

超音波プローブ回転走査による心筋収縮弛緩特性の高時間分解能 3 次元計測に関する研究

大河内 惇也

指導教員：金井 浩， 研究指導教員：長谷川英之

A Study on Measurement of Three-Dimensional Propagation of Contraction and Relaxation in the Heart Wall at High Temporal Resolution by Rotational Probe Scanning

Junya OHKOHCHI

Supervisor: Hiroshi KANAI, Research Advisor: Hideyuki HASEGAWA

Recently, due to the westernization of the eating habits and the rapid development of the aging society, the increase of the patients with circulatory diseases such as myocardial infarction or heart failure becomes a serious problem. Therefore, the established method that can assess three-dimensional motion of the heart at high temporal resolution is required to be developed for early detection of these diseases. In this study, the RF echoes from the interventricular septum (IVS) wall were acquired by scanning ultrasonic beams sparsely to improve the temporal resolution, and a frame rate of about 600 Hz was realized. The three-dimensional spatial distribution of the strain rate in IVS measured at every 2 ms showed that the contraction in the right ventricular side precedes that in the left ventricular side after the R-wave and the relaxation in the right ventricular side precedes that in the left ventricular side in the ejection phase. These results indicate a potential of this method in the estimation of the three-dimensional physiological function of the myocardium.

1. はじめに

近年、食生活の欧米化や高齢化社会の急速な進展に伴い、心筋梗塞や心不全などの循環器系疾患患者の増加が問題となってきている。心疾患の早期発見のために、心臓の動きを 3 次元に高時間分解能計測できる診断法の確立が望まれている。本研究では、回転走査を用いたメカニカルスキャンにより 3 次元データの取得を行い、角度を変えて取得した多数の心臓の B モード断面像を重ね合わせることで断面を跨いだ心筋の収縮・弛緩運動を計測、評価する。

2. 心臓壁厚み変化速度分布の 3 次元計測

3 次元像の再構成は、図 1 に示すように、プローブ

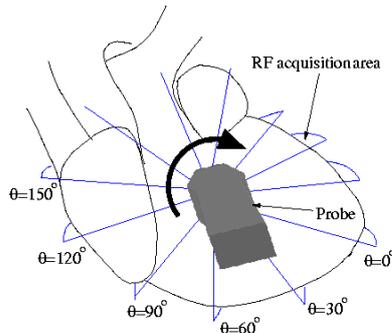


図 1 プローブ走査方法説明図。

を軸に 1 拍毎に回転走査角度を変えて心臓の B モード断面像を多数取得し、それらを計算機内で 3 次元空間の対応位置に再構築することで実現できる。それぞれの断面を重ね合わせる際に、各断面における計測データの 1 心周期における時刻が各々異なってしまうと再構成を行う際に同期を取ることができないが、回転走査においては、走査中心の位置におけるビームが回転の軸と一致するため、常に同じ場所を計測して

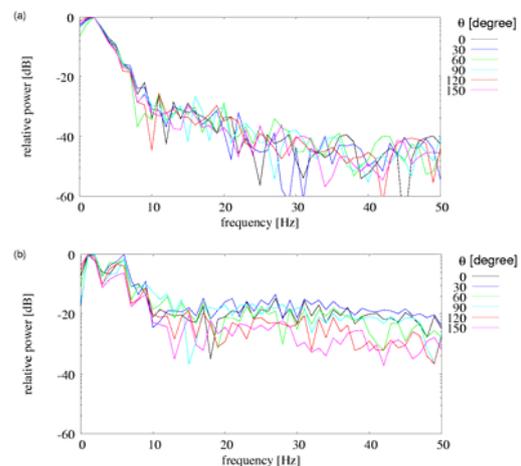


図 2 周波数スペクトル。(a)心電図。(b)中隔壁速度。

いることから、各断面における中心位置のビームにおいて計測された心臓壁運動速度波形の相関を用いることで同期を取ることができる。3次元像の再構築においては、心電図を用いた同期方法が一般的であるが、心電図は波形に高周波成分が少ないため、R波を基点に取らなければ同期を取ることが難しい。しかし、心室中隔壁の速度波形においては、心電図に比べ高周波成分が多いことから、心室中隔壁の速度波形を用いることで心周期における他の時刻からでも高精度の同期が可能となる。

