

超音波 RF 信号のコヒーレンスに基づく心臓壁領域同定

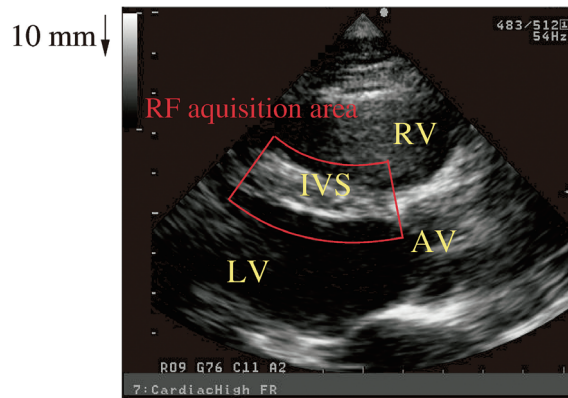
高橋 広樹¹ 長谷川英之^{1,2} 金井 浩^{1,2}

Fig. 1 Ultrasonic B-mode image in longitudinal axis view of the heart of a 22-year-old male (RV: right ventricle, LV: left ventricle, IVS: inter-ventricular septum, AV: aortic valve)

1. はじめに

心疾患の早期発見には心臓の形態学的評価や心機能の解析が重要視されており、超音波診断は非侵襲かつ繰り返し適用可能な診断法として心臓検査に用いられている。超音波診断における心機能の評価法として、心筋ストレインやストレインレートの解析¹⁾などが有用な技術として示されている。しかし、心機能をリアルタイムで解析するためには、取得される RF データから関心領域となる心臓壁領域の同定を行うことが必要不可欠であり、現在のところマニュアルでの設定が主として行われている。本論文では、心臓壁からの RF エコーのコヒーレンスに基づく心臓壁領域の同定法を示し、実際に健常者の心エコー図の断層像における心臓壁領域の同定を行った。

2. RF データの取得

Fig. 1 に示すように、超音波診断装置（ALOKA 社製：SSD-6500）の 3.75 MHz セクタ型電子プローブを用いて左室長軸断層像を描出し、心室中隔壁付近の関心領域においてサンプリング周波数 15 MHz で RF データを取得した。データ取得の際には、高時間分解能かつ、より広い範囲でのビーム走査方向のデータを得るために、超音波ビームを 5.6° ごとに 9 方向へスパーススキャンを行うことで、546 Hz と高フレームレートの RF データを取得した。取得した RF データは計算機に転送した後に解析を行った。

3. コヒーレンスに基づく心臓壁領域同定法

高フレームレート計測においては、散乱体である

Identification of heart wall based on coherence among ultrasonic RF echoes

Keywords: ultrasonic RF echo, identification of heart wall, coherence function, phased tracking method, *in vivo* experiment

¹東北大学大学院医工学研究科医工学専攻, ²同大学院工学研究科電子工学専攻

Hiroki TAKAHASHI¹, Hideyuki HASEGAWA^{1,2}, Hiroshi KANAI^{1,2}

¹Department of Biomedical Engineering, Graduate School of Biomedical Engineering, ²Department of Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University, 6-6-05 Aramaki-aza-Aoba, Aoba, Sendai, Miyagi 980-8579, Japan

