

原 著

## レーザー血流計と指先容積脈波の比較

—安静時, および計算負荷, 深吸気負荷時における検討—

東京女子医科大学 脳神経センター神経内科学教室 (主任: 丸山勝一教授)

ミウラ	ヨウコ	ヤマウチ	テルオ	スギシタ	ユウコ
三浦	庸子	山内	照夫	杉下	裕子
タケミヤ	トシコ	マルヤマ	シヨウイチ		
竹宮	敏子	丸山	勝一		

(受付 平成4年8月21日)

**Comparison of Laser-Doppler Measurement with Photoelectric Digital Plethsmography:  
Under the Basal Condition and Mental Arithmetic, Deep Inspiration**
**Yoko MIURA, Teruo YAMAUCHI, Yuko SUGISHITA, Toshiko TAKEMIYA  
and Shoichi MARUYAMA**

 Department of Neurology (Director: Prof. Shoichi MARUYAMA), Neurological Institute,  
Tokyo Women's Medical College

We compared laser-Doppler measurement (LD) with photoelectric digital plethsmography (DPG). In 27 volunteers, digital skin blood flow were measured by laser-blood flow meter (ALF21 by ADVANCE Comp.), under the basal condition and mental arithmetic, deep inspiration. Simultaneously, the heights (HV) and dicrotic index (DI) of DPG, and P of the linear differential DPG (velocity plethsmography: VPG) were measured.

Basal skin blood flow by LD correlated well to HV and P. HV and P decreased after mental arithmetic and deep inspiration. The same decrease of blood flow were observed by LD. DI which was thought to be the reflection of the tone of sympathetic nervous system increased after mental arithmetic, but decreased after deep inspiration. The point which was equivalent to DI of DPG couldn't be detected on the wave form of blood flow by LD.

From above the results, LD is useful almost similar to DPG for examination of peripheral circulation. However, at present, for the understanding of physiological mechanism, DPG might have more merits than LD partially by analysis of wave form. Both of mental arithmetic and deep inspiration had been used as the examination of sympathetic nervous system; nevertheless, our results suggest that there are different physiological mechanism between these examination and careful reevaluation is always necessary for tests of autonomic nervous system, even if the test have been deal with as routine work.

## はじめに

近年, メディカルエレクトロニクスの進歩に伴い, 医療機器は次々と新しく開発され, 研究および臨床の場に提供されるが, その適応に際してはその機器の特性を見極めた利用法が望まれる。また異なる検査法を用いた論文のデータを比較する

ためにも検査法間の基礎値の比較が必要となる。

(光電式)指先容積脈波(以下DPG)は長年の研究により末梢循環動態の分析に有用であることが明らかであるが<sup>1)~3)</sup>, 近年, レーザー血流計が開発され, 各方面の応用がさかんに行われてきている。両者ともに非侵襲的な末梢循環の検査法であ

るが、両者を比較検討した報告は現在までにみられないようである。

目的：DPG とレーザー血流計を用い、両法の基礎値、負荷試験前後の値を比較検討し、今後の臨床応用および研究の基礎とすること、および皮膚血流を減少させる負荷法として、しばしば用いられる計算負荷と深吸気負荷のもつ意義について検討を加える。

### 対象および方法

#### 1. 対象

健康成人、男性 8 例（平均年齢：26.8±3.1歳）女性 19 例（平均年齢：27.8±5.4歳）で計 27 例（平均年齢：27.4±5.4歳）。

#### 2. 方法

室温 25℃ で 15 分間安静仰臥位の後、左右の指先に DPG を装着し波形、波高に左右差のないことを確認後、右第 2 指に DPG、左第 2 指先掌側にレーザー血流計（アドバンス社製 ALF21）のプロベを装着、基礎値、および皮膚血流を減少させる負荷法として、計算負荷、深吸気負荷を行い、DPG とレーザー血流計からの値を同時記録を行った。脈波の計測法を図 1 に示す。

#### 3. 検討項目

以下の項目につき計測、検討を行った。

- (1) DPG の波高（以下 HV：単位 mV/V）とレーザー血流計の血流量（以下 BF：単位 ml/min/100g）の相関の有無。
- (2) DPG の一次微分波（速度脈波：VPG）の P 値（単位：mV/V/s）と BF の相関の有無。
- (3) 計算負荷前後の HV、P、BF の変化。
- (4) 深吸気負荷前後の HV、P、BF の変化。
- (5) 計算負荷、深吸気負荷前後の DPG の切痕係数（Dicrotic Index、以下 DI）。

