

レーザードップラ

山田 哲也 太田 敬

要 旨：レーザードップラ血流画像化装置は無侵襲的に、しかも繰り返し皮膚表面の血流量を測定することができるばかりか、血流分布の観察も可能である。しかし皮膚血流量は多くの因子により影響を受けるため、安静時血流量の臨床的意義は少ないことから、種々の負荷条件下での血流量変化を観察することが必要である。レーザードップラによる短時間の皮膚血流量の観察だけでなく長期にわたる皮膚血流量の観察は、種々の治療効果判定に役立つ可能性があり、この検査が今後の末梢血管領域における無侵襲診断法の一翼を担うことが期待される。

(J Jpn Coll Angiol, 2005, 45: 312-316)

Key words: laser Doppler perfusion imaging, non-contrast type, reactive hyperemia

はじめに

組織内に照射されたレーザー光が毛細血管内を運動する物体(主として赤血球)に衝突すると周波数がシフトするが(ドップラ効果)、静止組織に衝突しても周波数は変化しない。受光器に戻ってくる周波数のシフトした光の割合は赤血球数に比例し、周波数のシフトの大きさは血流速度に比例するので、理論的には赤血球数と血流速度の積から血流量が算出できる。レーザードップラ血流計はこの原理を応用したもので、皮膚表面から約0.5mmの深さにある毛細血管内血流を測定できる。

レーザードップラ血流検査は、血流量だけでなく血流量や血流速度などを評価することも可能であり、今後の検査方法の工夫により、末梢血管領域における無侵襲診断法の一翼を担う検査法となり得ることが期待される。

レーザードップラ血流計の特徴

レーザードップラ血流計には非接触型と接触型の2種類がある。非接触型は、皮膚や臓器表面といった広い範囲の血流分布を面として捉えることができる反面、スキミングに時間を要するため連続測定はでき

ない。この意味においては非接触型サーモグラフィ(テレーサーモ)測定に似ている。接触型は、ある点の情報しか捉えられないが、皮膚だけでなく消化管粘膜などの微小循環を連続的に測定できる。この意味においては経皮的酸素分圧測定に似ている。本稿では非接触型レーザードップラ血流計の臨床応用について述べることとする。

非接触型のレーザードップラ血流画像化装置は PeriScan PIM II(インテグラル, PERIMED, Sweden)で、スキャナーヘッド(A)、オプトアイソレーター(B)、解析用コンピュータ(C)からなる(Fig. 1)。スキャナーヘッドからは半導体レーザー光(670nm, 1mW)が組織内に照射される。受光器に戻ってくる周波数のうち、毛細血管内を運動する物体に衝突しシフトした周波数と、静止組織に衝突して変化しなかった周波数から血流量を算出することができる¹⁾。

血流量の多い部分は赤色、少ない部分は青色というように測定部位のカラーコード化ができ、「面」として関心領域の血流分布を表示することができる。関心領域を最大で30×30cmまで設定することができるが、関心領域を広く設定するほど、長いスキャン時間を要する(30×30cmで約1分30秒)。しかしながら測定範囲の設定は任意であり、スキャン時間短縮を図ることも

可能である。

測定条件

測定はレーザー光に支障を来さないような暗所で行う。また皮膚血流量は室温、湿度、気流、室温への順化時間、季節といった外的因子のほか、肢位、発汗、発熱、食事摂取、感情、日内変動などの内的因子により影響を受けるため、環境条件の設定や精神的安定には十分配慮する必要がある。無風状態、室温 $26\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度60%以下の条件下で、20～30分間の室温への順化時間をとってから検査を開始することが重要である。

臨床応用

安静時の皮膚血流は前述のごとく測定時の外的、内的因子に大きく影響される。Staticな状態での皮膚血流量測定は、糖尿病性神経症患者の動静脈吻合を流れるシャント血流増加の証明などの特別な場合に試みられているに過ぎないが²⁾、時に虚血性潰瘍周辺に起こっている創傷治癒に必要な反応性充血の観察が可能なこともある(Fig. 2)。

