

《原 著》

学習機能を有する circumferential profile 自動診断プログラム (CAD) による心筋短軸断層像の診断能の検討

分校 久志* 小島 一彦** 多田 明* 中嶋 憲一*
滝 淳一* 南部 一郎* 利波 紀久* 久田 欣一*

要旨 ^{201}TI 心筋イメージにおける、 circumferential profile (CFP) の汎用データベースファイル (DB) の作成と、学習機能を有する CFP 自動診断プログラム (CAD) を用いて、心筋短軸断層像における、正常症例数 (CN) の変化にともなう診断能の検討を行った。CAD は、1) 入力、DB 作成、2) DB 中のデータの訂正、変更、3) 自動診断で構成される。1), 2) の実行後、その時点の DB 中の正常データを用いて、毎回診断基準データを自動的に作成、更新する。正常16例、虚血性心疾患17例の7-ピンホールにて、CN を 4, 8, 12, 16例としたとき、虚血性心疾患の有病正診率は 100%, 88%, 88%, 88%, 無病正診率は 44%, 94%, 100%, 94%。正確度は 73%, 91%, 94%, 91% と変化し、8 例以上でほぼ一定に収束した。症例数が日々増加する日常臨床では、学習機能を有する定量的自動診断が有用である。CAD は、 ^{201}TI 心筋短軸断層像の診断に簡便で有用な方法であり、また、CFP を用いた他の RI 分布評価のデータにも応用可能である。

I. はじめに

^{201}TI 心筋イメージングは虚血性心疾患の診断に広く用いられているが、その診断能の向上を目的として、近年、断層イメージング (SPECT) が行われるようになってきている。プラナーイメージ^{1,2)} と同様、SPECT においても、定量的判定法は、視覚的判定法よりも虚血性心疾患の診断能の向上が期待される^{3,4)}。定量的判定法としては、circumferential profile (CFP)⁵⁾ が、位置と量との2つを同時に表現できる点でもっとも広く用いられているが、判定基準作成のもととなる正常データの数、構成により、診断能が異なる可能性が考えられる⁶⁾。この点、症例数の変化にともなって、診断基準を自動的に作成、更新する、いわゆる学

習機能を持った自動診断プログラムの有用性が考えられる。今回、著者らの開発した、CEP の汎用データベースファイルの作成と、学習機能を有する CFP 自動診断プログラム (CFP data file and Automatic Diagnosis, CAD)⁷⁾ を用いて、7-ピンホールおよび SPECT の心筋短軸断層像における、症例数の変化に伴う診断能の検討を行ったので報告する。

II. 方 法

CAD プログラムの詳細については、すでに報告したが⁷⁾、今回、汎用データベースとして利用可能なように改訂した。その概略を以下に示す。

- 1) データ入力・ファイル作成：ID 番号、患者名、年齢、性別、臨床または確定診断、および 60 点の CFP データより構成されるデータセットを入力する。データはフロッピーディスク上のデータベースファイル (d-base) に格納される。ファイル構造は、ディスク領域の節約のため、シーケンシャルファイルとした。
- 2) データ変更、訂正：ファイルデータの内容を対話型式で変更、訂正する。

* 金沢大学医学部核医学教室

** 同 医療技術短大部

受付：59年1月19日

最終稿受付：59年3月28日

別刷請求先：金沢市宝町13-1 (〒920)

金沢大学医学部核医学教室

分校 久志

この処理は、診断確定後に、診断基準作成のもとデータとなる正常例を適宜追加する目的で行われる。以上の1), 2)の実行後、自動的に正常例の CFP データのみを d-base ファイルより順次読み出し、新たな診断基準データを作成し、診断基準データファイル(n-data)の該当する診断基準を更新する。3) CFP による自動診断：診断の対象と

なるデータセットは、ID 番号、氏名の入力によって、d-base より読み出され、該当する診断基準データは n-data より自動的に読みだされる。

診断基準データは、正常例の 60 点の CFP の各点毎にそれぞれ、平均(m)、標準偏差(sd)を算出し、 $m-2sd$ を正常下限として用いた。また、自動診断においては、CFP 上で連続する 4 点

