

# 乳腺エラストグラフィにおける ひずみ比計測用FLR Assistanceの開発

Development of the FLR Assistance for the Strain Ratio Measurement in Breast Elastography

馬場 博隆 Hiroataka Baba  
脇 康治 Kouji Waki  
村山 直之 Naoyuki Murayama

飯村 隆志 Takashi Iimura  
宮内 裕輔 Yusuke Miyaochi

日立アロカメディカル株式会社 第二メディカルシステム技術本部

われわれは、FLR Assistanceを開発した。これはエラストグラフィの計測機能の一つであるStrain Ratioの簡便性と客観性の向上を目的とし、乳腺における腫瘍領域と脂肪領域のひずみ比(FLR : Fat Lesion Ratio)を半自動的に計測する機能である。ユーザーが手動で計測した値との比較では、腫瘍ROIの半径換算重なり率が平均 $0.87 \pm 0.06SD$ であった。脂肪層ROIの目視確認では99例中93例が脂肪層上にあった。手動計測したStrain Ratio値と半自動で計測した値は強い正の相関があった( $r = 0.84$ ,  $p < 0.0001$ )。したがって、本機能はStrain Ratio計測のスループットを向上できる有望なツールであると考えられる。

We have developed a FLR Assistance. This is intended to improve the convenience and objectivity for one of the features of a Strain Ratio measurement of elastography. And that is what is measured semi-automatically strain ratio of a tumor area and a fat area in the mammary gland (FLR : Fat Lesion Ratio). In comparison with the value measured by the user manually, the average value is  $0.87 \pm 0.06SD$  in terms of the radius of the overlapping ratio of the tumor ROI and the fat ROI. We visually confirmed that the ROI on the fat layer of 93 cases in 99 cases. There was a strong positive correlation between the semi-automatic measurements and manual measurements ( $r = 0.84$ ,  $p < 0.0001$ ). Thus, this system is a promising tool to improve the throughput of Strain Ratio Measurement.

**Key Words:** FLR Assistance, Strain Ratio, Fat Lesion Ratio, FLR, Real-time Tissue Elastography, Ascendus

## 1. はじめに

エラストグラフィでは、柔らかい組織は変形しやすく、硬いものほど変形しにくい性質を利用し、微小部位の組織変位を計測して、この計測値から算出したひずみを可視化する<sup>1)2)</sup>。これを実時間で表示できるようにし、製品に搭載したのが「Real-time Tissue Elastography<sup>®</sup>」(以下エラストグラフィ)である<sup>3)4)</sup>。一般的にひずみは、応力(圧迫速度)に依存するため定量的に表現することは困難である。しかしながら、2~3%のひずみであれば線形に変化する<sup>5)</sup>点に着目し、組織間のひずみの比により数値化を行うStrain Ratio(以下SR)を開発した<sup>6)</sup>。

乳腺領域のエラストグラフィを検者がスコアリングして半定量評価する弾性スコアは、B像での診断に比べて感度、正

診率が優れる点が報告され<sup>7)</sup>、従来の診断情報を補う新たな機能として広く用いられている。乳腺領域では、式(1)で示す脂肪(Fat)と腫瘍(Lesion)のひずみの比(Ratio)を取るFLR (Fat Lesion Ratio)によってSRを定量評価する方法が開発され、客観的な診断に十分な臨床成績であったとしている<sup>8)</sup>。

$$FLR = \frac{\text{脂肪のひずみ平均}}{\text{腫瘍のひずみ平均}} \quad (1)$$

一般的に脂肪は正常乳腺に比し性周期や人によって硬さの変化が少ないと推測されているので、FLRは脂肪のひずみに対して腫瘍のひずみがどれだけあるかを見るための指標であ

