得た。なお吸収補正は行わなかった。

3) 壁厚展開図作製法

心基部から肉眼的にわかる十分な心内腔が存在する心尖部周囲(心尖部から約 7 スライス、症例

によって異なる)までは、Fig. 2 左図に示すように、それぞれの前壁を 0° とし画像の中心を通る時計方向回転 10° ごとの直線 18 本を設定した。このとき各直線上 36 ポイントの Tl 摂取率は、1 断面での最高カウント値を 100% とすると、Fig. 2 右図に示されるような profile curve で表される。矢状断層像ならびに水平断層像については、心臓長軸を通る断層面を選んで上記と同様の方法で中心を通る直線を設定し、それぞれの点における profile curve を求めた。以上の profile curve からの壁厚の決定には一定の cut off level を決め、その level 以上のピクセル数を壁厚として計算した。なお、1 ピクセルは 2.8 mm である。

ここで問題となるのは心尖部壁厚の測定である。本研究では心尖部を前壁、下壁、中隔および側壁

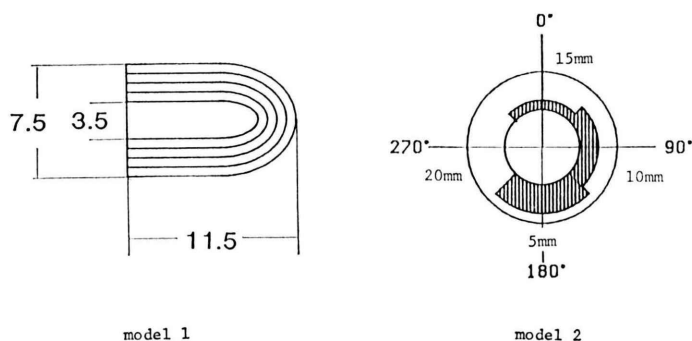


Fig. 1 Schema of two kinds of phantom, model 1 and model 2.

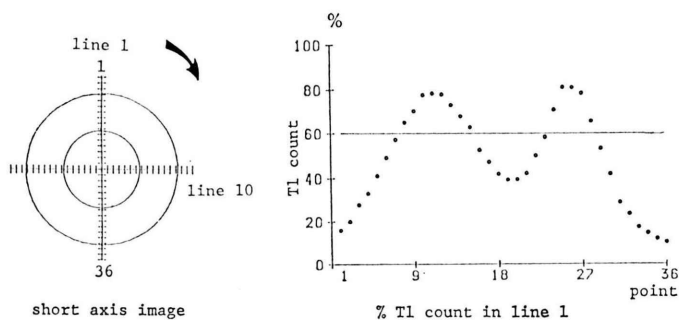


Fig. 2 Diagram showing how to measure wall thickness from short axis image of SPECT. Each line by 10° is divided into 36 counting points, with the maximal count as 100%. The circumferential profile curve of wall thickness is displayed in the left as the percentage of the maximal count.

相当部の4つに分割した。そして前壁ならびに下壁相当部位は矢状断層像より、中隔および側壁相当部位については水平断層像よりその壁厚を求めた。いずれの断層像でも、短軸像と同様の方法で中心を通る直線を設定し、それぞれの点における profile curve の検討から壁厚を算出した。Fig. 3 はこのようにして求めた壁厚展開図を表示している。

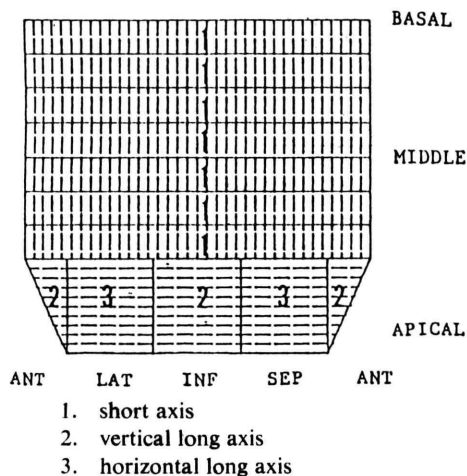


Fig. 3 Schema of wall thickness map. Wall thickness from the base to middle of heart is obtained from the short axis image, and the apical wall thickness is obtained from vertical and horizontal long axes. ANT: anterior, LAT: lateral, INF: inferior, SEP: septal

