

エラストグラフィ用音響カプラーの開発

Development of Acoustic Coupler for Elastography

藤原 洋子 Yoko Fujihara
村山 直之 Naoyuki Murayama
三竹 毅 Tsuyoshi Mitake

松村 剛 Takeshi Matsumura
元木 満 Mitsuru Motoki

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

癌などの悪性病変は一般的に硬くなることが知られており、Real-time Tissue Elastography*により、病変部位がその周囲の組織に比べて硬いか軟らかいかが判断可能となった。その計測の一つである Strain Ratio は、病変部位と周囲の組織のひずみの比較によって、より客観的に生体内の硬さを判断することができる。本計測には基準となる組織が必要だが、対象部位によっては適切な基準組織が存在しない場合もある。この課題を解決すべく Strain Ratio のための基準となり得る音響カプラーの開発を行った。本稿では、音響カプラーを用いたエラストグラフィの撮像法について臨床例とともに報告する。

It is known that malignant diseases such as cancer generally become hardened, and therefore, Real-time Tissue Elastography* has allowed a judgment on whether a lesion is harder or softer than its surrounding tissues. The Strain Ratio, one of its measurement means, allows an objective judgment of the in vivo hardness by comparing the strain of a lesion with that of its surrounding tissues. This measurement requires a tissue as standard, but there may be a case where any appropriate standard tissue does not exist depending on the objective area. To solve this problem, we developed an acoustic coupler which can be a standard for the Strain Ratio. This paper reports on the Elastographic imaging method using an acoustic coupler together with some clinical cases.

Key Words: Elastography, Acoustic coupler, Strain Ratio

1. はじめに

Real-time Tissue Elastography* (以下エラストグラフィ) は、プローブを生体に当て、微小な圧迫を加えることで生じる微小変位をひずみに変換し、そのひずみをリアルタイムに画像化したものである。軟らかいもののひずみは大きく、硬いもののひずみは小さいという特性から、組織の硬さを相対的に画像化することができる。ひずみの小さい部分(相対的に硬い部分)を青色、ひずみの大きな部分(相対的に軟らかい部分)を

赤色に表示している¹⁾。2003年に製品化し、乳腺²⁾、甲状腺³⁾、前立腺⁴⁾⁵⁾、肝臓⁶⁾⁷⁾などの分野で臨床応用されている。

エラストグラフィの計測の一つである Strain Ratio の開発により、「硬さ」がより客観的に評価可能となった⁸⁾。Strain Ratio は対象部位と基準部位とのひずみ比を計算する機能であり、特に乳腺領域の Strain Ratio については「FLR (Fat Lesion Ratio)」と名づけられ⁹⁾ている。脂肪と腫瘍のひずみ値

から算出されるFLRの値で良悪性を鑑別するという臨床研究が進んでおり、Cut off値を4.5程度とすると良悪性鑑別が可能であるとの報告がある¹⁰⁾。図1にFLRの計測例を示す。

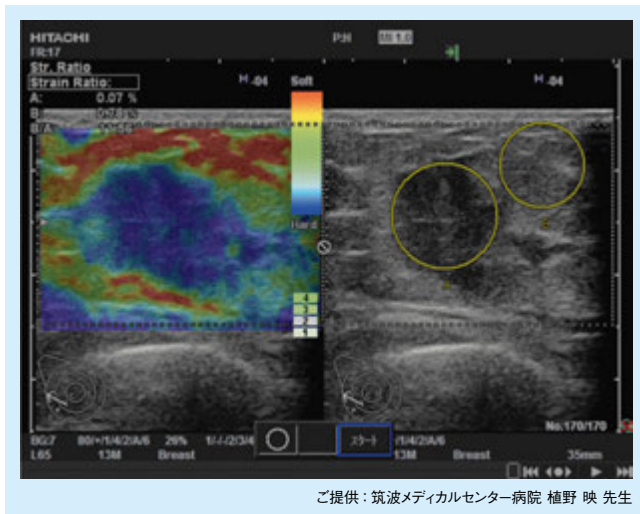


図1：乳腺領域における硬癌のStrain Ratioの計測例

2. 音響カプラーの開発

2.1 開発の目的

乳腺領域では、計測対象となる乳房内の腫瘤の近くに脂肪という比較的硬さの安定した基準となる組織が存在する。しかし、整形領域などのように基準対象となる組織が存在しない場合がある。

そこで、プローブと対象部位との間に硬さが安定している音響カプラーを介在させながらエラストグラフィを撮像する方法によって、この課題を解決することを考えた。この方法を実現するために、安定して一定の硬さを有し体表とほぼ等しい音響インピーダンスをもつ音響カプラーの開発を行った。