### 結 果

#### 1. HV と BF の相関（図 2）

DPG の波高（HV）とレーザー血流計の血流量（BF）の基礎値の比較を行った。HV と BF の間には相関係数 0.745、危険率 0.0001 以下で有意な正の相関が認められた。

#### 2. P と BF の相関（図 3）

次に DPG の一次微分波の P 値と BF の基礎値

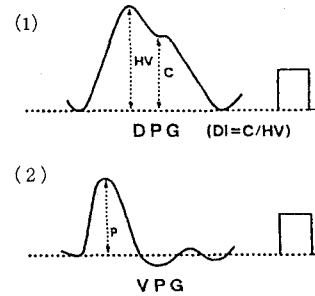


図 1 脈波の計測法

- (1) DPG（指先容積脈波）。HV：縮期峰までの高さ、DI：切痕までの高さ（C）を HV で除した値 C/H。
- (2) VPG（速度脈波）。P：DPG を時定数 0.01 で一回微分した波の立ち上がりから最初の変曲点までの高さ。

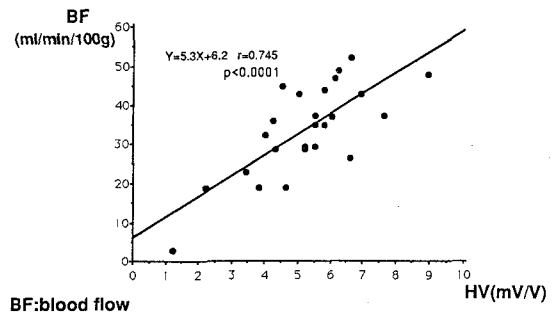


図 2 HV と BF の相関

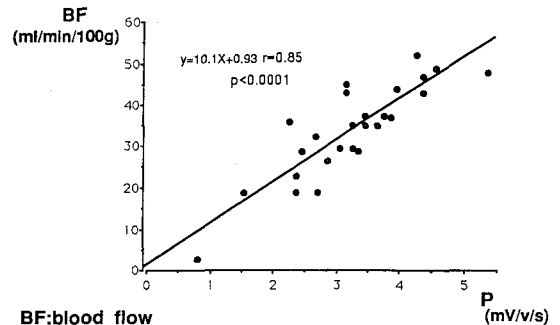


図 3 P と BF の相関

の比較を行った。P 値と BF の間においても相関係数 0.85、危険率 0.0001 以下で有意な正の相関が認められた。P と BF の間の相関係数は HV と BF の間の相関係数に比べ、有意差はなかったが、大であった。

