

胃 X 線二重造影像における
がん病変パターンの自動抽出

木村好克* 長谷川純一** 鳥脇純一郎*
*名古屋大学工学部 **中京大学教養部

あらまし 胃がんの診断の計算機支援を目的とした胃 X 線二重造影処理システムについて述べる。本システムは、胃がん、特に早期胃がんにみられる(1)胃壁のひだの集中パターンと(2)胃壁が隆起してできた輪状パターン、に注目し、これを X 線像から抽出する。前者の場合、従来の処理手順を抽出精度の向上と計算時間の高速化を目的として改良した。実際の処理手順は大きく4つのステップ:①ひだ領域の輪郭線の抽出、②腸造影剤領域の抽出、③ひだ集中性の評価、および、④病変部候補領域の抽出、からなる。また、後者に対しても①輪郭線の強調②輪郭の輪状性の評価③病変部候補領域の抽出、からなる。今回、後者に対してはこれらの抽出法の可能性を確認することにとどめる。

AUTOMATED EXTRACTION OF ABNORMAL LESIONS
IN DOUBLE CONTRAST X-RAY IMAGES OF STOMACH

Yoshikatsu KIMURA* Jun-ichi HASEGAWA** Jun-ichiro TORIWAKI*
*School of Engineering, **Faculty of Liberal Arts,
Nagoya University, Chukyo University,
Nagoya, 464 Japan. Toyota, 470-03 Japan.

ABSTRACT: This paper presents a system for extraction of candidates for cancer lesions from double contrast X-ray images of stomach. The extraction method was developed based on the fact that a local convergence of folds commonly appears at each of affected parts on the inner wall of stomach. In this paper, a new function to evaluate the degree of local convergence of line patterns at each place on a fold pattern is employed. Several properties of the function are also investigated. In experiments using 26 practical X-ray images of stomach, the above system succeeded in extraction of true lesions from 26 X-ray images. The extraction method was also developed for a ring-like pattern of elevated lesions.

1. ま え が き

現在、胃の診断に用いられるX線像としては、大きく分けて、立位充満像（充盈像ともいう。以下充満像とする）と、今では全国的に普及した撮影法である二重造影像⁽¹⁾がある。後者は、特徴として、胃の内壁にある無数のひだの間に付着した造影剤を映し出し、胃の輪郭情報のみならず、胃の内部の微細な胃壁のひだ情報を提供する。その反面、この影像是、胃の内部のひだのパターンに脊椎や腸の陰影が重なりあい極めて複雑なものである。よって、その読影には相当な経験と知識を必要とするため、計算機による診断支援の要望が強い。そこで筆者らは、この読影作業の計算機支援の可能性を調べるために、二重造影像からの病変部自動抽出を試みた。胃X線二重造影像の計算機処理に関する研究⁽²⁾⁽³⁾は、胃部領域抽出に関するものだけで、本研究のような胃の内部の病変部（がん、潰瘍など）の自動抽出を目的とした研究は例がない。本文では、胃がんの病変部の多くが胃壁のひだの集中をともなうということに着目し、二重造影像上でのそのような集中の度合を定量化することによって、病変部として疑わしい場所を自動的に検出する方法をとる。さらに、病変部が隆起して二重造影像上では輪状にみえる病変部に対する1抽出方法として、その輪状の度合を定量化することで抽出する方法を提案する。

2. がん病変パターンとその処理手順の概要

胃X線二重造影像とは、簡単に言えば、胃の中に一度ためた造影剤を空気で強制的に排出させた後、X線で撮影する方法である。胃内壁には無数のひだが存在する⁽¹⁾。造影剤排出の際このひだとひだの間にはわずかながら造影剤が残留するため、無数のひだの微細な情報がX線像上にパターンとして写し出される。胃の内壁にがんや潰瘍等が発生するとその部分のひだになんらかの変化がおりやすくなることが知られている。