2.2 音響カプラーと音響カプラーアタッチメントの構成

図2に開発を行った音響カプラーとそのカプラーをプローブに装着するための音響カプラーアタッチメント(以下アタッチメント)を、図3にプローブEUP-L65に装着した状態を示す。

音響カプラーはエラストマー樹脂でできており、超音波画像を撮像する際、画像の劣化ができるだけ小さくなるように音響特性の調整を行った。さらに、エラストグラフィの圧迫手技で音響カプラー内に適切なひずみが生じるよう、生体に近い硬さに調整を行っている。使用期限内は硬さの変化が小さく、常温で保管可能である。

2.3 音響カプラーと音響カプラーアタッチメント、プローブへの装着方法

最初の音響カプラーは、種々の領域で広く使用されているプローブEUP-L65用に開発した。

まず、エラストグラフィを撮像する前に、音響カプラーを正しい状態でアタッチメント、プローブへ装着することが必要である。そのポイントを挙げる。

(1) 音響カプラーのアタッチメントへの装着

音響カプラーがアタッチメントに正しく装着されていない状態でエラストグラフィを撮像すると、対象部位を正常に圧迫できないためエラスト像にアーチファクトが生じる。装着の際、付属のフィルムをつけたままアタッチメントに装着することにより、音響カプラーの素材のべたつきを気にせずスムーズに装着できる。

(2) プローブと音響カプラーの間の余分な超音波ゼリーや空気を除去

プローブと音響カプラーの間に余分な超音波ゼリーや空気が入っていると、生体を圧迫する力に偏りが生じたり、プローブとカプラー間で超音波が反射することにより音響カプラーや生体画像内にアーチファクトが発生することがある。そのため、音響カプラーとプローブ間の超音波ゼリーはできるだけ微量とする。空気等が入った場合は、図4で示すよう



図2：音響カプラーと音響カプラーアタッチメント



図3：音響カプラーをプローブに装着した状態

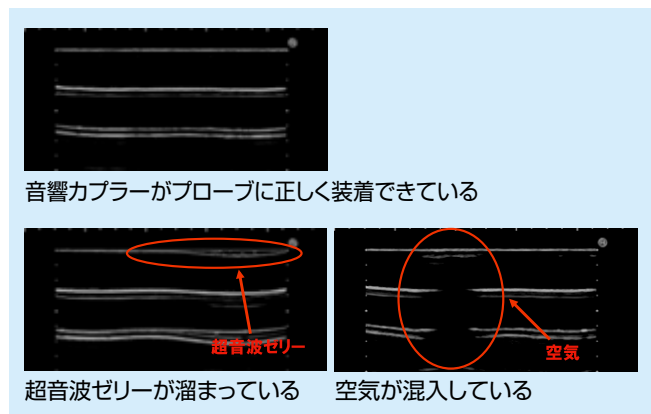


図4：正しく装着された場合と超音波ゼリー、空気が混入した場合のBモード像の比較

に音響カプラーをプローブに装着し、Bモード像で確認することができる。その場合は、超音波ゼリーを少量つけた指で音響カプラーの上からプローブをなぞるように圧迫すると、余分なゼリーや空気を除去することができる。

3. 音響カプラーを用いたエラストグラフィの評価

3.1 音響カプラーの撮像の方法

(1) 圧迫手技

エラストグラフィ撮像の手技で注意すべき点が2つある。1つめはプローブを初めに生体に当たるときの力である初期圧が過度でないこと、2つめはエラスト像を描画するための微小な圧迫の圧縮・弛緩ストロークが大きすぎず、かつ安定していることである。

1つめについては、過度な初期圧を加えると、生体組織の弾性特性が変化することが報告されており¹¹⁾、音響カプラーを使用しない通常のエラストグラフィと同様に微小な圧迫で、音響カプラーや初期圧の目安となる生体部分が常に同じ色づきとなる状態を保持し撮像することが重要である。