安静時における基礎値では HV と BF、P と BF の間に高い相関があり、DPG とレーザー血流

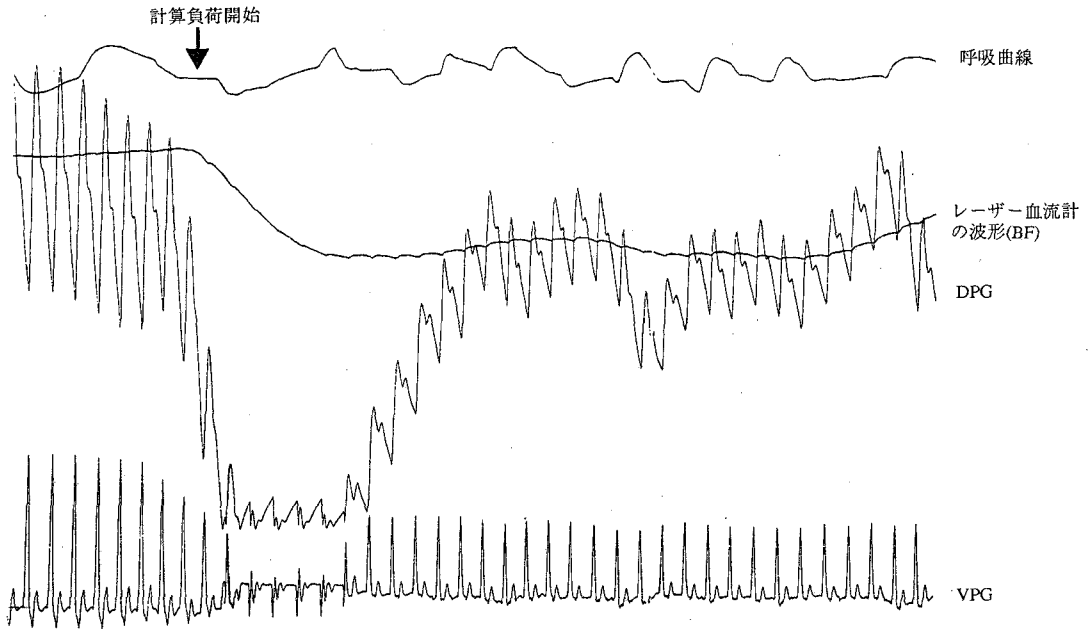


図4 計算負荷時のDPG, VPG, レーザー血流計によるBFの実際の波形の1例

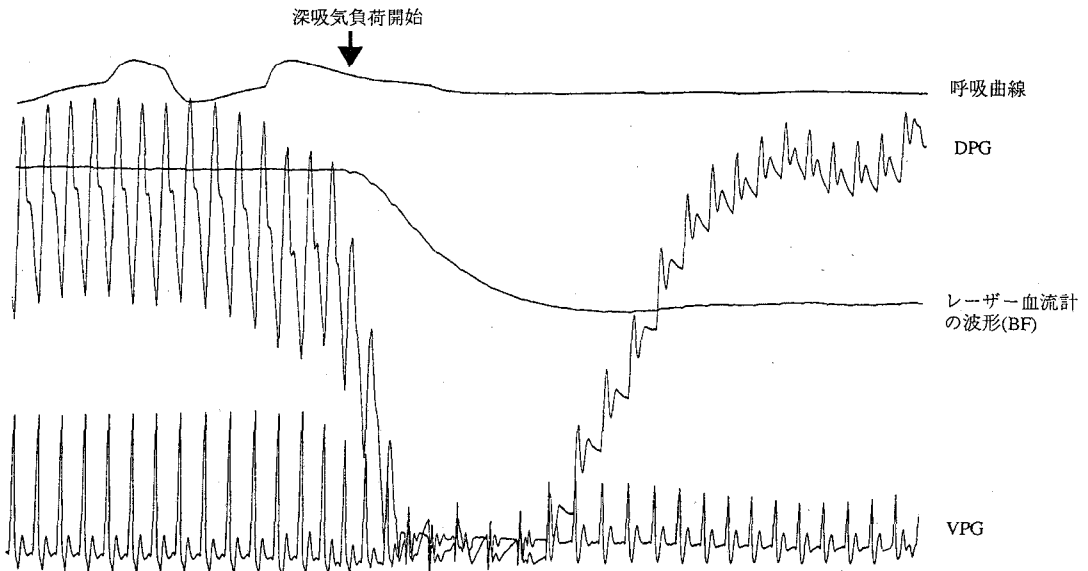


図5 深吸気負荷時のDPG, VPG, レーザー血流計によるBFの実際の波形の1例

計はほぼ同様に応用できると考えられた。

次に短時間の血流変化への対応を比較するために計算負荷、および深吸気負荷を行った。図4、5に計算負荷、および深吸気負荷時それぞれの実際の波形を示す。

### 3. 計算負荷前後のHV, P, BFの変化(図6)

まず計算負荷前後のHV, P, BFそれぞれの变化を示す。HV, Pと同様にBFでも深吸気により前値に比べ有意な低下が認められた。

