原 著

パターン認識に基づくシンチグラム自動診断の試み —肝シンチグラムへの応用—

奈良県立医科大学附属がんセンター

安 田 憲 幸・前 田 要・宇 都 文 昭

田 中 公 輝・吉 川 一 郎

(論文受理 昭和52年9月17日)

(Code No. 350)

A STUDY ON AUTOMATED DIAGNOSIS IN SCINTIGRAPHY USING THEORY OF PATTERN RECOGNITION —APPLICATION FOR LIVER SCINTIGRAPHY—

By NORIYUKI YASUDA,
KANAME MAEDA,
FUMIAKI UTO,
KIMITERU TANAKA and
ICHIRO YOSHIKAWA
The Cancer Center of Nara Medical Uni-
versity

(Article received; Sep. 17, 1977)

Summary

Automated diagnosis of scintigraphy image become possible if the various factors included in scintigram can be changed to digital values.

Among these factors, we succeeded to change the shape factor to Gestalt value as configuration value, using theory of pattern recognition.

Clinical evaluation was performed on the application to the liver scintigraphy with this Gestalt value.

Deformity of the liver due to various diseases well correlated with Gestalt value especially swelling of left lobe.

This technique will contribute for automated diagnosis of scintigraphy with other information from scintigram.

1. 緒 言

核医学の分野で、臓器シンチグラムの診断は、シンチ
グラムの二次元像をアナログ的に診断することが最も一

般的である。シンチグラムはX線像に比較して、情報量が比較的少ないことより、像の解析や画像処理に電算機が導入されて、広く利用するようになり、電算機を手段とした二次元像の数理解析や、自動診断の試みも報告されている^{1)~4)}。

自動診断を行なうには、シンチグラムに含まれる情報を各因子別に数値化することにより可能となり得ると思われ、判別関数を用いた報告^{6)~8)}もあるが、形態の数値化に関するものはみられない。本研究においては、その一つの試みとして、肝シンチグラムの外形特徴を数値で表現し、形態の計量診断の可能性について検討した。シンチグラムの外形の数値化に、通信工学で広く用いられているパターン認識の理論⁹⁾¹⁰⁾に着目し、視覚現象“図形分節”を説明するための数式モデル¹²⁾を応用して二次元パターンの数値化を行なった。

2. 理論および方法

2.1 パターン認識の理論¹²⁾

視覚による二次元パターンの認識の仕方は連続したパターンよりも、その変化の強さにより影響を受け易いという事実が、ゲシュタルト心理学より証明されている¹³⁾。一般に人間の知覚は刺激の持続的強さよりも、むしろその変化分に敏感で、単一図形の場合、線の曲り具合、すなわち曲率が形という刺激における変化に相当している。この曲率を瞬間周波数とする信号波形を主要な情報と考え、任意の始点から累積した全曲率 $\theta(s)$ を全位相角とする信号とみなすと

$$z(s) = e^{j\theta(s)} \quad j = \sqrt{-1}$$

なるパターン表現 (P 表現) が得られる。これはパターンの曲り具合で位相変調した正弦波を考える事に相当する。

Fig. 1 に示すような肝外形を示す図形を考える。この図形は M 個の滑らかな弧 $\Gamma_1 \cdots \Gamma_M$ より成っている。 S_m

Fig. 1. Smooth out-line of the liver consisted from arc $\Gamma_1 \cdots \Gamma_M$.