2つめのストロークについては、ストレイングラフを活用す

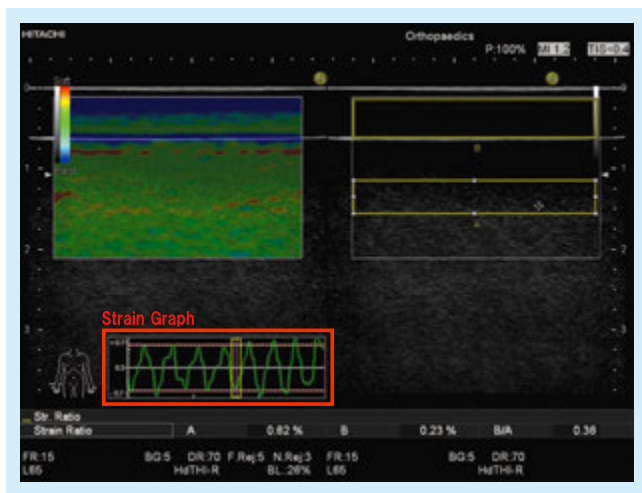
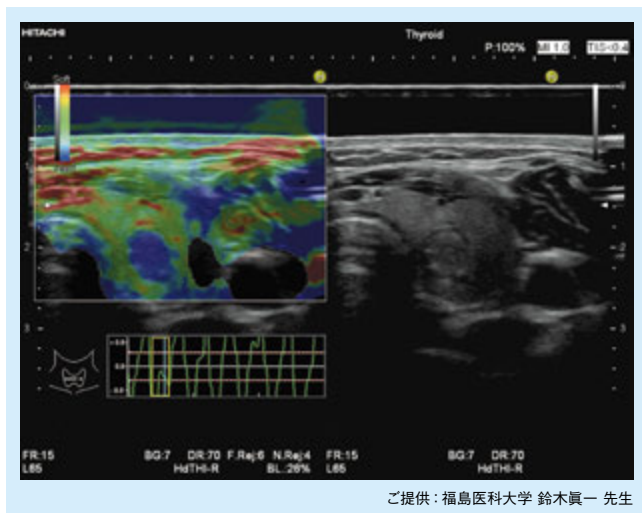


図5：ファントムでのStrain Ratio計測例



ご提供：福島医科大学 鈴木眞一先生

図6：甲状腺における乳頭癌の撮像例

ことで解決できる。ストレイングラフは加圧による組織のひずみの平均値をグラフ化したもので、微小な圧迫の周波数、振幅を知ることができる。グラフを見ながら一定の圧迫を加えることにより、安定したエラスト像を得ることができる。

図5に音響カプラーを使用した際のファントム撮像例を示す。

(2) Strain Ratioの計測

Strain Ratioの計測ROIは、計測対象全体にできるだけ大きく設定することが原則である。音響カプラー側の計測ROIは、縦幅はカプラー全体にとり、横幅は対象の横幅に合わせる。

計測メニューからStrain Ratioを起動し、はじめの計測ROI Aを生体、次の計測ROI Bを音響カプラーと設定すると、ROI Aのひずみ値 ϵ_A 、ROI Bのひずみ値 ϵ_B を用いて、Strain Ratioは次式のように計算できる。

$$\text{Strain Ratio} = \frac{\epsilon_B}{\epsilon_A}$$

上式より、対象が音響カプラーよりどれだけ硬いかを示すことができる。対象が硬くなればStrain Ratioの値は高くなり、軟らかくなれば低い値をとる。

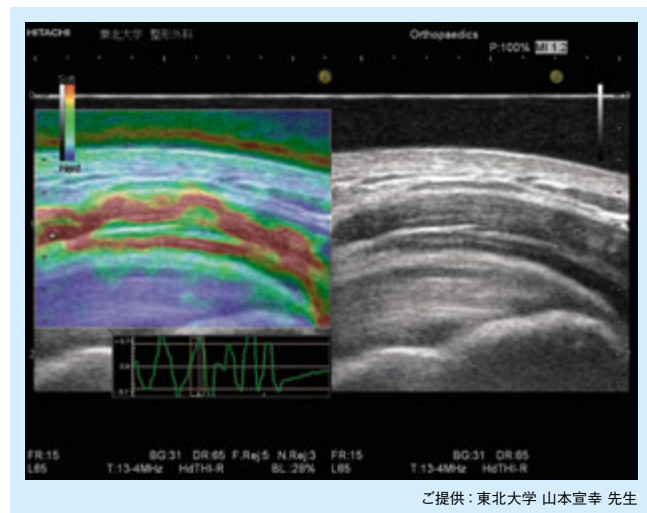
3.2 エラストグラフィ撮像例

音響カプラーを用い、エラストグラフィを撮像した場合の臨床画像を示す。

図6に示すのは甲状腺、図7に示すのは棘下筋腱と三角筋筋腹における音響カプラーの適用例である。整形領域に関しては、基準となり得る組織がない場合が多く従来Strain Ratioの計測が難しかったが、本カプラーを用いることで計測可能となった。

3.3 音響カプラーを使った信頼性の評価

検者2人が健常成人3人ずつの左手首の正中神経を対象に音響カプラーを用いてStrain Ratioの計測を行った。1被検者に対し、1回につき5動画の撮像を、日をまたいで3回繰り返し、検者2人分の検者内信頼性の評価を行った。Strain