る。また、脂肪は柔らかくひずみが大きいいため、SRは1よりも大きな値となることが多く、変形の少ない硬い腫瘍であるほど高値を示す。

## 2. 従来操作の課題

従来のSR計測では、エラストグラフィを描出したのち、腫瘍と脂肪層のそれぞれにROIを手動で設置していた。ROI設置ではB像の低エコー領域を見定めておおむね内接する円形ROIを設置し、さらに脂肪層にも同様に円形ROIを設置するため、目視判断と注意深い手作業が必要である。

## 3. FLR Assistanceの操作手順と自動化アルゴリズム

操作の課題を解決するために、われわれはROI設置にかかわる操作をほぼ自動化し、この機能を「FLR Assistance」と名付けた。以下に操作手順とアルゴリズムについて述べる。

### 3.1 操作手順

エラストグラフィを描出したのち、腫瘍ROIを設置したい箇所のおおむね中心をユーザーが指定すると、腫瘍ROIと脂肪層ROIを自動で設置しSR値を算出して表示する。

### 3.2 腫瘍ROIの自動設置アルゴリズム

まず、B像に描出された腫瘍像辺縁を算出する。次に、ユーザー指定点近傍を中心とし、腫瘍辺縁におおむね内接する円形ROIを設置する。ここで、おおむね内接する円形ROIとしたのは乳頭や腫瘍の影によって腫瘍像辺縁が閉じて見えないことがあるためである。また、ユーザー指定点をそのまま腫瘍ROI中心とせず、指定点近傍でより大きなROIとなる中心を探索してROI中心としている。この理由は、画像上で半径を最も大きくできるROI中心を目視で認識しつつ、その一点を指定することは困難で煩わしい操作となるため、これを容易な操作で可能としたかったからである。このように処理することで、ユーザーはおおむね中心の位置を示せばよく、あとは自動で中心位置を割り出して適したROIを設置する。

腫瘍辺縁の検出では、式(2)に示すように関数 $f$ によって演算した。関数 $f$ は、ユーザーが指定した箇所 $U$ から勾配方向 $A$ が外側に向かうもののうち、鋭く大きな勾配長 $L$ を持つ箇所を腫瘍辺縁 $R$ として返す。勾配方向 $A$ は輝度の変化方向であり(式(3))、勾配長 $L$ は輝度変化の急峻さに相当する量である(式(4))。ここで、輝度勾配 $G$ は $x$ 成分と $y$ 成分からなるベクトルであり、B像 $I$ の輝度の偏微分によって求める(式(5))。図1にファントム像から算出した腫瘍辺縁の例を示す。

$$R = f(U, A, L) \quad (2)$$

$$A = \text{angle}(G) \quad (3)$$

$$L = |G| \quad (4)$$

$$G = \frac{\partial I}{\partial x} + i \frac{\partial I}{\partial y} \quad (5)$$

