レーザー画像血流計の開発と応用

山本有平, 大浦武彦, 杉原平樹, 小野一郎, 松本敏明, 皆川英彦, 井川浩晴,
野平久仁彦*, 浅見謙二**, 藤居 仁***

北海道大学医学部形成外科, *日鋼記念病院, **旭川厚生病院,

***九州工業大学電子情報工学科

索引用語: レーザー血流計, 画像血流計, サーモグラフィー, 血管腫, 皮弁

Development and Application of the Laserflowgraphy

Yuhei Yamamoto, M.D., Takehiko Ohura, M.D., Tuneki Sugihara, M.D., Ichiro Ono, M.D., Toshiaki Matsumoto, M.D., Hidehiko Minakawa, M.D., Hiroharu Ikawa, M.D., Kunihiko Nohira, M.D.*, Kenji Azami, M.D.** and Hitoshi Fujii, Ph.D.***

Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Faculty of Medicine, University of Hokkaido, Sapporo 060

*Nikko Memorial Hospital, Muroran 051, **Asahikawa Kosei Hospital, Asahikawa 078, ***Department of Computer Science and Electronics, Kyushu Institute of Technology, Iizuka 820

ABSTRACT

The laserflowgraphy, was developed to visualize the skin blood flow, has been applied to measure the microcirculation in various angiopathy, avascularized skin and several types of skin flaps. These laserflowgrams were evaluated, and some of them were compared with the thermograms.

The thermograms were under the influence of deeply influent arteries, on the other hand the laserflowgrams reflected the cumulative microvascular blood flow to the depth of the papillary dermis of the skin.

It was noted that the microvascular circulation of the skin is displayed as the mottled pattern, is variably distributed, which was never found by means of the conventional laser flow meters that can measure the blood flow of only one spot in the observation area at one time.

This laserflowgraphy can measure the skin blood flow noninvasively, quickly and sequentially at any place, so it is very useful and practical.

Key words: Laser Flow Meter, Laserflowgraphy, Thermography Hemangioma, Flap

緒言

われわれは、これまでレーザースペックル現象を利用して、皮膚血流の二次元分布図である血流マップを求め、それをカラーグラフィックに表示できるレーザー画像血流計を開発し、その有用性について発表してきた^{1), 2), 3), 4), 5)}。今回はこれまで本血流計を用いて測定してきた形成外科領域における血管腫、閉塞性動脈硬化症、flapのモニターなどの臨床例、および駆血による皮膚血流の変化、flapの血流動態の実験例などについて、一部サーモグラフィーと比較対照しながらその結果を報告し、現在まで本レーザー画像血流計を使用してきた経験をもとに本血流計の特性について検討を加える。

測定対象および結果

本レーザー画像血流計を用いて測定してきた臨床例ならびに実験例について供覧する。以後、本レーザー画像

血流計で得られた画像をレーザーフローグラムと呼ぶ。なお比較対照したサーモグラムは日本電気三栄株式会社のサーモトレーサ6T62を用いて測定した。

1. 単純性血管腫: 浅在型 (Superficially located type) では血管腫領域の皮膚血流は高値を示すが、深在型 (Deeply located type) では皮膚表層の血流はあまり高くない⁶⁾ (図1)。

2. 動静脈奇形 (左小指): 隣接する正常な環指、中指に比べ明らかに皮膚血流は低い。しかし動静脈奇形では深部の血管は発達し、シャントが生じ皮下血流量は多く、サーモグラムでは高温域として表示される (図2)。

3. 動静脈奇形 (右膝部): 正常な左膝部に比べ皮膚血流は低い。しかし前出と同様に動静脈奇形では深部の血流は高いので、サーモグラムでは高温域として表示される (図3)。

4. 閉塞性動脈硬化症に生じた難治性潰瘍 (左内果部): 潰瘍底部不良組織の血流は低いが、肉芽が生じている部分や潰瘍周辺部の未熟な癒着組織は高血流を示す。サ

ーモグラムでは後脛骨動脈が皮下の浅いところを走行する部位に一致して高温域になっている(図4)。

5. 閉塞性動脈硬化症に生じた難治性潰瘍(右下腿部)：前出と同様に潰瘍底部不良組織の血流は低く、肉芽や潰瘍周辺部の未熟な瘢痕組織の血流は高い。また潰瘍が生じてない部分の血流も正常人に比べると低い。サーモグラムでは潰瘍部を中心に著しい低温域になっている。潰瘍の左下方にのびている低温域は皮下に生じた細長い死腔部分と一致している(図5)。