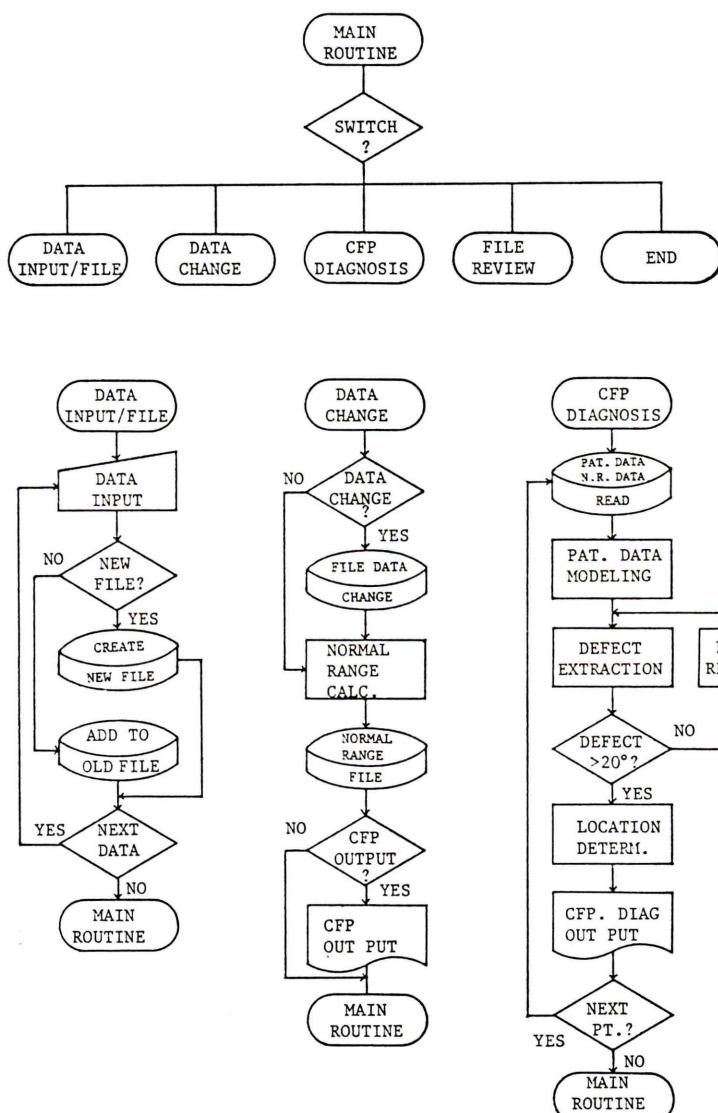


Fig. 1 Flow chart of the circumferential profile data file and automatic diagnosis (CAD) program. Each of the functions is executed by selecting the switch code under the control of the main routine.

