

修士学位論文要約（令和4年3月）

超音波による心臓の収縮弛緩特性の描出に関する研究

荻野 智司

指導教員：金井 浩

A Study on Depiction of Contraction-Extension Properties in Heart Wall by Ultrasound

Satoshi OGINO

Supervisor: Hiroshi KANAI

Since the evaluation of the contractility of the left ventricle (LV) is useful for early diagnosis of heart diseases, then global strain focusing on the strain of the entire LV is measured in daily medical care. Previous studies suggested that there exist regions where the myocardium contracts during diastole and it extends during systole by measuring the myocardial deformity. We measured two-dimensional displacements of the interventricular septum (IVS) to obtain changes of the thickness and length at plural positions and attempted to depict the deformation and contraction-extension properties. From the displacement of the heart wall toward the apical and LV sides, decreases in length and increases in thickness in the myocardium were observed during the ejection period. The movements of the heart wall include not only the movement of the entire heart wall but also the changes in the length and thickness of the myocardium. The measurement of the two-dimensional myocardial displacements is important to evaluate the contractility of the myocardium.

1. はじめに

心機能評価において左心室 (LV) の収縮能評価は有用であり、日常診療においても LV 全体のストレインに着目した global strain 計測等が行われている。先行研究では、心室中隔壁 (IVS) の厚み変化計測により、収縮期においても心筋が弛緩する部位や、弛緩期においても心筋が収縮する部位の存在が示された¹⁾。しかし、心臓壁の貫壁方向の動きのみを計測しており、長軸方向の動きを考慮していないため、常に同じ心筋の計測ができていないという課題がある。そこで本研究では、IVS 内の心筋の 8 点での貫壁方向および長軸方向の動きを計測し、心筋の変形および収縮弛緩特性の可視化を試みた。

2. 心筋の長さ変化および厚み変化の算出

20 代健常男性 3 名の IVS を対象に、フレームレート 155 Hz 程度で計測し、取得した超音波 RF 信号から生成した包絡線信号にブロックマッチング法²⁾を適用した。計測には、ALOKA 社製の超音波診断装置 SSD-6500 を用い、セクタ型超音波プローブ (中心周波数: 3.75 MHz) を接続した。長軸方向および貫壁方向の心筋の最大速度をそれぞれ 300 mm/s、100 mm/s と仮定し、フレーム間の心筋の最大変位を含むように、相関窓幅(ラテラル方向×ビーム方向)を約 6.58 mm×7.19 mm、探索窓幅を約 10.34 mm×8.72 mm と設定した。図 1 のように、IVS の右心室 (RV) 側と LV 側に関心点

を設定し、第 n フレームにおける心筋の長さ $L(n)$ および厚み $T(n)$ を算出した。第 n フレームにおける A、C 点の座標をそれぞれ $(x_A(n), y_A(n))$, $(x_C(n), y_C(n))$ とすると、 $L(n)$ は式(1)で表される。 $T(n)$ も同様に算出した。

$$L(n) = \sqrt{\{(x_A(n) - x_C(n))\}^2 + \{(y_A(n) - y_C(n))\}^2}. \quad (1)$$

3. 1 心拍での各関心点の軌跡

図 2 に 1 心拍での各関心点の動きの軌跡、心電図 (ECG)、心音図 (PCG) を示す。本研究では、連続する心拍の心電図 R 波での関心点を表した青と緑の□印の位置より、1 心拍間でおおよそ元

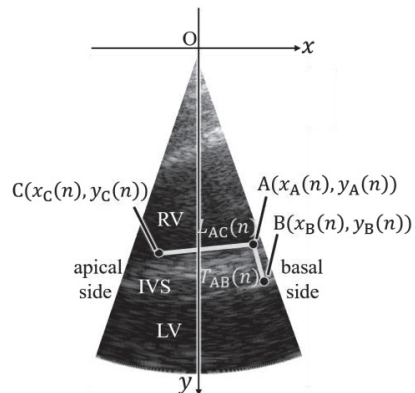


図 1. 心筋の長さ $L(n)$ および厚み $T(n)$ 算出の概略図。

の位置に戻っていることから、心臓の周期的な動きを計測できていることを確認した。RV 側におけるビーム方向変位が心基部 (basal) 側にかけて小さくなる傾向や、ラテラル方向変位が心基部側にかけて大きくなる傾向が、3名の被験者の2心拍間で共通してみられ、計測の妥当性を確認できた。

