

心筋収縮弛緩特性の心臓生理学的解明を目指した厚み変化速度の 3次元可視化に関する研究

渡辺博文

指導教員：金井 浩， 研究指導教員：長谷川英之

Study on Visualizing Myocardial Contraction and Relaxation by Measuring 3D Distribution of Strain Rate in Heart Wall

Hirofumi WATANABE

Supervisor: Hiroshi KANAI, Research Advisor: Hideyuki HASEGAWA

There have been many studies on the measurement of myocardial strain or strain rate and the three dimensional (3D) ultrasonic imaging. However, the time resolutions of these methods are not sufficient for through analyses of heart motion and deformation. Therefore, some of mechanisms of transition in myocardial contraction/relaxation remain unclear. In this study, the time change of the 3D distribution of the axial strain rate in the heart wall was measured at a high temporal resolution to visualize the transition in myocardial contraction/relaxation. Ultrasonic RF echoes from the left ventricular (LV) wall were acquired in several 2D longitudinal-axis views to reconstruct 3D ultrasound data. Furthermore, we measured the axial strain rate in the LV wall, which is caused by contraction of the heart, at a frame rate of about 600 Hz. An *in vivo* experiment was conducted to show 3D distribution of the strain rate at every 1.7 ms around second heart sound and R-wave of electrocardiogram. The proposed method successfully showed the continuous transition of contraction/relaxation in the heart wall. These results indicate the potential of this method in the estimation of the accurate physiological function of the myocardium.

1. はじめに

近年、超音波による心筋の厚み変化速度計測に関する研究や心臓の三次元可視化についての研究が報告されている。しかし、従来の手法は時間分解能が数十 Hz 程度と低いため、広範囲に心臓の急速な動きを計測することは困難であり、心筋内の収縮・弛緩の遷移の機序は未だ明らかになっていない。本研究では、心筋の収縮の伝播過程を三次元的に可視化するため、超音波ビームの走査線密度を低くすることで時間分解能を向上させ、超音波ビーム方向の厚み変化速度の三次元分布の経時変化を心電同期によって広範囲で計測した。本論文では、心臓の収縮に大きく寄与している左心室におけるビーム方向の厚み変化速度の遷移を連続的に観察するために 1.7 ms ごとに超音波 RF データを取得し解析を行い、生理学的考察を行った。

2. 心電同期による 3次元データ取得原理

図1で示すように、本研究において心電図の R 波を基準として一定の遅延時間後に各断面で一定のフレーム数だけデータを取得する。その後、次の R 波までの期間に次の断面へとプローブを機械的に走査する。これを複数回繰り返すことで、同心時相の 3次元データを取得する。また、それぞれの断面で厚

み変化速度分布を算出する¹⁾。

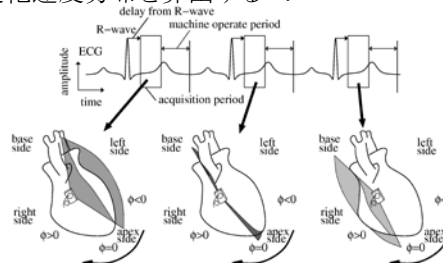


図1. 三次元データ取得のための心電同期原理説明図。

3. 第 II 心音周辺の厚み変化速度 3次元分布

図2に示したのは、第 II 心音周辺の 3.4 ms ほどの心室中隔壁の厚み変化速度 3次元分布である。模式図は RF データ取得範囲を示し、その隣には 3次元 B モード像を示している。図中の白線は厚み変化の極性境界に線を引いたものである。第 II 心音は大動脈弁閉鎖時に発生する音である。大動脈弁閉鎖は左心室内圧が大動脈内圧より低下することで生じる。左心室内圧はそれまで収縮していた心筋が弛緩し始めることで下降する。図1では、収縮期末期である T 波直後は収縮する領域が大部分を占めていたのが、第 II 音前になるにつれて心基部から心尖部へと弛緩する領域が拡大することが分かる。これは従来の報告と一致する¹⁾。

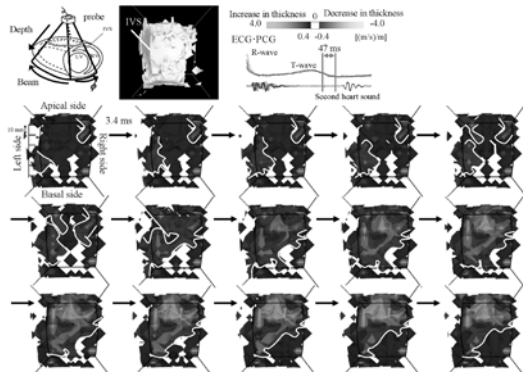


図 2. 右室側から観察した第 II 心音周辺の 3.4 ms ごとの心室中隔壁の厚み変化速度 3 次元分布.