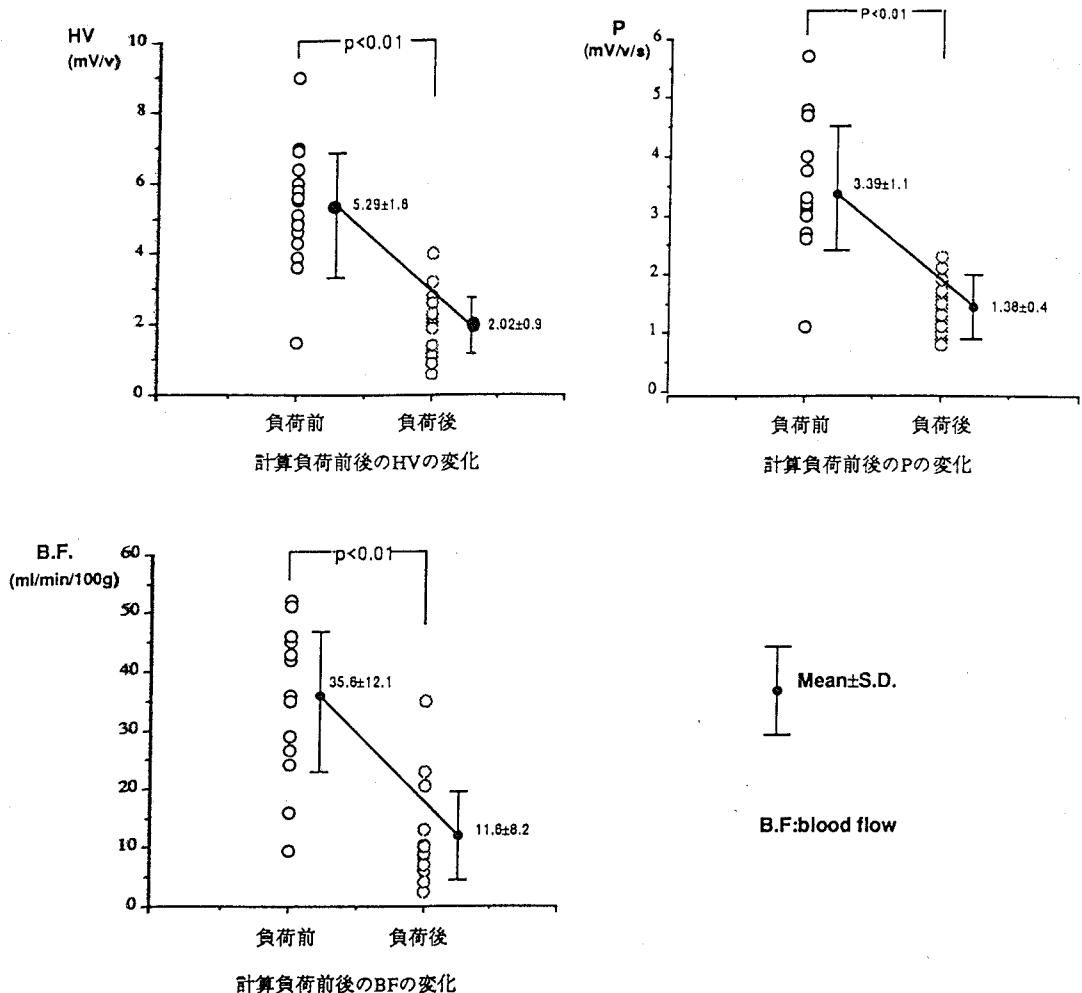


図6 計算負荷前後の HVV, P, BF の変化

#### 4. 深吸気負荷前後の HV, P, BF の変化(図7)

深吸気負荷前後の HV, P, BF の変化を示す。HV, P と同様に BF においても前値に比べ低下が認められた。

また、計算負荷、深吸気負荷ともに負荷時は DPG は基線の動揺があるが、VPG は安定しており、波形計測が容易であった。

#### 5. 計算負荷前後の DI の変化 (図8)

計算負荷前後の DPG の DI 値の変化を示す。DI 値は前値に比べ、計算負荷後上昇している。

#### 6. 深吸気負荷前後の DI の変化 (図9)

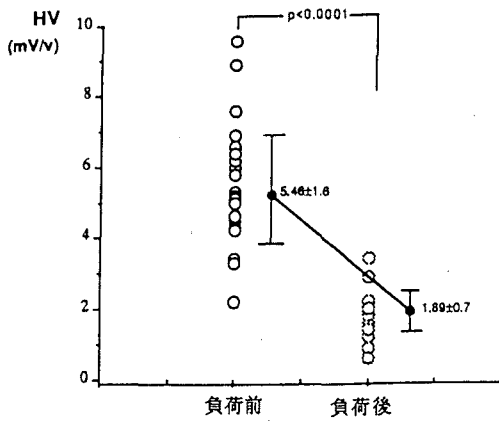
深吸気負荷前後の DPG の DI 値の変化を示す。DI 値は前値に比べ、計算負荷の場合とは逆に有意