しかし、一般には負荷前後のdynamicな皮膚血流量の変化を測定するのが普通であり、運動負荷、体位負荷、阻血負荷、温度負荷、薬剤負荷³⁻⁷⁾などが試みられている。

(1) 冷水負荷テスト

サーモグラフィと同様に、冷水負荷テストはレイノー病、レイノー症候群の診断に役立つ。冷水負荷法には氷水 4°C に10秒間、または 10°C に1分間浸す2方法が一般的であり、非接触型レーザードップラを使用するのがよい。回復時間の遅延があれば本疾患を疑う。

(2) 運動負荷テスト・阻血負荷テスト

慢性動脈閉塞性疾患の側副血行路の血液供給予備能力を知るために運動負荷テスト、阻血負荷テストの臨床的意義は大きい。

下肢挙上・下垂試験(Ratschow's test)における下肢下垂後の皮膚血流量の変化(Fig. 3)や、大腿部、下腿部、足関節部などを各部位の収縮期圧より50mmHg高い圧で3～5分間の駆血し、駆血解除後の皮膚血流量の変化

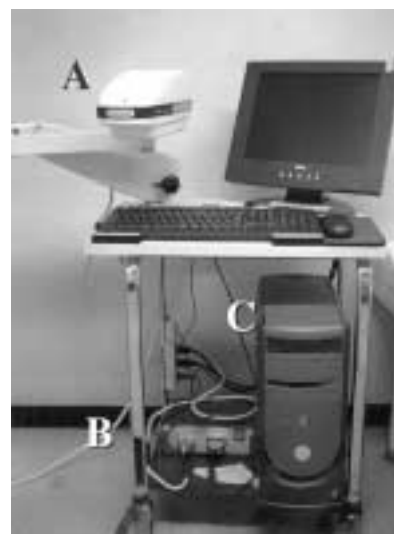


Figure 1 Laser Doppler Perfusion Imager System (PeriScan PIM II®).
A: Scannerhead.
B: Optoisolator.
C: Computer for analysis.

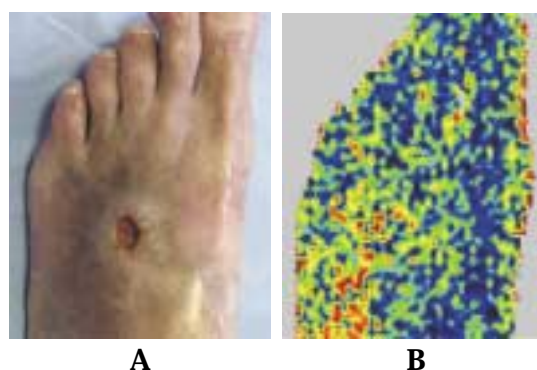


Figure 2 Laser Doppler perfusion imaging of the dorsum pedis in a 58-year-old patient with Buerger's disease.
A: Ischemic ulcer shown on the dorsum pedis.
B: Reactive hyperemia around the ulcer.

(Fig. 4)を、非接触型レーザードップラにより客観的に捉えることができる。虚血が重症なほど足部の反応性充血の開始時間は遅延するが、潰瘍がある場合には治療目的部位における変化も観察できる。