ところで、ひだの変化の中でもっとも多いのが、

(i)病勢の進行および治療の繰り返しによって病変近くのひだがひきつり、結果的に患部に向かってひだが集まるようになるパターン

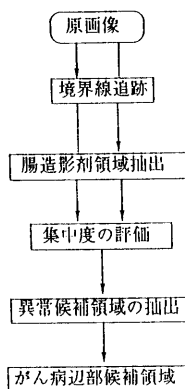


図1 システムの処理の流れ

であり、次に多くみられるのが

(ii)患部が隆起し、その周囲に造影剤が付着してX線上では輪郭線だけが見えるパターンである。事実、このひだの集中の現象は、胃がん全体の約63%を占め、隆起を伴うタイプのは胃がん全体の約20%である。実際の診断でも早期がんの約83%を占めるこの2つのタイプに関する処理方法の開発は、診断支援のために極めて効果的である。

(i)に対しては、ひだが集まっている部分をもがん病変部の候補として拾い出すための手順として、本文では、ひだの輪郭を線図形として抽出し、画像の各点で線がその点に向かってどの程度集中しているかを定量的に調べることにする。なお、造影剤のパターンは、実際にはひだとひだの谷間のパターンであるが、ここでは便宜上、このパターンを「ひだ」あるいは「ひだ領域」とよぶことにする。実際の手順は、図1に示すように4つのステップ；（1）ひだ領域の輪郭線の抽出、（2）腸の造影剤領域の抽出、（3）集中度の評価、および、（4）病変部候補領域の抽出、からなる。

(ii)のパターンを呈するものの抽出手順は、（1）輪郭線の強調、（2）輪状度の評価、（3）病変部候補領域抽出、からなる。今回は、基礎的な実験をおこない抽出の有効性を確認する。

3. ひだ集中型病変パターンの

具体的処理方法

ここでは、本システムの具体的な処理手順について述べる。なお、原画像の他に胃内部領域を指定する画像（胃輪郭線を示す画像）が必要であるが、これは、人間が原画像を見ながら手入力で作成したものをを用いる。

3. 1 ひだ領域の輪郭の抽出

まず、入力画像に対して幅Lのラプラシアンを施す。これは、胃のひだ領域を強調するためである。次に、その出力画像をしきい値 T_1 で2値化し、得られた連結成分に対して輪郭線抽出をおこなった結果を「ひだ輪郭線」とよぶ。ただし、後で述べる線素の決定のために輪郭線抽出後の線図形に細線化を施して幅1の8連結線図形しておく。

3. 2 腸の造影剤領域の抽出

二重造影の撮影時には、胃の外へ強制的に押し出された造影剤はまだ胃の近くの消化器官に残留しているため、それがX線像上に大きくまとまった領域として写る。特に、腸の方へ押し出された造影剤の陰影は胃の領域に重なることが多く、その部分での読影は不可能に近い。また、噴門部の付近にも造影剤が多く残り、大きくまとまって写る。ここでは、そのような領域内で病変の誤抽出を避けるため、処理手順中に腸の造影剤領域と思われる領域を抽出するための手順を組み込む。

ただし、この種の陰影はコントラストが強く内部が比較的均一なので、その抽出には入力画像を2値化（しきい値 T_2 ）し、得られた連結成分に図形融合を施し、さらに小成分除去（面積しきい値 T_3 以下を除去）を施すという比較的簡単な処理手順を用いる⁽⁵⁾。

3. 3 線素の定義

線群がある点に集中している程度を示すには、各線のその点へ向かう成分の大きさの総和を知ればよい。この計算においては、線一本一本を単位にして行う方法があるが、ここでは線一本が局所的に定義できる多数の線素（図2）の連なりであるとして考え、各線素が被評価点に向かってどの程度集中しているかを調べる方法をとる。詳細文献（4）参照。

3. 4 集中度の定義

線が放射状に走っている程度（集中度）を評価するために、ある点Pに対する集中度の式を

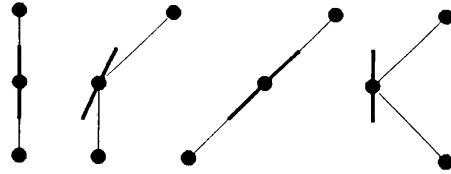


図2 線図形状の連続する3点(●)の配置で定義される線素(太い線分)の例

以下で定義する（図3）。

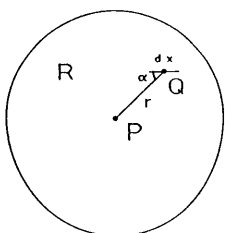
$$C(P) = \frac{\{\sum R dx | \cos \alpha | / r\}}{\{\sum R dx / r\}} \quad (1)$$