は始点から Γ_m の終点までの弧の長さを表わす。 α_{m-1} は弧 Γ_{m-1} の終点における Γ_{m-1} への接線と弧 Γ_m への接線のなす角を反時計方向に測ったものを表す。但し $\alpha_0 = 0$ とする。各弧 Γ_m は滑であるから、 Γ_m の各点 S でいわれる曲率 $K_m(s)$ が存在する。この $K_m(s)$ は曲率半径の中心が Γ_m の始点から終点に向って左側にあるときは“正”に、又、右側にあるときは“負”にとるものとする。このとき始点 ($S_0 = 0$ の点) から、 Γ_M までの各点における曲率を累積したもの、すなわち、全曲率 $\theta(s)$ は

$$\theta(s) = \sum_{i=1}^{m-1} \left\{ \int_{s_{i-1}}^{s_i} K_i(s) ds + \alpha_i \right\} + \int_{s_{m-1}}^{s_{\text{mod}} s_t} K_m(s) \cdot ds$$

$$(s_{\text{mod}} s_t \in (s_{m-1}, s_m))$$

s_t : 全長

で与えられる。 $s_{\text{mod}} s_t$ はある整数に対して

$$s = ns_t + (s_{\text{mod}} s_t)$$

$$0 \leq s_{\text{mod}} s_t < s_t$$

を満たす実数である。

与えられた肝外形の図形の P 表現 Z に関して

$$\tilde{z}(s) = z(s_t s)$$

で与えられる $\tilde{z}$ を“規格化された” P 表現という。規格化された P 表現を単に P 表現ということにする。

次にこの様な図形信号を分析する為、スペクトルに分解することを考える。

与えられた肝外形の P 表現 $\tilde{z}$ のフーリエ係数列 C_n 、およびパワースペクトル P_n は、

$$C_n = \int_0^1 \tilde{z}(s) e^{-j2\pi ns} \cdot ds$$

$$P_n = |C_n|^2 \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

として求められる。

肝外形の様な複雑な図形の曲率を求めることは困難であり、肝外形を Fig. 2 のように M 個の直線で近似させ、各記号に関しては Fig. 1 と同様に扱う。

直線部分の曲率は零であるから全曲率 $\theta(s)$ は

Fig. 2. Substitution with line segments $\Gamma_1 \cdots \Gamma_M$ for the out-line of the liver.

$$\theta(s) = \sum_{i=1}^{m-1} \alpha_i = \theta_{m-1}$$

の様な角度の関数で示され、複素数値関数 $Z(s)$ は

$$z(s) = e^{j\theta_{m-1}} = \exp(j \sum_{i=1}^{m-1} \alpha_i)$$

である。この複素数値関数 $Z(s)$ のフーリエ係数列 C_n を求める

$$C_n = \int_{s_0}^{s_M} e^{j\theta_{m-1} - j2\pi n s} ds \quad (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

$n=0$ のとき

$$\begin{aligned} C_0 &= \int_{s_0}^{s_M} e^{j\theta_{m-1}} ds \\ &= e^{j\theta_{m-1}} \left(\int_{s_0}^{s_1} ds + \int_{s_1}^{s_2} ds + \dots + \int_{s_{M-1}}^{s_M} ds \right) \\ &= e^{j\theta_{m-1}} \{ (s_1 - s_0) + (s_2 - s_1) + \dots + (s_M - s_{M-1}) \} \end{aligned}$$

規格化すると

$$\begin{aligned} C_0 &= e^{j\theta_{m-1}} \left\{ \frac{s_1 - s_0}{s_t} + \frac{s_2 - s_1}{s_t} + \dots + \frac{s_M - s_{M-1}}{s_t} \right\} \\ &= \sum_{m=1}^M \frac{s_m - s_{m-1}}{s_t} (\cos \theta_{m-1} + j \sin \theta_{m-1}) \\ \theta_{m-1} &= \sum_{i=1}^{m-1} \alpha_i \end{aligned}$$

$n \neq 0$ の場合も同様に規格化し、オイラーの公式を適用すると、

$$\begin{aligned} C_n &= \frac{1}{2\pi n} \sum_{m=1}^M \left[\left\{ \sin \left(2\pi n \frac{s_m}{s_t} - \theta_{m-1} \right) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \sin \left(2\pi n \frac{s_{m-1}}{s_t} - \theta_{m-1} \right) \right\} \right. \\ &\quad \left. + j \left\{ \cos \left(2\pi n \frac{s_m}{s_t} - \theta_{m-1} \right) - \cos \left(2\pi n \frac{s_{m-1}}{s_t} - \theta_{m-1} \right) \right\} \right] \end{aligned}$$

