

修士学位論文要約（令和4年3月）

超音波計測による頸動脈粥腫性状の評価法に関する研究

土師 佑太

指導教員：金井 浩， 研究指導教員：荒川 元孝

A Study on Evaluation Method of Carotid Plaque Characteristics by Ultrasound Measurement

Yuta HAJI

Supervisor: Hiroshi KANAI, Research Advisor: Mototaka ARAKAWA

To diagnose plaque characteristics, we have already developed an ultrasonic method to estimate the local elastic modulus from the ratio of the strain of the arterial wall due to dilation in systole to the pulse pressure by measuring the minute thinning in thickness. For plaques, however, some regions became thicker with vessel dilatation. In the present study, we evaluated lateral and/or elevational displacements of the vessel and the local change of RF signal waveforms with vessel dilatation and investigated their effects on the local strain measurement. As a result, it was found that the lateral and elevational displacements of the vessel wall were not the main factor affecting the local strain measurement and that the local strain could not be correctly measured in the region where the RF signal waveform locally changed. Furthermore, even in the regions where the RF signal waveform did not change, some regions with positive strain were observed. Such regions are not suitable for estimating the elastic modulus. We focused on such regions and observed the brightness change in the same region with the vessel dilatation. As a result, we found that all the regions with positive strain were classified into one of three patterns.

1. はじめに

我々は、脈圧による血管拡張に伴い血管壁がわずかに薄くなり負となる歪みの計測による、血管壁の局所弾性率計測法¹⁾を提案し、アテローム性動脈硬化症の診断への適用を目指している。粥腫においては、血管拡張に伴う微小領域の歪みが、上記の想定と異なり正の値となる(血管壁が厚くなる)場合がある。粥腫の性状診断を目指して弾性率計測を行うためには、この原因の解明が必要である。

本研究では、血管拡張に伴う歪みの計測結果が正の値となる領域の特徴を明らかにするために、歪みの算出に用いる心電図 R 波時と最大拡張時に着目して、2つの時相間での RF 信号の変化、歪みを解析する。粥腫に対するこれらの結果を健常総頸動脈に対する結果と比較し、さらに粥腫内部の小領域ごとに輝度の変化も含めて解析結果を観察することで、歪みの計測結果が弾性率の算出に適切であるか検討する。

2. 粥腫の弾性率計測に影響を及ぼす要因の検討

粥腫内部の局所領域ごとに、R 波時と最大拡張時における RF 信号間で正規化相互相関により波形の変化を評価した。さらに、位相差トラッキング法²⁾により求めた厚み変化より歪みを算出し、粥腫に対する結果を健常総頸動脈に対する結果と比較した。

本研究では、50代脂質異常症男性1名の右頸動脈洞に形成された粥腫と20代健常男性1名の右総

頸動脈を、7.5 MHz のリニアプローブを用いて計測した。サンプリング周波数は 40 MHz、フレームレートは 286 Hz とした。

健常総頸動脈においては、RF 信号波形の変化はほとんどなく、最大拡張時に血管壁が薄くなり、歪みが負の値となる結果が確認できた。

粥腫に対する計測結果を図1に示す。図1(a)に超音波断層像を示す。この断層像内に赤線で囲った解析範囲内の相関値分布を図1(b)、歪み分布を図1(c)に示す。相関値が大きく低下する領域や歪みが正の値となる領域が存在するという、粥腫に特有の結果が確認できた。図1(d)~(g)に、図1(b)、(c)に示した同一超音波ビーム上の2領域 A、B における詳細な解析結果を示す。図1(c)より、両領域ともに相関値は高い値を保っている。図1(f)より、領域 A では最大拡張時に、組織が厚く歪みが正の値となり、弾性率計測に適さない結果が得られた。一方、領域 B では組織が薄く歪みが負の値となり、弾性率計測に適した結果が得られた。図1(g)に、ブロックマッチング法³⁾で計測した血管壁のラテラル方向変位を示す。この変位の影響により歪みが正しく計測できない可能性が考えられる。しかし、両領域では相関値は高く保たれており、RF 信号波形はほとんど変化していない。このため、このラテラル方向変位は歪み計測に影響を与える決定的な要因ではなく、不均一な粥腫に特有な可動性などの別の要因の影響が考えられる。

また、領域 A では、1 心拍内での RF 信号の波形の変化が小さいにもかかわらず、歪みの計測結果が正の値となり、弾性率計測には適さない。このような領域について、詳細に観察する必要がある。