に低下している。なおレーザー血流計による波形ではほとんどの例で DPG の DI に相当するようなものは認め難く、波形分析は困難であった。

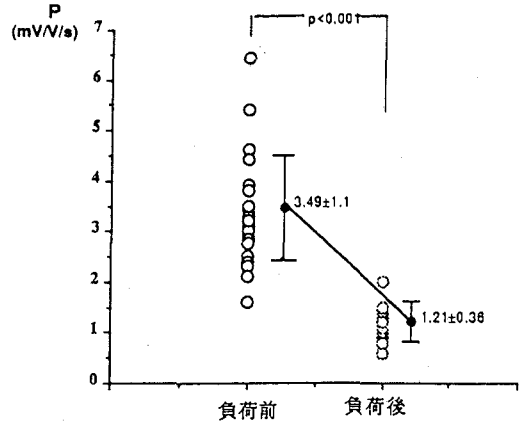
#### 考案

##### 1. DPG とレーザー血流計の比較について

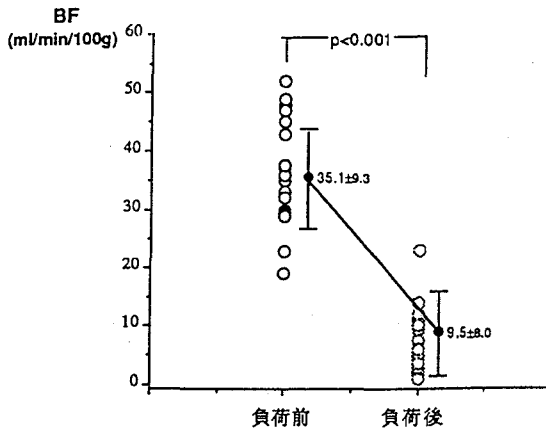
非侵襲的な末梢循環の血流量の検査法として従来の容積脈波法には、水あるいは空気脈波、ストレーンゲージ脈波法、インピーダンス脈波法、本研究で用いた光電式容積脈波 (DPG) 等があり、またそのなかでも最も正確に流量を知るテクニックとして静脈閉塞性脈波法がある<sup>4)</sup>。DPG は近赤外線を主体とした光線を用い、細動脈レベルのヘモグロビン量の容積変化をとらえ血流量の目安と



深吸気負荷前後のHVの変化



深吸気負荷前後のPの変化



深吸気負荷前後のBFの変化

Mean ± S.D.  
B.F.: blood flow

図7 深吸気負荷前後のHV, P, BFの変化

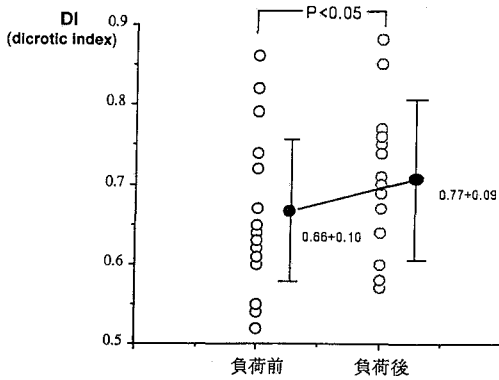


図8 計算負荷前後のDIの変化

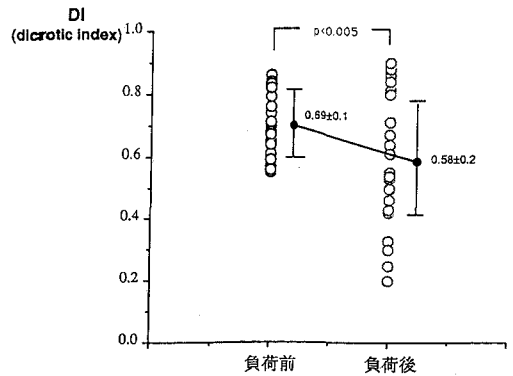


図9 深吸気負荷前後のDIの変化

しているものであり<sup>5)</sup>、一方、レーザー血流計は単一の波長をもったレーザー光を用い、プローベより半径1mmの組織中の赤血球の速度と量から血流量を測定している<sup>8)</sup>。両者の原理と観察部位にはこのような違いがある。

