

《原 著》

²⁰¹Tl 運動負荷心筋 SPECT 診断支援 エキスパートシステムの開発と応用

堀野 誠人* 細羽 実* 和迩 秀信* 織内 昇**
館野 円** 井上登美夫** 佐々木康人** 五十嵐 均***
飯塚 利夫****

要旨 ²⁰¹Tl 心筋 SPECTにおいて、画像診断支援を行うエキスパートシステムを開発した。心筋 SPECT 像に対し二次元(2D)極座標処理を行った後、心筋正常群より求めた正常下限との比較において、負荷時、遅延時両画像の欠損画素を判定した。左室心筋を6部位(前壁、中隔、側壁、後壁、下壁、心尖)に分割し、各部位に対して負荷時欠損、遅延時再分布の診断を行い、核医学レポートとして出力する。これらの判定および所見、解釈への知的判断には、従来のプログラムに、ルール記述により構成されるエキスパートシステムを加え、これにより虚血性疾患の診断を行った。

臨床における医師判定との比較評価の結果、部位別判定では、負荷時欠損の有無の一致率91%、再分布の一致率64%であった。また、疾患別判定では、狭心症11例中9例、陳旧性心筋梗塞20例中19例で一致し、診断支援システムとして有用であると考えられた。

I. はじめに

²⁰¹Tl 心筋 SPECT 法は、虚血性心疾患の診断に有用な検査として日常診断に繁用されており、現在、全国で1日6,200件実施されている核医学 in-vivo 検査の7.2%を占めている。心筋 SPECT 検査の目的の一つに疾患部位の正確な把握があり、これまで SPECT 画像での心筋虚血部位の判定には、circumferential profile 等、様々な定量化への試みがなされてきた^{1~4)}。

一方、人工知能の技術の発達とともに、医療へのエキスパートシステムの応用がなされている。現在では、それらのシステムは、エキスパートシ

ステム側から出される質問事項に順次答えることによって回答を得るタイプのものが主流を占めている⁵⁾。

われわれは、心筋 SPECT 画像の 2D 極座標処理データを用いて、より定量的な画像の特徴抽出を行い、将来的な画像診断支援を目的とする心筋 SPECT エキスパートシステムを開発した。本システムは、医師の診断支援を目的としており、画像データを自動的に判断し、しかも、核医学検査のレポート作成までを行い得るという、日常の臨床診断の場での実用性を目指したものである。本システムの性能は、核医学画像の医師判定との比較により評価した。

II. 方 法

1) システム構成

本システムの構成図を Fig. 1 に示す。核医学データ処理装置(島津製 SCINTIPAC)に収集された心筋 SPECT データを、心臓の軸に垂直な短軸面断層像として再構成する。心基部断層から心尖部断層までの各断層像上、左室心筋中心より放射

* 島津製作所医用機器研究所

** 群馬大学医学部核医学教室

*** 同 附属病院核医学診療部門

**** 同 第二内科

受付: 元年8月11日

最終稿受付: 元年8月11日

別刷請求先: 京都市中京区西ノ京桑原町1 (〒604)

島津製作所医用機器研究所

堀野 誠人

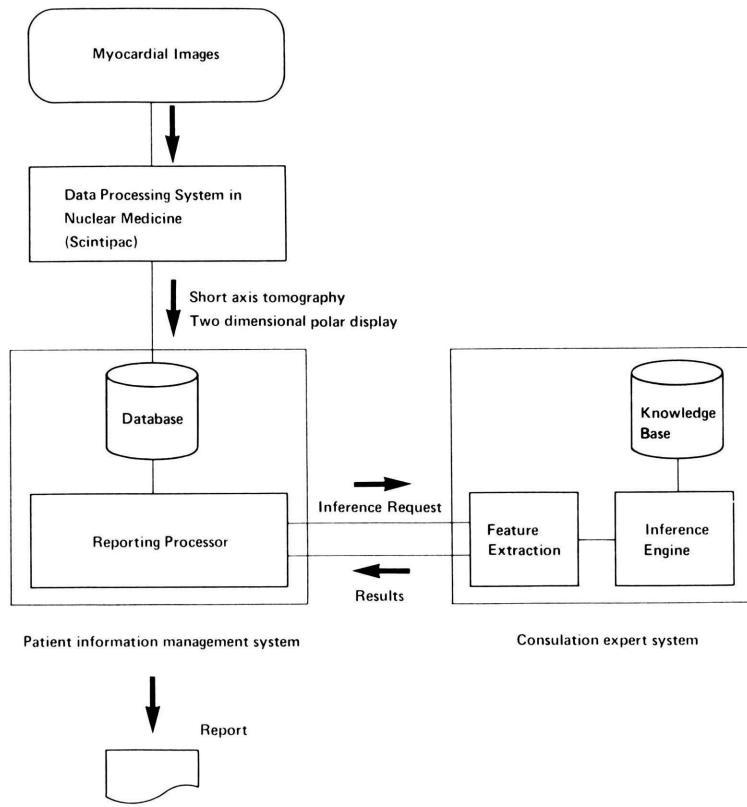


Fig. 1 The schematic illustration of the system structure.