データ取得の際は超音波診断装置(SSD-6500: ALOKA 製)の3.75 MHz セクタ型プローブを用いて、左室長軸像を回転走査角 $\theta=0^\circ$ を基準として、心室中隔壁のRF信号を取得した。また、心臓壁の広範囲を高時間分解能で計測するためにセクタ走査範囲は約 45° に制限し、この範囲を超音波ビームの走査線密度を通常のBモード像よりも下げて9本の超音波ビームで 5.6° ごとにセクタ走査(スパーススキャン)することで、約600 Hzの高いフレームレートでデータを取得した¹⁾。空間的に疎に走査した各超音波ビームに沿って設定した心臓壁内の複数点に位相差トラッキング法²⁾を適用することで、時間分解能とビーム方向の空間分解能を向上させた心筋速度計測を行い、それをもとに心筋厚み変化を算出し収縮・弛緩の遷移過程の解明を試みた。厚み変化速度はカラーコーディングを用いて3次元像上に表示し、心筋局所の収縮・弛緩の時間変化や空間分布を観察できるようにした。RF信号のサンプリング周波数は15 MHzであり、取得したRF信号は別の計算機に転送して解析を行った。

3. 心室中隔壁における厚み変化分布の *in vivo* 計測

図3、図4に心音図I音から心電図T波にかけて

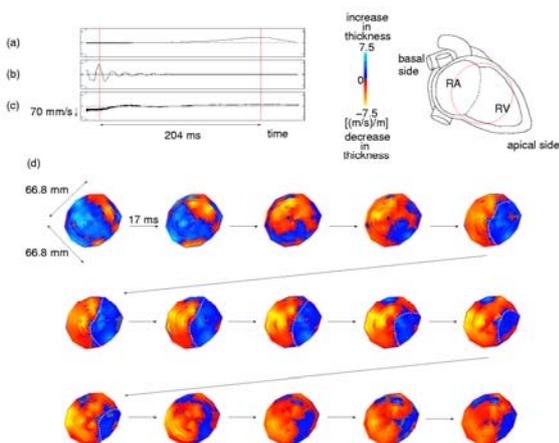


図3 中隔壁右心室内腔面の心音図I音から心電図T波にかけての厚み変化速度の空間分布。(a)心電図。(b)心音図。(c)中隔壁速度。(d)厚み変化速度分布。

の中隔壁右心室内腔面と左心室内腔面の厚み変化の空間分布をそれぞれ示す。カラーコードの青と赤は各々心筋の収縮、弛緩に対応する。図3、図4より、心室中隔壁の右心室側において心基部側から心尖部側へ収縮から弛緩へ移行する過程が見られたが、心室中隔壁の左心室側においては依然として収縮を続けており、収縮から弛緩への移行は見られなかった。また、弛緩の伝搬は心基部側から心尖部側へ中隔壁を一様に伝搬せず、心臓壁に沿って伝搬する過程が見られた。

4. まとめ

心臓壁内厚み変化速度分布を高時間分解能(約1/600 s)で計測することにより、収縮・弛緩の遷移過程を観察した。心室中隔壁において心電図R波から心音図第II音までの収縮期の約2 msごとの厚み変化速度の空間分布を計測した結果、R波後に右心室側が左心室側に先行して収縮し、駆出期においては右心室側が左心室側に先行して弛緩している様子が見られ、心室中隔壁の右心室側と左心室側では収縮・弛緩の遷移の様子が異なっていた。これらは心筋線維束の方向が心室中隔壁の右心室側と左心室側では異なることによるものであると考えられる³⁾。本研究におけるこれらの検討から、3次元高時間分解能計測による心機能推定の可能性を示した。

文献

- 1) H. Yoshiara, H. Hasegawa, H. Kanai and M. Tanaka, Jpn. J. Appl. Phys., **46** (2007) 4889.
- 2) H. Kanai, H. Hasegawa, N. Chubachi, Y. Koiwa and M. Tanaka, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., **44** (1997) 752.
- 3) S. H. Gilbert, A. P. Benson, P. Li and A. V. Holden, Eur. J. Cardio-Thoracic. Surg., **32** (2007) 231.

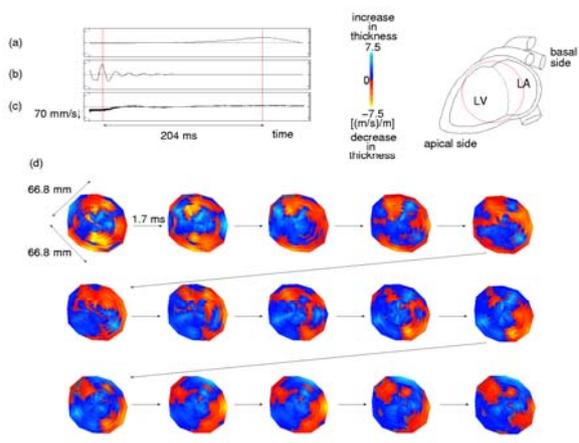


図4 中隔壁左心室内腔面の心音図I音から心電図T波にかけての厚み変化速度の空間分布。(a)心電図。(b)心音図。(c)中隔壁速度。(d)厚み変化速度分布。