このように複雑な図形を直線で近似することにより、その線分の長さや角度よりスペクトル（パワースペクトル）を求めることができる。

Fig. 3 は種々の多角形に上述の方法を用いて求めたパワースペクトルで、スペクトルの高周波成分の割合（分散）は円に近似する図形ほど少くなる。

このことより、スペクトルの分散の割合を求めることにより、図形の形のよさ、複雑さを知ることができ、かつ量的に表わすことができる。

以上の事より、図形の形のよさを表わす量（ゲシュタルト量、 G 量）を次のように定める。まず、パーシバルの等式より

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n = 1 \quad P_n \geq 0$$

これは情報理論で用いられる確率の概念に一致するもので、エントロピー関数をこのパワースペクトルに適用してスペクトルの広がりをとらえることができる。

Fig. 3. Power spectra of various patterns.

$$G = - \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n \log P_n$$

P_n : パワースペクトル

この G はゲシュタルト量で、単一図形の形のよさ、および複雑さの指標は、円を基準とした数値により求められる。Fig. 4 は種々の図形のゲシュタルト量を示している。

2.2 肝外形の G 量の計算

肝シンチグラムの肝外形の像特徴を G 量で表わすことにより、パターンの数値化を行なうことができる。

肝シンチグラムの肝外形は曲線により構成されているが、上述の理論式に適用させるため、肝外形を直線により近似させる。肝外形は直線の数を増加させると、より原図に近似する。

線分の本数は実用上、図形の特徴を示すために必要な最小限度のものが存在するものと考えられ、肝シンチグラムの外形を種々の数の線分で近似させて G 量を求めた (Fig. 5)。この結果、15~20本の線分により求められた肝外形の G 量は、それ以下の線分により近似された図形の G 量に比して、数値の変動がきわめて小さい。この理由により、 G 量を求めるための肝外形の近似図形の線分は15~20本が最小限度の必要数と考えられ、臨床応用面

PATTERN
G-VALUE	0.000	1.230	1.502

PATTERN
G-VALUE	0.874	0.644	0.489

Fig. 4. Difference of G-value among various patterns.

では、15~20本の線分により外形近似を行なった。G量を求める計算は、理論的に無限であるスペクトル帯域を条件とした計算であるが、無限の場合、このパワースペクトルのTotalが1になるのに対し、実際の計算は有限で行なわなければならない。この場合のTotalを求めそれに応じたG量の変化の検討を行なった (Fig. 6)。G量の値がほぼ飽和する時のパワースペクトルのTotal

Fig. 5.

Change of G-value due to variation in number of line segments substituted for out-line of the liver.

は0.999であり、この結果よりG量の算出はすべてTotalが0.999になる範囲のスペクトルにより行なった。

使用した電算機は HITAC-10II, コンパイラーは 4K-FORTRAN でプログラムシステムを開発した。Fig. 7 はそのブロックフローチャートを示す。

2.3 臨床応用への検討

肝外形を単純な直角三角形で表現し、直角三角形の一部を変形させて、その変形された図形におけるG量を求め、肝の変形の部位によるG量の変化の状態を検討した。

次に、疾患とG量の関係について検討した。肝シンチグラムで、肝硬変、肝炎、および正常のパターンを示す61例について、それぞれのG量を求めた。

肝シンチグラムのG量の算出は、直線にて近似図形の作成を行ない肝外形を求める方法を用いたが、図形を作成するに当り個人差があり、近似図形にバラツキが生ずる。これによるG量のバラツキを検討するため、典型的な正常、肝炎、および肝硬変を示す肝シンチグラムを各1例選び、それぞれの外形近似図形を10名のRI検査室

Fig. 6. G-values and range of power spectrum.