状に RI 集積を追跡し、最大計数値を角度 (6°) ごとに算出する^{6,7)}。結果はオンライン転送により患者情報システムのデータベースに格納される。

診断レポート作成が開始されると、システムは、データベースより選択されたデータを角度方向60分割、10断層のデータに規格化するとともに最小値0、最大値を100として計数値も規格化し2D 極座標値とする。このデータが、レポートプロセッサからの推論要求とともに診断支援エキスパートシステムに読み込まれる。

2) SPECT 画像からの特徴抽出

診断支援エキスパートシステムに読み込まれたデータは、まず、画像情報抽出部において2D 極座標値の1画素ごとに正常下限との比較がなされる。正常下限は、心筋正常例6例の2D 極座標値より、平均、標準偏差を算出し、“平均-2×標準

偏差”として作成した。画素値が正常下限以下であると、同様にその周囲の画素の画素値低下を調べる。SPECT の分解能を考慮し、画素値低下部分が2D 極座標表示上で角度方向に5画素、半径方向に3画素未満の広さであれば、欠損画素として認識させないようにした。

欠損と認識された画素は、前壁、中隔、後壁、下壁、側壁、心尖の6部位にFig. 2a のように2D 極座標表示上で分けられる。各部位にはあいまい性が存在するため、Fig. 2b に示すように所属部位に対する確信度が割り付けられている。部位の境界に位置する画素は、両隣接部位に対して別々の確信度を有し、それぞれの部位に所属するよう確信度関数を定義した。

また、前壁中隔基部に大動脈弁の影響と思われる RI 集積低下を有するものが数例あったため、

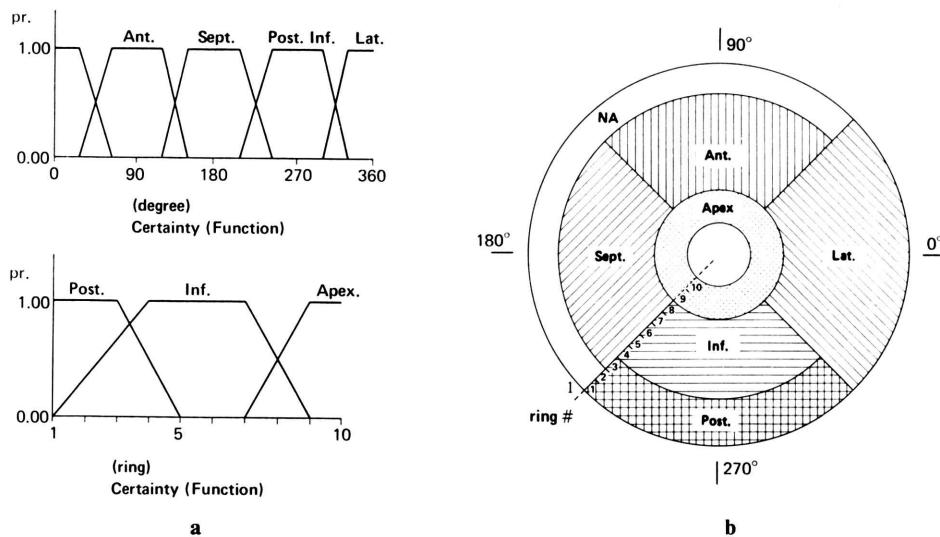


Fig. 2 Localization of the left ventricular myocardial regions. (a) The certainty function of localization by degree and ring (radius) on two dimensional (2D) polar display. PR; probability (b) Approximate separation of the left ventricular regions based on this localization on 2D polar display.

前壁中隔部位の心基部側の一部 (NA) を解析対象から除外した (Fig. 2b).

(1) 負荷心筋 SPECT

負荷時心筋 SPECT 像では、以下の 3 パラメータを後述の推論のための指標として算出する。

まず第一に、欠損画素 DP を部位ごとに累積し、その画素数をあらかじめ 2D 極座標上で割り付けられた各部位内総画素数 P で除して、その百分率を欠損の広がり (D-Extent) とし、欠損面積の指標とした (Fig. 3a)。

第二に、確信度についても同様に累積をとり、欠損画素数で除して欠損の部位の局在度 (D-Localization) とした。例えば、欠損が前壁の中央部にある場合と他部位との境界にある場合とでは、前壁の欠損の広がりは同じでも、前壁の欠損の局在度は異なるてくるようにし、部位内での欠損位置情報の指標とした。

第三に、Fig. 3b で示すように正常群からの RI 集積低下度の指標として正常下限と欠損画素 DP との画素値の差 S を各部位ごとに同様に累積し、これをおのおの欠損画素数 DP で除して、欠損の

強さ (D-Severity) とした。

(2) 遅延心筋 SPECT

遅延心筋画像においても、負荷時と同様の計算を行った後、さらに負荷時のパラメータ群と照合させることにより、以下の 2 つのパラメータを求める。

第一に、負荷時に欠損画素としたものに対して同画素が遅延時に欠損となっているかどうかが調べられ、負荷時欠損数から遅延時欠損数を差し引いたもの、すなわち遅延時において正常化している画素数を負荷時欠損数で除して、その百分率を再分布の広がり (R-Extent) とし、再分布面積の指標とした (Fig. 4a)。

第二に、各部位について負荷時での欠損の強さから同部位内の遅延時の欠損の強さを差し引いたもの、すなわち、欠損部位の欠損程度の回復度を、もとの負荷時の欠損の強さで除して、その百分率を再分布の強度 (R-Severity) とした (Fig. 4b)。

