

ヒト爪郭部の毛細血管内における血流の画像解析

川原潤也・橋本茂樹・横山 靖

Analysis on video of blood flow in human nailfold capillary
Junya KAWAHARA, Shigeki HASHIMOTO, Yasushi YOKOYAMA

毛細血管顕微鏡の実験機を構築し、実験機で撮影された毛細血管の動画を解析するプログラムを作成した。作成したプログラムを用いて画像解析を行った結果、毛細血管の外径を数値的に評価することができた。

キーワード：毛細血管顕微鏡、画像解析

We constructed a capillaroscopy and wrote an image analysis program to analyze video filmed by the capillaroscopy. The result shows that we can quantitatively evaluate the outer diameter of a capillary by using our image analysis program.

Keywords: Capillaroscopy, Image Analysis

1 はじめに

近年、病気を未然に防ぐ予防医療に注目が集まっており、身体の様々な状態の観察結果から疾患を早期診断する技術の研究開発が盛んに行われている。その中でも、血管の状態と疾患の関係性に関する研究は、数多く実施されている¹⁻³⁾。最近では、「血管の健康状態を、非侵襲的に可視化することで、疾患の早期診断を実現」⁴⁾するというバスキュラ・ヘルスサイエンスの構想が提唱され、国内の有力研究機関主導の下に研究開発が進められている^{4,5)}。これらのことから、今後、血管の状態を非侵襲的に可視化する技術の需要は高まっていくものと考えられる。

非侵襲的に血管を可視化する技術は、多くの研究者によって研究されている。それらの技術の中で、最もよく知られている技術は、毛細血管顕微鏡を用いた可視化である⁶⁻⁹⁾。毛細血管顕微鏡では、「爪のつけ根（爪郭部）における皮膚表面近くの微小循環」⁸⁾を主な観察対象とする。毛細血管顕微鏡による可視化は容易であるため、メディアでも度々取り上げられており、毛細血管顕微鏡の開発・販売を行っている企業

も存在する。しかし、現在一般に販売されている毛細血管顕微鏡において、可視化された血管の外観と健康状態を結び付ける機能を有する機器は、著者らの知る限り存在しない。このため、多くの市販機は、「血管の外観を見る」こと以外の機能がなく、医療系の専門知識がない人が所有しても健康管理に役立つ装置になっていないのが現状である。

これに対して、大学等の研究機関では、毛細血管顕微鏡で取得した血管画像を解析することで、血管の外観を定量評価し、その評価結果に基づいて血管の状態と健康状態を結び付けるための研究が進められている⁶⁻¹²⁾。しかし、これらの研究成果の産業界への移転は十分に進んでいない。そこで、本研究では、北海道大学の渡部正夫教授を中心とした研究グループが取り組んできた毛細血管の定量評価に関する研究成果⁶⁻⁸⁾を産業界に技術移転させることを目的として、以下の3点に取り組んだ：

- ① 毛細血管顕微鏡の実験機の構築
- ② 実験機を用いた毛細血管の動画撮影
- ③ 血管動画を簡易的に解析するための画像解析プログラムの作成

本報では、本年度の研究成果について報告

する。

2 研究方法

本年度の研究では、毛細血管の輪郭形状を簡易的に定量評価できる画像解析プログラムの作成を目的として、毛細血管顕微鏡で撮影した画像から血管の外径の値を算出するための解析を行った。毛細血管の撮影には、図1に示す毛細血管顕微鏡（実験機）を用いた。この実験機は、レイマー社製のモニター付き顕微鏡用デジタルカメラ（FLOYD）、HIROX社製の10倍ズームレンズ及び140倍対物レンズ（CX-10C及びOL-140）によって構成されている。光源には、松電舎社製のLED照明（LED-80T）を使用している。実験では、撮影速度30 fpsで爪郭部の毛細血管を動画撮影した。実験機によって撮影された毛細血管の画像の一例を図2に示す。本年度の研究では、毛細血管の動画から、血管の外径の値を算出するための画像解析プログラムを作成した（図3）。

