

# 血行変化の測定例

## 手末梢部位での血行変化の測定

光超音波顕微鏡 Hadatomo™ Z を用いて、血行の変化を計測した。外温の変化や疾患などの影響で皮膚の血行が変化する。血行の変化はレーザードップラー血流計などで計測される例があるが、血管の形状は見え、深さ情報を得ることはできない。一方、光超音波イメージング法は血管を非侵襲で正確な深さ情報と共に画像化できることが特徴である。光超音波信号がヘモグロビンの量により変化することを利用して、血行の変化を光超音波顕微鏡 Hadatomo™ Z で計測した。

健常ボランティア 6 名で計測を行った。測定部位は手の末梢部位である小指の指先とした。測定範囲は 9 mm 角、スキャンステップは 30 μm である。レーザーは波長 532 nm, 556 nm の 2 波長で計測している。

測定のプロトコルを図 1 に示す。被験者は 10 ~ 15°C の冷水に手及び前腕を 1 分間浸漬し指先が冷えた状態とする。その後 Hadatomo™ Z で計測を行い、計測後に測定部の写真撮影、サーモグラフィー (FLIR ONE, FLIR Systems) での測定を行った。カイロを用いて 10 分間前腕及び手を加温した後、再度 Hadatomo™ Z での計測、写真撮影、サーモグラフィー測定を行った。

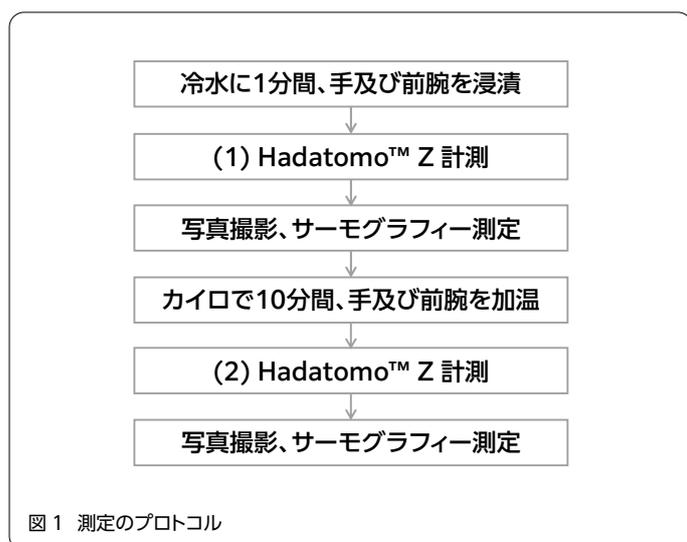


図 2 に測定の一例を示す。冷却後のサーモグラフィー測定結果を見ると指末梢部の体温が下がっていることが分かる。(a1) それに対して加温後は体温が上昇している。(b1) 一方外観写真からは冷却後、加温後では血行の変化は見て取れない。(a2, b2) 冷却後の光超音波画像では真皮内部の血管の走行の様子が見て取れる。加温後の光超音波画

像では血管の輝度が高くなっており、冷却から加温に転じたことで血行が増加し、光超音波信号が増加したことが推測される。

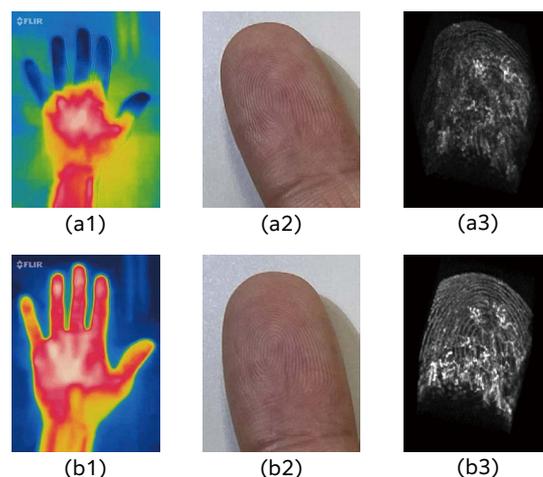


図 2 測定の一例 (a1, a2, a3) 冷却後の測定結果, (b1, b2, b3) 加温後の測定結果, (a1, b1) サーモグラフィー測定結果, (a2, b2) 外観写真, (a3, b3) 波長 556 nm の光超音波画像

6 名の測定結果に対して、冷却後および加温後の光超音波信号を比較した。比較にあたり、図 3 に示すフローで処理を行い、深さ方向での検証を行った。皮膚は湾曲しているため、そのまま深さ方向にデータ抽出すると、表皮と真皮のデータが同じ深さに混在してしまう。それを防ぐために、皮膚表面データを検出し、平坦化する処理を行った。続いて画像中央の 6 X 6 mm の ROI (Region of Interest) を設定し、冷却後、加温後の光超音波信号から一定値以上の信号が含まれるピクセル数をカウントし、これをヘモグロビン量とした。画像の端部分は指の形状によっては信号が得られない場合があったためである。血行の変化によりヘモグロビン量が変わると光超音波信号の強度が変化するため、冷却後と加温後ではヘモグロビン量 (ピクセル数) が変わる