3) 推論

運動負荷直後の負荷心筋 SPECT 画像に対して、欠損の広がり、欠損の局在度、欠損の強さが、さ

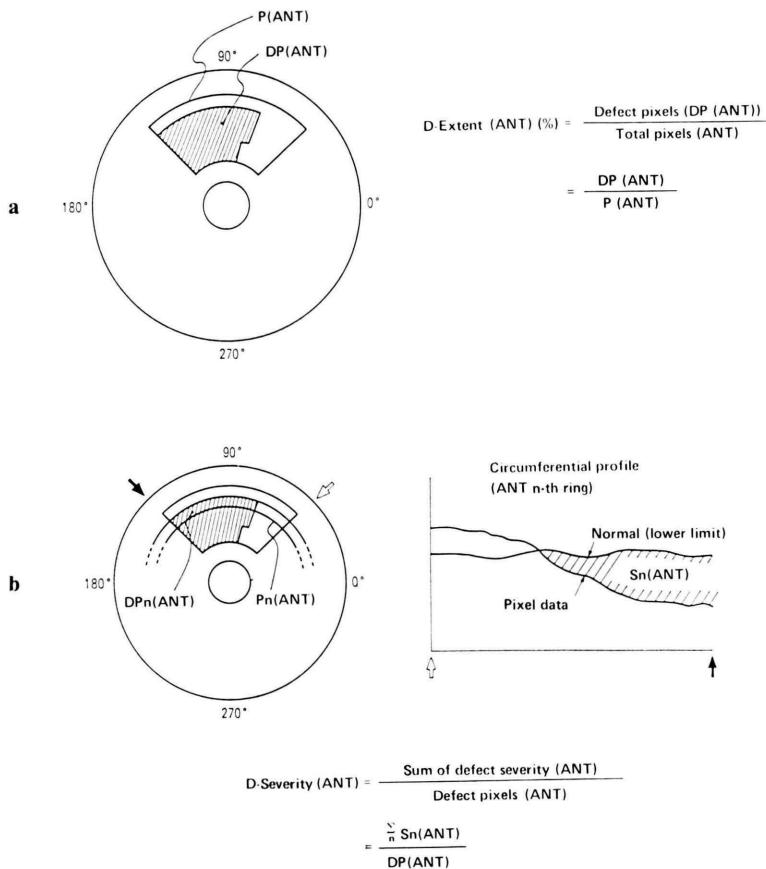


Fig. 3 Assessment of focal defect on the 2D polar display. (a) Extent of the focal defect (in the case of anterior wall). DP (ANT); the amount of defect pixels in anterior wall. P (ANT); the amount of total pixels in anterior wall. (b) Severity of the focal defect (in the case of anterior wall). $\sum S_n(ANT)$; the sum of the defect severity in anterior wall.

らに、負荷3~4時間後の遅延画像に対して、再分布の広がり、再分布の強さが抽出されると、推論部に読み込まれた知識ベースが稼働し、推論がなされてゆく。知識ベース構築には、島津製エキスパートシステム構築用ツール“源藏”を用いた。“源藏”は、C言語によって記述されており後向き推論を主体とする。C言語使用のため、従来のLISP、prolog言語を用いたシステムに比べ、きわめて高速に推論を実行することが可能である。

4) 知識ベース

本知識ベースは、属性数113、診断ルール数322

より成り、推論構造は、Fig. 5 のように3段階に分けられる。各ルールは、前もって医師4名により読影された11症例の結果をもとに構築した。

第一段階では、負荷心筋SPECT像におけるfocalな欠損の有無が調べられる。欠損は各部位ごとに別々に推論され、欠損あり(+)、欠損不明瞭(±)、欠損なし(-)、および、イレギュラー分布の4種に判別される。Fig. 6は、負荷時欠損判定のルールを示す。各判定の確信度は、欠損の広がり、欠損の強さに基づいて計算される。例えば、“欠損あり”的判定では、両者が大きく明ら

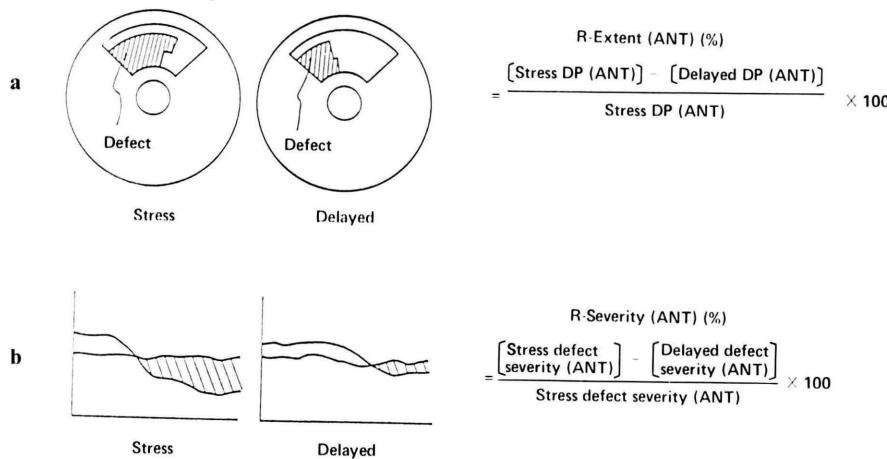


Fig. 4 Assessment of redistribution on the 2D polar display. (a) Extent of the redistribution (in the case of anterior wall). (b) Severity of the redistribution (in the case of anterior wall).

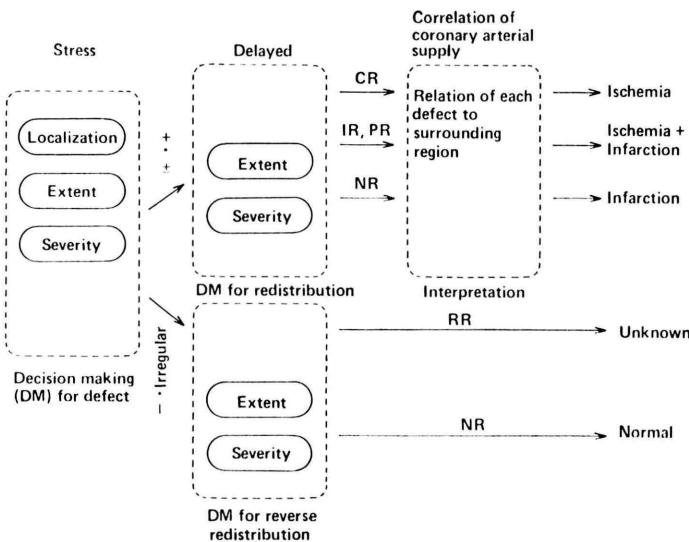


Fig. 5 Basic structure of diagnostic rules.