る。この map で、心尖部を除く領域の壁厚は各スライス短軸断層面において 36 分割して表示され、心尖部前壁側の壁厚はマップ下端の左右に 10 分割して表示されている。また、心尖部下壁側はマップ下端中央に、心尖部中隔寄りならびに側壁の壁厚もマップ下端に 10 分割して表示されている。

なお、壁厚の算出にはミニコンピュータの GPL 言語を用い、壁厚展開図のカラー表示には NEC 製 PC 9801VX の BASIC 言語を用いてわれわれが独自にプログラムを開発した。

III. 結 果

1. 心筋ファントムによる検討

まず、心筋ファントムモデル 1 を用いて、cut off 法により得られたピクセル数と実際の壁厚との間の関連を検討した (Fig. 4)。各ファントム中央部短軸断層像のピクセル数を 10° ごと、すなわち 36 点について求め加算平均すると、cut off level 60% の時、壁厚 5 mm で 5.75 ± 0.73 (平均 ± 標準偏差) ピクセル、10 mm で 6.56 ± 0.50 ピクセル、15 mm で 7.86 ± 0.64 ピクセル、20 mm で 9.44 ± 0.60 ピクセルであった。実際の壁厚とピクセル数は $y = 4.31 + 0.24x$ ($r = 0.99$) で示される正相関関係にあった。また、cut off level 70% では 5 mm で 4.19 ± 0.92 ピクセル、10 mm で 5.17 ± 0.78 ピクセル、

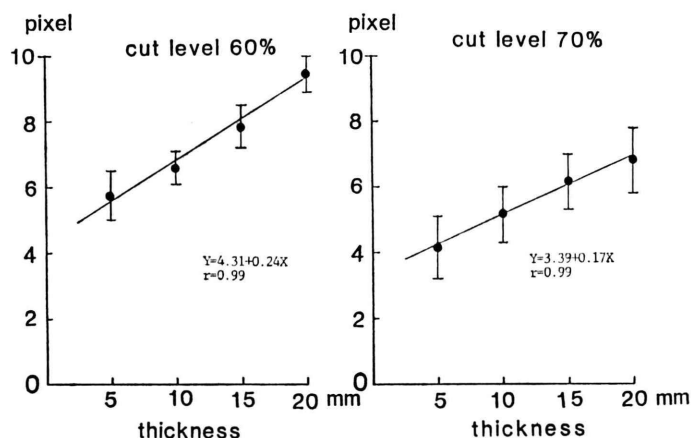


Fig. 4 The relation between pixel count by cut off method and wall thickness in phantom model 1.

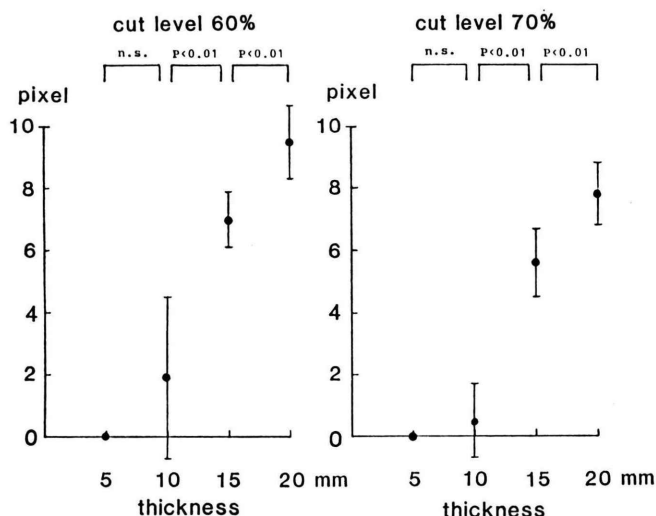


Fig. 5 The relation between pixel count by cut off method and wall thickness in phantom model 2.

