

# レーザー-speckle二次元血流画像化法を用いたフットケアの可視化 —フットケア外来の2事例への測定—

## Visualization of foot care using Laser Speckle Flowgraphy - Measurement to two cases of foot care outpatient -

張替 直美<sup>1)</sup>、箕越 功浩<sup>2)</sup>、松村千賀子<sup>3)</sup>、井上 康<sup>4)</sup>

Naomi Harikae, Minokoshi Katsuhiko, Chikako Matsumura, Yasushi Inoue

キーワード：レーザー-speckle二次元血流画像化法、フットケア、糖尿病患者、皮膚血流、皮膚温度  
Laser Speckle Flowgraphy, foot care, diabetic patient, skin blood flow, skin temperature

### 要旨

レーザー-speckle二次元血流画像化法（LSFG）による血流測定を臨床患者のフットケアへ応用するために、本稿ではフットケア外来で2事例の糖尿病患者のフットケア前後に測定を行った。その結果、LSFGによる血流測定は、フットケアによる循環促進効果を数値だけでなく画像により可視化できた。今後の課題としては、事例を増やして病状や足病変との関連を検討していくことである。

---

1) 山口県立大学看護栄養学部看護学科

Yamaguchi Prefectural University Faculty of Nursing and Nutrition Department of Nursing

2) 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 Graduate School of Health and Welfare Studies Doctor's Division

3) 山口県立総合医療センター看護部

Yamaguchi Prefectural Grand Medical Center Nursing Department

4) 山口県立総合医療センター内科

Yamaguchi Prefectural Grand Medical Center Internal Medicine

## 1. 序論

2016年の国民健康・栄養調査によると、糖尿病が強く疑われる成人は推計1000万人に上り、その23.4%は治療を受けていない。糖尿病は放置すると、網膜症による失明や腎症による透析療法に至る危険性がある。さらに、21世紀の糖尿病医療における大きな課題である足病変により足趾や下肢を失うこともある。糖尿病患者の足病変予防は、単なる知識や意識への働きかけでは不十分であり、行動変容を誘起する何らかの媒体が必要である。

レーザースペckル二次元血流画像化法(Laser Speckle Flowgraphy:LSFG)は、生体の皮膚面に波長830nmの近赤外線レーザー光を照射し、反射されたレーザーを捉えてリアルタイムに皮膚血流を測定できる。また、サーモグラフィのように血流を色調の変化として可視化し、且つ数値化もできる非接触性で無侵襲の方法である<sup>1)~3)</sup>。LSFGは眼科領域において眼底の血流測定に広く用いられている<sup>4),5)</sup>。皮膚の血流測定においては、形成外科領域で足病変の切断範囲や手術前後の評価指標として研究が進められている<sup>6)</sup>。また、健常人の下肢駆血後の血流変化から動脈硬化の指標となる可能性も示唆された<sup>7)</sup>。著者は、LSFGが糖尿病患者や透析患者のフットケアに応用できるかどうかを検討するため、健常人を対象として温熱刺激や運動負荷による下肢の血流変化の特徴をサーモグラフィと比較検討したところ、フットケアへの有用性が示唆された<sup>8),9)</sup>。

本研究の最終目的は、LSFGを下肢末梢循環の指標としてフットケアに使用し、フットケアの効果を可視化することである。本研究では、フットケア外来の患者を対象としてフットケア前後にLSFGとサーモグラフィおよびデジタルカメラを用いて足部の測定を行い、画像の色調変化や皮膚血流量、皮膚表面温度の変化を検討した。

## 2. 研究方法

2016年11月22日にA病院のフットケア外来で了解の得られた糖尿病患者2名にフットケア前後でLSFGとサーモグラフィおよびデジタルカメラの測定を行い、フットケアによる画像の色調や皮膚血流量、皮膚表面温度の変化を検討した。

### 1) 測定指標と測定方法

①皮膚血流量：ソフトケア社のレーザースペckル二次元血流画像化装置で、フットケア前後に左右

の足趾から足首までの足背全体を測定した。レーザーの光源から測定部位までは15cmである。

②皮膚表面温度：NEC多機能サーモグラフィR300を用い、フットケア前後の皮膚血流測定直後に血流と同様の部位を測定した。

### 2) 分析方法

LSFG、サーモグラフィ、デジタルカメラによる画像の定性評価は、フットケア前後の画像の色調変化から比較検討した(LSFGの測定Rangeは全て同値、サーモグラフィでは同一患者で同値とした)。皮膚血流量と皮膚表面温度の定量変化は、左右の足背中央部、第1趾、第5趾を範囲指定し平均値を求めた。その後左右の平均値を算出し、フットケア前に対するフットケア後の変化率を求めた。