ここで、 $\sum R$ はPを中心とした適当な範囲のマスクR内での線素に関する総和を意味し、R内のある一つの線素をQとすると、dxはQの長さ、 α はQの方向が直線PQとなす角、rはPQの長さである（図3）。式（1）は、領域R内において、距離の逆数で重みづけられた線素の被評価点方向の成分の総和を、距離の逆数で重みづけられた線素の長さの総和で正規化したものである。したがって、この式は領域内で全ての線素が被評価点に向かっていている時最大となり、その値は1、全ての線素が被評価点方向に対して90度の方向をなしている時、最小値0をとる。

3. 5 集中度の評価および病変部候補領域の抽出

上記の手順により、胃内部の各点に対し集中度の計算を行う。その後、特に高い集中度を示す部分をがん病変部候補領域として抽出する。以下に具体的手順を示す。

- (1) 集中度パターン抽出 あるマスクサイズを用いて、胃内部の点について集中度を求め
- (2) 不要部分の消去 集中度パターンのなかで、(a)胃の内側で胃輪郭線から距離D以内の領域、あるいは、(b)3. 2で求めた腸の造影剤領域、のいずれかと重なる部分に0を代入することにより、以後の処理対象からはずす。
- (3) 病変部候補領域の抽出 上記(2)で得られた集中度パターンを2値化（しきい値 T_4 ）し、その結果得られる各連結成分をここでの病変部候補領域とする。
- (4) 分離度の評価 胃内部の全集中度の平均（なお、胃外部にはすべて0を出力）。この結果を集中度パターンとよぶ。



— 線素

図3集中度および輪状度の説明図

と分散をそれぞれ μ 、 σ^2 とし、 μ と候補領域内の各点の集中度の差の二乗平均を β としたとき、分離度 $V = \beta / \sigma^2$ の値を求める。

(5) 最適マスクの決定 上記(1)～(4)の操作を、適当な範囲でマスクサイズを変えて行い、その分離度の最大値を与えるマスクサイズを最適マスクサイズとする。

(6) 病変部候補領域の最終決定 最適サイズマスクによる候補領域をここでの最終的ながん病変部とする。

以上において、手順(1)で使用するマスクの形状は円ではなくドーナツ形とした。この理由は、実際のがん病変部のひだつきつりはその中心付近には少なく、ある程度中心からはなれたところにみられること。集中度はその定義から被評価点のすぐ近くにある線素に大きく影響されることになるため、被評価点のすぐ近くにある雑音的な線素の影響をなるべく抑えること、などがあげられる。

また、手順(2)によって、胃の輪郭付近や腸の造影剤領域の輪郭付近における不要な候補領域の出現をある程度抑制することができる。手順(4)で計測する V の値はそのマスクサイズでの平均集中度からの高集中度部分の分離の良さを与える。従って、 V の値が大きいほどひだの集中部分をより強く強調できる良いマスクであると決定する。また手順(5)でマスクサイズを変化させているのは、ひだの集中する範囲のばらつきに対応するためであり、変化させる範囲は早期がんにおける実際のひだ集中の様子と処理の安定性を考慮して実験的に定める。

4. 胃X線二重造影像に対する実験結果

3. で述べた処理手順を胃X線二重造影像26例(すべてひだ集中型を伴う症例)に適用し、がん病変部候補領域の自動抽出を試みた。試料画像はCRからの出力であるが、処理時間削減のため、各試料ごとに胃の部分だけを切り出し、これを入力画像として用いた。画像は大きさ約 1500×1500 画素で各画素10ビットのデジタル画像である。

まず、ひだ領域の強調に用いるラプラシアンは8近傍とし L_1 は、ひだ領域の平均的な幅を考慮して8(画素数)とした。また、コントラストの低いひだ領域をできるだけ抽出するため、2値化のしきい値 (T_1) は0とした。

腸の造影剤領域の抽出におけるしきい値 T_2 、および、 T_3 は、それぞれ、360、10000(画素数)とした。とくに、 T_2 はひだ領域を抽出しないよう、できるだけ低い値に設定した。