クセル, 15 mm で 6.17 ± 0.78 ピクセル, 20 mm で 6.92 ± 0.87 ピクセルであった. cut off level 70% でも実際の壁厚とピクセル数の間には $y = 3.39 + 0.17x$ ($r = 0.99$) で示される良い正相関関係があり, 60% の cut off level に比べ実際の壁厚値により近いようであった.

次に, ファントムの壁厚を変えてある点で臨床例に近いと思われるモデル 2 を用いて検討した (Fig. 5). 部位による測定誤差を均一にするため, 5 mm から 20 mm にわたるそれぞれの厚さのファントム壁が中隔, 前壁, 側壁, 下壁にくるように回転し, 都合, 4 回データを収集しその平均値を求めた. 60% ならびに 70% のいずれの cut off level でも 5 mm と 10 mm の壁厚の識別は困難であった. しかし, 10 mm 以上の壁厚に関しては, cut off level 60% で 10 mm が 1.92 ± 2.61 ピクセル, 15 mm が 7.00 ± 0.85 ピクセル, 20 mm が 9.50 ± 1.17 ピクセルといずれの間にも有意差がみられ ($p < 0.01$), cut off level 70% で 10 mm が 0.50 ± 1.17 ピクセル, 15 mm が 5.58 ± 1.08 ピクセル, 20 mm が 7.83 ± 1.03 ピクセルと, 同様にいずれも有意の変化であった ($p < 0.01$).

以上のファントムを用いた基本的検討から 10

mm 以上の壁厚の識別が可能と考えられた.

2. 臨床例での心エコー法との比較

Figure 6 は, 臨床例の 10 症例について, 心エコー図法により得られた心室中隔の厚さを cut off level 60%, 70% で設定した SPECT のデータと比較した成績である. cut off level 60% では $y = 3.09 + 0.29x$ ($r = 0.97$) の関係にあり, cut off level 70% では $y = 1.44 + 0.28x$ ($r = 0.96$) で示される関係にあった. いずれの cut off level でも良い正相関関係が得られたが, 60% の cut off に対して 70% では心エコー図法から得られる測定値により近いピクセル数を示した.

3. 症例呈示

症例は 42 歳, 男性. SPECT 像では中隔と心尖部に心筋の肥厚が認められた (Fig. 7). Fig. 8-a は cut off level 60% で測定した同症例の壁厚図であるが, SPECT 像で示された心筋壁厚が具体的にカラー表示されて観察される. Fig. 8-b は Fig. 8-a で 9 ピクセル以上の部位をそのピクセル数に応じて表示したものである. この症例における最も厚い部位は心尖部よりの下壁, 前壁および中隔側にあり, 13-14 ピクセルであった. また心エコー法で測定した心室中隔部の厚さは 26 mm,

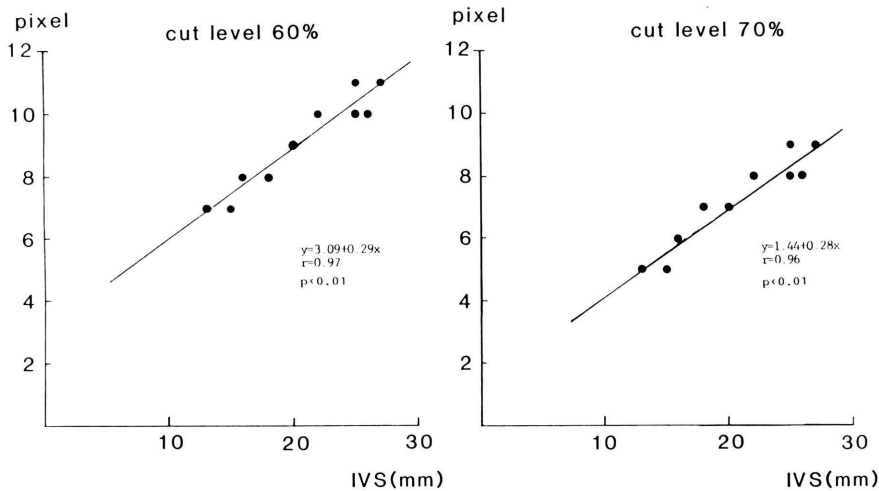


Fig. 6 The relation between pixel count by cut off method and thickness of IVS in 8 humans.