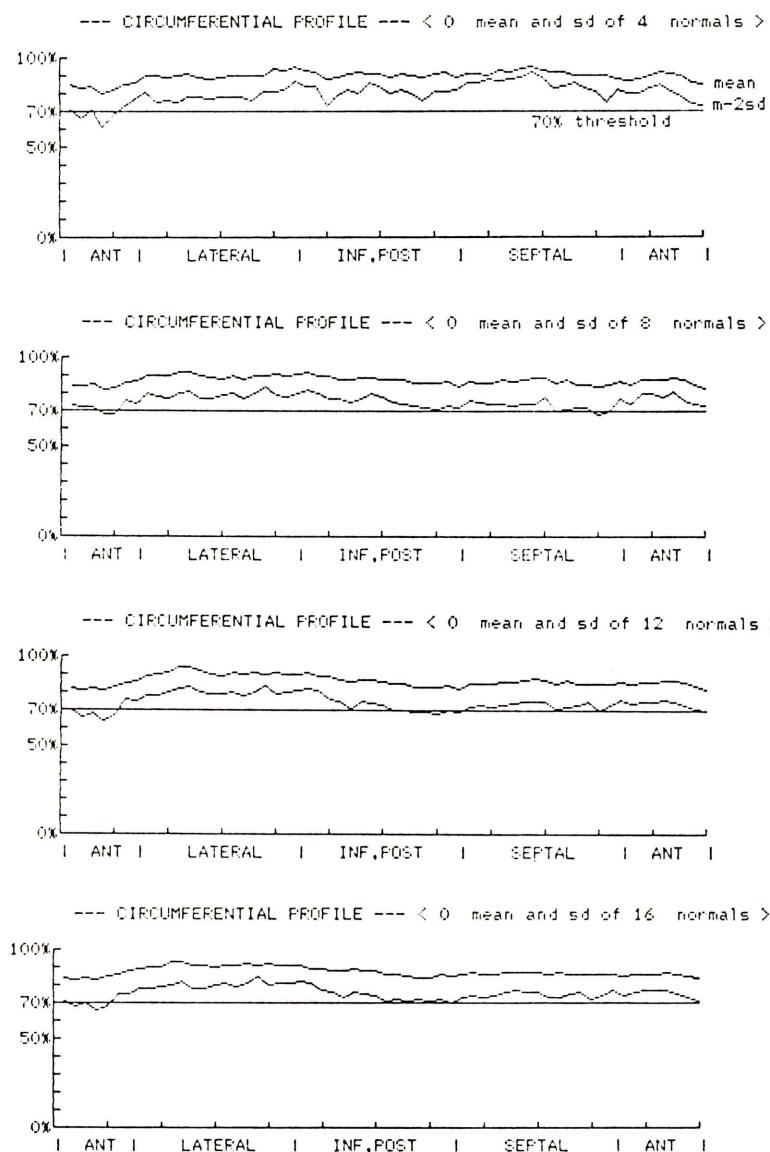


Fig. 2 Change of the diagnostic criteria (normal range; mean-2sd of the normal circumferential profiles) according to the number of confirmed normal cases (CN) are shown. Top; 4 CNs, upper middle; 8 CNs, lower middle; 12 CNs, and bottom; 16 CNs. Note normal range of 12 CNs and 16 CNs are quite similar each other.

(24°) 以上が診断基準を下回る時を有意な欠損として判定するようにした。診断結果は欠損の部位、範囲、大きさについて、CFP データとともに出力されるようになっている。以上のプログラムは、

N-88 disk BASIC (NEC) を用いて作成した (Fig. 1)。

診断能の検討は、7-ピンホールおよび SPECT 短軸像で、それぞれ、虚血性心疾患の否定された

16例、および8例、診断の確定した狭心症、心筋梗塞の17例、および、6例を対象とした。CFPは、それぞれ、心長軸を3等分する位置の心尖部寄りの1スライス(lower middle)を用いて作成した。CFPのサンプリングは、短軸像の前壁の中心部を起点として、時計回りに6°ごと60点について、最高計数値を含む3点の平均計数として行った。

撮像は、7-ピンホールは、Σ410S、VIP-450、および5mm径の7-ピンホールコリメータ(TECHNICON CARE)を用いて、750Kカウントを収集した。SPECTは、高分解能コリメータを装着したZLCカメラ対向型ECT装置およびシンチパック2400(島津)を用い、1投影方向30秒で、6°ごと360°のデータ収集を行った。²⁰¹Tlは、それぞれ、3~4mCi(117~148MBq)を静注した。

症例数の変化による診断能の検討には、d-base中で確定診断のついた正常例数(CN)を4例ごとに増加し、それぞれの診断基準での自動診断による、有病正診率(TP)、無病正診率(TN)、正確度(Ac)、および、検出された欠損の大きさを評価の対象とした。

III. 結 果

7-ピンホールでの正常例と虚血性心疾患例において、CNを4, 8, 12, 16例と増加した時のCADプログラムによる正常範囲の変化をFig.2に、診断結果をTable 1およびTable 2に示す。CNが4例のみのときは、正常の16例中7例(44%)のみが正常と診断された。このうち、3例は24°以下の異常を示した例であった(Table 1*印)。CNを8, 12, 16例としたとき、それぞれ、15(94%)、

Table 1 Change of CAD program results of 7-pinhole images in 16 normal cases according to the number of confirmed normals

#	n=4	n=8	n=12	n=16
605	N	N	N*	N*
608	N	N	N	N
612	N	N	N	N
617	N	N	N	N
630	S(30)	N	N	N
644	IPS(54)	N	N	N*
646	IPS(102)	N	N	N
648	S(78)	N*	N*	N*
650	S(66)	N*	N*	N*
651	AS(36), S(30) I(36)	N*	N	N
677	I(24), IS(72)	N	N	N
678	ASA(42), I(30) IPS(66)	A(24)	N*	A(24)
683	N*	N	N	N
701	S(30)	N	N	N
711	N*	N	N	N
714	N*	N*	N*	N*
TN=7/16(44%) (TP=17/17, 100%)		TN=15/16(94%) (TP=15/17, 88%)	TN=16/16(100%) (TP=15/17, 88%)	TN=15/16(94%) (TP=15/17, 88%)
Ac=24/33(73%)		Ac=30/33(91%)	Ac=31/33(94%)	Ac=30/33(91%)

#=patient number, N=normal, N*=normal with less than 24° abnormal areas, S=septal, I=inferior, P=posterior, A=anterior, AS=anteroseptal, TP=true positive, TN=true negative, AC=accuracy. These abbreviations are same in following Tables 2 and 3. Number in the parenthesis shows size of the detected defect(°).