かに欠損ありとみなせる値(上限)から、欠損ありとみなす最低の値(下限)までを確信度 1.00 から 0.00 に対応させ、判定の確信度とする。上限値、下限値は経験的に設定した。また、イレギュラー分布は、欠損の広がりは大きいが、欠損の強さが小さい場合にのみ判定され、その確信度は欠損の強さに依存するものとした (Fig. 6 参照)。な

お、経験的に本推論部において、確信度 0.2 未満の判定は肯定しないようにした。よって、欠損判定の結果が定まらない場合が生じ、その時は、欠損不明瞭と結論される。

第二段階では、第一段階において focal な欠損が +, 士と判定されたものに対して再分布の有無が調べられ、-, イレギュラーと判定されたもの

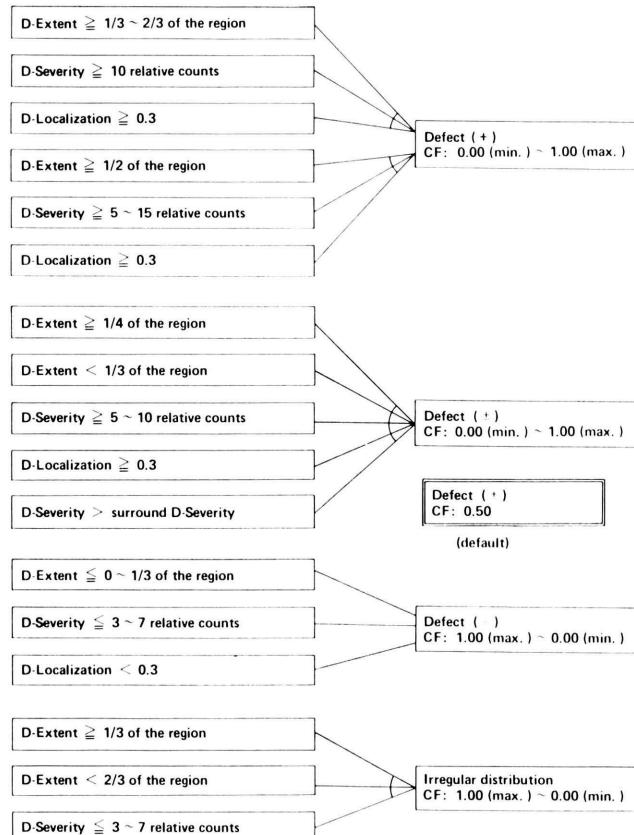


Fig. 6 Diagnostic rules for decision making of the presence or absence of focal defects. The certainty factor (CF) suggests the certainty of existence of focal defect and changes from 0.00 (minimum) to 1.00 (maximum) corresponded to the inputted value. If any rules are not applied, the default is picked up for the consequence.

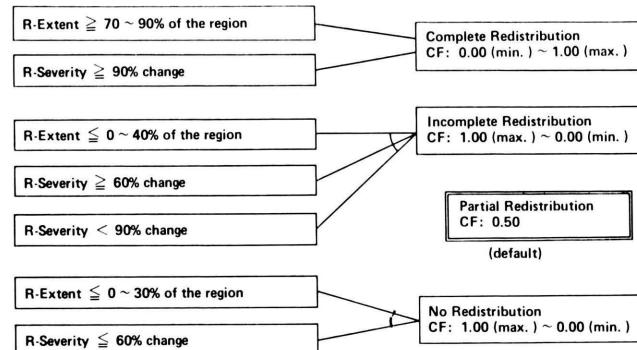
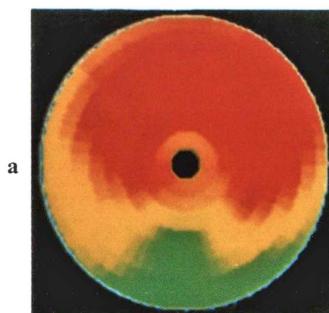


Fig. 7 Diagnostic rules for decision making of the presence or absence of redistribution. The certainty factor (CF) suggests the certainty of existence of redistribution and changes from 0.00 (minimum) to 1.00 (maximum) correspond to the inputted value. If any rules are not applied, the default is picked up for the consequence.



a

Description:

There is a focal defect in the posterolateral wall in stress image.

(defect extent: POST {87} %, LAT {59} %)

There is a focal defect in the posteroinferior wall in stress image.

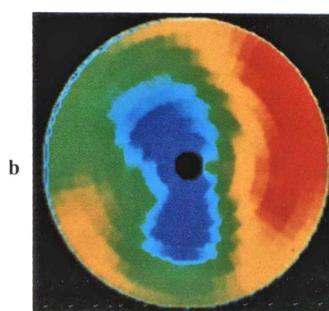
(defect extent: POST {87} %, INF {56} %)

In delayed image at 3 hours partial redistribution is seen in the lateral wall.

(redistribution extent: LAT {32} %)

Interpretation:

Myocardial infarction in posteroinferior wall with adjacent myocardial ischemia in lateral wall.



b

Description:

There is a focal defect in the anteroseptal wall in stress image.

(defect extent: ANT {82} %, SEPT {86} %)

There is a focal defect in the apex in the stress image.

(defect extent: APEX {74} %)

There is a focal defect in the inferior wall in the stress image.

