

頸静脈の超高速超音波血流イメージングにおけるコントラスト解析

大村 眞朗¹ 八木 邦公² 長岡 亮¹ 長谷川英之¹

抄 録

目的：せん断速度に依存したヘモレオロジー特性が血流のコントラストに関係することを実証するために、ブタ血液を用いた *in vitro* 実験およびヒト頸静脈の *in vivo* 測定における血流像を解析した。**方法**：生理食塩水または血漿に懸濁した血液検体（45%ヘマトクリット）の粘弾性の差を比較検討した。グラファイト-寒天ファントム内でせん断速度が異なる定常流を制御し、超音波中心周波数 7.5 MHz での超高速平面波イメージングを実施した。また、若年健康被験者および糖尿病患者を対象として *in vivo* 測定を実施した。ビームフォーミング後超音波 RF データの時空間マトリクスを特異値分解（singular value decomposition: SVD）クラッタフィルタに使用した。コントラストを評価するために、クラッタフィルタ処理後 B モード画像を拡張期の最初のフレームで標準化した振幅包絡を求めた。また、流路辺縁部のせん断速度を流速分布の速度勾配から推定した。**結果**：非凝集赤血球は高せん断速度では低エコー輝度を呈したが、血漿検体全体のエコー輝度は低せん断速度では赤血球凝集によって上昇した。また、血流像から得られたコントラストマップについて、標準偏差の 2 倍を超える成分と定義した高輝度エコーの検出頻度は、高せん断速度下のブタ血液で高く、糖尿病患者と比較して健康被験者の静脈血で高くなった。**結論**：SVD ベースのクラッタフィルタを用いた超高速平面波イメージングによって、ヘモレオロジー特性がせん断速度および糖尿病の有無に依存する可能性が示された。

Contrast analysis in ultrafast ultrasound blood flow imaging of jugular vein

Masaaki OMURA¹, Kunimasa YAGI², Ryo NAGAOKA¹, Hideyuki HASEGAWA¹

Abstract

Purpose: The contrasts of flowing blood in *in vitro* experiments using porcine blood and *in vivo* measurements of human jugular veins were analyzed to demonstrate that the hemorheological property was dependent on the shear rate. **Methods**: Blood samples (45% hematocrit) suspended in saline or plasma were compared with examine the difference in viscoelasticity. Ultrafast plane-wave imaging at an ultrasonic center frequency of 7.5 MHz was performed on different steady flows in a graphite-agar phantom. Also, *in vivo* measurement was performed in young, healthy subjects and patients with diabetes. A spatiotemporal matrix of beamformed radio-frequency data was used for the singular value decomposition (SVD) clutter filter. The clutter-filtered B-mode image was calculated as the amplitude envelope normalized at the first frame in the diastolic phase to evaluate contrast. The shear rate was estimated as the velocity gradient perpendicular to the lateral axis. **Results**: Although nonaggregated erythrocytes at a high shear rate exhibited a low echogenicity, the echogenicity in the plasma sample overall increased due to erythrocyte aggregation at a low shear rate. In addition, the frequency of detection of specular components, defined as components beyond twice the standard deviation of a contrast map obtained from a clutter-filtered B-mode image, increased in the porcine blood at a high shear rate and the venous blood in healthy subjects versus patients with diabetes. **Conclusion**: The possibility of characterizing hemorheological properties dependent on the shear rate and diabetes condition was indicated using ultrafast plane-wave imaging with an SVD-based clutter filter.

Keywords

ultrafast ultrasound imaging, clutter filter, contrast map, jugular vein, erythrocyte deformation

1. はじめに

血管機能および血液状態は、高血圧や脂質異常症

などの生活習慣関連疾患の徴候を評価するために不可欠である。血液粘弾性は血管機能障害の血行力学的要因であると指摘されている¹⁾。動脈と比較して

本論文は、公益社団法人日本超音波医学会 第 38 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 2023;50:131-141 に掲載しています。引用する場合は元論文を引用してください。https://doi.org/10.1007/s10396-023-01289-9

Received: 29 June 2022 / Accepted: 25 December 2022 / Published online: 9 February 2023

¹富山大学学術研究部工学系, ²金沢医科大学医学部¹Faculty of Engineering, University of Toyama, 3190 Gofuku, Toyama 930-8555, Japan, ²School of Medicine, Kanazawa Medical University, 1-1 Daigaku, Uchinada, Kahoku, Ishikawa 920-0293, Japan

Corresponding Author: Masaaki OMURA (momura@eng.u-toyama.ac.jp)

J-STAGE. Advanced published. date: January 21, 2025