### 3) A病院のフットケア外来

A病院のフットケア外来は、糖尿病外来を受診する患者のうち、医師がフットケアを必要と判断し、且つ本人の承諾を得た患者に実施している。糖尿病療養指導士の資格認定をされた看護師が毎週火曜日の午後に実施する。フットケアの内容は、足の状態のアセスメント、爪切り、角質ケア、創処置、足浴、軟膏塗布、自己管理への指導である(図1)。



図1 外来フットケア

本研究は、山口県立大学および山口県立総合医療センターの生命倫理委員会の承認を得て行った。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。

### 3. 結果

#### 1) 事例の概要

##### ① Case A 59歳 女性

44歳で2型糖尿病と診断され、インスリン療法中である。HbA1c (NGSP) 11%台、単純網膜症、第3期腎症、神経因性膀胱の合併症がある。高血圧、脂質異常症、統合失調症の既往がある。夫と二人暮らしで、車椅子移動の生活である。自分で入浴・爪切りは出来ず、デイサービスで週1回足浴を受けている。

両足第1趾に巻き爪があり形成外科で治療中、両足背に腎症による浮腫がある。毎月の糖尿病外来受診時にフットケア外来で看護師のフットケアを受けている。測定日のフットケア内容は、約40℃の炭酸泉浴 (ASケア® 使用) 後に泡洗浄剤で下肢、特に足背と足底、足趾を丁寧に洗った。また、鋭匙で爪の間の角質を取り除いた後に爪切りを行い、第1趾の爪周囲を消毒した。

##### ② Case B 64歳 男性

49歳で2型糖尿病と診断され現在経口血糖降下薬内服中である。HbA1c (NGSP) 6%台、合併症はない。高血圧、ホジキンリンパ腫で手術療法の既往がある。

現在の仕事はデスクワークであるが、過去に安全靴を履いて土木の仕事をしていたため、外力により両足第1趾は巻き爪である。毎月の糖尿病外来受診時に、フットケアを受けている。測定日のフットケア内容は、約40℃の炭酸泉浴 (ASケア® 使用) 後に、泡洗浄剤で下肢、特に足背と足底、足趾を丁寧に洗った。また、鋭匙で爪の間の角質を取り除いた後、爪切りを行った。

#### 2) CaseA のフットケアによる画像、皮膚血流、表面温度の変化

図2は、CaseA のフットケア前後の画像である。LSFG による皮膚血流画像は、フットケア前に比べフットケア後に、左右の足趾から足背にかけて黄緑や黄色の暖色、また足趾の赤色の範囲がやや広がっている。血管の走行はわかりにくい。サーモグラフィは、フットケア前後とも足全体が赤く部位による色調の違いはないが、フットケア後に特に右足背が白っぽく変化している。デジタルカメラの画像は、フットケア前後とも足背の浮腫が顕著である。

図3は、LSFG によるフットケア前後の皮膚血流量の変化である。フットケアにより、足背、第1趾、第5趾ともに皮膚血流量は増加しており、足背よりも足趾の方が血流の増加率は高い。図4は、サーモグラフィによるフットケア前後の皮膚表面温度の変化である。フットケア後は、フットケア前に比較して足背の皮膚表面温度は上昇しているが、第1趾、第5趾の表面温度は低下している。

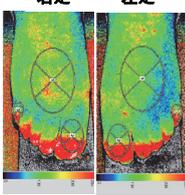
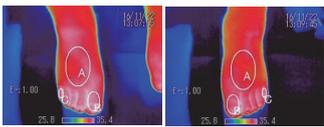
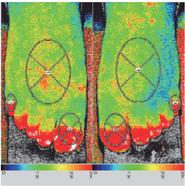
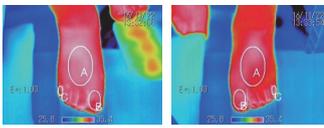
患者	Case A		性別	女性	年齢	59歳
測定日	2016年11月22日					
測定具	LSFG		サーモグラフィ		デジタルカメラ	
フットケア前						
↓						
フットケア後						