また、集中パターンの不要部分消去に用いる胃輪郭線からの距離 D は、実験的に50(画素数)とした。不要部分除去を行うことにより、実際に胃輪郭付近や腸の造影剤領域内部での不要候補領域の発生を大幅に抑制できることがわかった。次に、最適マスクサイズの探索範囲、及び、病変部候補領域の抽出のためのしきい値 T_4 をきめるため、それらのかかなり多くの組合せについて実験を行った。但し、各組合せにおける T_4 の値は、得られる候補領域が必ず真の病変部を含み、かつ、領域数があまり多くなりたくない、という条件で適当に設定した。この結果、良好な結果を与えるマスクサイズは、人間の確認した実際のひだ集中領域のおおよそ2倍であることが知られた。

以上を総合して最終的に、マスクサイズの(同心円ドーナツの内径と外径の組)の探索範囲は、(外径、内径) = (100、50)、(120、60)、(140、70)(いずれも画素数)の3つの組に限定して T_4 の値は0.665に固定した。

図6に処理結果の一例を示す。全体の結果としては、得られた候補領域の中に真の病変部(医師が指定)に相当する領域がある場合を抽出成功とすれば、26例中22例(約84%)が成功という良好な結果を得た。成功例の中には、病変部がかなり胃の輪郭付近にあるもの、病変部のひだ集中が非常に幅の狭いドーナツ状のも

の、また、集中している個々のひだの形状が、非常に複雑なもの、などが含まれている。よって、本集中度は、対象パターンの多少のばらつきにも頑健に対応することがわかった。なお、抽出に不成功であった4例は比較的ひだのコントラストが弱く、集中の様子も今回の試料の中では最も不明瞭なものであり、病変部付近に候補領域は抽出されたものの、病変部のしわの影響ではなく、脊椎の陰影による影響で抽出されたものと医師により、指示をうけたものである。

ところで、真の病変部以外に抽出された候補領域(=不要候補)の個数は、面積の小さいものまで含めれば1試料当り最大33個、平均で19個であり、診断支援という視点からは多すぎるきらいがある。そこで、各候補領域をその集中度で順位づけを試みた。具体的にはある候補領域について、そこに含まれる集中度の値の大きなものだけn個(実験ではnの値を3またはその領域の面積のどちらか小さい方とした)の平均値をその領域の“代表集中度”と定義し、これを用いて試料ごとに各候補領域の順位づけを行った。その結果から、抽出が成功した症例を対象に真の病変部領域の順位を集計すると表1のようになる。この表からわかるように1位が9例(抽出成功例全体の41%)、3位までみれば計15例(同68%)と、上記代表集中度が候補領域の絞り込みにある程度利用できることが確認された。最後に、医師の手入力により作成したがんの浸潤領域と、計算機による病変部候補領域がどの様な対応を見せているかを客観的に評価した。医師による浸潤領域の面積を S_a 、計算機による候補領域の面積を S_b として、 S_a と S_b の重なり合う面積 S_{ab} (図5)をしらべて集計すると表2のようになる。この表から、抽出成功例はすべて医師の入力との重なりがあり、処理の妥当性が再認識される。(表2、3)

5. 隆起型病変パターンの具体的処理方法

ここでは、隆起型とされるがんの中でも輪郭が輪状に見える病変に対する処理手順をしめす。

5.1 病変部の輪郭の抽出

入力画像に対し $M \times M$ の平滑化をおこない、その後幅 L_2 のラプラシアンを施す。これをしき

い値 T_5 で2値化して、得られた連結成分に対して輪郭線抽出をおこない、細線化して幅1の8連結の線図形にする。

5.2 線素の決定

前記3.3に従うものとする。

5.3 輪状度の定義

3.4集中度の定義と同様に考え、被評価点に対してどの程度線素が輪状になっているか定量的に評価するために、ある点にP対し以下のような式(輪状度)を定義する(図3)。