6. 駆血状態の指尖：正常人の示指をネラトンカテーテルで5分間駆血し測定した。示指末節部の血流は低くなっている(図6)。

7. 各圧下の駆血状態の前腕：血圧100/80 mmHgの正常人の上腕部をエアートニックを用い50, 100, 200 mmHgの圧で5分間駆血し、前腕部の血流状態を測定した。血流の低下は様でなく、場所により差異が見られ、最高血圧以上の圧で駆血すると血流はほとんどみられなくなる(図7)。

8. random pattern flapのdelay：肉眼でややうっ血している左側のflapが明らかに低い血流値を示す(図8)。

9. 家兎の耳介に作製したaxial pattern flapとrandom pattern flap：本血流計でflapの血流動態の経時的变化を測定した。術直後よりaxial pattern flapでは耳介中心動静脈が走るflap正中部より辺縁部へ血流値の勾配がみられ、random pattern flapではflapのproximal sideよりdistal sideへの血流値の勾配がみられ、術後6時間にはその勾配は非常に明らかになる⁷⁾(図9)。

考 案

われわれが新しく開発したレーザー画像血流計はレーザースペックル現象を利用することにより皮膚の乳頭下層あたりまでの毛細血管内の赤血球の動きを直接捉えることができること、観測野の血流分布を二次元的にカラーグラフィックに表示できること、生体に侵襲を加えずに短時間でかつ連続的に測定が行えること、などの特徴を有している⁴⁾。

皮膚は均一な組織ではなく、レーザーの透過性が一定ではない。くわえて皮膚血流は三次元の複雑な血管網より構成されていて、レーザースペックル現象を用いた皮膚血流計が皮膚のどれくらいの深度の血流を測定しているのかについては現在も疑問が残されている。われわれはこれまで検討を重ねてきて^{8),9)}、また皮下静脈が真皮直下を走行し透けて見える皮膚を測定しても皮下静脈に一致した高血流域は得られないといったような経験的なことから、本血流計では皮膚表層より真皮の浅い層つまり乳頭下層あたりまでの血流の累積値を測定表示してい

図1 単純性血管腫の臨床例(左)とLaserflowgram(右)。Superficially located type(上)の皮膚表層血流は高いが、Deeply located type(下)の皮膚表層血流はあまり高くない。

図2 動静脈奇形(左小指)の臨床例(左上) Laserflowgram(左下)、Thermogram(右)。小指の皮膚血流は低い、Thermogramでは高温域に示される。

図3 動静脈奇形(右膝部)の臨床例(左上) Laserflowgram(左下-右膝部、右下-左膝部)、Thermogram(右上)。右膝部の皮膚血流は低い、Thermogramでは高温域に示される。

るものと考えている。今回の血管腫の症例でも、血管腫組織が主として真皮上層に分布する浅在型では高血流を示し、深在型では血流値はあまり高く表示されない。動静脈奇形の症例でも、サーモグラムでは流入動脈域に一致して高温域が示されているが、本血流計では皮膚血流は低く示され、深部血流に影響されない。閉塞性動脈硬化症においてもサーモグラムでは動脈が皮下の浅い層を走行している部位は高温域として示されるのに対し、本血流計では肉芽部分や未熟な瘢痕組織の部分が高血流域として表示され、表在血流を反映している。こうした今回の測定結果は本血流計が、皮膚表層のおそらくは真皮乳頭下層あたりまでの血流状態をきわめて忠実に反映し

図4 閉塞性動脈硬化症に生じた難治性潰瘍(左内果部)の臨床例(左)、Laserflowgram(右下)、Thermogram(右上)。潰瘍底部不良組織の血流は低い。Thermogramでは後脛骨動脈の部位に一致して高温域になっている。

図6 駆血状態の指尖の臨床例(左)、Laserflowgram(右)。示指末節部は低血流を示す。

図8 random pattern flapをdelayした臨床例(左)、Laserflowgram(右)。うっ血している左側のflapの血流が低い。

ていることを示すものである。本血流計は末梢循環動態を二次元的にカラー画像として表示できるためサーモグラフィーと比較されるが、サーモグラフィーは皮膚表面より放射される赤外エネルギーを測定する装置であり、それは深部の流入動脈に影響されており、本血流計とは全く別のもので今回の測定結果が明確に物語っている。

本血流計で正常人の皮膚を測定すると、血流マップはまだら模様になり、皮膚血流の分布が一定でないことが判明し、従来のレーザースペックル血流計である一点のみを測定した場合、皮膚血流の値にばらつきが存在した原因が解明された。そして今回の駆血の実験で流入血流