Table 2 Change of CAD program results of 7-pinhole images in 17 patients with ischemic heart diseases according to the number of confirmed normals

#	N=4	N=8	N=12	N=16	Dx
606	ALS, IPS (276)	← (270)	← (252)	← (252)	AS
607	ASA, AL, S (222)	ALS (174)	← (178)	← (174)	AL
618	AS-PL, S (204)	ASL, LP (192)	← (192)	← (198)	AS
620	AS-A, S (114)	AS (42)	AS-A (36)	← (36)	AS
621	IPS, AS (174)	AS, IP (66)	IP (30)	← (36)	AS
627	ASL, IPS (310)	← (258)	ASL, S (228)	← (228)	AL-AS
628	S (30)	N	N	N	AL
629	IP, S (120)	← (84)	← (90)	← (90)	I+AS
637	S (24)	N	N	N	PI
658	IPS (120)	← (102)	← (102)	← (102)	I
660	AS, IPS (192)	← (162)	IPS (96)	AS, IPS (162)	AS-I
664	AS, AL, IPS (216)	← (162)	AS, AL, S (102)	AS, AL, IPS (138)	AS
681	ASL, IP (276)	ASL, IPL (240)	ASLP (240)	ASLP, S (240)	Ext. A
682	AS-A, S (132)	AS-A (72)	AS (48)	← (48)	PB-S
696	L-LP, IP (96)	L, PL (84)	← (90)	← (84)	PL
697	IP-S (132)	← (90)	LIP (114)	← (120)	I
715	L-IPS (150)	IPL (120)	IPS (78)	IPL (120)	IPL
Size (°)	164±81	125±83	110±81	119±81	
TP	17/17 (100%)	15/17 (88%)	15/17 (88%)	15/17 (88%)	

Number in the parenthesis shows size of the detected defect (°).

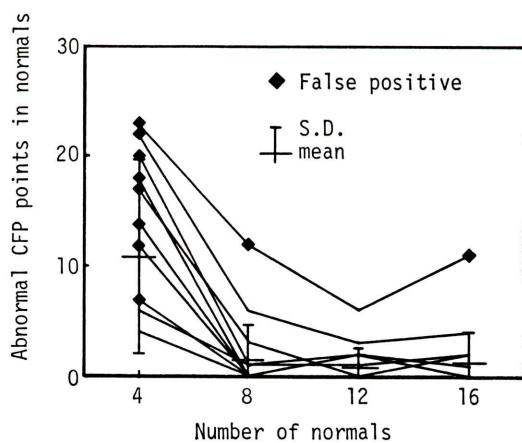


Fig. 3 Change of the size of abnormal area in 16 normal cases detected by CAD program according to the number of the confirmed normals (CN) for the normal range calculation. Difference between 4 CNs and each of 8, 12 and 16 CNs was significant ($p<0.01$). No significant difference was observed among 8, 12 and 16 CNs.

16 (100%), 15 (94%) 例が正常と診断され, TN はほぼ一定となった。CN が 8 および 16 例での偽陽性の 1 例 (#678) は、前壁の 24° の広がりの欠損と判定された例であった (Table 1)。CN が 4 例と 8~16 例で、TN は後者で有意に ($p<0.01$) 高値であった。虚血性心疾患例では、CN が 4 例のみのとき、17 例全例 (100%) が検出されたが、CN が 8 例以上では 15 例 (88%) が検出され、TP は一定であったが、いずれの場合にも有意差はみられなかった (Table 2)。

同様に CN を 4, 8, 12, 16 例とした時、正常例において、それぞれの診断基準 CFP を下回った点の症例ごとの総数をプロットした結果を Fig. 3 に示す。CN 4 例 ($m \pm sd$: 10.8 ± 8.8 点) と 8 例以上 (8, 12, 16 例で、それぞれ、 1.4 ± 3.2 , 0.9 ± 1.7 , および 1.3 ± 2.8 点) では、有意差をみとめ ($p<0.005$)、8 例以上でほぼ収束した。虚血性心疾患例では、検出された欠損の大きさは、3 例 (#660, #664, #715) を除き、CN 8 例以上ではほぼ一定で