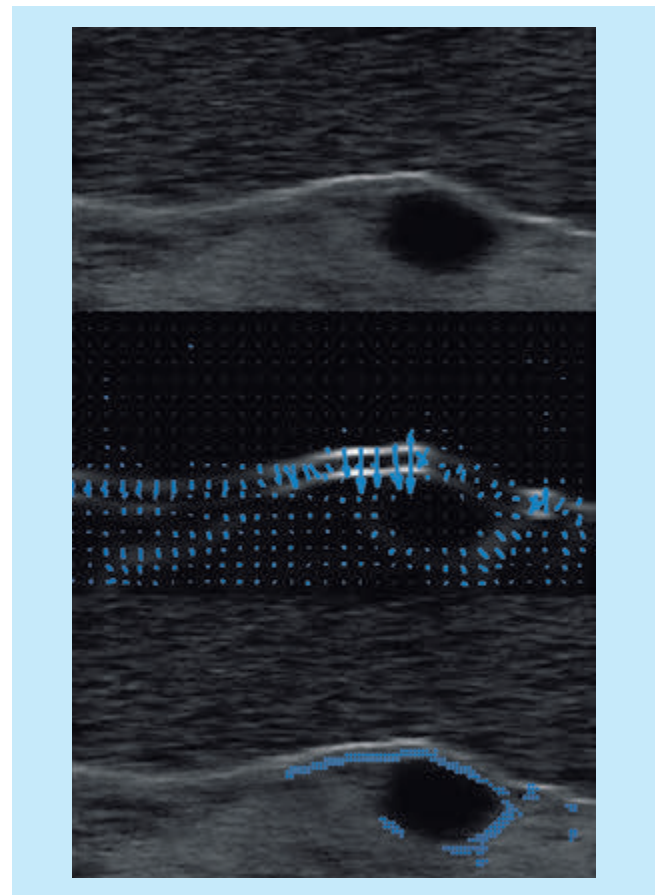


図1：腫瘍辺縁の例

ファントムのB像(上段)および勾配ベクトル(中段青矢印)、勾配長(中段白黒像)、腫瘍辺縁(下段青点)

腫瘍辺縁 $R$ を検出したのち、ユーザーが指定点の周辺にある各画素 $c$ から適したROI中心 $C$ を割り出す。この手順について説明する。まず、 $c$ の各画素 $c_k$ からすべての腫瘍辺縁画素 $R_j$ までの距離を算出する。この距離のうち、最小距離 $J_k$ を求める(式(6))。この最小距離の中から最大のものをインデックス $K$ とし(式(7))、中心位置 $c_K$ をROI中心 $C$ とする(式(8))。図2に算出したROIの例を示す。

$$\text{最小距離 } J_k = \operatorname{argmin}_j (|R_j - c_k|) \quad (6)$$

$$\text{最小距離のうち最大距離を示すインデックス } K = \operatorname{argmax}_k (J_k) \quad (7)$$

$$\text{求めたROI中心 } C = c_K \quad (8)$$

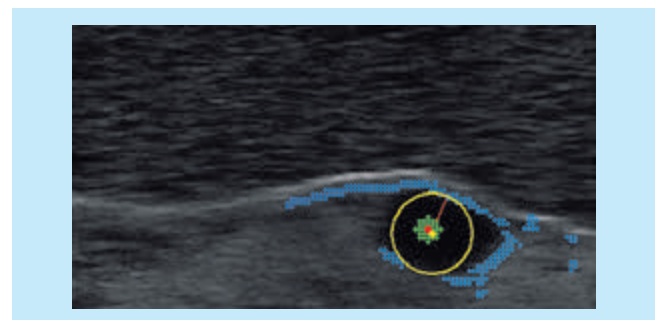


図2：ROIの例

ユーザー指定点 $U$ (赤い点)および算出したROI(黄色い円と黄色い点)、ユーザー指定点周辺画素 $c$ (緑の点)、最小距離 $J_k$ (赤色の線)

### 3.3 脂肪層ROIの自動設置アルゴリズム

脂肪層を認識することは今の技術でも困難なため、「明らかに脂肪層でない」ところに「ROIを設置しない」方法を選択した。これは3つの段階からなる。

- 1) 明らかに脂肪層でない箇所が低値となる分布(以下、可能性分布)を算出する。
- 2) 可能性分布が最も高値である箇所を脂肪層ROIの仮の中心とする。
- 3) 上述の腫瘍ROIと同様の方法で、仮中心の周辺から脂肪層辺縁までを半径とする円形のROIを設置する。

ここで重要となる可能性分布について説明する。可能性分布はエラストグラフィと同じ領域を持つ。この領域の各画素は「明らかに脂肪層でない箇所」を値0とし、「それ以外の箇所」を0~1の値で表している。すなわち、脂肪層らしい箇所は1に近い値、脂肪層らしからぬ箇所は0に近い値となる。このような値は単一の条件で求めることが困難なため、複数の条件から求めている。

