

血液凝固過程で観察されるバイオスペckルパターンのフラクタル性

Fractality of Biospeckle Pattern Observed in Blood Coagulation Process

旭川高専¹, 室工大院², 北学園大³ °横井 直倫¹, 相津 佳永², 魚住 純³

Nat. Inst. Tech., Asahikawa Col.¹, Muroran Inst. Tech.², Hokkai-Gakuen Univ.³

°Naomichi Yokoi¹, Yoshihisa Aizu², Jun Uozumi³

E-mail: yokoi@asahikawa-nct.ac.jp

1. はじめに

従来から、レーザー照射下の生体など特殊な状況下で観測されるスペckルパターンはフラクタル性を示す場合があることが知られており、これに基づくブタ動脈組織の断層イメージング¹⁾などの研究が報告されている。一方、著者らはラットの血流から得られるスペckルパターンに関して、フラクタル次元と血流速度の相関性を調べてきた。²⁾ 今回、血液凝固過程で観察されるスペckルパターンに関するフラクタル性を、実験に基づき考察したので報告する。

2. 実験方法

バイオスペckルの測定に用いた光学系を Fig.1 に示す。波長 670nm の半導体レーザー (LD) からの光を偏光フィルタ (PF₁) を介してウマ保存血液に照射する。反射散乱光は、偏光フィルタ (PF₂) を介して結像面に置いた CCD カメラの検出面上に縮小結像し、スペckルパターンを撮像した。ここで、血液からの液表面反射光を除去するため、2 枚の偏光フィルタはクロスニコル配置とした。本研究では、スペckルパターンに対してボックスカウンティング (BC) 法³⁾を適用することにより、そのフラクタル性について検討し、フラクタル次元 FD を

$$FD = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log_e(N_r)}{\log_e(r)}, \quad (1)$$

により求めた。ここで、 r はスケーリング比、 N_r はボックス数を表す。なお、 r は 4~16 の範囲に設定した。

3. 実験結果

ここで、血液凝固過程におけるスペckルパターン画像に対して FD を解析した結果の一例を示す。測定時間は 5 時間とし、血液の曝露直後から 10 分おきに 1 秒間ずつ測定するプロセスとした。Figs.2(a)~(c) は各々、曝露の 100, 200 および 300 分後におけるスペckル画像を示したものである。Figs.2(a)~(c) より、時間の経過に伴い画像の輝度値は低下し、画像のコントラストは上昇する傾向にあることがわかる。前者は血液成分の堆積に伴う光吸収の増加、また後者は血液凝固に伴う凝集構造の形成に起因すると考えられる。BC 法によりこれらのスペckル画像はフラクタル性を有することが示唆されたため、Figs.2(a)~(c) の画像から (1) 式に基づいて FD 画像を求めた。Figs.2(d)~(f) はその結果であり、画像の FD 値が時間の経過に伴い上昇することがわかる。さらに Fig.3 は、Figs.2(d)~(f) に例示したような FD 画像の全画素平均 FD 値を求め、時間に対しプロットした結果である。Fig.3 より、曝露の最初 60 分程度までは FD 値に揺らぎが見られるものの、それ以降については FD 値が時間にほぼ比例して上昇することがわかる。前者の FD 値の揺らぎは、血液凝固の初期段階では時間に対してランダムに進む凝集作用により凝固が時間に対して一様に進行しないことに起因すると考えられる。以上より、血液凝固過程の進行に伴い FD は上昇する傾向を示すことを確認したが、今後はそのメカニズムを検討する必要がある。

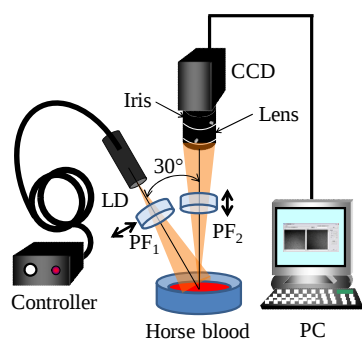


Fig.1 Schematic diagram of the optical system.

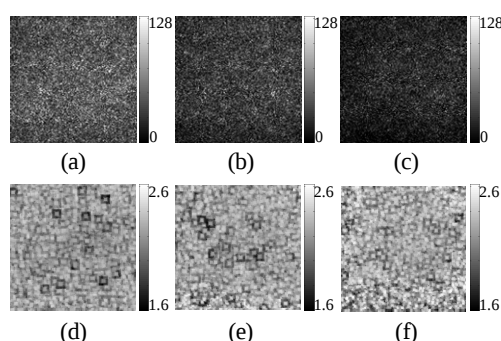


Fig.2 (a)~(c) speckle images and (d)~(f) FD images obtained at 100, 200, and 300 [min], respectively.

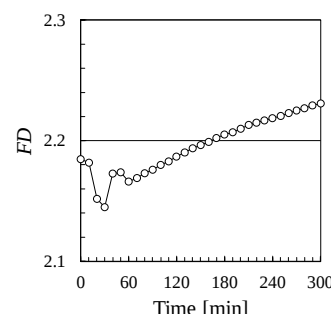


Fig.3 FD value versus time relation.

参考文献: 1) D.P. Popescu et al., Biomed. Opt. Exp., Vol. 1, No. 1, pp. 268-277 (2010).

2) 横井直倫, 相津佳永, 魚住純, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集 (CD-ROM), NO. 14p-C42-10 (2016).

3) M. Long et al., Radioengineering, Vol. 22, No. 1, pp. 208-213 (2013).