

心内腔血流の速度ベクトルイメージングのための二次元相関関数の時間平均化

高橋 広樹 長谷川英之 金井 浩

抄 録

目的：心内腔血流の超音波イメージングはヒトの心臓のポンプ機能を評価するのに非常に有用なツールである。スペckルトラッキング法は血流速度ベクトルの推定を可能にする。しかし、微小な血球からのエコーの信号対雑音比が低いいため、血流速度ベクトルを安定的に推定することは難しい。本研究では、血流速度ベクトルの推定精度向上のために、2次元相関関数の時間平均化を行うスペckルトラッキング法を用いた。**方法**：拡散ビーム送波を用いた高フレームレート超音波断層法によって収集されるエコーデータを利用することで、複数の2次元相関関数を非常に短い時間幅で平均化することができる。擬似血液（平均流速0.2 m/s、トランスデューサ表面からの流れ角56°）を使った定常流実験を行い、6,024 Hzのフレームレートで2次元相関関数の平均化の効果を調べた。**結果**：まず初めに、血流速度ベクトルの安定的な推定に必要な平均化時間を検討するために、定常流測定にて、2次元相関関数のさまざまな平均化時間幅に対して速度ベクトル推定精度を評価した。8フレームを超える平均化時間幅を用いることで、ベクトル推定の方向推定誤差は従来のスペckルトラッキング法のほぼ半分に低減できることが分かった。次に、平均化時間幅を2 msに相当する12フレームに設定し、より速い速度の定常流に対する計測を行った。速度0.2 m/sのエコーデータのフレーム間隔を変えて、0.4 m/sおよび0.6 m/sの流速の定常流計測を模擬した。平均化時間幅はわずか2 msであったが、平均血流速度0.2 m/s、0.4 m/s、0.6 m/sにおける方向推定誤差は著しく減少した。健常者の心臓を対象とした*in vivo*実験では、高画質なBモード画像を生成するために、さまざまな偏向角の拡散波を送信する送信シーケンスを挿入した。実験の結果、左心室腔の血流速度ベクトルが駆出期および拡張初期における心内腔を流入および流出する血流を示した。さらに、推定された血流方向は拡張期における心内腔での渦流を可視化した。**結論**：提案する手法を用いることで、造影剤を使用せずに、速度ベクトルによる心内腔血流動態の可視化を実現する可能性が示された。

Temporal averaging of two-dimensional correlation functions for velocity vector imaging of cardiac blood flow

Hiroki TAKAHASHI, Hideyuki HASEGAWA, Hiroshi KANAI

Abstract

Purpose: Ultrasonic imaging of blood flow in the cardiac lumen is a very useful tool to evaluate the pumping function of the human heart. The speckle tracking technique makes it possible to estimate the blood velocity vector. However, a stable estimation of the velocity vector of blood flow is difficult because signal-to-noise ratios of echoes from tiny blood particles are low. In this study, the speckle tracking technique with averaging of multiple two-dimensional correlation functions was employed for stable estimation of the blood velocity vector. **Methods**: Multiple two-dimensional correlation functions can be averaged during a very short period by using the echo data acquired by high-frame-rate echocardiography with diverging beam transmission. A steady flow experiment using blood-mimicking fluid (mean fluid velocity 0.2 m/s, flow angle 56° from the transducer surface) was implemented to investigate the effect of the averaging of two-dimensional correlation functions at a frame rate of 6024 Hz. **Results**: First, to examine the averaging duration required for stable estimation of the flow velocity vector, the accuracies of vector estimates were evaluated at different durations for averaging of two-dimensional correlation functions in the steady flow measurement. It was found that the proposed averaging process with an averaging duration of over 8 frames could reduce the directional error in vector estimation to almost half that of the conventional speckle tracking technique. In subsequent experiments, the averaging duration was set at 12 frames corresponding to 2 ms. Measurements of steady flow at higher velocities were further implemented. The steady flow measurements with higher flow velocities of 0.4 and 0.6 m/s were simulated by changing the frame interval of the echo data at a flow velocity of 0.2 m/s. Although the averaging duration was a mere 2 ms, directional errors at mean flow velocities of 0.2, 0.4, and 0.6 m/s were reduced significantly. In an *in vivo* experiment of the healthy human heart, to produce a fine B-mode image, the diverging wave transmissions with different steered angles for compounding were interleaved in the transmission sequence. From the *in vivo* experimental result, the blood velocity vector of the left ventricular cavity showed the flow getting into/out of the cavity in ejection and early diastolic phases. Furthermore, estimated flow directions revealed rotating flow in the cavity in mid-diastole. **Conclusion**: Our proposed method has the feasibility to visualize the vortex flow by velocity vector mapping without a contrast agent.

Keywords

cardiac blood flow, blood velocity vector, speckle tracking, high-frame-rate acquisition

本論文は、公益社団法人日本超音波医学会 第30回菊池賞受賞論文を翻訳掲載したものです。

元論文は、英文誌 J Med Ultrasonics 2015;42:323-330 に掲載しています。

Received: 20 October 2014 / Accepted: 12 February 2015 / Published online: 17 March 2015

東北大学大学院医工学研究科医工学専攻

Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, 6-6-05 Aramaki-aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8579, Japan

J-STAGE. Advanced published. date: March 24, 2017