$$R(P) = \frac{\{\sum R dx | \sin \alpha | / r\}}{\{\sum R dx / r\}} \quad (2)$$

集中度と反対の性質を持つ関数である。

5.4 病変部候補領域の抽出

上記の手順により、胃内部にの各点に対して輪状度の計算を行う。その後、特に高い輪状度を示す部分のがん病変部候補領域として抽出する。

(1) 輪状度パターンの抽出 あるマスクサイズを用いて、胃内部の点について輪状度を求める。この結果を輪状度パターンと呼ぶ。

(2) 病変部候補領域の抽出

上記(1)で求められた輪状度パターンを2値化(しきい値 T_6)し、その結果得られる各連結成分をここでの病変部候補領域とする。

ここで、手順(1)で使用するマスクの形状はドーナツ型とする。

6. 輪状度のシミュレーション

ここでは、人工図形などによる輪状度のシミュレーションをおこなった結果を示す。シミュレーションパターン及びその輪状度を図4に示す。なおマスクは形状の外半径50点、内半径5点のドーナツ型とした。

(1) 理想的な輪状パターンの場合

図4(a)は被評価点を中心とした円からなるパターンである。図4(b)は(a)にさらに輪状度は両パターンとも理論上では1.0であるはずであるが、デジタル誤差により0.990となる。

(2) 雑音のある集中パターンの場合

図4(c)および(d)は、それぞれ、図4(a)および(b)に別の線図形Lを重ね合わせた半径を大きくした円を加えたパターンである。

表1 真の病変部領域の代表集中度順位とその症例数

順位	1位	2位	3位	4位	5位	6位以下
症例数	9	2	4	1	2	4

(抽出成功の22例について)

せたパターンである。Lの輪状度は(a)(b)のそれよりもかなり低いので、両者に同じ雑音を加わったと考えてよい。結果として、いずれも図4(c)の輪状度よりも図4(d)の輪状度の方が高い、これは二重円の方が雑音に対し影響されにくいことを示す。

(4) 実際のパターンの場合

図4(e)および(f)は、実際の胃X線二重造影像を処理した結果の一部であり、それぞれ、典型的な同心円状を呈する領域の例である。

(e)はマスクサイズが適当であるため、輪状度はかなり高い。しかし(f)は、マスクサイズが適当でないため(e)より低い値になる。

以上のシミュレーションから、輪状度の実験値は理論的に予測した結果とよく一致したが、実用面では次のような問題がある:(a)理論的に1.0になるパターンが、デジタル誤差のため1.0をとらない。(b)その中心に1、2本の直線成分が存在するだけで輪状度はかなり低くなってしまう。

7. 胃X線二重造影像に対する実験結果

輪状パターンについては、各試料の病変部部分だけを切り出して、入力画像とした。各画像は大きさ200×200画素(1画素は実寸0.1mm)で各画素10ビットのデジタル画像である。

まず、病変部輪郭の強調に用いる平滑化Mは5、ラプラシアンは8近傍とし、 L_2 は、輪郭に付着した造影剤の平均的な幅を考慮して5(画素数)とした。2値化のしきい値 T_5 は0とした。 T_5 については多少検討を要するようである。また、輪状パターンについては、開発段階であり最適マスクの決定、および、しきい値 T_7 は、マニュアルで決定した。図7に処理結果を示す。輪状パターンの場合、病変部が非常に小さいため、抽出結果が不安定になりがちである。また、

ひだ集中型のように広範囲にそのパターンがみられるわけではないので、強調された輪郭線の幅を考慮した最適マスクの決定が望まれる。

8. あとがき

本文では、胃X線像の診断支援を目的として開発された胃X線二重造影像からのがん病変部抽出手順とそのシステムについて述べた。本システムの特徴は、胃がん、特に早期胃がんに特有の胃壁のひだに注目し、これを定量化するところにある。本文では、まず、胃壁のひだの走行を一種の線図形としてモデル化したのち、線図形がある点に集中(輪状)する程度を定量化するための集中(輪状)度とよぶ新しい特徴量を定義し、それに基づく病変部候補領域の抽出手順を調べた。実際の胃X線二重造影像26例を用いた実験では、全体で84%の抽出成功率が得られ、かつ、成功した例の多くは真の病変部の集中度がかなり上位にランクされることなどが確認できた。これより、胃がん全体の6割以上を占めるとひだ集中型がん病変部に対して、本システムはかなり高い自動抽出能力をもつことが示された。また、胃がん全体の2割を占める隆起型病変部のうち輪状パターンに対しても処理方法の有効性を確認した。従来、胃X線二重造影像の胃がん病変パターンの認識に関する試みは全くなく、本研究の成果は今後のこの分野の研究に重要な手がかりを与えるものと期待される。今後の課題として、集中度の評価法の改良および計算の高速化、正確な輪状輪郭線の抽出、および、他の種類のがん病変(例えば、隆起型がん病変の他のパターンなど)の抽出方法の開発などがある。