IVS: interventricular septum

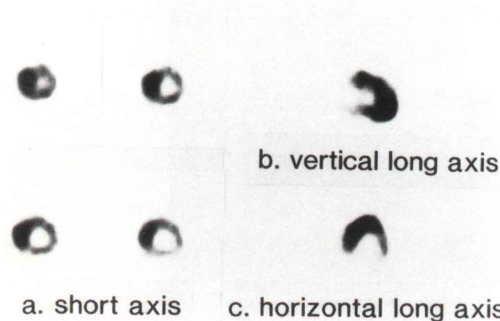


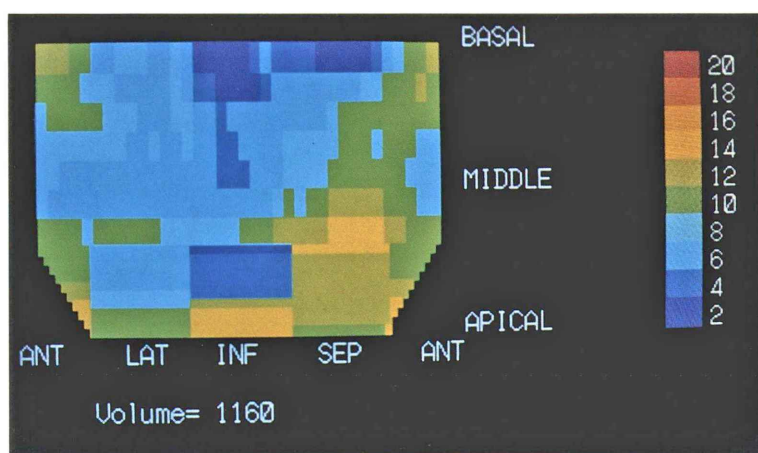
Fig. 7 A representative of myocardial images in SPECT in a patient with hypertrophic cardiomyopathy.

それに相当する壁厚図での心中央部中隔側の厚さは 10 ピクセルであった。肥厚部位がより明らかに観察され、9 以上の部位のピクセルの総和が thickness score として算出される。さらに Fig. 8-c では、左室全面積に対する肥厚心筋の部位 (9 ピクセル以上) の割合が % thickness として求められている。

