

レーザー-speckle二次元血流画像化法を用いた運動負荷による足部皮膚血流変化の特徴
-サーモグラフィとの比較からみたフットケアへの有用性の検討(第二報)-
Feature of the foot skin blood flow change by exercise load using a two-dimensional
blood flow imaging methods laser speckle
-Usefulness to foot care as seen from the comparison with thermography
(second report) -

張替直美*、箕越功浩**

Naomi Harikae, Katsuhiko Minokoshi*

要旨

本研究の最終目的は、二次元レーザー血流計が糖尿病や透析患者のフットケアに臨床応用できるかどうかを検討することにある。本稿では、第一報¹⁾の温熱刺激に続き健常人で運動負荷前後の足背の皮膚血流測定を行い、サーモグラフィによる皮膚表面温度の測定と比較検討した。

その結果、第一報の温熱刺激時と同様に二次元レーザー血流計はサーモグラフィによる表面温度とは異なる末梢循環動態を反映していた。特に、今回用いたLSFGは前回のLFG-1-Wより画像の精度が増し、足趾の爪下粘膜の微小循環や足背の血管走行をより可視化できた。また、前回同様にサーモグラフィと比較して環境温度の影響を受け難く、冷え性の人や発汗時の測定にも有用であった。

キーワード：二次元レーザー血流計、足部皮膚血流、フットケア、運動負荷

Key words：Two-dimensional laser blood flow meter, foot skin blood flow, foot care, Exercise load

I. 序論

米国における大規模調査では²⁾、足病変の発症は糖尿病診断後の深刻な合併症進展を意味し、死亡率が増加するとされている。そのため、足病変予防プログラム開発の必要性が強く謳われ、フットケアプログラムの開発と評価がなされてきた³⁾。

本邦においても、食生活の欧米化や肥満により糖尿病患者数が増加し、足病変は深刻な問題のひとつと捉えられてきた⁴⁾⁻⁵⁾。そこで、様々なフットケア看護介入⁶⁾⁻⁹⁾が行われているところである。糖尿病足病変の原因は、糖尿病による末梢神経障害と末梢循環不全および易感染性のため、患者のフットケアにおいて足部の血流状態のアセスメントは重要である。これまで足部の血流評価には、ABIや

SPP、サーモグラフィ、ドップラー血流計などが用いられてきた。笠田ら¹⁰⁾は、一次元のレーザー血流計を用いて透析患者の足背と足底で皮膚血流を測定し、Fontaine分類との関連性から透析患者のフットケアの検査項目として有用であるとしている。

レーザー-speckle二次元血流画像化法であるLSFG(二次元レーザー血流計)は、生体組織の血流を二次元に可視化でき、眼科領域で臨床応用されている¹¹⁾⁻¹²⁾。近年では、味覚の好き嫌い顔面の皮膚血流変化についての研究もみられる¹³⁾。本研究では、二次元レーザー血流計がフットケアに臨床応用できるかどうかを検討するために、第一報では健康人を対象に足部に温熱刺激を加えて測定した。その結果、サーモグラフィによる表面温度とは異なる

* 山口県立大学看護栄養学部看護学科

** 山口県立大学大学院健康福祉学研究科博士後期課程

* Yamaguchi Prefectural University Faculty of Nursing and Nutrition Department of Nursing.

** Yamaguchi Prefectural University Graduate School of Health and Welfare Studies Doctor's Division

末梢循環動態を反映した画像の見え方や温熱暴露による変化を示した。引き続き第二報では、二次元レーザー血流計を用いて運動負荷による足背の皮膚血流変化をサーモグラフィによる表面温度と比較検討することとした。

II. 研究方法

1. 対象

対象は健康な大学生8名。足部に外傷などの異常がなく、血流に影響のある服薬等の治療をしていない者とした。平均年齢は、21.4歳（19～24歳）、女性8名、男性2名であった。