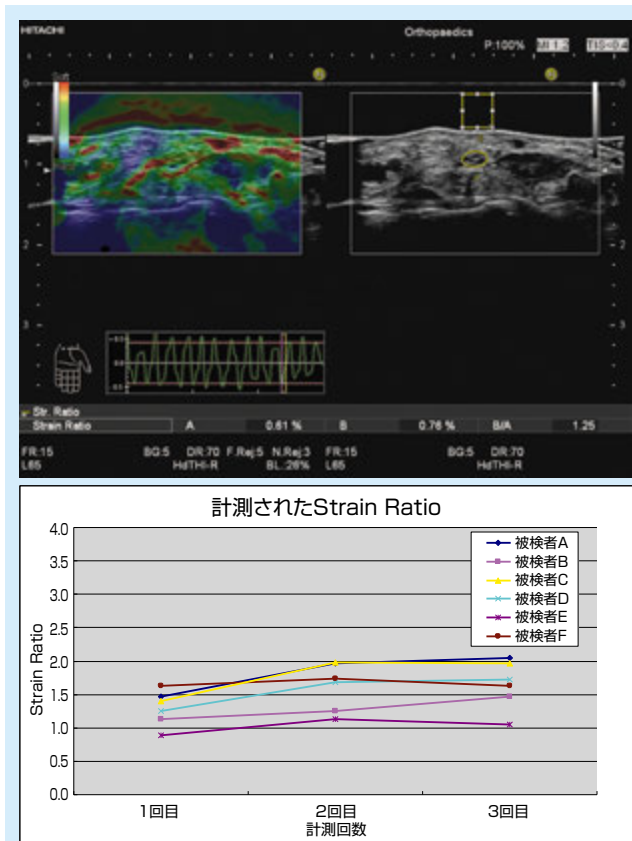


ご提供：東北大学 山本宣幸先生

図7：棘下筋腱と三角筋筋腹の撮像例

Ratioの計測ROIはAを正中神経にBを音響カプラーに設定した。検者ごとのStrain Ratioの計測値の平均値のグラフを図8に示す。

n回計測したときの検者内信頼性は級内相関係数ICC(1, n)で計算され、5動画のStrain Ratioの平均値から算出したものをICC(1, 5)、3動画から算出したものをICC(1, 3)とし、比較を行った。なお、被検者には研究の目的、意義を説明し文書による同意を得ている。



検者1は被検者A～Cを検者2は被検者D～Fの計測を行った。

図8：正中神経計測画像例と検者1、2のStrain Ratio計測結果

検者1の結果は $ICC(1, 5)=0.71$ 、 $ICC(1, 3)=0.62$ 、検者2の結果は $ICC(1, 5)=0.92$ 、 $ICC(1, 3)=0.90$ であった。この結果から、音響カプラーは比較対象のない部分において基準とすることができ、手技に慣れれば3回の値の平均値を用いることで信頼性の高いデータが得られることが示唆された。

4. その他の用途

音響カプラーはエラストグラフィ以外の用途にも使用可能である。図9に指の爪の間に発症したglomus腫瘍の撮像例を示す。音響カプラーを用いることにより超音波ゼリーのみの場合に比べ一定の距離を保ちやすく、フォーカスを合わせやすいため、鮮明に画像を得ることができる。加えて、音響カプラーは軟らかい素材であるため、直接プローブを当てると空気等によるアーチファクトが生じやすい部位に対してもフィットさせることができ、血管を圧迫することなく検査可能となる。