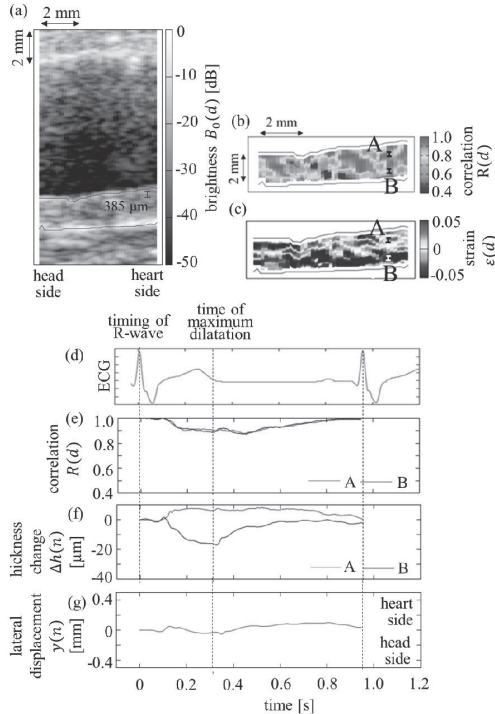


図 1 粥腫における解析結果 (a) 粥腫の超音波断層像に示した解析領域, (b) 解析領域内の相関値分布, (c) 解析領域内の歪み分布, (d) 心電図, (e) 領域 A, B における 1 心拍内での相関値の推移, (f) 領域 A, B における厚み変化, (g) ラテラル方向変位の計測結果。

3. 粥腫内部の局所小領域に着目した輝度変化の観察

粥腫内部において RF 信号波形が変化せず、かつ歪みが正の値であるすべての小領域において、R 波時と最大拡張時の間の輝度変化を観察した。別日に計測された 3 計測の 14 の小領域における分布を観察した結果、すべての領域は 3 つの特徴的なパターンに分類された。その代表例を図 2 に示す。図 2(a) に粥腫の超音波断層像を示し、図 2(b) に超音波断層像中に示した局所的な小領域 a~c における歪みと輝度変化の分布を示す。図 2(b) では RF 信号波形の変化が大きな領域(相関値が 0.7 未満)を灰色で塗りつぶした。小領域 a では、歪みが正の値となる領域の内部の輝度が減少し、周辺の輝度が増加した (パターン I)。小領域 b では、歪みが正の値となる領域の内部の輝度が増加した

(パターン II)。小領域 c では、歪みが正の値となる領域が RF 信号波形の変化の大きな灰色の領域に囲まれており、かつ内部の輝度が減少した (パターン III)。このように 1 点の歪みや波形の変化だけでなく、小領域ごとに輝度変化を観察することにより、RF 信号波形の変化が小さいにもかかわらず、歪みが正の値となる領域で輝度変化に特徴的なパターンがあることを見出した。このような輝度変化のパターンがみられる領域は弾性率の算出に不適である。

このことは、小領域ごとの輝度変化を観察することにより、歪みが正となる領域だけでなく、歪みが負でも著しく小さな値を示す領域など、弾性率計測において不適切な領域の特定につながると考えられる。

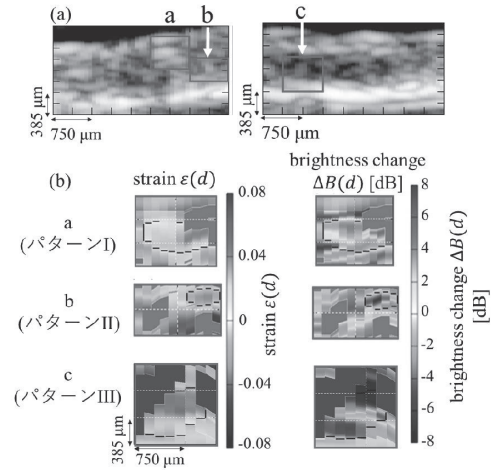


図 2 (a) 粥腫の超音波断層像上に示した小領域 a-c, (b) 小領域 a~c における歪みと輝度変化の空間分布。

4. まとめ

本研究では、粥腫に対する弾性率計測において、小領域ごとに歪みや輝度変化の分布を観察することにより、RF 信号波形の変化が小さくても、粥腫内部で特徴的な輝度変化パターンを示す領域は弾性率計測に適さないことを見出した。本手法は、粥腫の性状評価を目的として弾性率計測を行う際、粥腫内の領域が解析に適切であるかどうか判断する方法として有用となると考えられる。

文献

- 1) H. Kanai *et al.*, *Circulation*, **107**, 3018-3021 (2003).
- 2) H. Kanai *et al.*, *IEEE Trans. UFFC*, **43**, 791-810 (1996).
- 3) S. Golemati *et al.*, *Ultrasound Med. Biol.*, **29**, 387-399 (2003).