図 3 に示したのは、第 II 心音周辺の 3.4 ms ごとの心室後壁の厚み変化速度 3 次元分布である。後壁でも同様に T 波直後から弛緩する領域が拡大することが分かる。

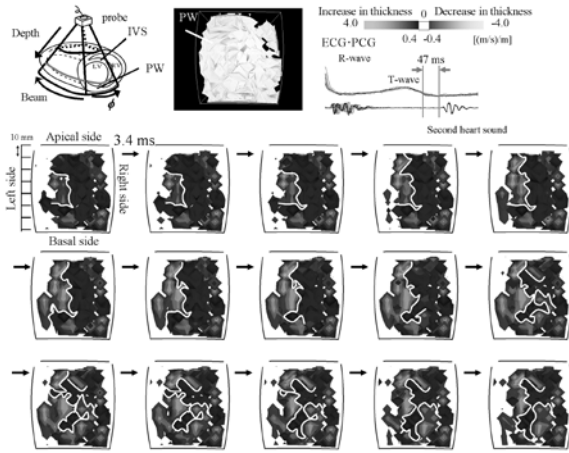


図 3. 右室側から観察した第 II 心音周辺の 3.4 ms ごとの心室後壁の厚み変化速度 3 次元分布.

3. R 波直後の厚み変化速度 3 次元分布

R 波は収縮へと遷移していく過程である。R 波直後の第 I 心音は僧帽弁閉鎖時に起こる。その時、等容性収縮期となり容積は変化しないが収縮する時相となる。その時収縮しながらも緊張が弱い部位では拡張されることで弛緩時と同様の挙動を示す。図 4 は、R 波直後の第 I 心音周辺の 1.7 ms ごとの心室中隔壁の厚み変化速度 3 次元分布である。第 I 心音直後に弛緩が開始する様子が確認された。弛緩は頭から見て右側から左側に伝播し、その後心基部から心尖部へと収縮が伝播することが確認された。図 5 は、R 波直後の第 I 心音周辺の 3.4 ms ごとの心室後壁の厚み変化速度 3 次元分布である。図 4 で示した心室中隔壁とは逆に心尖部から心基部へと収縮が伝播することが分かる。さらに、右側から左側に向けて伝播をしながら心基部方向に伝播している。この時相は第 I 心音の終わりで駆出期へと変遷して血液を拍出する期間である。この結果は、血液を拍出しやすいように後壁は心尖部から収縮していく挙動を示すと

いう報告と一致している²⁾。

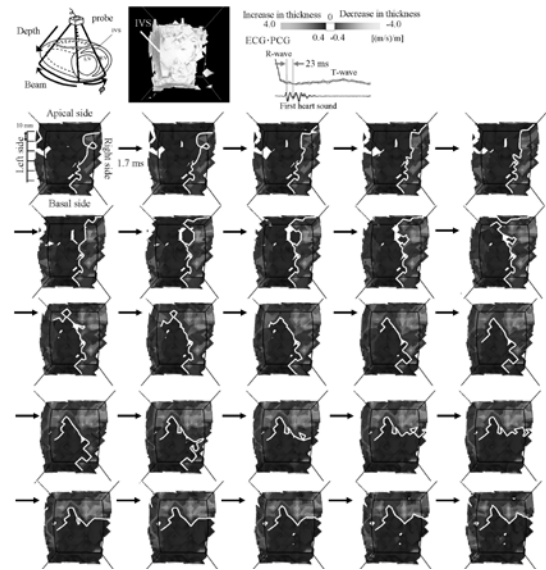


図 4. 右室側から観察した R 波後の 1.7 ms ごとの心室中隔壁の厚み変化速度 3 次元分布.

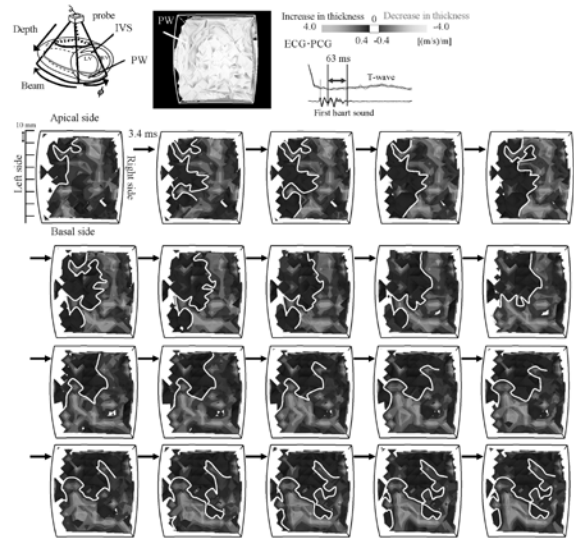


図 5. 右室側から観察した R 波後の 3.4 ms ごとの心室後壁の厚み変化速度 3 次元分布.

5. まとめ

本論文では、収縮から弛緩へと遷移する心 II 音周辺と、弛緩から収縮へと遷移していく心電図 R 波直後の時相において、心室中隔壁と心室後壁の厚み変化速度の 3 次元分布を解析した。その結果、心筋厚み変化速度の経時的変化から、心筋収縮弛緩特性の心臓生理学的解明の可能性を示した。

文献

- 1) H. Yoshiara, H. Hasegawa, H. Kanai, and M. Tanaka, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **46** (2007) 4889.
- 2) M. Tanaka, T. Sakamoto, S. Sugawara, H. Nakajima, Y. Katahira, S. Ohtsuki, and H. Kanai, *J. Cardiol.*, **52** (2008) 86.