(defect extent: INF {73} %)

In delayed image at 3 hours no evidence of redistribution of radioactivity is seen in the above described lesions.

Interpretation:

Myocardial infarction in the apex.

Myocardial infarction in the anteroseptal wall.

Myocardial infarction in the inferior wall.

Fig. 8 Interpretation of localization of ischemia and infarction taking regional coronary arterial perfusion into consideration. (a) a representative case 1, 67 years, male. (b) a representative case 2, 59 years, male. One of the rules which mention to the coronary arterial perfusion is applied in the case of (a) but not applied in the case of (b).

群馬大学医学部附属病院
核医学診断報告書 88/11/10

検査実施日：88/4/28

患者氏名：Gundai Hanako (F)
I.D.：TEST 依頼科：第一内科
生年月日：19**/**/** 依頼医師：
年令：70才 11ヶ月 実施
身長：155.0cm 医師：織内 昇
体重：45.0kg 技師：五十嵐 均

検査名：心筋シンチ
放射性医薬品：TI-201-Chloride
投与量：3.0mCi 投与法：静注

方 法

(TI-201-Chloride) 心筋 SPECT を行い、2次元極座標表示法による定量化を行った。

所 見

負荷時において前壁中隔に欠損がある (欠損 extent：前壁(57)%, 中隔(84)%). [1.00]
負荷時において心尖に欠損がある (欠損 extent：心尖(64)%). [0.90]
負荷時において後側壁に欠損がある (欠損 extent：後壁(94)%, 側壁(76)%). [0.90]
負荷時において後下壁に欠損がある (欠損 extent：後壁(94)%, 下壁(94)%). [0.74]
3時間後、上記範囲中、前壁にバーシャルな再分布を認める (再分布 extent：前壁(33)%). [0.60]
3時間後、上記範囲中、後壁にインコンプリートな再分布を認める (再分布 severity：後壁(69)%). [0.29]

解釈

後下壁梗塞が考えられる。[0.74]
部分的な後壁虚血を伴っている。[0.74]
心尖梗塞が考えられる。[0.71]
前壁中隔梗塞が考えられる。[0.60]
部分的な前壁虚血を伴っている。[0.60]

付 言

Fig. 9 An example that the expert system takes good advice to the nuclear physicians.
(a) The report by nuclear physicians using SPECT images from three directions.
(b) The report by expert system using SPECT 2D polar display. The expert system suggests incomplete redistribution in the posterior region that the nuclear physicians do not pick up. 70 years, female.

に対して逆再分布 (RR: reverse redistribution) の有無が調べられる。再分布については部位ごとに、完全再分布 (CR: complete redistribution), 不完全再分布 (IR: incomplete redistribution), 部分再分布 (PR: partial redistribution), および再分布なし (NR: no redistribution) に判別され (Fig. 7), その確信度は再分布の広がり、再分布の強さに依存する。CR, IR, NR のどれにも入らなかった場合、PR と結論される (Fig. 7 参照)。

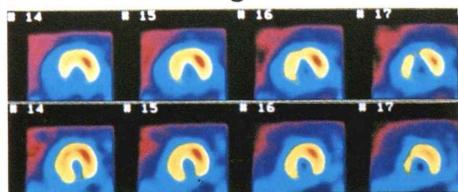
一方、逆再分布に関しては、負荷時欠損判定が

一であるのに遅延画像で欠損画素が各部位内総画素の 2/3 以上を占めるとき、経験的に逆再分布ありの判定をし、確信値との対応は特にとらなかつた。

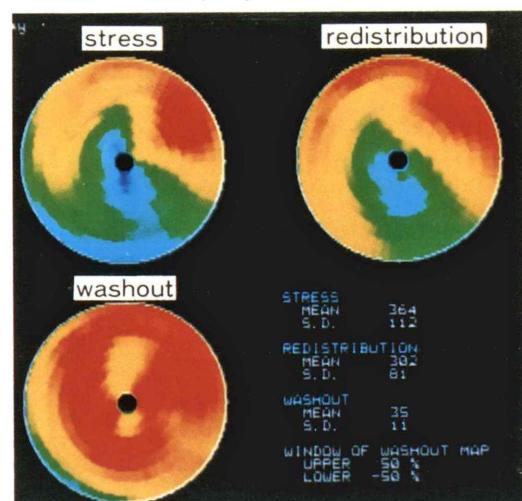
第三段階では、以上の推論結果を踏まえ、心筋を全体視した上での疾患の中心部、およびその広がりの推定を行い、診断を下す。ここでは、冠動脈支配 (左前下行枝: LAD, 左回旋枝: LCX, 右冠状動脈: RCA) に基づいた責任血管による疾患部位の知識を加え、より臨床的に妥当な心筋疾患

Short axis images

0 hr
(Stress)
3 hr
(Delayed)



2-D Polar display



b

Description:

In stress image there is a focal defect in anteroseptal wall (defect extent: ANT {57} %, SEPT {84} %). [1.00]

In stress image there is an apex defect (defect extent: APEX {64} %). [0.90]

In stress image there is a focal defect in posterolateral wall (defect extent: POST {94} %, LAT {76} %). [0.90]

In stress image there is a focal defect in postero-inferior wall (defect extent: POST {94} %, INF {94} %). [0.74]

Partial redistribution is seen in the anterior wall defect described above 3 hours (redistribution extent: ANT {33} %). [0.69]

Incomplete redistribution is seen in the posterior wall defect described above 3 hours (redistribution severity: POST {68} %). [0.29]

Interpretation:

Myocardial infarction in the posteroinferior wall. [0.74]

Myocardial ischemia in a localized part of the posterior wall is accompanied. [0.74]