図2 Case A のフットケア前後の画像

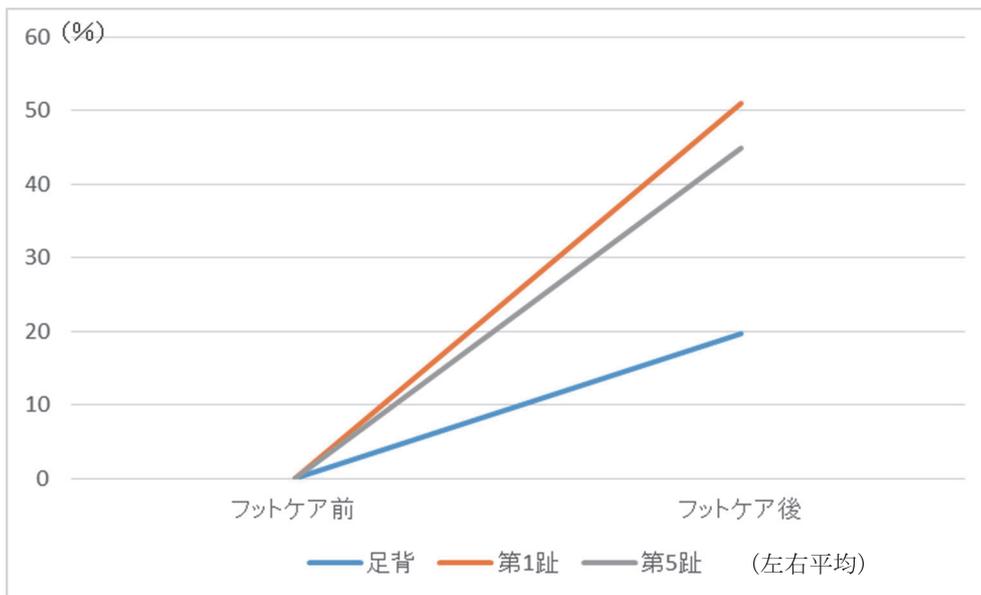


図3 Case A のフットケア前後の皮膚血流量の変化

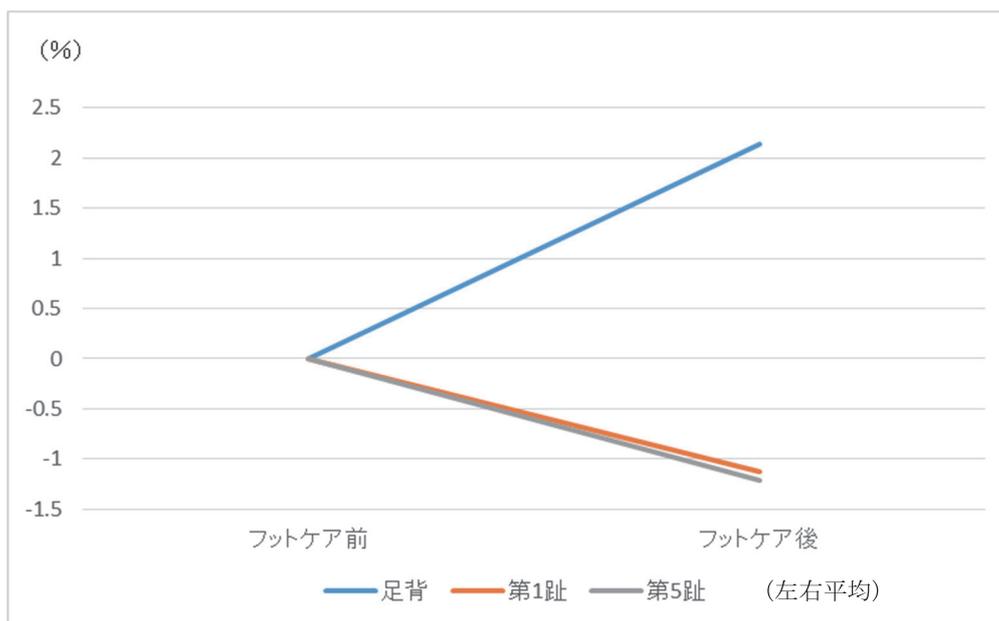


図4 Case A のフットケア前後の皮膚表面温度の変化

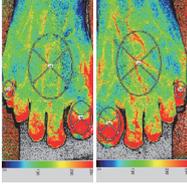
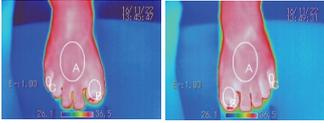
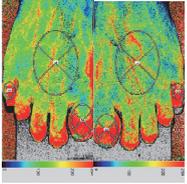
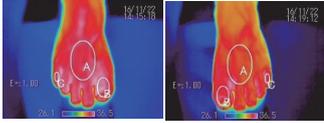
患者	Case B		性別	男性	年齢	64歳
測定日	2016年11月22日					
測定具	LSFG	サーモグラフィ		デジタルカメラ		
	右足 左足	右足	左足			
フットケア前						
↓						
フットケア後						