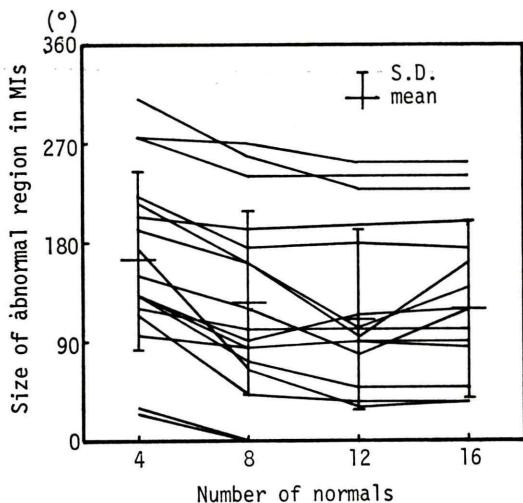


Fig. 4 Changes of the size of abnormal area in 17 ischemic heart disease cases detected by CAD program according to the number of the CNs. No significant difference was observed, however size of the abnormal region becomes rather constant in 8 through 16 CNs except 3 cases.

あったが、CN 4例と 8 例以上とでは有意差はみられなかった (Fig. 4).

Figure 5 に下壁と前壁中隔の 2 か所に陳旧性梗塞のある症例の 7-ピンホール像の CAD プログラムによる診断結果の例 (CN 16 例) を示す。2 か所の欠損が、それぞれ、小 (small) および中 (moderate) として検出されている。

以上の 7-ピンホールにおける CN の変化による CAD プログラムの診断能は、8 例以上 16 例までほぼ一定となった (8, 12, 16 例で Ac は、それぞれ、91%, 94% および 91%, Table 1).

症例数は少ないが、SPECT 短軸像で、CN を 4 例、8 例としたときの、CAD プログラムによる、負荷直後像および、 ^{201}TI の washout データの診断結果および診断例を Table 3, Fig. 6 に示す。虚血性心疾患例の負荷直後像では、CN が 4 例、8 例とも、全例検出され、また、欠損サイズの変化も見られなかったが、washout データでは、異常部の大きさの変化が見られた。正常例では、CN が 4 例のとき、負荷直後、washout とも、8

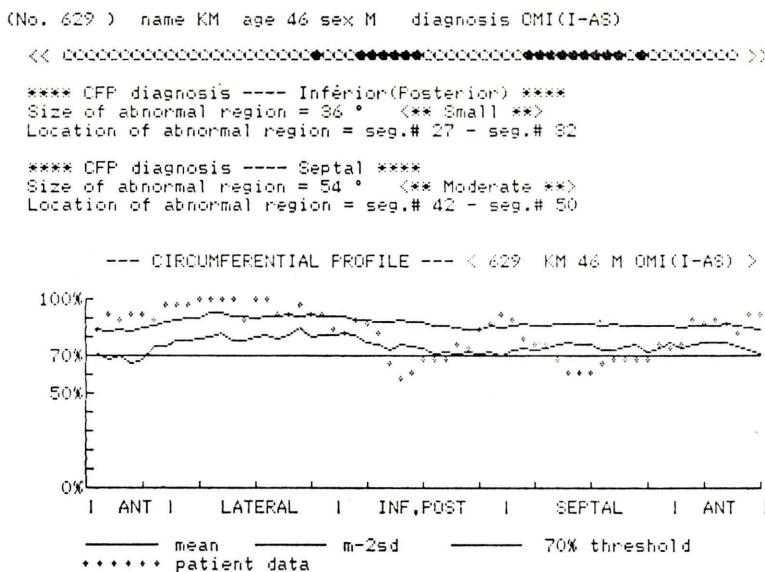


Fig. 5 Example of results of automatic diagnosis of 7-pinhole image of patient (#629) with inferior and anteroseptal myocardial infarctions by CAD program (CN=16). Both of 2 separate lesions are correctly detected.