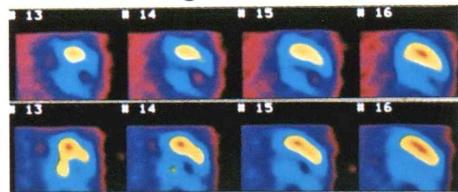
Apical myocardial infarction. [0.74]

Myocardial infarction in the anteroseptal wall. [0.60]

Myocardial ischemia in a localized part of anterior wall is accompanied. [0.60]

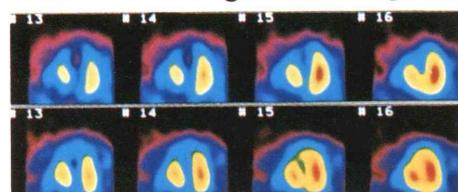
Vertical long axis images

0 hr
(Stress)
3 hr
(Delayed)



Horizontal long axis images

0 hr
(Stress)
3 hr
(Delayed)



a

Description:

In stress images there are focal defects in the regions corresponding to anteroseptal wall, apex, posterior and inferior wall.

In delayed images after 3 hours the defect in the anteroseptal wall appears smaller than that in stress images, which indicates presence of incomplete redistribution of radioactivity in the anteroseptal wall.

Interpretation:

Myocardial infarction in the posteroinferior wall and apex.

Myocardial ischemia in the anteroseptal wall.

Fig. 10 An example of the nuclear report made by this system.

部位の推定を行った。上記の例として、具体的に下壁に疾患を有する2症例を挙げて説明する(Fig. 8a, b)。負荷心筋SPECT像において、Fig. 8aでは、欠損が下壁から後壁、および、一部中隔、側壁に及んでおり、Fig. 8bでは、下壁から心尖、および、前壁中隔へと広がっている。2例ともに下壁欠損が確認され、責任血管としてRCAを疑い下壁周辺の欠損状態が調べられる。

RCAに関するルールをTable 1に示す。このルールは、後下壁に疾患があり、さらに側壁、中隔にも欠損が及んでいるときにどのように解釈するかを示しており、側壁、中隔の欠損が大きくなれば、その症例に対して後下壁疾患と判定している。確信度が0.8であるのは側壁、中隔欠損の責任血管がRCA以外である可能性を残すものである。Fig. 8aの場合、本ルールが適合し、側壁、中隔欠損は後下壁を中心とした疾患の広がりと結論する。これに対して、Fig. 8bは本ルールが適合しないため、前壁中隔、心尖の欠損は下壁疾患の広がりとはみなさず、前壁中隔、心尖、下壁疾患と分けて結論する。

5) レポート出力

最終的に、エキスパートシステムは、患者情報管理システム内のデータベースに蓄えられた所見、解釈の短文の中から短文を選出し、確信度を付加して推論結果を患者情報管理システム⁸⁾に返す。さらに、短文のパラメータ欄に、欠損の広がり、欠損の強さ等、実際に推論のよりどころとした数

Table 1 An example of the rule judging the defect by the disease of the Right Coronary Arterial (RCA) taking regional coronary arterial perfusion into consideration

IF	Inferior defect is “+”, and Posterior defect is “+”, and Septal defect is “+” or “±”, and Extent of the defect in the stress image: Septal < Posterior or Inferior, and Severity of the defect in the stress image: Septal < Posterior or Inferior
THEN	defect of Posteroinferior wall (CF=0.8)

CF; certainty factor

値を代入することもできる。推論結果を受け取った患者情報管理システムのレポートプロセッサは、核医学診断レポートを作成し、印刷を行う。Fig. 9にレポートの一例を示す。また、本システムはレポートの自動連続運転が行え、夜間稼働によるレポート作成も可能である。

III. 臨床評価

1) 対象

対象は、'87年9月24日より'88年9月8日までの約1年間に心筋SPECT検査を行った患者のうち、心電図、冠動脈造影、左室造影等を施行し、診断が確定している55症例(女性16症例)である。症例の内訳は、狭心症(AP)11例(PTCA施行2

Table 2 The comparison of the judges between nuclear physicians (NP) and expert system (ES) in some kinds of heart disease. The mark “+” means the count of patients that are correctly interpreted and the mark “-” means the opposite. (a) The comparison in old myocardial infarction (OMI). (b) The comparison in angina pectoris (AP). (C) The comparison in normal study (N)

(a)

OMI	NP		Total
	+	-	
ES	19	1	20
	0	0	0
Total		19	1
Total		20	

(b)

AP	NP		Total
	+	-	
ES	5	0	5
	2	4	6
Total		7	4
Total		11	

(c)

N	NP		Total
	+	-	
ES	7	0	7
	0	0	0
Total		7	0
Total		7	

例, AC バイパス術施行 1 例), 陳旧性心筋梗塞 (OMI) 20 例 (AC バイパス術施行 1 例), 正常例 7 例, その他の心疾患 20 例であった。なお, OMI, AP 両診断が下りていた症例が 3 例あり, これらは OMI, AP 両方に計上した。AP, OMI 両症例には, 全て冠動脈造影 (CAG), 左室造影 (LVG) が施行されている。正常例は, 心電図 (ECG), CAG, LVG において異常が認められなかった対照群である。年齢分布は 19 歳から 73 歳で, 平均値は 51.5 ± 13.6 歳であった。

2) 疾患別判定

Table 2a, b, c に疾患別判定を示す。OMI では 20 例中 19 例で両者の一致をみた。不一致の 1 例は, 本システム判定 OMI, 医師判定 AP であった。

AP 11 例では, 9 例で一致し, 不一致の 2 例は, それぞれ本システム判定イレギュラー, 欠損なしであった。医師判定は両方とも AP 判定を下した。虚血性心疾患を否定された正常群 7 例は, 全て欠損なしで一致した。