2. 実験期間

平成24年9月20日～9月21日

3. 環境条件

平均室温25.4℃（24.4～26.5℃）、平均湿度47.5%（46～51%）、騒音41.9dB、照度39.1lxの実験室で実施した。

4. 測定指標と機器

1) 皮膚血流

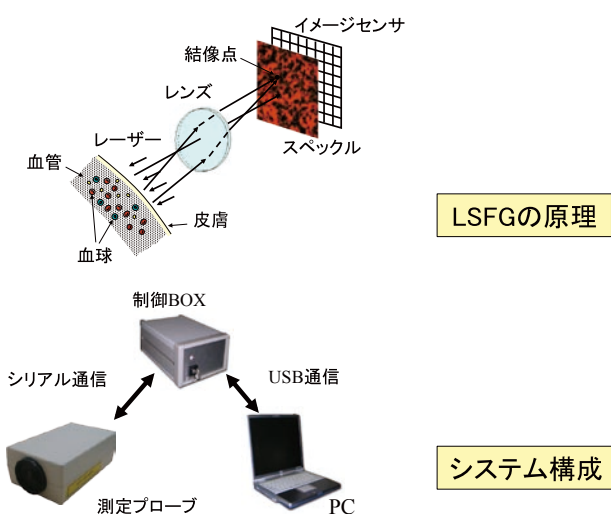


図1. 二次元レーザー血流計概念

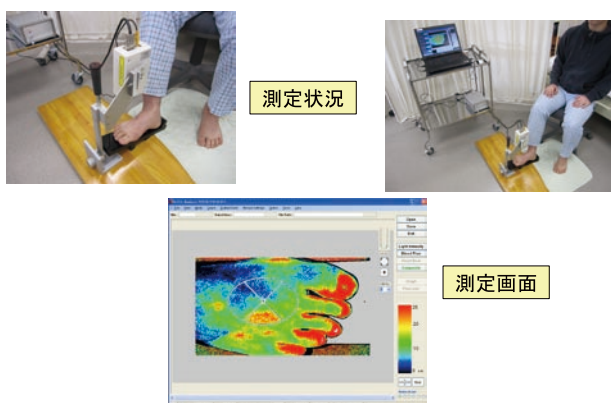


図2. 二次元レーザー血流計の測定

皮膚血流の測定は、アドバンス社の二次元レーザー血流計（LSFG：Laser speckle Flowgraphy）を用いた。本装置は、皮膚など生体表面の末梢血流速度分布を非接触、無侵襲に測定し、二次元のマップ状に表示する装置である^{14)~16)}。血流測定の原理とシステム構成は、図1の通りである。半導体レーザーから出射した光は、皮膚表面を照射し、皮膚表面上で散乱された光は、レンズを通してイメージセンサ上に結像する。イメージセンサの出力信号はマイコンで処理した後にPCに連続的に取り込まれる。これらのデータに演算処理を施すことで血流分布を表す二次元マップを出力する。この血流マップ内では、任意の領域を指定し、その内部の平均血流値（FLOW）を相対値として読み取ることができる。図2は、パソコン上の測定画面と測定状況を示している。血流を測定する際のレーザー光は最大4mWの出力であり、レーザーの安全基準（JIS C 6802）のクラス分類では1Mに相当し、皮膚に対する生理的な影響はないとされている。

2) 表面温度

表面温度の測定は、NEC多機能サーモグラフィR300で行った。サーモグラフィは、対象物から出ている赤外線放射エネルギーを検出し、温度に変換して温度分布を画像表示する装置である。また、広い範囲の表面温度の分布を相対的に比較できる方法である。本装置は、パソコンとオンラインで熱画像、可視画像、合成画像のリアルタイム表示と録画が可能で、測定温度の解析も可能である。