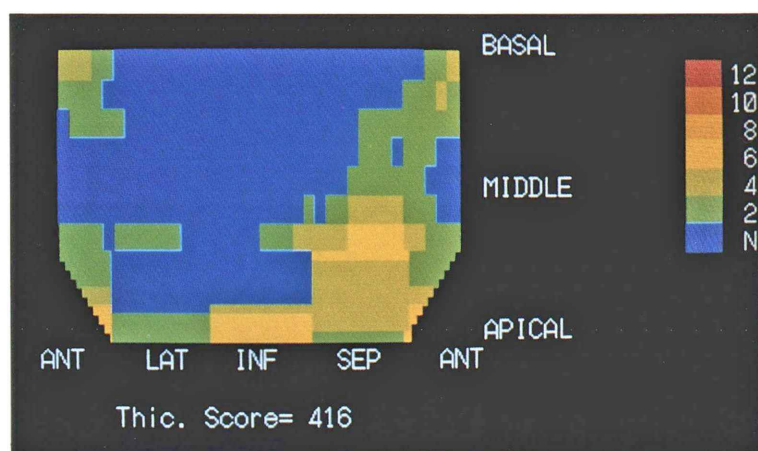
IV. 考 案

現在、心筋壁の評価には心エコー図法⁷⁻⁹⁾や左室造影法¹⁰⁾が用いられることが多い。しかし、心エコー図法は非観血的に心筋の壁厚を評価する上で優れた方法であるものの、必ずしも心臓の全体をうまく観察できるとは限らない、心尖部の評価が難しい、などの点で問題がある。一方、左室造影法は高い測定精度を有するものの、撮像方向の制限 (多くても同時 2 方向)、心筋壁の識別、などの点で問題を有している。これに対して、TI-201 心筋シンチ SPECT 像は壁厚を評価するうえで分解能に多少問題があるが¹⁻⁴⁾、心臓全体を定量的に評価できる利点がある¹¹⁾。本研究では、TI-201 心筋シンチ SPECT 像を用いて心筋の壁厚を展開図として表し、心筋壁厚の程度を定量評価する方法を検討した。

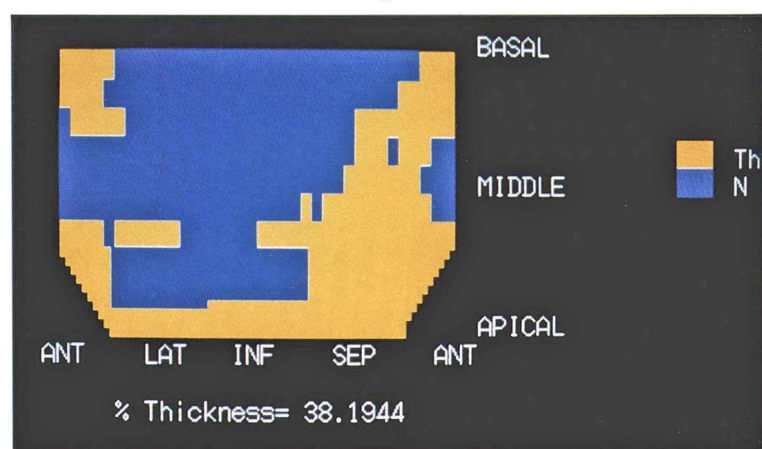
本研究で行ったファントムを用いた基本的検討によると、壁厚が一定のモデルでは、60%あるいは 70%のいずれの cut off level でも TI-201 心筋シンチ SPECT 像は実際の厚さよりも壁厚を過大評価する傾向にあった。しかし 5 mm から 20 mm の間では、ピクセル数は壁厚と非常に良い正相関



a



b



c

Fig. 8 A map of wall thickness in the same patient shown in Fig. 7. Numbers shown in the right of pictures mean pixel count.

関係にあった。また、壁厚を4段階に変えたファントムでは、5 mm と 10 mm の識別は不可能であったが、10 mm と 15 mm, 15 mm と 20 mm の識別が可能であった。以上から、現状の TI-201 心筋シンチ SPECT 像を用いて壁厚の厳密な値の算出、10 mm より小の壁厚の識別、などは難しいと思われるが、10 mm 以上の壁厚についてはある幅をもって識別することは可能である。本研究の結果は 10 mm 以上の壁厚の edge を % cut off 法で行うことの妥当性を支持するものであった。

臨床例での心エコー法との対比では、心室中隔の厚さが 13 mm 以上の 10 例で良い正相関関係にあった。ここで肥太心などで臨床的に問題となるのは、壁厚の絶対値を正確に知ることよりも、どの程度の厚さがどのように広がっているかであろう。その意味では、壁厚をある厚さの幅で展開図として表示する本法は、心筋壁厚を定量評価するうえで有用と思われる。

呈示した症例 (Fig. 8) は本法による心筋壁厚評価の 1 例で、心筋壁厚をピクセル数の違いによってカラー表示している。ここで 9 ピクセル以上と限定した理由は、20 mm 以上の肥厚部位の検出を想定したからであり、この方法によってある一定以上のピクセル数を示す壁厚はその壁厚程度 (Thickness Score: ある値以上のピクセル数の左室での総和)、広がり (%Thickness: あるピクセル数以上の部位の左室全体の面積に対する割合) から定量的に評価される。