ことが想定される。最後に深さ方向 200  $\mu\text{m}$  毎に対してヘモグロビン量の変化の割合を各被験者に対して比較した。

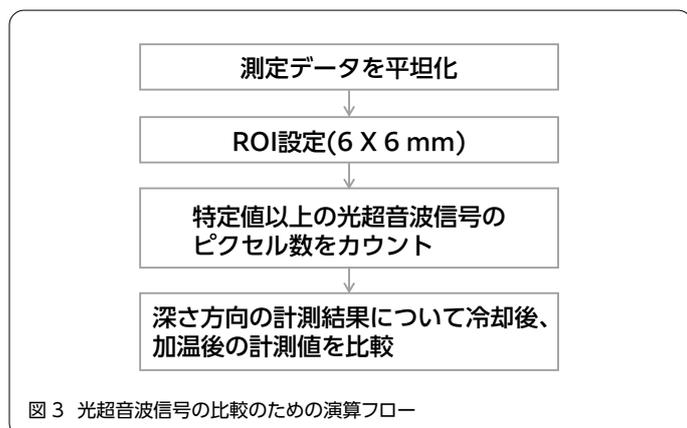
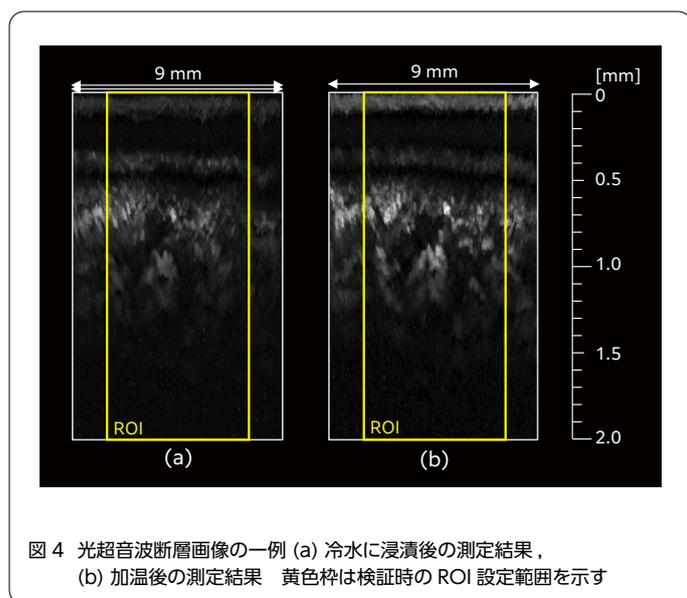
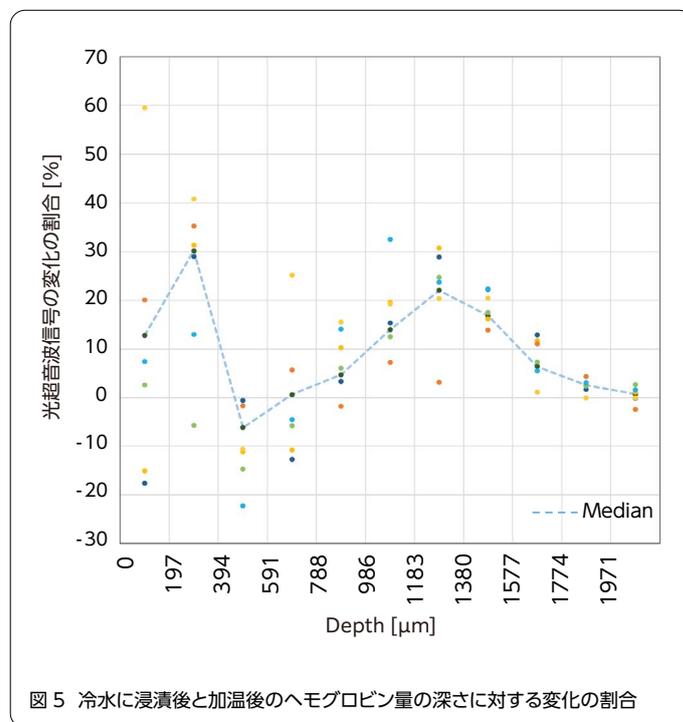


図 4 に断層画像の一例を示す。画像へ平坦化処理を行ったもので、中央 6 mm 角に対して ROI 設定を行ったため、画像の黄色枠で示す部分について解析を行ったこととなる。



N=6 に対して検証した結果を図 5 に示す。図中の破線は各深さに対して中央値の値を結んだものである。深さ 400  $\mu\text{m}$  までの浅い部分での変化が見られるが、この部分は表皮であり、冷水に浸漬したときの皮膚の膨張、測定部位の若干のずれなどの影響で信号値が変化したものと考えられる。深さ 400 ~ 1000  $\mu\text{m}$  では血行の増減の変化のバラつきが大きい結果となった。それに対して、深さ 1000 ~ 1500  $\mu\text{m}$  では個体差による違いが見られるものの、ヘモグロビンが増加する傾向が見られる。これは図 4 の測定例の結果からも確認でき、深さ 1 mm 程度の部分の血管由

来の信号強度が増加していることが見て取れる。真皮上部の血管は外温の影響を受けやすいため、個体差の影響が大きい、真皮深部では影響が小さくヘモグロビン量が増加した傾向を捉えられている可能性がある。



このように光超音波顕微鏡 Hadatomo™ Z を用いて、光学イメージングでの計測は困難な皮膚の深さ 1 mm 程度での血行変化を捉えることができた。深さ方向の情報が得られることを活かして、血行変化をこれまでにない形で捉えられる可能性がある。

なお皮膚の厚さは個体差があり深さ方向の解析についてはその誤差を含んでいる。また本測定においては、冷却後と加温後の測定のセットアップの誤差も含まれている。測定時のセットアップ、実験のプロトコルを見直すことで、より高精度での検証が期待できると考える。