5. 測定方法

被験者は、臥位安静5分後に座位安静5分を行い、素足でウォーキングマシンを用いて時速5kmで10分間の歩行を行った。歩行直前、歩行直後、歩行

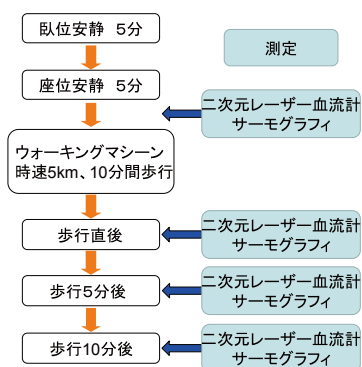


図3. 実験の手順

5分後、歩行10分後の足背の皮膚血流と表面温度を測定した(図3)。レーザーの光源から測定部位までは、15cmとした。

6. 測定部位

皮膚血流および表面温度の測定部位は、右足背中央部とした。

7. 分析方法

皮膚血流および表面温度の分析方法は、右足背における足首と足指の付け根を結ぶ線を長径、長径の中間点を通り直角に交わる線を短径とした楕円の皮膚血流と表面温度の平均値を求めた。また、歩行直前の平均値を基準値として測定時点の変化率を求め比較検討した。

8. 倫理的配慮

研究実施にあたり、研究代表者の所属する山口県立大学の生命倫理委員会の承認を得て実施した。

患者の安全面としては、レーザーの安全性は国際基準のIEC60825-1に基づくクラス分類1M(国内JIS C6802)に相当し、生体への悪影響はないとされている。被験者に何らかの異常が認められた場合には、即座に対処する体制を整えた上で、実験を行った。

利益相反に関しては、本研究の計画から報告までのすべての過程において、結果および結果の解釈に影響を及ぼす可能性のある「起こり得る利益の衝突」は存在しない。

Ⅲ. 結果

1. 運動負荷による足背の皮膚血流と表面温度の変化

運動負荷時の皮膚血流と表面温度の変化は図4の通りである。座位安静5分後の歩行直前から歩行直後にかけてLSFGによる皮膚血流は41.0%の増加を示した。一方、サーモグラフィによる皮膚温度は-1.6の減少を示した。また、歩行5分後には血流は