可能性分布Pは式(9)に示すようにP1~P3の積によって算出している。これらの分布の一例を図3に示す。それぞれの分布は以下に示すものである。

- ・ B像輝度Iが低値である箇所を可能性0、それ以外を可能性1としたP1(式(10))
- ・ 前述した勾配長Lが高値であるほど可能性が低いとしたP2(式(11))
- ・ ひずみ分布Eが低値である箇所を可能性0、それ以外を可能性1としたP3(式(12))

$$\text{可能性分布 } P = P1 \cdot P2 \cdot P3 \quad (9)$$

$$\text{非低輝度分布 } P1 = B \text{ 像輝度 } I > \text{ 低輝度判定閾値} \quad (10)$$

$$\text{非構造分布 } P2 = 1 - \frac{\text{勾配長 } L}{\max(\text{勾配長 } L)} \quad (11)$$

$$\text{非低変形分布 } P3 = \text{ひずみ分布 } E > \text{ひずみ閾値} \quad (12)$$

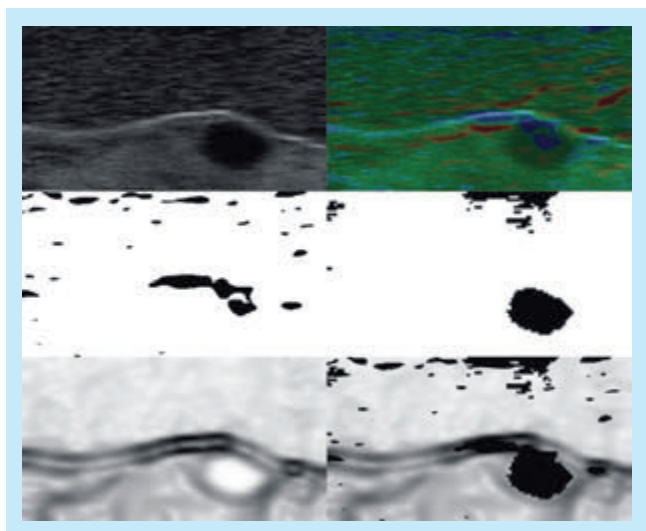


図3：可能性分布

左から右、上から下へ、B像、エラストグラフィ、P1、P2、P3、P

### 3.4 評価方法

川崎医科大学附属川崎病院と筑波メディカルセンター病院で超音波診断装置HI VISION Ascendus<sup>®2</sup>によってSR計測を施行した乳房エコーのうち腫瘍像形成性病変99例を対象とした。評価ではユーザーが設置したROIおよびSR計測値と、指定した腫瘍ROI中心を入力して、本アルゴリズムによって半自動計測したものがどれだけ近似しているかを数値化し、評価した。腫瘍ROIは半径換算重なり率で評価した。脂肪層ROIは本アルゴリズムで設置したROIが脂肪層上にあるかを目視確認した。総合的には、ユーザーが計測したSR値と半自動で計測した値を相関係数によって評価した。

半径換算重なり率は、ユーザーが指定したROIの半径を $a$ 、半自動で設置したROIの半径を $\beta$ 、重なった領域面積を円半径に換算した値を $\gamma$ としたとき式(13)となる。この値はROIが重なり完全に一致していれば1、重なりが全くなければ0となる。

$$\text{半径換算重なり率} = \frac{2\gamma}{a + \beta} \quad (13)$$

## 4. 結果と考察

腫瘍ROIの半径換算重なり率は平均 $0.87 \pm 0.06SD$ であった。図4に半径換算重なり率が0.81、0.87、0.93の例を示す。脂肪層ROIの目視確認では99例中93例が脂肪層上にあった。ユーザーが計測したSR値と半自動で計測した値は強い正の相関があった( $r=0.84$ ,  $p<0.0001$ )。図5に相関図を示す。