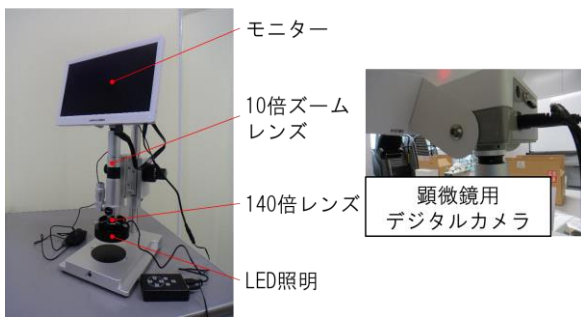


図1 毛細血管顕微鏡の実験機の構成

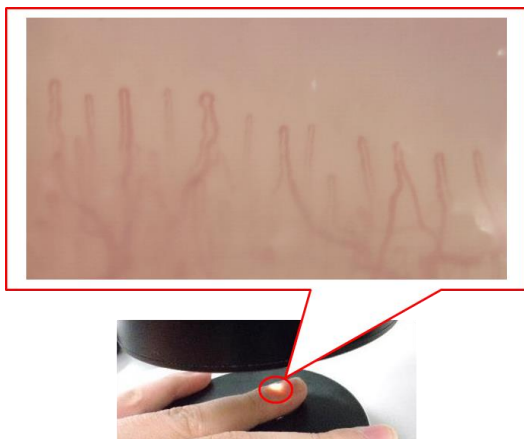


図2 実験機で撮影した毛細血管(140倍)

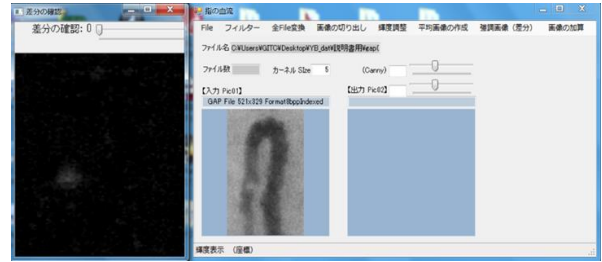


図3 プログラム実行例 (GUI)

3 画像解析結果

図3で示した画像解析プログラムの処理内容と解析結果について報告する。本報で示す解析手法は、佐野の研究成果⁸⁾を参考にしたものであることを強調する。

3.1 二値化による血管壁の抽出

撮影された毛細血管の画像から血管壁を抽出する解析を行った。まず、毛細血管のループ部のみが写っている撮影動画から、1フレーム毎の画像を切り出し、その内の38枚の画像を使用して平均画像を作成する（図4①）。作成した平均画像に対して、二値化処理を行う（図4②）。二値化された画像において、白黒の境界のピクセルを血管壁ピクセルとして抽出する（図4③）。

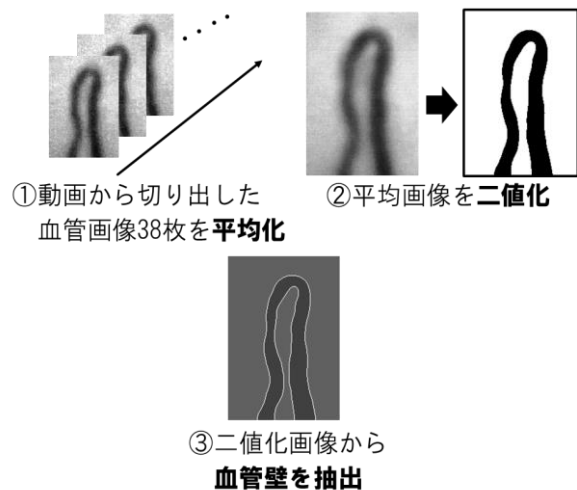


図4 血管画像から血管壁を抽出する手順

3. 2 レベルセット法による血管の中心軸の算出

図4③で作成した画像を構成する各ピクセルにおいて、以下に示す符号付きの距離関数 φ を定義する：

$$\begin{cases} \varphi > 0 & \dots \text{血管外部} \\ \varphi = 0 & \dots \text{血管壁} \\ \varphi < 0 & \dots \text{血管内部} \end{cases}$$

画像中のあるピクセルと全血管壁ピクセル ($\varphi = 0$ の全ピクセル) の間の距離をそれぞれ計算し、最小値をそのピクセルの φ の値とする。このように各ピクセルの φ の値を計算すると、血管の中心軸上のピクセルの φ の値は、周囲に比べて小さい値となる。この φ の値が小さいピクセルを追跡することで、血管の中心軸を抽出する (図5)。

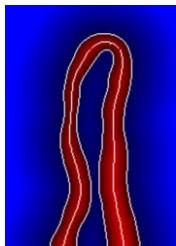


図5 距離関数 φ の値毎に色分けを行った血管画像。(血管の内部を赤、外部を青、血管壁及び中心軸上のピクセルは白色とし、血管壁に近いピクセルほど暗色としている。)