図5 Case Bのフットケア前後の画像

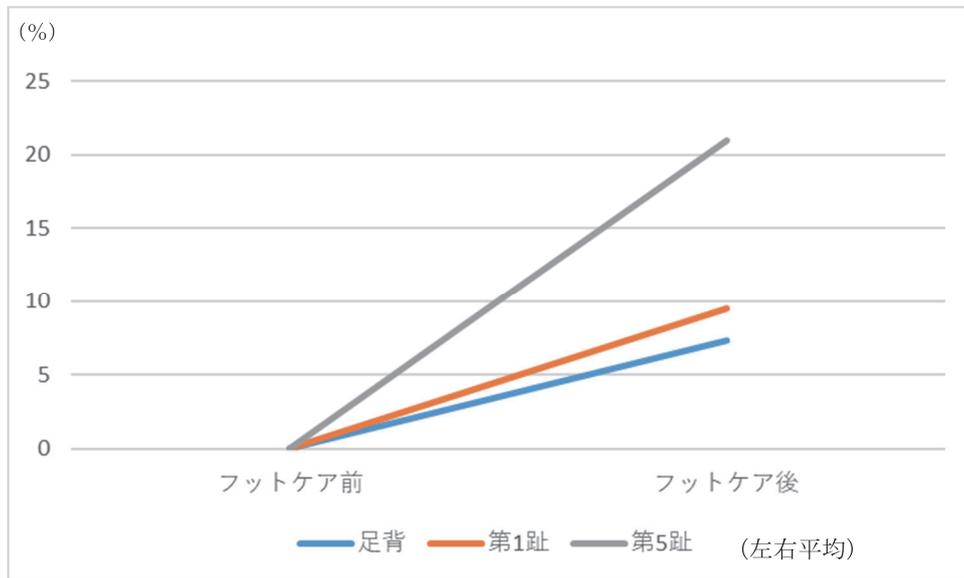


図6 Case Bのフットケア前後の皮膚血流量の変化

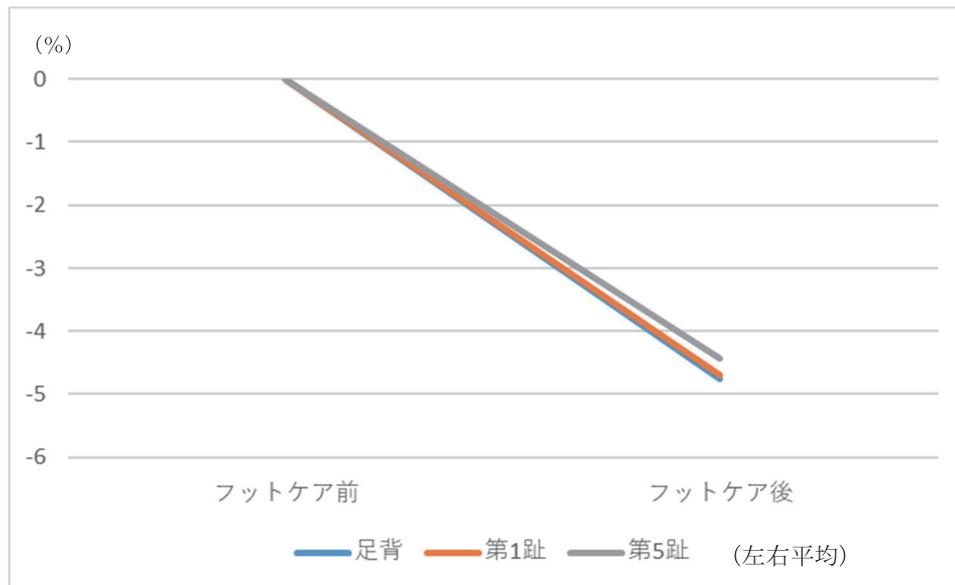


図7 Case B のフットケア前後の皮膚表面温度の変化

#### 4) CaseB のフットケアによる画像、皮膚血流、表面温度の変化

図5は、CaseB のフットケア前後の画像である。LSFG による血流画像は、左足の変化はわかりにくいですが、右足は足背動脈を中心に血管の走行に沿って黄色や赤色の色調が濃くなっている。サーモグラフィでは、フットケア前後とも足全体が赤く細部の色調の違いはわかりにくいですが、フットケア前は後に比べ足背全体が白っぽい。図6の皮膚血流量は、フットケア前に比較して第5趾、第1趾、足背の順に全て増加している。図7の表面温度は、足背、第1趾、第5趾ともほぼ同等にフットケア後に下降している。

#### 4. 考察

##### フットケアによる皮膚血流、表面温度変化と画像の特徴

両事例ともフットケア後に皮膚血流は増加し、血流画像の色調は暖色傾向になった。このことは、フットケアの炭酸泉浴による血流促進効果と考える。足背に比べ足趾の血流増加率が高いのは、足趾には爪下粘膜の毛細血管分布が多く、より微小循環の促進を反映しているためであろうか。

表面温度は、浮腫のある事例の足背以外は全て

フットケア後に低下した。これは、炭酸泉浴により足が温められた後に空気にさらされ温度が低下したこと、足浴後タオルによって足の水分を拭き取る際に気化熱が奪われたことが原因と考えられる。サーモグラフィ画像の色調は、温度が高い方が白っぽく映るが、細部の違いは明瞭ではなかった。

画像の色調は、LSFG による画像の方がサーモグラフィ画像よりも足の部位の変化が詳細にわかり、事例によっては血管の走行もはっきりと可視化できた。

足背に浮腫のある事例では、フットケア後に足背の表面温度が下降せず上昇しており、間質液による保温効果および熱放散の低下が示唆された。さらに、浮腫のない事例と比較して血管の走行が見えにくいのは、レーザー光が間質液により血球を照射しにくいことも考えられた。今後、他の浮腫のある事例とも比較しながら検討していく必要がある。

#### 5. 今後の研究と LSFG 測定 の課題

今回は、2事例のフットケア前後に LSFG とサーモグラフィの測定を行い、LSFG によるフットケアの循環促進効果を可視化する可能性を確認できた。今後は事例を増やして病状や足病変との関連を引き続き検討していく必要がある。

フットケア外来でのLSFGによる皮膚血流測定は、無侵襲で簡便、リアルタイムに測定でき、患者への有用性が期待できる。しかしながら、機器の設定に時間や場所を要すること、画像や数値の結果を出すのに時間がかかる点が今後の臨床測定に向けて課題である。