4. 収縮弛緩特性の描出

心電図 R 波の時刻での心筋の厚みおよび長さを基準とし、心筋の長さ減少および心筋の厚み増加を収縮、心筋の長さ増加および心筋の厚み減少を弛緩と定義し、各関心点を結ぶ線分の色として収縮を青、弛緩を赤で示した。被験者 B に対して、連続する心拍の R-R 間を 50 ms 間隔で示した図 3 より、(h) 収縮末期では、(a) R 波の時刻と比較して IVS 全体が収縮していることがわかる。

図 3 の B-mode 像を反時計回りに 90° 回転させ、(a)と(h)の時刻での IVS の位置を重ねて示した図、駆出期(a)-(h)での収縮弛緩特性を、図 4, 5 にそれぞれ示す。図 4(b), 5 より、(a)から(h)にかけて IVS 全体が LV 側および心尖部 (apical) 側へ変位し、厚みが増加していることがわかる。また、心基部側のラテラル方向変位は、心尖部側よりも約 4.5 mm 程度大きく、全体の長さは約 40% 減少し、心基部側の心筋の厚みは 26% 増加した。この結果は、心臓壁の長軸方向変位に着目した文献³⁾で示唆された、心基部側の心筋が心尖部に向かって変位することで収縮する心臓の動きと同様の動きであり、心基部側の心筋の変位が、心筋の長さ変化に大きく寄与していると考えられる。さらに、心基部側の心筋の長さ減少は、LV 側が RV 側よりも 3.5 mm 程度大きかった。

被験者 3 名の 2 心拍間で共通して、(a)から(h)にかけ、IVS 全体の LV 側および心尖部側への変位や、心筋の長さ減少および厚み増加がみられた。心疾患において、心筋肥大など心筋の変形を伴う症状により、局所心筋の収縮能が低下することなどが報告されており、本研究の手法により、心筋の変形および収縮弛緩特性を可視化することは、心機能評価に有用と考えられる。

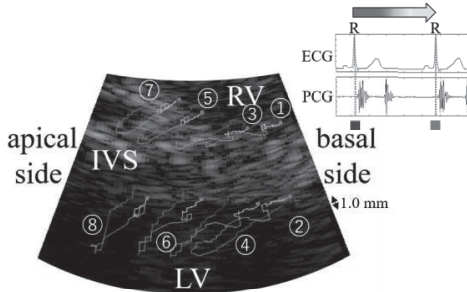


図 2.1 心拍での各関心点の動きの軌跡。

5. まとめ

健常男性の IVS 内の心筋の 8 点で計測した 2 次元変位から、心筋の長さ変化および厚み変化を算出し、1 心拍での心筋の変形および収縮弛緩特性を可視化した。心臓壁の動きに加え、心筋の長さ変化および厚み変化が含まれており、心筋の収縮能評価における 2 次元変位計測の重要性を示した。

文献

- 1) M. Tanaka, et al., J. Cardiol., Vol. 69, 462-470 (2017).
- 2) Y. Honjo, et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, 07HF14- 1-07HF14-9 (2010).
- 3) M. Biswas, et al., Echocardiography, Vol. 30, 88-105 (2013).

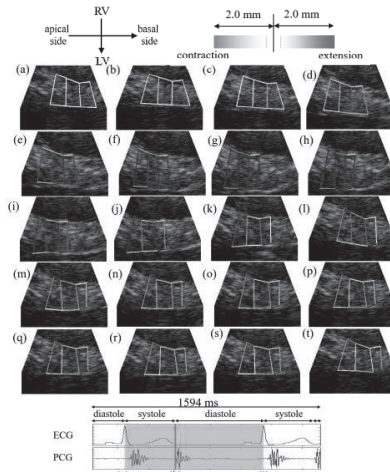


図 3. 連続する心拍の R-R 間の収縮弛緩特性. (50 ms 間隔)

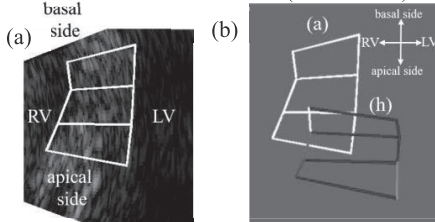


図 4. (a) B-mode 像を反時計回りに 90° 回転させた図. (b) R 波時と収縮末期での IVS 全体の変位.

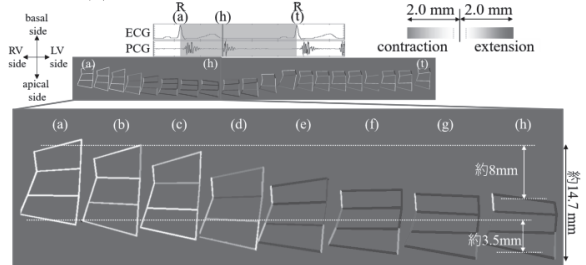


図 5. 駆出期における収縮弛緩特性。