図4：半径換算重なり率の例

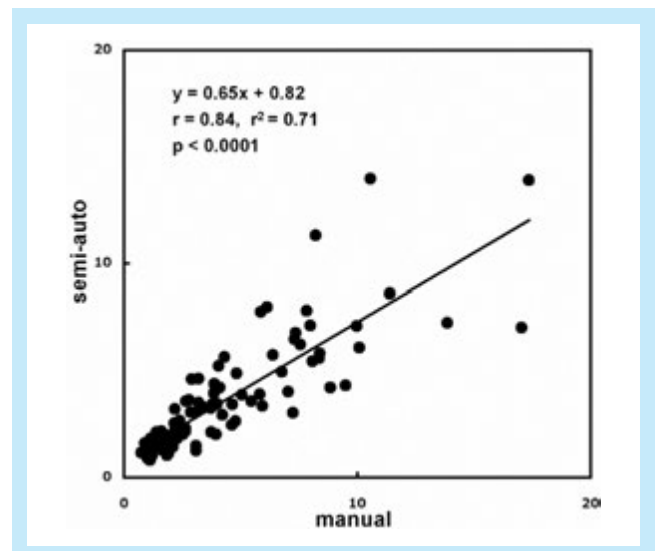


図5：相関図

これらの結果から、従来手動で行っていたSR計測と同等の確からしさであると推測する。手動計測を半自動計測に置き換えることにより計測手順を軽減できるため検査スループットを向上できる期待がある。その実現のためにはB像の腫瘍像辺縁を明確に描出し、再現性良くエラストグラフィを取得する必要がある。

## 5. リミテーション

本技術は、B像にて境界が不明瞭になるものや腫瘍像非形成性病変など、そもそも腫瘍形状を呈さない対象においては境界情報を正確に検出することが困難になる。また、設置されたROIの妥当性を確認し、不適當である場合には手動による修正が必要となる。

## 6. 今後の課題

計測の煩わしさをさらに軽減するには、腫瘍ROIの中心を自動で検出する必要がある。これが実現すれば、コンソールから計測を指示するボタンを押すだけで結果が出るため、検査の手数を減らすことができ、さらなるスループットの向上が期待できる。

## 7. 謝辞

本機能の試作から実機搭載までの開発における臨床的有用性の評価は、川崎医科大学附属川崎病院 中島一毅先生、ならびに筑波メディカルセンター病院 植野映先生との共同研究に基づいたものであり、それぞれの施設の関係者の方々に感謝いたします。

※1 Real-time Tissue Elastography、※2 HI VISION Ascendusおよび Ascendusは株式会社日立メディコの登録商標です。

## 参考文献

- 1) Shiina T, et al. : Strain Imaging Using Combined RF and Envelope Autocorrelation Processing. Proc. of 1996 IEEE Ultrasonics Symp, 4 : 1331-1336, 1996.
- 2) Matsumura T, et al. : Development of Freehand Ultrasound Elasticity Imaging System and in vivo Results. First International Conference on the Ultrasonic Measurement and Imaging of Tissue Elasticity, 1 : 80, 2002.
- 3) Matsumura T, et al. : Development of Real-time Tissue Elastography. MEDIX 41, 30-35, 2004.
- 4) Matsumura T, et al. : Diagnostic results for breast disease by real-time elasticity imaging system. Proceedings of 2004 IEEE Ultrasonics Symposium : 1484-1487, 2004.

- 5) N.Nitta, T.Shiina : Estimation of Nonlinear Parameter of Tissues by Ultrasound. Japanese Journal of Applied Physics, 41, Part 1, 5B, 3572-3578, 2002.
- 6) Waki K, et al. : INVESTIGATION OF STRAIN RATIO USING ULTRASOUND ELASTOGRAPHY TECHNIQUE. Proc.ISICE 2007 p449-452
- 7) Itoh A, et al. : Clinical application of US elastography for diagnosis. Radiology, 239(2), 341-350, 2006.
- 8) Ueno E, et al. : New quantitative method in breast elastography : Fat Lesion Ratio(FLR). Abstracts of RSNA 2007 ; LL-BR2123-H04, 2007.