しかし、本法にはいくつかの問題点がある。その第 1 点は、10 mm より小の壁厚の評価はできないことである。ファントムでの検討から、均一な壁厚の心筋は 10 mm より小でもある程度識別が可能と思われた。しかし、同一断面に異なる壁厚がある場合の検討では、壁の薄い 10 mm 以下の部位は過小評価され、ほぼ 0 ピクセルであった。TI-201 心筋シンチ SPECT の限界であろう。

第 2 点は、ある幅をもった心筋壁厚 (本研究では 2 ピクセル、すなわち 5.6 mm ごと) の評価は可能であるが、壁厚の絶対値の測定には問題があることである。cut off 法で壁厚を決定するうえで

の TI-201 心筋シンチグラム分解能の限界である。

第 3 点は、本研究では壁厚測定に際して心電図同期していなかったことである。心電図同期しない場合、左室自由壁の厚さが過大評価されるといわれている。しかし、心電図同期しなかった場合でもその壁厚はおおよそ心電図同期した場合の拡張期壁厚に等しいという報告¹²⁾もあり、本法のようにある幅をもつての壁厚の評価ではあまり大きな違いにならない。

その他、虚血壁運動、吸収補正、180°スキャンなどの壁厚測定に及ぼす影響などがある。壁運動に異常がある場合、その壁厚は過小評価される¹³⁾。ここで本法の対象となるのは肥太心の肥厚部位であり、虚血性心疾患等における壁厚評価は適応されない。しかし、呼吸補正をしていないこと、180°スキャンによる判定などのため、下壁の肥厚部位は過小評価される¹⁴⁾可能性があることは留意されなければならない。

V. 結 語

1) TI-201 心筋 SPECT から、心筋壁厚を壁厚展開図として表示する方法を考案し作製した。

2) 心筋ファントムモデルでの基本的検討では、10 mm より小の壁厚の識別は不可能と思われたが、10 mm, 15 mm, 20 mm の壁厚の識別は可能であった。また、心エコー法で求めた心室中隔の厚さは本法で求めた値と良い正相関を示した ($r=0.96$)。

3) 本研究で示した壁厚図は 10 mm より小さい壁厚の識別には用いられないが、10 mm 以上の壁厚をある幅 (本研究では 5.6 mm) をもって表示することができ、心筋壁厚の定量評価に有用である。

文 献

- 1) 竹沢英郎, 二神康夫, 馬場正治, 他: 特発性心筋症の ^{201}Tl 心筋 Emission CT 像について. 特発性心筋症調査研究班, 昭和 56 年度研究報告集, pp. 251-259, 1982
- 2) 竹沢英郎, 二神康夫, 浜田正行, 他: ^{201}Tl 心筋 gated SPECT による肥大型心筋症の壁厚及び左室心筋重量算出の試み. 特発性心筋症調査研究班, 昭