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）－，張替直美，箕越功浩，山口県立大学学術情報，第9号，81-85,2016

\*本研究は、平成28年度（2016年度）日本学術振興会科学研究費（基盤C）の助成を受け実施した。

### <引用文献>

- 1) Hitoshi Fujii, Kunihiko Nohira, Yuhei Yamamoto et al :Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing, Part1. APPLIED OPTICS, Vol.26, No.24, 5321-5325, 1987
- 2) Yuhei Yamamoto, Takehiko Ohura, Kunihiko Nohira et al :Laserflowgraphy: A New Visual Blood Flow Meter Utilizing a Dynamic Laser Speckle Effect. PLASTIC AND RECONSTRUCTIVE SURGERY, April, 884-894, 1993
- 3) 藤井仁：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，Vol.39, No.4, 246-252, 2000
- 4) 藤井仁：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
- 5) 田川博，佐々木紀子，田下垂左子 他：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
- 6) 大浦武彦，大浦紀彦，松井傑，内山英祐：操作が簡単なレーザースペックルフローグラフィ（LSFG，下肢血流測定器）の使用経験～痛みがなく，4秒で撮れて且つカラーマップで示される血流計～，日本下肢救済・足病学会誌，Vol.7, No.3, 173-184, 2015
- 7) レーザースペックル二次元血流画像化法による皮膚血流量測定の意義，箕越功浩，張替直美，高橋則善，藤居仁，長坂祐二，日本フットケア学会雑誌，vol.15, No.4, 2017
- 8) レーザースペックル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）－，張替直美，箕越功浩，山口県立大学学術情報，第7号，1-6, 2014
- 9) レーザースペックル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－