3) 負荷時, 遅延時別判定

Table 3 に負荷画像での部位別欠損判定を示す。医師判定に対する本システムの一致率は, “欠損あり (+)” に対して 0.79 (53/68), “欠損なし (−)” に対して 0.94 (248/262), 総合すると 0.91 (301/330) であった。一致度の高かった部位は, 前壁, 中隔, 側壁で全て 0.9 以上であった。ただし, 側壁に関しては欠損ありの症例数過少のため十分なデータとはいえないかった。一致度の低かった後壁, 下壁,

Table 3 The statistics of matching between nuclear physicians (NP) and expert system (ES) about focal defect (FD) in regions of stress myocardial image

FD	Match			Mismatch			Matching rate		
	+	−	Total	NP: − ES: +	NP: + ES: −	Total	+	−	Total
Ant	14	38	52	2	1	3	0.93	0.95	0.95
Sept	11	40	51	2	2	4	0.85	0.95	0.93
Post	8	41	49	3	3	6	0.73	0.93	0.89
Inf	8	40	48	5	2	7	0.80	0.89	0.87
Lat	3	50	53	2	0	2	1.00	0.96	0.96
Apex	9	39	48	1	6	7	0.60	0.98	0.87
Total	53	248	301	15	14	29	0.79	0.94	0.91

The mark “+” means that there is a FD in that region and the mark “−” means that there is no FD. The matching rate means the rate of ES judge per NP judge.

Table 4 The statistics of matching between nuclear physicians (NP) and expert system (ES) about redistribution (RD) in the regions of delayed myocardial image

RD	Match			Mismatch			Matching rate		
	+	−	Total	NP: − ES: +	NP: + ES: −	Total	+	−	Total
Ant	2	10	12	3	1	4	0.67	0.77	0.75
Sept	2	7	9	1	3	4	0.40	0.88	0.69
Post	1	7	8	2	1	3	0.50	0.78	0.73
Inf	0	6	6	2	2	4	0.00	0.75	0.60
Lat	2	1	3	3	0	3	1.00	0.25	0.50
Apex	0	5	5	3	3	6	0.00	0.63	0.45
Total	7	36	43	14	10	24	0.41	0.72	0.64

The mark “+” means that there is a RD in that region and the mark “−” means that there is no RD. The matching rate means the rate of ES judge per NP judge

Table 5 The evaluation of this system by nuclear physicians is classified to the following four categories

	OMI	AP	N	Other disease	Total
A	8	6	7	9	30
B	7	2	0	7	16
C	5	3	0	4	12
D	0	0	0	0	0
Total	20	11	7	20	58

A: Excellent, B: Good, C: Fair, D: Poor

心尖については、本システムの取り違えが、後壁と下壁で1例、後壁と側壁で1例、心尖と前壁で4例あった。さらに医師判定で欠損なしを本システムが欠損ありと判定した場合が、後壁で3例(3/12例)、下壁で2例(2/13例)あった。

次に、遅延画像における再分布判定をTable 4に示す。同一一致率は、再分布あり(CR, IR, PR)の一一致率0.41、なし(NR)の一一致率0.72、総合で0.64であった。一致率が高かったのは前壁、後壁で、一致率は0.7以上であった。その他の部位は一致率が低く、本システムの再分布部位の取り違えが、心尖と前壁について3例(3/4例)、医師判定で再分布なしを再分布ありとした例が側壁に関して2例(2/6例)あった。

4) 医師によるシステムの評価

医師による本システムの評価を、症例ごとに4段階別に表した結果をTable 5に示す。4段階の基準は、A:優、B:良、C:可、D:不可である。全体で79%(46/58例)において良好な評価を得た。

IV. 考 察

医療分野へのエキスパートシステムとして、現在、様々なものが独自に開発されているが、画像データを入力し、解析するタイプのものはまだ発表されていない。心筋SPECTエキスパートシステムは、2D極座標処理を行った心筋SPECTデータを入力すると、自動的に画像を解析し、所見、解釈を返すようになっている。エキスパートシステムにありがちな、多項目にわたるキー入力をいっさい廃止したことは、きわめて効果的であり、

これにより使いやすさが向上するとともに、様々な連続処理を可能とする。本システムはエキスパートシステムの試作として開発したが、2D極座標処理データ、すなわち短軸断層像のみのデータから、欠損判定で91%実際の医師判定と一致した。この欠損判別能力は十分評価できるものと思われる。

また、再分布判別能力は医師判定との一致率64%と低いが、症例によっては、医師の見落としを指摘し得た例も認められた。これを、Fig. 10a, bに示す。

症例は51歳女性、ECGによってS, T波の低下より虚血性心疾患を疑われた患者である。CAGにてRCA #1に完全狭窄、LAD #7に90%の狭窄を認めた2枝病変で、LVGではsegment 3, 4がdyskinesisであった。

医師判定では前壁中隔の不完全再分布、後下壁および心尖部の心筋梗塞となった(Fig. 9a)が、本システムは、さらに後壁の不完全再分布を指摘した(Fig. 9b)。