3. 3 血管の外径の算出

前節で説明したように、あるピクセルにおける距離関数 φ の値は、そのピクセルと血管壁の間の距離を表す。したがって、中心軸上のピクセルの φ の値は、ピクセル単位での血管の半径の値となる。ここでは、中心軸上のピクセルの φ の値を用いて、毛細血管の入口から出口までの血管の外径の値の変化をプロットした (図6)。爪郭部の毛細血管 (ループ部) 径は10-20 μm 程度と報告されており¹³⁾、図6によって血管の外径を数値的に評価できたといえる。

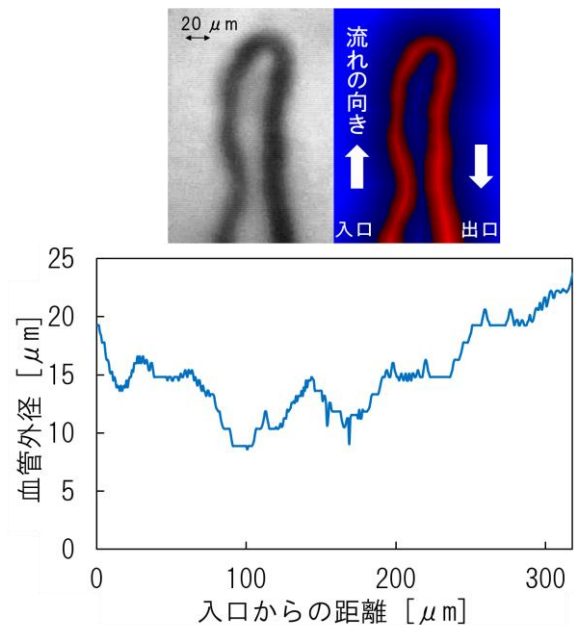


図6 血管の外径 (1 pixel = 0.74 μm)

4 まとめ

本年度の研究では、毛細血管顕微鏡で撮影した画像から血管の外径の値を算出する画像解析プログラムを作成するため、以下の3点に取り組んだ：

- ① 毛細血管顕微鏡の実験機の構築
- ② 実験機を用いた毛細血管の動画撮影
- ③ 血管動画を簡易的に解析するための画像解析プログラムの作成

作成したプログラムを用いて画像解析を行った結果、毛細血管顕微鏡で撮影された血管画像から、毛細血管の外径を数値的に評価できた。

謝辞

本研究の遂行にあたり、北海道大学の渡部正夫教授に、顕微鏡レンズの貸出・実験データの提供・ご助言等の多大なるご支援をいただいた。また、株式会社エルスの立藏祐樹氏に、レベルセット法による血管の中心軸の算出のアルゴリズムに関する有益なご助言をいただいた。ここに記して、深く謝意を表す。

参考文献

- 1) Cutolo *et al.*, *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.*, **22**, 6, 1093-1108 (2008)
- 2) Angelis *et al.*, *Arthritis. Rheum.*, **61**, 3, 405-410 (2009)
- 3) Guidelli *et al.*, *Eur. J. Rheumatol.*, **1**, 81-83 (2014)
- 4) 椎名, 戸井, *OPTRONICS*, **36**, 429, 87-91 (2017)
- 5) 内閣府, 革新的研究開発推進プログラムImPACT <<http://www.jst.go.jp/impact/program/10.html>>
- 6) Watanabe *et al.*, *J. Biomech. Sci. Eng.*, **2**, 2, 81-92 (2007)
- 7) 田村ら, 日本機械学会北海道学生会第40回学生員卒業研究発表講演会 講演論文集, 129-130 (2011)
- 8) 佐野, 北海道大学大学院工学院機械宇宙工学専攻 平成22年度修士論文 (2011)
- 9) Gurov *et al.*, *Opt. Las. Eng.*, **104**, 244-251 (2018)
- 10) 鳥居, 柴田, 情報処理学会研究報告グループウェアとネットワークサービス (1996-GN-021), 157-162 (1997)
- 11) 鳥居ら, 情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理 (1997-DPS-086), 219-224 (1998)
- 12) 永山ら, *J. Int. Soc. Life Infor. Sci.*, **32**, 2, 199-204 (2014)
- 13) 古江ら, *福岡醫學雑誌*, **96**, 6, 277 (2005)