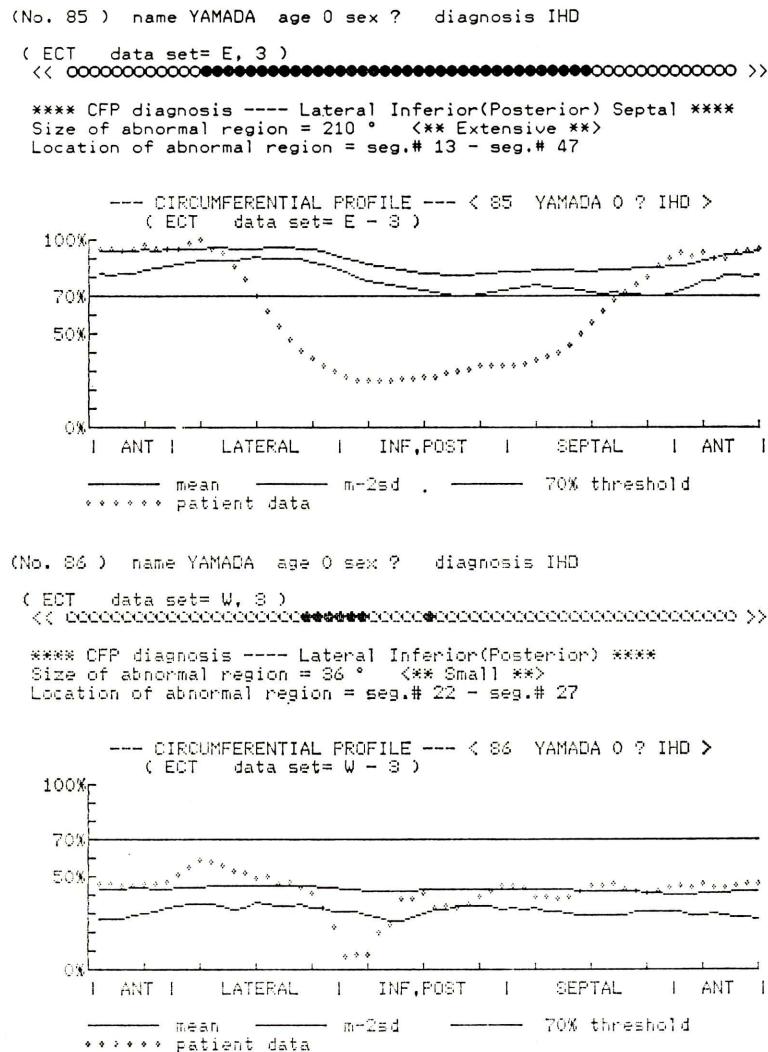


Fig. 6 Example of results of automatic diagnosis of short axial SPECT after exercise (top) and washout (bottom) of patient (#00197, data #86) with inferior myocardial infarction by CAD program (CN=8).

例中 2 例 (25%) の偽陽性が見られたが、CN が 8 例では、いずれも全例正常と診断された (TN 100 %). また、CN が 8 例では、負荷直後、washout とも、診断基準 CFP を下回る部位はみられなかった. しかし、症例数が少ないので、CN の変化による診断能、欠損の大きさの有意差はみられなかった (Table 3).

IV. 考 察

circumferential profile (CFP)⁵ は、位置および量の 2 つの情報を有する定量的表示法として、²⁰¹Tl 心筋イメージの評価に広く用いられている. 特に、弁膜部がなく、心筋が連続したリング状を呈する短軸断層像の評価に適していると考えられる. CFP はまた、各心筋部分の ²⁰¹Tl 集積の定量的判定、診断にも容易に利用できる.

Table 3 Changes of CAD program results of myocardial short axial SPECT in 6 cases with ischemic heart diseases and 8 normal cases

#	Stress		Washout		Diagnosis
	n=4	n=8	n=4	n=8	
00409	ASLI (336)	ASLI (336)	AS (24), AL (54) LIP (36), I (24)	AS (42), A (42) LI (30), I (24)	AP (6)
00012	AL (120)	AL (114)	AL (72)	AL (72)	AP (6, 8)
00361	LP (60), IPS (84)	LIPS (150)	AL (48), L (54) IPS (144)	L (24), IPS (150)	AP (AM, AV)
00197	LIPS (204)	LIPS (210)	LIP (48), I (24)	LIP (36)	OMI-I (3, 4)
00199	LIP (138)	LIP (126)	All seg. (360)	All seg. (360)	OMI-PI (1, 7, 9, 11)
00313	LIPS (168)	LIPS (174)	AL (72), LIS (162)	L (24), LIP (132)	OMI-I (2, 6)
Size (°)	(185±80)	(185±82)	(187±114)	(156±113)	
00001	N	N	N	N	N
00002	N	N	N	N	N
00003	N	N	N	N	N
00004	N	N	N	N	N
00005	L (24)	N	AL (36), L (42)	N	N
00006	N*	N	AL (36), L (36)	N	N
00069	IP (30)	N	N	N	N
00076	N*	N	N	N	N
Size (°)	(11.4±13.2)	(0.0±0.0)	(22.8±41.4)	(0.0±0.0)	

Number in the parenthesis shows size of the detected defect (°).

