

# 胃の2次元モデルを用いた 二重造影の胃領域の形の予測

6R-5

喜多泰代  
電子技術総合研究所

## 1. はじめに

胃の集団検診では条件を変えて数枚のX線像を撮影する。このうち、図1(a)に示す二重造影正面像(以下二重造影と略す)は重要な情報を多く含むが処理が難しい画像である。一方、我々は既に図1(b)の立位充滿正面像(以下立位充滿と略す)から胃領域を抽出する手法を開発している<sup>1)</sup>。この結果から二重造影での胃の形が予測できれば、二重造影から胃領域を抽出する処理に有用である。どちらの像も被検者の正面から撮影したものであるが、撮影条件により図1のように形が異なる場合が多いので、胃の形を予測するために変形を加える必要がある。

二重造影では、胃内部に空気が充滿し胃壁のどこにも同じ力が加わっているのに対して、立位充滿では、胃の中にバリウム溶液を充滿させ被検者が立った状態で撮影するので、胃はバリウム溶液の重さで下に引き延ばされた形状となっている。この力の影響を取り除くように変形すれば、二重造影での胃の形が予測できると考えられる。胃は円筒袋状の組織であるが、力の差異は画像の二次元平面内の真下方向だけなので、二次元平面上の胃の輪郭の変形だけで処理できる。本手法では、胃の鉛直断面を表すために、まず立位充滿の胃の上側の輪郭(小弯という)と下側の輪郭(大弯という)を初めの長さや曲率を保とうとするばねでモデル化し、さらに小弯と大弯をばねで結合する。このモデルに外力を加えて変形し、二重造影の胃の形の予測を行った。

## 2. 胃のばねモデル

胃の輪郭点列から約50点間隔に代表点を定めて、隣接点間を直線で近似し胃を表す。胃壁は弾性の物質であるから、隣接点間の距離は変化することは考えられるが、基本的には同じ長さを保とうとする。そこで、各点間はばね(ばね定数 $k_a$ )でつながっていると(図2参照)。さらに、二重造影、立位充滿共に、内部からの圧力により胃壁が張っている状態なので、輪郭の滑らかさが保たれたままの変形であると考えてよい。そこで、図2に示すように、各点を結ぶ線分の隣同士のなす角度の変化に対して逆向きのトルクが働くようなばね(ばね定数 $k_b$ )を考える。この2種類のばねの強さは胃の輪郭の変形しやすさを表す。このモデルはKassら<sup>2)</sup>によるスプラインに力のかけてその連続性を保たせながら変形するsnakeモデルとよく似ている。ここでは立位充滿の時の輪郭の長さ、滑らかさをできるだけ変えないようにばね定数 $k_a$ 、 $k_b$ を決定する。

さらに胃は円筒袋状の組織であり、小弯と大弯は実際に



(a) 二重造影正面像

(b) 立位充滿正面像

図1 同一胃の異種X線像

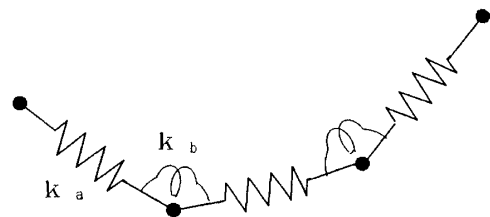


図2 胃の輪郭を表すモデル

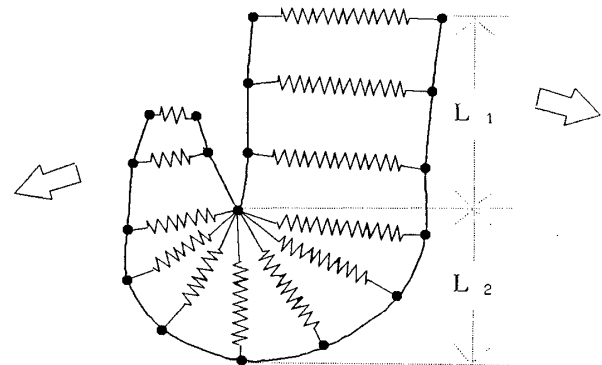


図3 胃の鉛直断面を表すモデル

は胃壁でつながっているの、小弯側と大弯側の最も距離の近い点間を図3に示すようにばねで連結する。各ばね定数は単位長さあたりのばね定数 $k_0$ が同じとなるよう定める。

### 3. 力の加え方

立位充満では接線が水平に近い大弯部にバリウム溶液の重力が大きくかかり、胃が下に引き延ばされている。この大弯の水平部分にかかる力の影響を取り除くように、立位充満の状態を外力 $\emptyset$ の平衡状態として、胃を図3の矢印方向に押し広げるような外力を加えて変形する。具体的には大弯の各点に外側法線方向に働く力 $F$ 、

$$|F| = f_0 (1 - \cos \theta)$$

を加える。ただし、 $\theta$ は各点の接線が水平となす角度、 $f_0$ は定数である。小弯には直接外力は加えないが、大弯とばねでつながっているの、大弯の変形に伴って力が加わる。