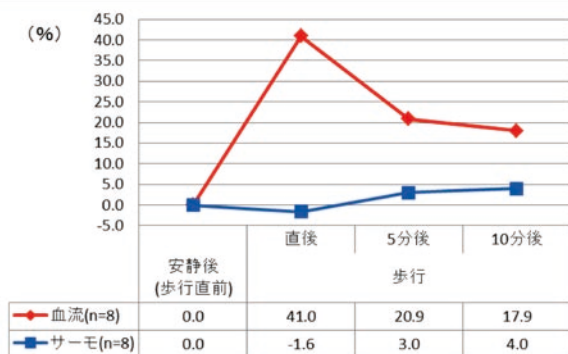


図4. 運動負荷による皮膚血流と表面温度の変化

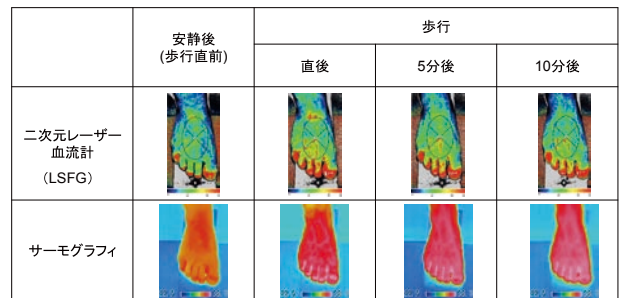


図5. 運動負荷による画像変化 事例①

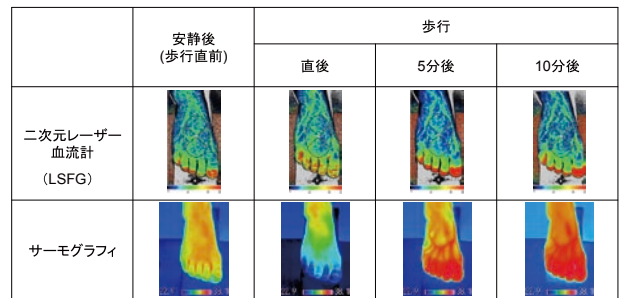


図6. 運動負荷による画像変化 事例②

20.9%、皮膚温度は3.0%の増加を示した。歩行10分後には血流は17.9%、皮膚温は4.0%の増加を示した。

2. 運動負荷によるLSFGとサーモグラフィの画像の比較

運動負荷時のLSFGとサーモグラフィの特徴的な2事例の画像変化を図5と図6に示す。いずれも座位安静後の歩行直前、歩行直後、歩行5分後、歩行10分後の4時点の画像である。図5の事例①においては、サーモグラフィでは安静後や歩行後のどの時点でも足背全体の色調が赤い。しかし、LSFGでは足背全体は緑から青の色調であり、足趾や足背の一部に赤や黄色の色調が見られる。

図6の事例②では、サーモグラフィでは歩行直後に足先から足背にかけて画像の色調が歩行直前の黄色やオレンジから青や緑に、そして5分後、10分後には赤や黄色に変化している。一方、LSFGの画像では、歩行直後も歩行直前や歩行5分、10分と同様の色調である。また、足背は線状に緑色から薄黄色味を帯び、足趾は赤色である。

Ⅳ. 考察

1. 運動負荷による皮膚血流と表面温度の変化の違い

10分間の歩行運動前後の二次元血流計による皮膚血流変化は、運動直後に大きく増加し、5分後、10分後には減少するというパターンを示した。一方、サーモグラフィによる表面温度は、運動直後わずかに低下し、5分後、10分後にはわずかに上昇すると

いうパターンを示した。このことは、「運動時は、諸器官が酸素供給を必要とすることから心拍数が増加し、血圧を上昇させて送血量、すなわち循環血液量を急激に増やす必要性が生じる。運動後は、酸素を多量に運搬する必要性がなくなり、心拍数の減少により循環血液量を減らし、心拍数は徐々に安静時の値まで戻る。」¹⁷⁾といった運動による全身の循環動態の変動、つまり運動により全身の血流量は一旦上昇するが、運動後には元に戻ることに起因したと考える。また、立位による下肢への血流のうっ滞やランニングにより足部を絶えず動かしたことから局所皮膚血流が増加したと推察する。

一方、サーモグラフィによる皮膚表面温度は、素足で歩行することにより足背が空気にさらされ、表面温度が低下したのではないかと考える。また、運動直後に発汗した被験者も数名おり、発汗による皮膚の熱放散も影響したのではないかと考える。

2. サーモグラフィ画像との比較からみたLSFGの臨床応用

運動負荷による特徴的な2事例の画像を比較すると、LSFGとサーモグラフィの画像の色調は明らかに異なっている。LSFGでは、温熱刺激を加えた時と同様にサーモグラフィと比較して部位による色調変化が明瞭に見られた。これは、サーモグラフィによる表面温度とは違う皮膚の末梢循環を反映した色調変化である。特に足趾の爪下粘膜は、毛細血管が露出しているので他の部分より赤く反映されたのではないかと推察する。また、足背の緑から黄や赤の線状の色調は、足背動脈等の血管を反映していると考えられる。

事例②の運動直後のサーモグラフィ画像では、運動直後に発汗したことや素足でのランニング歩行によって足背が風にさらされ、表面温度が低下したことが考えられる。そのため、サーモグラフィ画像においては、足先から足背部にかけ青味を帯びていると推察する。

V. おわりに

二次元レーザー血流計による運動負荷前後の足部の皮膚血流測定は、第一報の温熱刺激時と同様にサーモグラフィによる表面温度とは異なる末梢循環動態を反映していた。特に、今回用いた二次元血流計は前回のLFG-1-Wより画像の精度が増し、レーザー照射時の横縞のライン画像がなくなったこ

とは大きい進化といえる。そのため、足趾の爪下粘膜の微小循環や足背の血管の走行をより鮮明に捉え可視化していた。また、前回と同様にサーモグラフィと比較し環境温度の影響を受け難く、冷え性の人や発汗時の測定において有用性が示唆された。