- 和 57 年度研究報告集, pp. 178-185, 1983
- 3) Suzuki Y, Kadota K, Nohara R, et al: Recognition of regional hypertrophy in hypertrophic cardiomyopathy using thallium-201 emission computed tomography: Comparison with two dimensional echocardiography. *Am J Cardiol* **53**: 1095-1102, 1984
 - 4) Malte C, Alden NB, A Cahid C, et al: Circumferential wall thickness measurements of the human left ventricle: Reference data for thallium-201 single photon emission computed tomography. *Am J Cardiol* **58**: 827-831, 1986
 - 5) 堰合 恭弘, 三国谷淳, 沢井通彦, 他: ^{201}Tl 心筋シンチ SPECT 像による心筋梗塞領域の非観血的定量評価——infarction map (梗塞領域図)による——. *弘前医学* **37**: 1021-1028, 1985
 - 6) 沢井通彦, 堰合恭弘, 村山 晋, 他: 心筋梗塞患者における運動負荷 Tl-201 心筋 SPECT 像の検討. *動態核医学* **1**: 51-54, 1985
 - 7) Shapiro LM, McKenna WJ: Distribution of ventricular hypertrophy in hypertrophic cardiomyopathy: A two dimensional echocardiographic study. *J Am Coll Cardiol* **2**: 437-444, 1983
 - 8) Henry WL, Clark CE, Epstein SE: Asymmetric septal hypertrophy: echocardiographic identification of the pathognomonic anatomic abnormality of IHSS. *Circulation* **47**: 225-233, 1973
 - 9) Nagata S, Nimura Y: Anatomical and functional features of hypertrophied left ventricle studied with M-mode and real-time cross-sectional echocardiographies. *Jpn Circ J* **43**: 333-341, 1979
 - 10) Mewman H, Sugrue D, Dakley CM, et al: Relation of left ventricular function and prognosis in hypertrophic cardiomyopathy; An angiographic study. *J Am Coll Cardiol* **5**: 1064-1074, 1985
 - 11) 植原敏男, 西村恒彦, 林田孝平, 他: Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) による Thallium-201 心筋シンチグラフィの定量評価(基礎検討). *核医学* **21**: 1301-1313, 1984
 - 12) Hamilton GW, Narahara KA, Trobaugh GB, et al: Thallium-201 myocardial image: characterization of the ECG-synchronized image. *J Nucl Med* **19**: 1103-1110, 1978
 - 13) Parodi O, Schelbert HR, Hamilton GW, et al: Cardiac emission computed tomography: under estimation of regional tracer concentrations due to wall motion abnormalities. *J Comput Assist Tomogr* **8**: 1083-1092, 1984
 - 14) 大嶽 達, 渡辺俊明, 小坂 昇, 他: Thallium-201 心筋 single photon emission computed tomography の定量性の検討——ファントムを用いて——. *核医学* **25**: 255-264, 1988

Summary

Quantitative Estimation of Myocardial Thickness by the Wall Thickness Map with Tl-201 Myocardial SPECT and its Clinical Use

Yasuhiro SEKIAI*, Michihiko SAWAI*, Susumu MURAYAMA*, Tsuneaki TANNO*,
Atsushi MIKUNIYA*, Kogo ONODERA*, Kazuharu NISHIZAWA**,
Jiro KANEHIRA**, Katsuhiro OKAMOTO*** and Hisashi KAMATA****

**The Second Department of Internal Medicine, **Department of Radiology,
Hirosaki University School of Medicine*

****Department of Internal Medicine, ****Department of Radiology,
Hirosaki Municipal Hospital*

To estimate the wall thickness of left ventricular myocardium objectively and quantitatively, we adopted the device of wall thickness map (WTM) with Tl-201 myocardial SPECT. For validation on measuring left ventricular wall thickness with SPECT, fundamental studies were carried out with phantom models, and clinical studies were performed in 10 cases comparing the results from SPECT with those in echocardiography. To draw the WTM, left ventricular wall thickness was measured using the cut off method from SPECT images obtained at 5.6 mm intervals from the base and middle of left ventricle: short-axis image for the base and middle of left ventricle and vertical and horizontal long-axis images for the apical region. Wall thickness was defined from the num-

ber of pixel above the cut off level. Results of fundamental studies disclosed that it is impossible to evaluate the thickness of less than 10 mm by Tl-201 myocardial SPECT but possible to discriminate wall thickness of 10 mm, 15 mm, and 20 mm by Tl-201 myocardial SPECT. Echocardiographic results supported the validity of WTM, showing a good linear correlation ($r=0.96$) between two methods on measuring wall thickness of left ventricle.

We conclude that the WTM applied in this report may be useful for objective and quantitative estimation of myocardial hypertrophy.

Key words: Wall thickness map, SPECT, Thallium-201, Left ventricular hypertrophy.