一般に、CFP による ^{201}Tl 心筋イメージの判定には、CFP の各点のそれぞれについて算出した、平均-2 標準偏差 (m-2sd) を、正常下限とする判定法が用いられている⁵⁾。われわれの CAD プログラムでも、m-2sd を正常下限として用い、診断基準 CFP とした。しかしながら、判定基準作成のもととなる正常データの数、構成の相違により、診断基準 CFP は異なってくる⁶⁾。すなわち、確定された正常の症例数の増加は、本来の正常者群での心筋局所ごとの区域の ^{201}Tl 分布を推定する上で重要である。

日常臨床においては、核医学検査実施時には、一般に確定診断は不明であり、後日、診断が確定する。すなわち、診断基準作成のもととなる正常例のデータは、全検査数の増加とともに増加する。この点、確定診断された症例数の増加とともに、診断基準を自動的に作成、更新する、いわゆる学習機能を持った自動診断プログラム⁷⁾は、固定した診断基準を全ての症例に一律に適用するものよりも有用と考えられる。

CAD プログラムでは、診断基準データを 24° (6 点) 以上の範囲で下回った集積低下部のみを異常とする条件をつけた。これは、CFP のサンプリングが 6° ごとであり、サンプリングの再現性に起因するアーチファクトの影響を減少させること、および、断層面での解像度を考慮したためである。例えば、半径 3 cm の心筋上では、24° は 1.3 cm の範囲となり、7-ピンホールや SPECT の解像度 (FWHM) に近い値となる¹⁰⁾。

今回の検討では、以上の診断基準により、確定した正常例数 (CN) を、4 例ずつ 16 例まで増加した場合、4 例と 8 例以上では、TN の有意な差がみられ、後者で診断能はほぼ一定のプラトーに達した。特に、CN が 12 例と 16 例では、診断基準データが、かなり類似したものとなった (Fig. 2)。すなわち、7-ピンホールの CFP では、正常例数の増加とともに、比較的早く一定の正常範囲に収束する可能性が示唆された。この理由として、1) 7-ピンホールでは、空間解像度が低く、定量性が不十分であること¹¹⁾、2) 今回の検討で用いた

正常例には、著明な非対称性心筋肥大の症例が含まれていなかつたことなどが考えられる。しかし、今回は 8 例と症例数は少ないが、より解像度と定量性に優れた SPECT⁹⁾でも、同様に症例数の増加にともない、有意ではないが、診断能の改善が見られた。この点で、イメージング法自体の限界はあるが、正常症例数の変化により、診断基準データをそのつど更新することは妥当と考えられる。

CAD プログラムは、現在、オフライン処理としているが⁷⁾、データ入力カミスの防止および、データ入力の迅速化のためには、核医学コンピュータとのオンラインの接続や、データフロッピーを介してのオフライン入力が望ましい。特に、診断確定の時点で、何時でもデータの変更、診断基準の更新ができる点で、後者の方法がより実際的と考えられる。この点については、今後さらに検討が必要である。

CAD プログラムは、²⁰¹Tl 心筋イメージ以外の、他の CFP 類似の分布測定のデータに対してもデータベースの作成と自動診断に応用可能であり、正常データの増加に対応して診断基準データの更新が可能である。

V. 結 論

われわれの開発した、学習機能を有する CFP 自動診断プログラム (CAD) を用いそ、確定正常例数の変化による、²⁰¹Tl 心筋短軸断層像の診断能の検討を行い、以下の結果を得た。

1) CFP による 7-ピンホール像の定量的自動診断の診断能は、正常例数の変化に有意に影響された。しかし、正常例数 8 例以上では、診断能は、ほぼ収束した (8, 12, 16 例で、正確度は、それぞれ、91%, 94%, 91%)。

2) 症例数が日々増加する日常臨床の場においては、イメージの定量的評価には、学習機能を有する自動診断プログラムが必要であり、CAD プログラムが有用であると考えられた。

3) CAD プログラムは、²⁰¹Tl 心筋イメージの定量的診断に簡便で有用な方法であり、また、CFP 類似の他のデータに対してもデータベースの作成と自動診断に応用可能である。