Received on May 14, 2009; Revision accepted on July 9, 2009

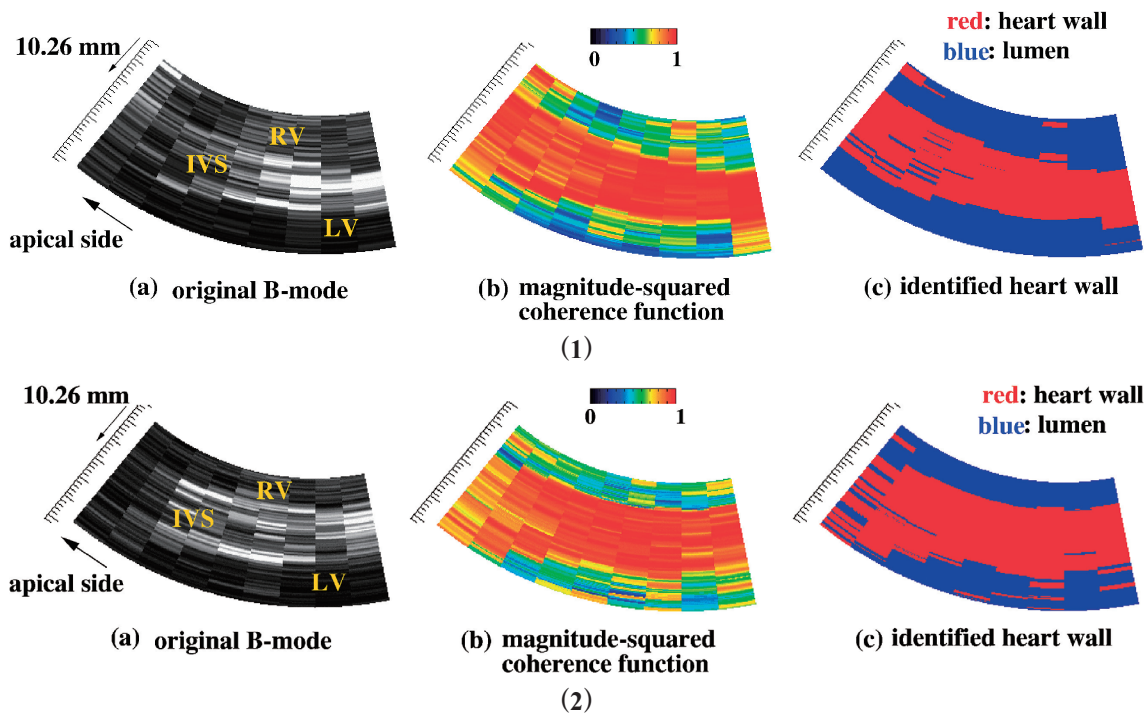


Fig. 2 (1) Results in ejection phase of Fig. 1. (1-a) B-mode image obtained by scanning ultrasonic beams sparsely in the region surrounded by the red line in Fig. 1. (1-b) Coherence image of Fig. 2(1-a). (1-c) Region identified using the optimal threshold
 (2) Results in rapid filling phase of Fig. 1. (2-a) B-mode image obtained by scanning ultrasonic beams sparsely in the region surrounded by the red line in Fig. 1. (2-b) Coherence image of Fig. 2(2-a). (2-c) Region identified using the optimal threshold

心筋組織のフレーム間変位は小さいとみなすことが出来るため、心臓壁領域中の同一部位からの反射RFエコーのフレーム間位相変化も小さくなる。一方で、心内腔中の主な散乱体である血球の位置関係は血流により大きく変化する。そこで、位相差トラッキング法²⁾を用いて同一部位を追跡し、振幅二乗コヒーレンス関数を用いて短時間区間における関心領域からのRFエコーの位相変化量のばらつきを周波数 f ごとに定量的に評価することで、心臓壁領域同定を行うための特徴量として用いる³⁾。振幅二乗コヒーレンス関数 $|\gamma_x(f)|^2$ は、第 n フレームと N フレームだけ経過した第 $n+N$ フレームにおいて得られた深さ x の関心領域からのRFエコー $y_n(x)$, $y_{n+N}(x)$ のクロススペクトル $Y_{n,x}^*(f)Y_{n+N,x}(f)$ をパワーで正規化した次式で与えられる。

$$|\gamma_x(f)|^2 = \frac{|E_n[Y_{n,x}^*(f)Y_{n+N,x}(f)]|^2}{E_n[|Y_{n,x}(f)|^2]E_n[|Y_{n+N,x}(f)|^2]} \quad (1)$$