G; G-value

N; Range of power spectrum

a; Triangle

b; Square

c; Out-line of the liver

broken line; limit of the range where sum of power spectrum=0.999.

関係者に作図させ、その図形のG量を算出した。

3. 結 果

直角三角形で表わした肝の変形の部位、およびその変換の状態での各々のG量を Fig. 8 に示す。

左葉の左縁に相当する直角三角形の鋭角部分の変形ではG量は1.473より1.572と角度が鋭い程大きな値を示した。

これに対して、直角三角形の斜辺に相当する部分の変形、すなわち、肝門部に相当する部分の変形が伴うと、G量はさらに大となり1.657より2.199の値を示している。

このように、肝外形の近似図形とG量は、形の変形の度合とかなりの関連がみられる。特に肝の左葉の変形、肝門部の変形とG量の値の差異が明らかに示されている。

次に、肝硬変、肝炎、および正常を示す肝シンチグラムのG値を求めた。Fig. 9 はこの関係を示している。正常肝シンチグラムのG量の平均値は 1.31 ± 0.11 で分布も他に比較して少なかった。肝炎例は 1.53 ± 0.12 と正常に

Fig. 7. Flow chart of computer program for calculating G-value.

Fig. 8. Variation of G-value in simplified out-lines of the liver when these out-lines are changed partially.

PATTERN	Normal	Hepatitis	Cirrhosis
G-VALUE	1.31±0.11	1.53±0.12	1.23±0.17

Fig. 9. Distribution and mean of G-value in normal and pathologic cases.

Table 1. Variation of G-values due to different works in same patient. Distribution and mean in 3 (normal, hepatitis and cirrhosis of the liver) cases.

Normal	Hepatitis	Cirrhosis
1.185	1.396	0.930
1.198	1.466	1.030
1.257	1.501	1.040
1.268	1.519	1.140
1.273	1.522	1.150
1.285	1.538	1.160
1.345	1.568	1.231
1.355	1.590	1.283
1.380	1.774	1.300
1.388	1.950	1.371

Normal 1.293±0.072

Hepatitis 1.582±0.162

Cirrhosis 1.168±0.135

対して大きな値となり変形による肝門部の変化がG量を大きくしたと考えられ、G量のみでも、ある程度の判別が可能と考えられる。肝硬変の平均値は 1.23 ± 0.17 であり、G量は幅広く分散し、判別はG量のみでは不可能であった。

肝シンチグラムの近似図形を作成するとき、線引きにより図形のG量は変化する。このバラツキを検討した結果をTable 1に示す。

各症例共かなりのバラツキがみられた。正常像の場合は、他に比較してバラツキは少ないが、肝炎、肝硬変の像では、近似図形の作成の方法によりG量は変化している。

次に臨床応用を行なった症例中G量の異なる種々の肝シンチグラムをFig. 10に供覧する。各症例共基礎的な検討の結果と同様の結果を示している。

Fig. 10. G-value in some clinical cases.

4. 考 察

シンチグラムの形態診断を客観的に把握することにより、自動診断の可能性を追究するため、肝シンチグラムの外形を用い、形態の数量化を、パターン認識理論を導入して、G量により形態数量化を試みた。肝シンチグラムは、形態の変化が大きく疾患と形態の間にかかなりの相関がみられる¹⁴⁾¹⁵⁾等の理由により対象に選んだ。

肝シンチグラムにおける慢性疾患の診断を行なうのに形態の因子は、他の因子に比較し主観が入りやすく、客観的に把握することは、それ自身意味があると考え。今回は正常、肝炎、肝硬変の各症例にG量を適用して検討したが、これらに他の因子である、up. take, 肝脾摂取比、骨髄等の描出、等の情報を加味すればさらに判別の精度は向上すると思われる⁶⁾⁷⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。特に肝硬変はG量にかかなりのバラツキが見られ今後検討が必要である。