今後は、医療者のフットケアにおいて血流状態をアセスメントする指標として、また患者へのフットケア教育媒体として、更に、患者自身のセルフフットケアへの応用の可能性を検討していきたい。しかし、足背の画像において未だどの部分の血管や循環動態を反映しているかが確定できないため、臨床への応用には更なる研究の積み重ねが必要である。

VI. 謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力頂きました被験者の皆様に感謝致します。また、二次元血流計を足背の血流測定用に作成して下さいましたソフトケア社の藤居仁様、高橋則善様に深謝いたします。

<引用文献>

- 1) 張替直美、箕越功浩：レーザー-speckle二次元血流画像化法を用いた温熱刺激による足部皮膚血流変化の特徴-サーモグラフィとの比較からみたフットケアへの有用性の検討(第一報)-、山口県立大学学術情報、第7号、1-6、2014。
- 2) Scott D, Sandhu N, Newton K: Incidence, outcomes, and cost of foot ulcers in patients with diabetes, *Diabetes Care*, vol. 22, No. 3, 382-387, 1999.
- 3) Michael S, Kernan D, Nicholas V: Development of a nurse-provided health system strategy for diabetes foot care, *Foot & ANKLE International*, Vol.22, No.9, 744-746, 2001.
- 4) 佐藤祐造、長嶋誠、角田博信：糖尿病性壊疽-自験6症例をふくむ本邦における243症例の文献的考察-、*糖尿病*18巻、2号、114-120、1975。
- 5) 渥美義仁：糖尿病患者の足病変の臨床像-危険因子とその対策-、*Diabetes Frontier*、Vol.6、143-146、1995。
- 6) 大徳真珠子、江川隆子：糖尿病患者のフットケア行動に対する看護介入の成果、*日本糖尿病教育・看護学会誌*、Vol.8、No.1、13-24、2004。
- 7) 愛甲美穂、日高寿美、大竹剛靖、小林修三：下肢救済-私たちの取り組み(6)、当院のフット

- ケアチーム力ーフットケア指導士の活動報告ー、
日本下肢救済・足病学会誌、4(3)、149-156、
2012.
- 8) 張替直美、佐川京子、廣瀬春次、小林敏生、宮
腰由紀子：糖尿病足病変患者のフットケアにおけ
る看護支援を考えるー治療と自己管理が困難な2
事例を通してー、山口県立大学学術情報、第5号、
2012.
- 9) 角谷三樹子：杏林大学医学部付属病院「下肢救
済・フットケア外来」「切断は必要最低限に」を
めざし他職種・他施設と連携、ナーシング・トゥ
デイ、Vol.26、No.2、47-54、2011.
- 10) 笠田寿美子、秋山人美、福岡幸子：維持透析患
者のフットケア取り組みにおけるレーザー血流測
定の意義 ～Fontaine分類による検討～、山梨透
析研究会会誌、28巻、9-11、2010.
- 11) 田川博、佐々木紀子、田下垂左子：レーザース
ペックル血流画像化を用いた網膜血管の血流測定
法、日本眼科紀要、第51巻、第2号、121-125、
2000.
- 12) 橋本雅人、田川博、大塚賢二：レーザースペッ
クル法により血流動態が確認できたAIONの1例、
臨眼、54巻、2号、265-268、2000.
- 13) Kashima H, Hayashi N: Basic taste stimuli
elicit unique responses facial skin blood flow,
PLoS ONE ,December,Vol.6, Issue 12, 1-5, 2011.
- 14) 藤居仁：レーザースペックルフローグラフィ
の原理、あたらしい眼科、15(2)、175-180、
1998.
- 15) 藤居仁：レーザースペックルを利用した血流画
像化技術、計測と制御、Vol39、No4、246-252、
2000.
- 16) 藤居仁、小西直樹他:レーザー散乱を利用した
血流画像化法の現状、レーザー学会第325回研究
会報告、No.RTM-04-22、13-16、2004.
- 17) 櫻井一成、西村典芳：青年層における運動負荷
時の生理学的変化-運動量変化に伴う血圧および
心拍数の変動について-、神戸夙川学院大学紀要、
第6号、2014.