最後に日頃医学的立場からの御助言と共に貴重な試料を御提供頂く国立がんセンター山田達哉博士、縄野繁博士、ならびに熱心に御討論頂く鳥脳研究室の皆様へ感謝する。本研究の一部は、文部省科研費、厚生省がん研究助成金、ならびに、中京大学特定研究助成費(1989年度)による。

参考文献

- (1) 市川、山田、土井：“胃X線診断の実際” pp.60-83、文光堂(1984)
- (2) 中村、板垣：“胃X線二重造影像に対する胃部領域抽出の一方法” 信学論(D),

表2 不要部分除去処理による真の病変部の順
真の病変部の順位*の変化

(): 抽出された候補領域数
--: 真の病変部抽出が失敗した例
*: 正常試料処理結果

試料	A	B	C
1	5(20)	1(17)	1(15)
4	10(24)	2(6)	2(6)
6	3(16)	2(11)	2(11)
8	1(41)	1(17)	1(17)
7	** (73)	** (48)	** (33)
10	28(56)	21(40)	18(33)
11	22(56)	8(30)	8(26)
12	3(16)	1(15)	1(15)
13	3(21)	1(13)	1(13)
14	50(52)	40(42)	32(33)
15	20(45)	3(18)	3(18)
16	4(36)	1(27)	1(25)
17	9(42)	3(28)	3(24)
18	9(24)	3(9)	3(9)
19	11(61)	9(44)	1(21)
20	3(21)	1(12)	1(12)
21	--(55)	--(36)	--(32)
22	17(25)	10(20)	3(10)
23	14(38)	6(25)	5(26)
24	--(35)	--(20)	--(16)
25	4(43)	1(23)	1(19)
26	21(51)	6(17)	6(7)
36	** (39)	** (25)	** (25)
37	** (66)	** (42)	** (44)
39	15(32)	6(33)	5(30)
40	--(17)	--(11)	--(8)
43	17(47)	4(22)	4(18)
44	6(41)	1(25)	1(23)
46	--(43)	--(36)	--(34)
平均	13(39)	6(25)	5(21)

*: 上位3個の平均集中度による順位

- A: 除去処理前
- B: 胃輪郭のみを用いた除去後
- C: 胃輪郭+腸造影剤領域による除去後

J64-D, 11, pp. 1045-1052 (Nov. 1981)

(3) 中村、宮崎: "線の識別と大局的論理を考慮した胃X線二重造影の胃部抽出" 情報学論, 24, 2, pp. 165-174 (Mar. 1983)

(4) 長谷川、筒井、鳥脇: "胃X線二重造影におけるひだ集中を伴うがん病変パターンの自動検出" 信学技報、(採録決定)

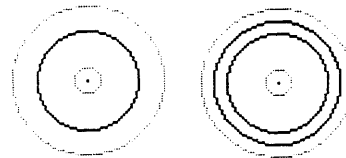
(5) 長谷川、橋本、木村、鳥脇、山田: "胃X線二重造影からの病変部の自動検出について" 第28回日本ME学大、2-A-6、医用電子と生体工学27巻特別号、pp268、(Jan. 1989)

(6) 横井、鳥脇、福村: "標準化された

表3 病変部の面積 S_a と医師の入力による浸潤領域面積 S_b の一致度 S_{ab}

data No.	候補領域面積 S_a	浸潤領域面積 S_b	一致度 S_{ab}	集中度順位
01	144	340	142	1
04	30	479	30	3
06	86	247	78	2
08	105	69	54	1
10	2	87	2	18
11	28	120	7	8
12	180	299	164	1
13	69	101	53	1
14	1	1104	1	32
15	38	884	1	3
16	113	86	38	1
17	62	139	61	3
18	31	144	16	3
19	78	76	64	1
20	93	39	34	1
21	44	153	1	6*
22	102	367	83	9
23	41	31	22	5
24	0	9	0	--*
25	61	215	61	1
26	23	531	23	6
39	62	140	59	2
40	118	222	2	2*
43	38	135	37	4
44	79	209	46	9
46	0	17	0	--*