本方式の問題点は、パターン表現のために直線による近似図形を作成する方法を用いたため、線分、角度の計測が煩雑であったこと、さらに作成に主観が入る余地があり、これによってG量が増減する点であった。この結果より、より客観的にG量を算出するには、シンチグラムを直接、図形入力装置により電算機に入力して、パターン表現をなすことが今後の課題と考えられる。

5. 結 語

パターン認識の理論を、肝シンチグラムの形態に適用

し、ゲシュタルト量 (G量) で表わし、肝シンチグラムの数量化が可能であることを示した。

G量を肝シンチグラムの外形の数量表示として用いることにより、形態の計量診断が可能となり、他の臨床所見との組合せにより、電算機による自動診断の実現に更に近ずいたと考えられる。

今後、図形の電算機への入力法を検討することにより、G量のバラツキを除くことを考慮すべきである。

稿を終るにあたり、御助言下さいました金沢大学工学部基礎工学教室、上坂吉則教授、御指導、御校閲下さいました当センター助教授浜田信夫先生、御協力下さいました当センター芝辻洋先生、雨皿正技師長、奈良医大第二外科、高橋徳先生に深謝いたします。

なお本報告の要旨は第33回日本放射線技術学会総会において発表した。

文 献

- 1) 小西圭介 他: ^{198}Au コロイドによる肝シンチグラム外形パターンの数理解析の試み, 日医放会誌, 34(10), 752-762, (1974).
- 2) 安河内浩 他: 甲状腺-甲状腺シンチグラムの自動診断一, 癌の臨床, 15, 228-232, (1969).
- 3) 安河内浩 他: コンピュータによるシンチグラムの診断, 癌の臨床, 18(4), 238-243, (1972).
- 4) 向井孝夫: 電子計算機による RI イメージ処理に関する研究第一編シンチグラムの画像処理に関する研

- 究, 日医放会誌, 35(10), 868-882, (1975).
- 5) Lehr, J. L., et al.: Computer Algorithms for the Detection of Brain Scintigram Abnormalities., Radiology, 97, 269-276, (1970).
 - 6) 前田知穂他: 電子計算機による肝シンチグラフィー自動診断に関する研究第一報線形判列関数の応用, 日医放会誌, 36(7), 636-644, (1976).
 - 7) 熊野町子: 肝シンチグラフィーによるび慢性肝疾患診断に関する研究, 日医放会誌, 36(6), 491-505, (1976).
 - 8) 松林 隆 他: 電子計算機による骨腫瘍X線像の判別関数分析, 日医放会誌, 31(9), 1007-1025, (1971).
 - 9) 上坂吉則: パターン認識と学習の理論, 総合図書, 1971.
 - 10) 森 英雄: 数心理学的手法によるパターン認識, 電子通信学会論文誌, 54-C(12), 1110-1117, (1971).
 - 11) C. T. Zahn and R. Z. Roskies: Fourier Descriptors for Plane Closed Curves., IEEE Transactions on Computers, c-21(3), 269-281, (1972).
 - 12) 上坂吉則 他: 図形分節を説明するためのモデル, 電子通信学会論文誌, 59-D(1), 1-8 (1976).
 - 13) W. Metzger, 盛永訳: 視覚の法則, 岩波, 1953.
 - 14) 久田欣一: ^{198}Au シンチグラムの読み方, 総合臨床, 13(9), 1592-1602, (1964).
 - 15) 黒木哲夫 他: 肝シンチグラフィー (その4), MEDICAL POSTGRADUATES, 12(4), 214-225.
 - 16) 勝田静知 他: ^{198}Au コロイドによる肝シンチグラムのびまん性肝疾患に対する臨床的研究, 広島医学会誌, 24(12), 1263-1271, (1971).
 - 17) 鈴木俊彦 他: ^{198}Au コロイドによる肝シンチグラムの検討, 特にびまん性肝疾患について, 臨放誌, 18(7), 481-486, (1973).