これらの負荷テストにおいては、運動量や阻血時間を一定にして検査を繰り返すことにより、薬剤や血管新生治療の効果を数日～数カ月の間隔を経て評価でき

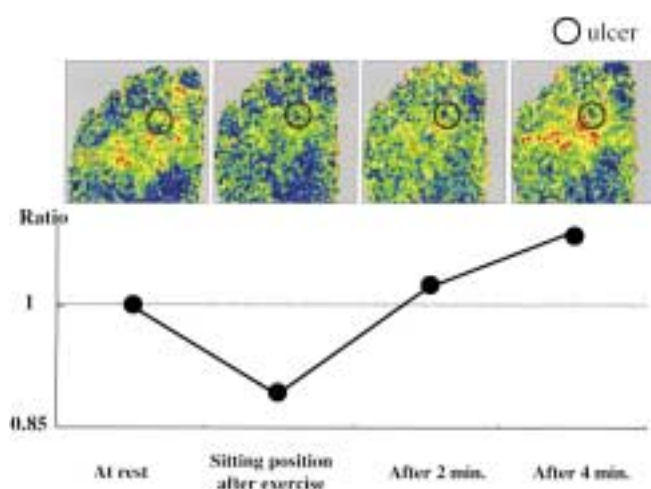


Figure 3 Serial changes in laser Doppler perfusion imaging of the dorsum pedis after Ratchow's exercise. Excessive reactive hyperemia around the ulcer is shown after 4 minutes in a 36-year-old patient with Buerger's disease.

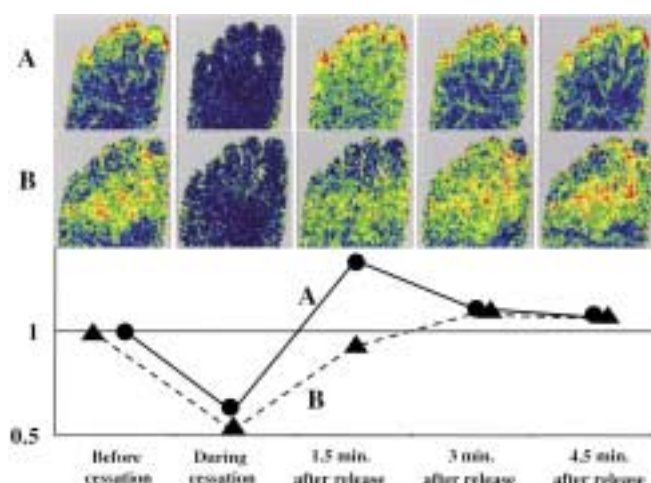


Figure 4 Serial changes in laser Doppler perfusion imaging of the dorsum pedis after cessation of arterial flow for 3 minutes. A: Immediate appearance of reactive hyperemia is shown in a 31-year-old healthy volunteer. B: Delayed appearance of reactive hyperemia is shown in a 36-year-old patient with Buerger's disease.

る可能性がある。その際の血流量変化は、絶対値ではなく、測定開始値とピーク値の比率やピークに達するまでの時間などで評価するのがよい。

(3) 薬剤負荷テスト

イオントフォレーシスを利用した薬剤負荷による糖尿病性神経障害患者の皮膚血流量^{5,6)}、人工炭酸泉浴後の皮膚血流量⁷⁾を観察した報告があるが、これらも一種の薬剤負荷に相当すると考えてよい。短時間(1~2時間以内)の薬剤効果判定に関してはサーモグラフィ検査と同様に本法も有用な手段となり得る。血管拡張剤投与後に皮膚血流量が増加すれば創治癒が期待

できるとの報告があるが⁸⁾、実際に治療目的部位の皮膚血流量の変化を観察してみると、1)投与後より増加する、2)投与後一時的に減少するが投与前値に回復する、3)投与後減少したまま回復しない、の3タイプがみられる(Fig. 5)。Steal(盗血)現象やborrowing-lending(貸借)現象により、治療目的部位での皮膚血流量減少がみられることもあり、側副血行路の血液供給予備能力の十分でない肢への血管拡張剤投与は慎重でなければならない。