疾患別判定(Table 2参照)において不一致となった症例のうち、OMIでの1例は、LAD #7に完全狭窄、LCX #11に75%の有意狭窄を認める疾患であるが、LVGにてsegment 2, 3, 6がmild hypokinesisと軽度であり、医師判定ではSPECT所見は一過性虚血のみの指摘であった。本システムは一部梗塞部位を指摘している。また、APでの不一致の2例は、1例がCAGにて正常、LVGにてsegment 3にのみmild hypokinesisを認めた症例で、医師判定では心尖部の虚血を指摘しているが、本システムは、欠損面積が心尖欠損と判定するには不十分とみなしている。もう1例もまたCADで#1, #7にそれぞれ90%, 70%の有意狭窄を認めるがLVGではsegment 3がmild hypokinesisのみと軽度であり、医師判定ではSPECT所見は下壁部の小規模な心筋梗塞、本システム判定では有意欠損なしとしている。これら2例は本システムの疾患部の見落としということになり、小さな疾患部をもつ症例では、2D極座標処理における長軸の決め方や、円周方向の傾きによって

かなり影響を受けるものと思われ、単軸方向のみの 2D 極座標処理画像をデータとする本システムの問題点とも言える。

さらに、欠損画素とするかどうかの基準について、本システムの用いている“2D 極座標表示上半径方向 3 画素以上にまたがる面積を有する”というのは、心尖や後壁、下壁においては、ほぼ長軸方向に見て欠損が部位内一杯に広がっている場合に相当する。したがって、これらの部位に局在する欠損は、かなり本システムにとって見つけにくくなる。しかし、欠損画素判定の基準を変えることは、他の部位において過剰に欠損を指摘し、かえって全体としての医師判定との一致率を下げるにつながる恐れがある。これらの点もまた、2D 極座標処理データからのみの推論の限界と思われる。

これに関しては、現在、さらに長軸断層像の入力によって解決を図ることを考えている。また、本システムは、診断の基本手段として正常例より作成された正常下限との比較を行っているが、さらに、画像内での相対的な集積低下部分を取り出し、これにまず着目する推論方式も加えて検討する必要がある。

V. 結 語

以下の特徴を持つ心筋 SPECT エキスパートシステムを開発した。

- 1) 2D 極座標処理データ上の特徴抽出
- 2) 冠動脈支配を考慮した臨床的妥当性を得た推論体系
- 3) 患者情報管理システムとの結合による診断

レポートの自動作成

55症例による臨床評価の結果、欠損判別では、医師による判定との一致率 91% (301/330 例) であった。

再分布判定は一致率が 64% (43/67 例) と低いが、今後症例数を増やして心筋知識ベースを検討することにより改善可能である。

なお、本論文の要旨は、第 8 回日本核医学学会総会および第 8 回医療情報学連合大会において発表した。

文 献

- 1) 堀合恭弘：運動負荷 ²⁰¹Tl 心筋 SPECT 像から求めた梗塞領域再分布図による心筋 viability の定量評価。核医学 **25**: 735-742, 1988
- 2) 前田尚利、李 鍾大、三沢利博、他：極座標による心筋 ²⁰¹Tl Bull's-eye 表示の試み。核医学 **25**: 759-764, 1988
- 3) 中嶋憲一：心筋 SPECT の臨床（心臓）。久田欣一、金原出版（株）、東京、1988, pp. 85-115
- 4) 西村 恒彦、植原 敏勇、松尾 剛志、片渕 哲朗、林 真：心筋 SPECT 図譜。永井書店、大阪、1988, pp. 23-24
- 5) Buchanan BG, Shortliffe EH: Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1984
- 6) Garcia E, Van Train K, Maddahi J, et al: Quantification of rotational thallium-201 myocardial tomography. J Nucl Med **26**: 17-26, 1985
- 7) 中嶋憲一、分校久志、谷口 充、他：Single Photon Emission CT を用いた ²⁰¹Tl 心筋血流、washout、壁運動、位相の心機能マップ。核医学 **23**: 251-257, 1986
- 8) 織内 昇、住田康豊、井上登美夫、他：核医学検査報告書作成支援・患者情報管理システムの試作。第 7 回医療情報学連合大会論文集：133-134, 1987

Summary

Development and Clinical Application of an Expert System for Supporting Diagnosis of ^{201}TI Stress Myocardial SPECT

Masato HORINO*, Minoru HOSOBA*, Hidenobu WANI*, Noboru ORIUCHI**, Madoka TATENO**, Tomio INOUE**, Yasuhito SASAKI**, Hitoshi IGARASHI*** and Toshio IIZUKA****

*Medical Technology Research Laboratory, Shimadzu Corporation

Department of Nuclear Medicine, *Clinical Nuclear Medicine Division,

****The Second Department of Internal Medicine, Gunma University School of Medicine

A consultation expert system which supports our computer aided reporting system was developed. The system was used for the evaluation of the two dimensional polar (bull's eye) display of ^{201}TI myocardial SPECT. The system consists of patients management (PM) and consultation expert systems (ES). The former is connected to image processors coupled with scinticameras.

The bull's eye display of myocardial SPECT is transferred from image processor to the data base of PM. When inference request is made, the feature extraction program extracts information on localization, extent and severity of focal defects comparing count-rates pixel by pixel with the reference obtained from seven normal controls. The inference engine is activated to determine presence of focal defects utilizing diagnostic rules in the knowledge base. The results are sent back to PM and reported with the probability of assurance.

Fifty eight patients with old myocardial infarc-

tion (OMI), angina pectoris (AP) and other diseases as well as normal controls were included in the study. The decision for presence or absence of focal defects by ES agreed with that by nuclear physicians (NP) in 301 segments among 330 (91%) in stress images. The presence of redistribution in delayed images agreed in 43 segments among 67 (64%). Image interpretation by ES agreed well with that of NP in patients with OMI (19/20) and AP (9/11). Seven were interpreted as normal by both ES and NP.

The system is useful, as it provides NP with complementary and supportive information applicable to decision making and reporting. Further clinical experiences can improve knowledge base for better ES function.

Key words: Myocardial SPECT, Artificial intelligence (AI), Expert system (ES), Computer aided reporting system.