図5 閉塞性動脈硬化症に生じた難治性潰瘍(右下腿部)の臨床例(左)、Laserflowgram(右下)、Thermogram(右上)。肉芽や潰瘍周辺部の未熟な瘢痕組織の血流は高い。Thermogramでは潰瘍部を中心に著しい低温域になっている。

図7 上腕部をエアートニックを用い50, 100, 200 mmHgの圧で5分間駆血した(上)際の前腕部のLaserflowgram(下)。駆血圧により血流の低下は一樣でなく場所により差異が見られる。

図9 家兎の耳介にaxial pattern flapとrandom pattern flapを作製し(左)、flapの血流動態の経時的変化を測定した。flap正中より辺縁部へ血流値の勾配がみられるaxial pattern flapのLaserflowgram(右上)。flapのproximal sideよりdistal sideへの血流値の勾配がみられるrandom pattern flapのLaserflowgram(右下)。

が減少した場合、皮膚血流の分布変化が一様ではなく場所により差があることもわかった。また動物実験でflapを挙上した際、axial pattern flapとrandom pattern flapでは異なる血流値の勾配が生じることも判明した。こうした所見は、本血流計が観測野の血流分布の二次元表示を可能にしてはじめて得られたもので、一点のみを測定する機能しかもたない今までのレーザー血流計では測り知れなかったことである。

皮膚血流を測定する方法は数多くあるが、その中で現在最も信頼されているものに ^{133}Xe クリアランス法がある。しかし生体への侵襲や測定装置や設備また経済的な

問題から、容易にベッドサイドで皮膚血流を測定するというような実用性には乏しい。この点、本レーザー画像血流計は生体に無侵襲に短時間でかつ連続的にどこでも測定ができ、皮膚表層の血流動態を明確に把握でき非常に有用である。

これからは皮膚だけではなく、本血流計をマイクロ化し内視鏡に装着することによって、気道や消化管の粘膜の血流状態の測定も可能になると思われ、また眼底検査に利用することにより網膜の血流状態を調べることもできるのではないかと考えている。今後本画像血流計は、臨床、基礎研究の分野を問わず、多方面において多くの有用な情報を提供することが期待できる。

結 語

1) 本レーザー画像血流計を用いて測定した臨床例ならびに実験例を供覧した。

2) 本レーザー画像血流計とサーモグラフィーを血管病変例を測定し比較検討した。その結果サーモグラフィーが深部流入動脈の血流を反映しているのに対し、本血流計は皮膚表層の血流状態をきわめて忠実に反映していた。

3) 従来のレーザー血流計では測り知れなかった皮膚末梢循環動態の二次元分布、およびその変化が本血流計で得られた血流マップにより判明した。

4) 本レーザー画像血流計は生体に無侵襲に短時間でかつ連続的にどこでも測定が可能であり実用性に富んでいる。

参考文献

1. H. Fujii, K. Nohira, Y. Yamamoto, et al.
: Evaluation of Blood Flow by Laser Speckle Image Sensing. Part 1, Appl. Opt., 26: 5321-5325, 1987
2. 山本有平, 野平久仁彦, 大浦武彦, ほか: レーザースペckル法による末梢循環系の画像化(Ⅱ), 日本レーザー医学会誌, 8(3): 169-170, 1987
3. 藤居 仁, 山本有平, 野平久仁彦, ほか: レーザースペckル法による末梢循環系の画像化(Ⅰ), 日本レーザー医学会誌, 8(4): 37-38, 1988
4. 山本有平, 野平久仁彦, 大浦武彦, ほか: レーザースペckル法による末梢循環系の画像化, 日本レーザー医学会誌, 9(1): 9-13, 1988
5. 藤居 仁, 山本有平, 野平久仁彦, ほか: レーザースペckル法による末梢循環系の画像化(Ⅲ), 日本レーザー医学会誌, 9(3): 135-138, 1988

6. 松本敏明: 単純性血管腫に対するアルゴンレーザー治療の適応と限界, 形成外科, 31(11): 992-1004, 1988
7. 山本有平, 大浦武彦, 野平久仁彦, ほか: Flapの血流動態の経時的変動について—末梢循環画像血流計による検討—, 日本レーザー医学会誌, 9(3): 507-509, 1988
8. 藤居 仁, 原田康浩, 朝倉利光, ほか: レーザースペckル現象を用いた皮膚血流測定(VII), 日本レーザー医学会誌, 7(3): 105-106, 1987
9. 小野一郎, 大浦武彦, 山本有平, ほか: レーザースペckル血流計の性能に関する基礎的検討とこれを用いた有茎皮弁の予後判定, 形成外科, 32(2): 137-145, 1989