5. まとめ

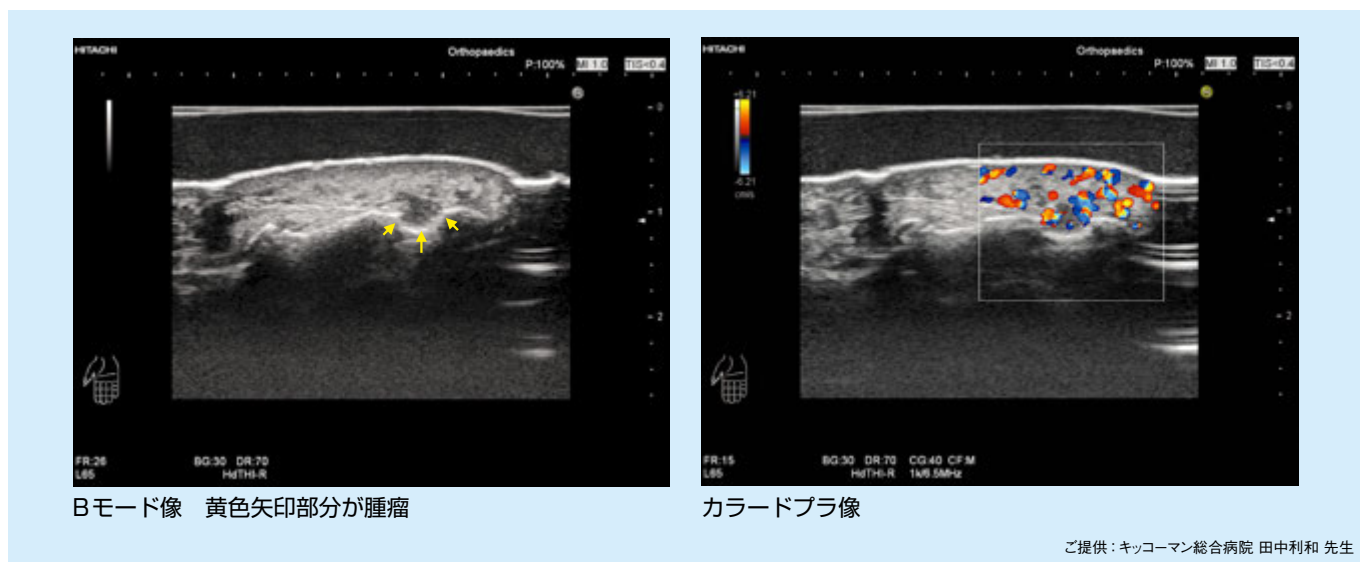
われわれは、超音波プローブと体表との間に挟んで使用する音響カプラーを開発した。これはStrain Ratioの計測において、基準対象として使用可能である。

これまでStrain Ratio計測が難しかった整形領域での使用も報告され、さまざまな分野での臨床応用が期待される。

6. 謝辞

本機能の開発に関し、画質評価をいただいた日立総合病院伊藤藤子先生に感謝いたします。また、画像をご提供いただいた筑波メディカルセンター病院 植野 映先生、福島医科大学 鈴木真一先生、東北大学 山本宣幸先生、キッコーマン総合病院 田中利和先生に感謝いたします。

※ Real-time Tissue Elastographyは株式会社日立メディコの登録商標です。



Bモード像 黄色矢印部分が腫瘍

カラードプラ像

ご提供：キッコーマン総合病院 田中利和 先生

図9：手の親指の爪の間に発症したglomus腫瘍

参考文献

- 1) Matsumura T, et al. : Development of Real-time Tissue Elastography. MEDIX 41, 30-35, 2004.
- 2) Ito A, et al. : Clinical application of US elastography for diagnosis. Radiology, 239(2) : 341-350, 2006.
- 3) Fukunari N : More Accurate and Sensitive Diagnosis of Thyroid Tumores with Elastography? Detection and Differential Diagnosis of Thyroid Cancers-. Medix Suppl. : 16-19, 2007.
- 4) Miyagawa T, et al. : Real-time Elastography for the Diagnosis of Prostate Cancer : Evaluation of Elastographic of Prostate Cancer : Acaluation of Elastographic Moving Images. Jpn J Clin Oncol, 39(6) : 394-398, 2009.
- 5) Tsutsumi M, et al. : Real-Time Balloon Inflation of Elastography for Prostate Cancer Detestion and Initial Evaluation of Clinicopatho ; pginalysis.AJR, 194 : W471-W476, 2010.
- 6) 藤本研治,ほか : Real-time Tissue Elastographyを用いた肝線維化の非侵襲的評価法～ Liver fibrosis index (LF Index)による stage判定. 肝臓, 51(9) : 539-541, 2010.
- 7) Tonomura A, et al. : Development of Strain Histogram Measurement Function and Clinical Applications in Hepatic Region. MEDIX 54, 37-41, 2011.
- 8) Waki K, et al. : Investigation of Strain Ratio Using Ultrasound Elastography Technique. Proc.ISICE : 449-452, 2007.
- 9) Ueno E, et al. : New quantitative method in brest elastography : Fat Lesion Ratio(FLR). Abstracts of RSNA 2007 ; LL-B2123-H04, 2007.
- 10) 植野映,ほか : 実践乳房超音波診断－基本操作,読影,最新テクニック,2 : 202-203 : 株式会社 山中書店, 2008.
- 11) Krouskop TA, et al. : Elastic Moduli of Breast and Prostate Tissue Under Compression. Ultrasonic Imaging, 20 : 260-274, 1998.