ここで、 $E_n[\cdot]$ および $*$ は時間平均 (100 フレーム) と複素共役で、時間間隔 $N=1$ と設定している。

解析を行うデータのフレームレートが546 Hzであることから、これは $1/546 = 1.83$ ms間の位相変化を評価している。得られたコヒーレンスに関して、ベイズ決定規則に基づいて閾値を決定することで心臓壁領域を同定する³⁾。また、経時的変化の小さい肋骨などからの反射RFエコーは高いコヒーレンスを示し心臓壁と誤識別されてしまう。そこで、弁別能向上のためにあらかじめ心臓壁が1波長動く程度の時間区間におけるRFエコーの平均成分を元のRF信号から減算することでアーチファクト成分を低減する³⁾。

4. *in vivo* 計測データにおける心臓壁領域同定結果

Fig. 2(1)a, (2)aにそれぞれ22歳、男性、健常者の駆出期と急速流入期におけるBモード像を示す。それぞれのデータにおいて(1)式に従いコヒーレンス $|\gamma_x(f)|^2$ を算出して、Bモード像上にカラーコーディングした結果を**Fig. 2(1)b, (2)b**に示す。**Fig. 2(1)c, (2)c**に、コヒーレンス値に対してベイズ決定規則³⁾をもとに最適閾値を設定することで得られた心臓壁領域同定結果を示す。**Fig. 2(1)**に示

される駆出期の解析における関心周波数は1.9 MHz, Fig. 2(2)に示される急速流入期の解析における関心周波数は3.0 MHzである。関心周波数には、あらかじめ手動で設定した真の領域と比較して最も良好な領域同定結果が得られた周波数を用いている。Fig. 2(1)a, (2)aに示されるように従来のBモード像では心室中隔壁の心尖側に輝度の脱落が認められるが、本手法を用いることで心臓壁として同定出来ていることがFig. 2(1)c, (2)cから分かる。輝度を特徴量とする領域同定法と比較した結果、本手法はより良好な識別を行ったことも確認されている³⁾。一方で、駆出期と急速流入期において異なる関心周波数を選択していることから、領域を同定する際に、異なる深さおよび心時相において関心周波数を変更する必要がある。その際、送信周波数と比較して多重反射や肋骨などによるアーチファクトの成分が少ないとされる高調波の周波数帯⁴⁾から関心周波数を自動的に選択することで、より良好な領域同定結果を得ることが出来ると考えられるため、今後は関心周波数を自動的に選択するための手法を検討する。

5. 結 語

振幅二乗コヒーレンス関数を特徴量として心臓壁領域を同定する手法の有用性を、実際の *in vivo* 計測データに適用することで示した。今後、コヒーレンス関数から心臓壁領域と心内腔領域を弁別するための閾値を自動的に設定する手法を開発することで、心臓壁領域のリアルタイム同定の実現が期待出来る。また、本手法により客観的な情報から関心領域となる心臓壁の同定が可能となれば、心機能のリアルタイム解析への応用が期待出来る。

文 献

- 1) Yoshiara H, Hasegawa H, Kanai H, et al. Ultrasonic Imaging of Propagation of Contraction and Relaxation in the Heart Walls at High Temporal Resolution. *Jpn J Appl Phys* 2007;46:4889-96.
- 2) Kanai H, Sato M, Koiwa Y, et al. Transcutaneous Measurement and Spectrum Analysis Heart Wall Vibrations. *IEEE Trans Ultrason Ferroelect Freq Contr* 1996;43:791-810.
- 3) Kinugawa T, Hasegawa H, Kanai H. Automated Segmentation of Heart Wall Using Coherence Among Ultrasonic RF Echoes. *Jpn J Appl Phys* 2008;47:4155-64.
- 4) Kiura N. Harmonic Imaging. *Japanese Society of Radiological Technology* 2004;60:350-6.