おわりに

レーザードップラ血流検査は、広範囲な皮膚血流変

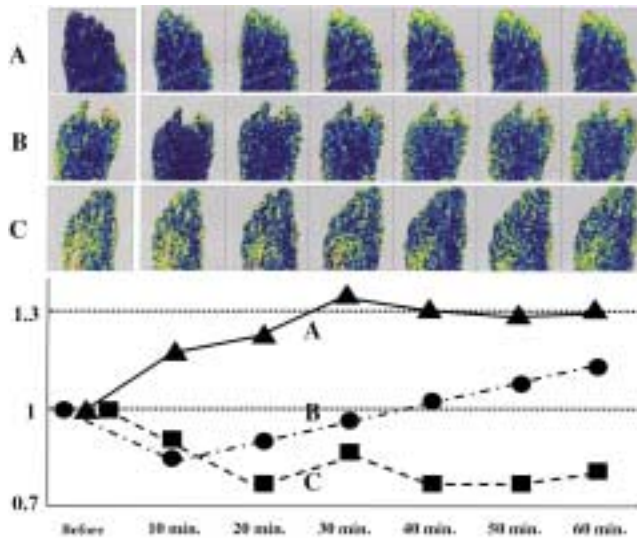


Figure 5 Ischemic feet were divided into 3 types in observing serial laser Doppler perfusion images of the dorsum pedis after intravenous lipo-PGE₁ administration for 30 minutes.

A: An immediate increase of the foot skin blood flow after lipo-PGE₁ administration.
 B: A decreased foot skin blood flow only during lipo-PGE₁ administration.
 C: A decreased foot skin blood flow during and after lipo-PGE₁ administration.

化をほぼリアルタイムに描出することができ、しかも患者に苦痛を与えることなく反復して検査できるという利点がある。サーモグラフィに比べ、血流量、血流速度なども同時に測定でき、より多くの情報が得られるという長所があるが、さまざまな負荷をさらにうまく工夫することにより、短時間の観察だけでなく長期間の治療効果判定に必要となる多くの情報が得られる可能性があり、この検査が今後の末梢血管領域における無侵襲診断法の一翼を担うことが期待される。

文 献

- 1) Wardell K, Jakobsson A, Nilsson GE: Laser Doppler perfusion imaging by dynamic light scattering. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1993, **40**: 309–16.
- 2) Netten PM, Wollersheim H, Thien T et al: Skin microcirculation of the foot in diabetic neuropathy. *Clin Sci (Lond)*, 1996, **91**: 559–565.
- 3) Bornmyr S, Svensson H, Lilja B et al: Skin temperature changes and changes in skin blood flow monitored with

laser Doppler flowmetry and imaging: a methodological study in normal humans. *Clin Physiol*, 1997, **17**: 71–81.

- 4) Picart C, Carpentier PH, Brasseur S et al: Systemic sclerosis: blood rheometry and laser Doppler imaging of digital cutaneous microcirculation during local cold exposure. *Clin Hemorheol Microcirc*, 1998, **18**: 47–58.
- 5) Veves A, Akbari CM, Primavera J et al: Endothelial dysfunction and the expression of endothelial nitric oxide synthetase in diabetic neuropathy, vascular disease, and foot ulceration. *Diabetes*, 1998, **47**: 457–463.
- 6) Arora S, Veves A, Caballero AE et al: Estrogen improves endothelial function. *J Vasc Surg*, 1998, **27**: 1141–1146; discussion 1147.
- 7) 松尾 汎, 林富貴男, 武田 裕他: 虚血肢への人工炭酸泉足浴の効果に関する研究. *脈管学*, 2000, **44**: 923–928.
- 8) Gschwandtner ME, Koppensteiner R, Maca T et al: Spontaneous laser Doppler flux distribution in ischemic ulcers and the effect of prostanoids: a crossover study comparing the acute action of prostaglandin E₁ and iloprost vs saline. *Microvasc Res*, 1996, **51**: 29–38.

Laser Doppler Perfusion Imaging of the Dorsum Pedis

Tetsuya Yamada and Takashi Ohta

Department of Vascular Surgery, Aichi Medical University, Aichi, Japan

Key words: laser Doppler perfusion imaging, non-contract type, reactive hyperemia

In addition to the capability to observe blood flow distribution, the Laser Doppler Perfusion Imager (LDPI) measures skin perfusion non-invasively and repeatedly. The fact that multiple factors affect skin perfusion and clinical significance of blood perfusion at rest is limited indicates the necessity to examine changes in blood flow volume under various stressed conditions. While short- and long-term observations of skin perfusion with the LDPI can be useful in evaluating various treatments, this non-invasive inspecting approach is expected to play a significant role in screening and diagnosing peripheral arterial disease. (J Jpn Coll Angiol, 2005, **45**: 312–316)