本論文の一部は、第23回日本核医学学会総会 (1983年、高槻) において発表した。

文 献

- 1) Berger BC, Watson DD, Taylor GJ, et al: Quantitative Thallium-201 exercise scintigraphy for detection of coronary artery disease. *J Nucl Med* **22**: 585-593, 1981
- 2) Maddahji J, Garcia EV, Berman DS, et al: Improved noninvasive assessment of coronary artery disease by quantitative analysis of regional stress myocardial distribution and washout of thallium-201. *Circulation* **64**: 924-935, 1981
- 3) 分校久志、多田 明、中嶋憲一、他：²⁰¹Tl 心筋イメージングの判定における読影者間の変動：7-ピンホール断層像と多方向像について。心臓 **14**: 1439-1447, 1982
- 4) 玉木長良、米倉義晴、向井孝夫、他：回転型ガンマカメラの心臓イメージングへの応用(第6報)運動負荷時・再分布時のタリウム心筋 ECT の検討。核医学 **20**: 1299-1306, 1983
- 5) Burow RD, Pond M, Schafer AW, et al: "Circumferential profiles". A new method for computer analysis of Thallium-201 myocardial perfusion images. *J Nucl Med* **20**: 771-777, 1979
- 6) Collins S, Ehrhardt JC, Go RT, et al: Problems with the definition of a normal tomographic Thallium-201 perfusion scintigram. *Am J Cardiol* **45**: 481, 1980 (abstr.)
- 7) 分校久志、多田 明、中嶋憲一、他：²⁰¹Tl 心筋 7 ピンホール断層の定量的判定による自動診断の試み。映像情報 (M) **15**: 833-837, 1983
- 8) 分校久志、久田欣一：²⁰¹Tl 心筋イメージングにおける定量評価。放射線科 **2**: 136-144, 1983
- 9) 分校久志、南部一郎、閔 宏恭、他：TI-201 心筋ファンтомにおける SPECT 斜断層再構成の再現性と定量性の検討。核医学、投稿中
- 10) 分校久志、多田 明、久田欣一、他：7 ピンホールコリメータによる心筋断層の基礎的臨床的検討。核医学 **19**: 344, 1982 (abstr.)
- 11) 分校久志、多田 明、中嶋憲一、他：心筋多方向像と断層像の対比評価。臨放 **27**: 497-505, 1982

Summary

Evaluation of Diagnostic Efficiency of Intelligence Program for Automatic Diagnosis of Circumferential Profiles of Myocardial Short Axial SPECT

Hisashi BUNKO*, Kazuhiko KOJIMA**, Akira TADA*, Kenichi NAKAJIMA*, Junichi TAKI*, Ichiro NANBU*, Norihisa TONAMI* and Kinichi HISADA*

*Department of Nuclear Medicine, School of Medicine, **School of Medical Technology, Kanazawa University, 13-1 Takara-machi, Kanazawa, 920, Japan

Quantitative diagnosis using circumferential profile (CFP) is widely employed for Tl-201 myocardial imaging. However, its diagnostic efficiency is susceptible to the number and composition of the confirmed normal (CN) group. Intelligence program for CFP data file and automatic diagnosis (CAD), which was previously developed by us, was modified for creating universal data file (d-base) and evaluated its diagnostic efficiency for myocardial short axial images according to the number of CNs.

CAD consists of following 3 major functions: (1) CFP data filing to d-base, (2) modification and correction of file data, and (3) automatic diagnosis of CFP. When function (1) or (2) is completed, new diagnostic criteria (mean-2 sd) are generated automatically using CN data in the d-base at that time. Because of this function, diagnostic criteria are changeable according to the number of CNs. Sensitivity (TP) and specificity (TN) of CAD

program for Tl-201 7-pinhole images of 16 normals and 17 ischemic heart diseases (IHDs) were 100%, 44% (CN=4), 88%, 94% (CN=8 or 16) and 88%, 100% (CN=12), respectively. Diagnostic efficiency reached plateau in more than 8 CNs. Although number of patients were limited (8 CNs and 6 IHDs), results of CAD for short axial SPECT showed consistent tendency with 7-pinhole images.

In conclusion, intelligence program is necessary for automatic diagnosis using quantitative criteria under the clinical condition of daily increasing informations. Automatic diagnosis of CFP using CAD program is simple, effective and useful for interpretation of Tl-201 myocardial short axial images. CAD program is applicable to any quantitative distribution study using CFPs.

Key words: Diagnostic efficiency, Intelligence program, Automatic diagnosis, Circumferential profile, Myocardial short axial SPECT.