### 4. 変形過程の算出

外力を受けて点 $i$ が移動するときの速度を制御するために、緩衝係数 $\gamma$ を導入する。時刻 $t$ での各点 $i$ の位置を $(x_{i,t}, y_{i,t})$ 、各点に加わる外力を $(f_x(x_{i,t}, y_{i,t}), f_y(x_{i,t}, y_{i,t}))$ 、点 $i$ と $(i-1)$ の距離を $l_{i,t}$ 、点 $i$ での輪部の角度を $\theta_{i,t}$ 、それぞれの初期値を $l_{i,0}$ 、 $\theta_{i,0}$ とすると、各点の $x$ 方向のつりあいの式は、

$$\begin{aligned} & -\alpha_{i,t} (x_{i,t} - x_{(i-1),t}) \\ & + \alpha_{(i+1),t} (x_{(i+1),t} - x_{i,t}) \\ & + \beta_{(i-1),t} (x_{(i-2),t} - 2x_{(i-1),t} + x_{i,t}) \\ & - 2\beta_{i,t} (x_{(i-1),t} - 2x_{i,t} + x_{(i+1),t}) \\ & + \beta_{(i+1),t} (x_{i,t} - 2x_{(i+1),t} + x_{(i+2),t}) \\ & + f_x(x_{i,t}, y_{i,t}) + \gamma dx_{i,t}/dt = \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{i,t} &= k_a (l_{i,t} - l_{i,0}) / l_{i,t} \\ \beta_{i,t} &= k_b (\theta_{i,t} - \theta_{i,0}) / l_{i,t} \end{aligned}$$

である。ただし、大弯と小弯間のばねによる力は外力として考えている。ここで、 $\gamma$ を大きな負の値とすると、 $\Delta t$ 間の点の移動は微小なので、 $f_x(x_{i,t}, y_{i,t}) \approx f_x(x_{i,t-1}, y_{i,t-1})$ が成り立ち、

$$Ax_t + f_{x,t-1} = -\gamma (x_t - x_{t-1})$$

$$x_t = \begin{bmatrix} x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ \vdots \\ x_{n,t} \end{bmatrix} \quad f_{x,t} = \begin{bmatrix} f_x(x_{1,t}, y_{1,t}) \\ f_x(x_{2,t}, y_{2,t}) \\ \vdots \\ f_x(x_{n,t}, y_{n,t}) \end{bmatrix}$$

となる。ここで $A$ は5重対角行列である。 $y$ 方向についても同様である。これより、

$$\begin{aligned} x_t &= (A + \gamma I)^{-1} (x_{t-1} - f_{x,t-1}) \\ y_t &= (A + \gamma I)^{-1} (y_{t-1} - f_{y,t-1}) \end{aligned}$$

として、次のように逐次解を求めることができる。

①時刻 $t$ における大弯の各点にかかる外力( $F$ と時刻 $t$ の大弯、小弯間のばねによる力の和)を求め時刻 $(t+1)$ の大弯の各点の位置を算出する。

②時刻 $t$ における小弯の各点にかかる外力(時刻 $(t+1)$ の大弯、時刻 $t$ の小弯間のばねによる力の和)を求め時刻 $(t+1)$ の小弯の各点の位置を算出する。

①、②を繰り返し、両者を少しずつ交互に変形していく。回りの臓器からの力などもモデル化すれば、つりあう位置が存在するだろうが、これは個体差が大きく求めることが不可能であるので、適度な回数だけ繰り返して停止する。ここでは立位充満で胃の下部にバリウムが多く溜っている

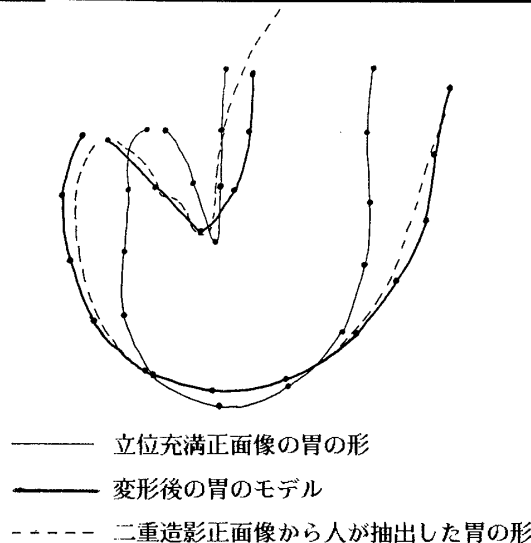


図4 図1の胃に対する変形結果例

ときは変形が大きいと推測し、図3中の $L_1$ 、 $L_2$ を用いて $100 \times L_2 / L_1$ 回繰り返すこととした。

### 5. 実験結果

$k_a = 50$ 、 $k_b = 10$ 、 $k_c = 100$ 、 $\gamma = -100$ で、8例について実験を行い、5例について、二重造影での胃の形とほぼ重なる結果が得られた。図4はこのうちの1例である。他の3例のうち1例は立位充満での胃の形が二重造影の形とほぼ同じで、変形する前のほうが近い形であった。残り2例は胃を胃角で左右に2分した半分はほぼ重なり、残り半分は原型の方が近いという結果であった。これら3例の原因として、背景の組織によって一部の部位が固定されていて部分的に変形がおきないことが考えられる。このように、実際には回りの臓器の存在や、撮影時の被検者の動き方等の条件が入るので、バリウムによる力の差異を考慮するだけでは不十分である。しかし、約6割でほぼ重なる形が得られ、それ以外の例でも二重造影内のエッジと組み合わせればモデルとして参照できるので、胃の形の予測に有効である。

### 6. おわりに

立位充満像の胃の輪部をその長さ、滑らかさを保つようなモデルで表し、力を加えて変形させて二重造影像の胃の形の予測を行い、有望な結果を得た。今後はこのモデルを用いて二重造影像から胃領域を抽出する手法の研究を行いたい。

<謝辞>

胃X線像読影に関して御指導いただいた筑波大医学部福富久之教授、伊藤葉子医師に感謝いたします。また日頃有益な助言をしていただいている阪大の白井良明教授および視覚システム研究室の皆様へ感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 喜多, 白井: "胃X線立位充満像からの局所的異常の候補の検出", 情報会コンピュータビジョン研資CV48-2(1987).
- 2) Kass, M., Witkin, A., and Terzopoulos, D.: "Snakes: Active Contour Models", International Journal of Computer Vision, pp.321-331(1988).