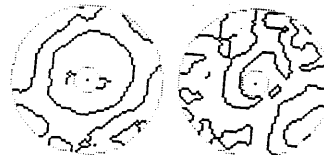
*: 病変部抽出不成功



(a) 0.990 (b) 0.990



(c) 0.671 (d) 0.706



(e) 0.851 (f) 0.784

図4 種々のパターンの輪状度

二値図形のトポロジカルな性質について、信

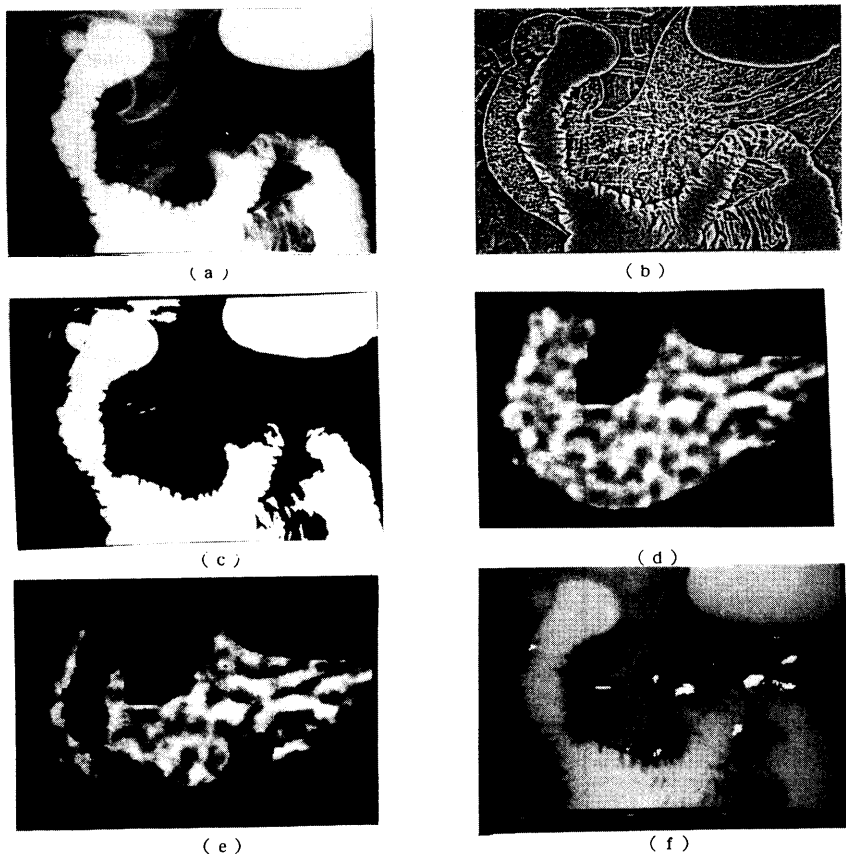


図6 実験結果の一例；(a)原画像、(b)ひだ領域の抽出結果、(c)腸造影剤領域の抽出結果、(d)集中度パターン（腸造影剤領域除去前）、(e)集中度パターン（腸造影剤領域除去後）(f)病変部候補領域の抽出結果（白い領域）、医師の入力（黒い部分）、および原画像の重ね表示

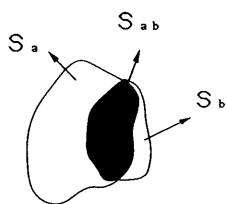


図5 医師の提示との比較の説明図

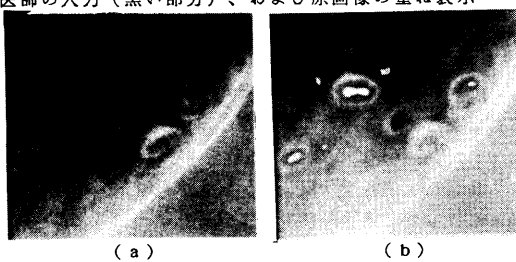


図7 実験結果（輪状パターン）(a)原画像(b)病変部候補領域の抽出結果（白い領域）と原画像の重ね表示