

(平成14年3月修了)

## 心臓壁からの超音波後方散乱の心周期内変動の計測と解析に関する研究

勝又慎一, 金井 浩, 田中元直, 本田英行, 小岩喜郎

### Measurement and Analysis of Cradiac Cycle Dependant Variation in Integrated Backscatter from Heart Wall

Shin-ichi KATSUMATA, Hiroshi KANAI, Motonao TANAKA, Hideyuki HONDA and Yoshiro KOIWA

It is known that integrated backscatter (IB) from heart wall shows cyclic variation during a cardiac cycle. Extracellular matrix that surrounds myocytes is considered principal scatterer in myocardium. In this paper, IB signal from a sponge that simulates the network of extracellular matrix was measured in basic experiments with a water tank. IB signal showed rapid variation which frequency was from several tenth Hertz to several hundred Hertz. This rapid variation in IB signal had two components. One corresponded to the absolute value of the velocity of the object and the other corresponded to the speed of change in thickness of the object. Then, IB from heart wall was measured in *in vivo* measurement. IB signal from heart wall also showed rapid variation. The rapid variation in IB signal offers potential for a new diagnostic technique for detection of the contractile function of the heart muscle.

#### 1. はじめに

心臓壁からの超音波後方散乱 (Integrated Backscatter:IB) は, 心拍に同期した周期変動を示すことが知られている<sup>1)</sup>. しかし, IB信号の変動原因については不明な点が多く, また従来の研究では心臓壁局所のIB信号, およびIB信号の数十Hz以上の成分は計測されていなかった. 本論文では, 水槽基礎実験, ヒト心臓壁の *in vivo* 計測実験において対象物局所のIB信号を計測し, IB信号の心周期変動の原因を検討した.

#### 2. スポンジを用いた水槽基礎実験

心筋内の主な散乱体は心筋細胞を取り囲む網目状の構造をもった膠原線維からなる細胞間質であると考えられている<sup>2)</sup>. スポンジを用いて細胞間質の網目状構造を模擬し, スポンジ伸縮時のIB計測を行った.

心臓壁は拍動による併進運動, 厚み変化運動をするため, 心臓壁の同一部位からのIBを計測するためには時刻時刻で心臓壁の位置を追跡し関心領域を設定する必要がある. そのため, 反射信号の位相偏移から対象物の変位を高精度に推定する位相差トラッキング法<sup>3)</sup>を用いて, 関心領域の両端の2点 a, b の位置  $D_a(t)$ ,  $D_b(t)$  を追跡し, 各時刻でこの2点間  $\Delta D(t) = D_b(t) - D_a(t)$  を関心領域とする. 関心領域内の直交検波信号  $z(t, D)$  の振幅を時間積分し, 各時刻における関心領域からのIB値  $IB(t)$  を算出する. 本手法を用いることで併進運動, 厚み変化運動

する対象物の同一部位からのIB信号が計測可能である.

$$IB(t) = 10 \log_{10} \frac{1}{\Delta D(t)} \int_{D_a(t)}^{D_a(t)+\Delta D(t)} |z(t, D)|^2 dD$$

上記の方法により, スポンジ伸縮時のIB信号を計測した. 図1にスポンジのM-mode像を, 図2にスポンジ各層のIB信号を示す. スポンジの圧縮, 拡張過程において数十Hz帯域のIB信号の変動がみられ, またM-mode像においても時間方向に周期的な反射強度の変動が存在することがわかる. この様なIB信号の数十Hz以上の変動には, 対象物の速度の絶対値に対応した周波数で変動する成分と対象物内部での超音波パルスの干渉により生じる変動の2種類があることがわかった. 超音波パルスの干渉によるIB信号の変動は, 対象物の厚み変化速度の情報を持つと考えられる.

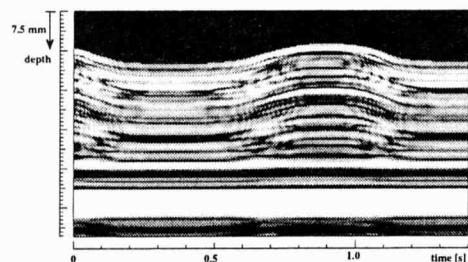


図1 スポンジのM-mode像

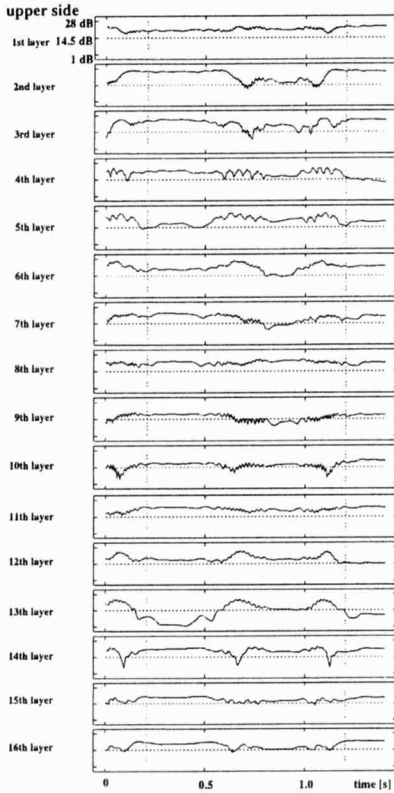


図2 スポンジ各層のIB波形

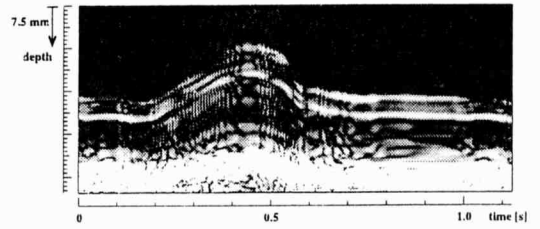


図3 左室自由壁のM-mode像

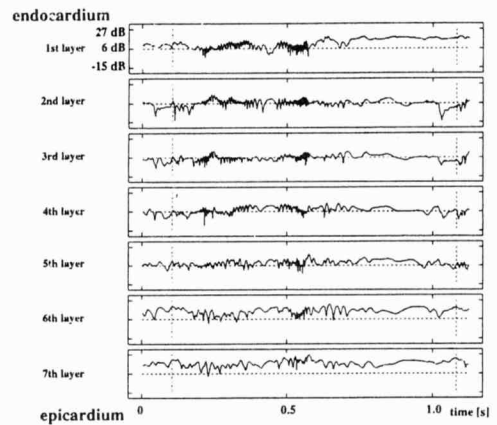


図4 左室自由壁 各層のIB信号

### 3. ヒト心臓壁 *in vivo* IB 計測

男性の健常者について、心臓壁からのIBの *in vivo* 計測を行った。図3に左室自由壁のM-mode像を、図4に左室自由壁各層のIB信号を示す。ヒト心臓壁においても、水槽基礎実験と同様にIB信号に数十Hz以上の周波数成分が存在した。特に駆出期、急速流入期においてIB信号は数十～数百Hzの高い周波数で変動しており、また左室内膜側から心外膜側に向かい周波数が低くなっていることがわかる。これは、心外膜側に比べ左室内膜側の振動速度が大きいためであり、IB信号の変動周波数の違いは壁内の部位による心筋の収縮機能、拡張特性の差を反映していると考えられる。

### 4. 結論

本論文では、スポンジおよびヒト心臓壁からのIB計測を行い、対象物の厚み変化によってIB信号が変動することを示した。IB信号の変動を計測することで心臓壁の厚み変化の情報を得られる可能性があるといえる。

### 文献

- 1) S. A. Wickline, L. J. Thomas III, J. G. Miller, B. E. Sobel and J. E. Perez: "A Relationship between Ultrasonic Integrated Backscatter and Myocardial Contractile Function," *J. Clin. Invest.*, vol. 76, pp.2151-2160, 1985.
- 2) C. H. Hall, M. J. Scott, G. M. Lanza, J. G. Miller and S. A. Wickline: "The extracellular matrix is an important source of ultrasound backscatter from myocardium," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 107, no. 1, pp.612-619, 2000.
- 3) H. Kanai, M. Sato, Y. Koiwa and N. Chubachi: "Transcutaneous Measurement and Spectrum Analysis of Heart Wall Vibration," *IEEE Trans. on UFFC.*, vol. 44, no. 2, pp.791-810, 1996.