いままでに静脈閉塞性プレチスモグラフとレーザー血流計との比較を試みた文献はいくつかあり<sup>7,8)</sup>、いずれも両者のデータ間に高い相関を認めている。しかしDPGとレーザー血流計の比較を行った文献は我々の検索した限りでは見られなかった。今回の結果から皮膚血流あるいは末梢循環の基礎値をみるためにはDPGとレーザー血流計はほぼ同等に使用が可能であると考えられた。さらに短時間の血流変化を来す負荷試験においても両者ともに応用が可能である。しかし深吸気負荷と計算負荷におけるDPGのDIの変化の違いのように血流変化を来した機序についての循環動態の詳細な検討は現時点ではDPGにおいてのみ可能であった。

## 2. 計算負荷法と深吸気負荷法について

計算負荷と深吸気負荷は両者ともに容易に皮膚血流を減少させる方法として知られている<sup>9,10)</sup>。本研究の結果からも皮膚血流は計算負荷後および深吸気負荷後にDPG上のHV、P値、レーザー血流計上のBF値ともに減少しているが、DPGのDI値は計算負荷後は上昇、深吸気負荷後は逆に低下した。

DPGのDI値は血管壁の緊張度、ひいては交感神経の緊張度を反映するとされている<sup>5)</sup>。つまり、計算負荷では交感神経の緊張亢進、深吸気負荷においては緊張低下が起きているとDIの変化か

らは考えられる。

いままでの論文では計算負荷と同様に深吸気負荷による皮膚血流の減少も交感神経を介した血管収縮の結果であるとした論文がほとんどであり、その一つの根拠として、交感神経節切除術後、深吸気負荷時にみられた皮膚血流減少の反応が減弱、あるいは消失することを指摘しているものが多い<sup>4,9)~12)</sup>。しかしDPG上の波形からは両者の負荷法に、一方はDIの上昇、他方は低下という異なる生理学的機序の存在が推察された。

本研究で観察された深吸気負荷時のDI低下を説明する機序の一つとして、深吸気により胸腔内圧が下がり、右心房への静脈還流が急激に促進され、迷走神経が主体である心肺受容体反射を介することにより<sup>3,4)</sup>副交感神経有意となり、血管壁の緊張度は低下したことが考えられる。

計算負荷と深吸気負荷に限らず、種々の自律神経系検査に関与している生理学的要因は多彩であり、一概に単一の因子を介した反応と断定するには、慎重を期すべきと思われる。さらに、自律神経系の検査については従来から行われているものであっても、検査法のもつ意義、結果の解釈については常に慎重な再検討を要すると考えられた。また、レーザー血流計の波形上からは血流量の減少のみが読み取れるのみでそれ以上の波形解析は困難であった。

最後にDPGとレーザー血流計の臨床応用上の比較を示す(表)。生体への侵襲の有無についてはいずれも非侵襲的な検査法である。観察部位はDPGは細動脈レベルの容積変化をみることにより血流量を観察しているが、その微分波形を求め

表 (光電式)指先容積脈波(DPG)とレーザー血流計の臨床応用上の比較

	(光電式)指先容積脈波(DPG)	レーザー血流計
生体への侵襲	非侵襲的	非侵襲的
観察部位	細動脈レベルの血管の容積変化 血液量を反映	プローベより半径1mmの組織血流量 血液量と速度を反映
絶対値評価	行われていない	(可能)
測定可能な部位	指先、趾先および耳垂に限られる	身体各部位への応用が可能
直接得られるデータの形	アナログ波形	デジタル数値、波形
病態解明	波形分析により情報が多い	現時点では?

ることにより、ある程度血液速度の評価も可能である。レーザー血流計は血流量と速度を同時に反映し、血流量を求めている。絶対値評価に関してはレーザー血流計は動物の灌流実験において絶対値が校正され、他の組織への応用にはやや問題が残るものの一応行われている。DPGに関しては絶対値評価は行われていない。測定可能な部位に関してはDPGは指先、趾先および耳垂部に限られるが、レーザー血流計は身体各部位への応用が可能であり、さらには形成外科領域の皮弁、手術や神経筋生検中の組織血流の測定への応用<sup>15)</sup>が可能である。直接得られるデータの形としてはDPGは一般的なモデルではアナログ波形であり、レーザー血流計は直接デジタルの数値として表示されるがアナログ出力により波形として記録も可能である。病態解明については現時点では波形解析が進んでいるDPGのほうが詳細に検討が可能である。

以上より、今後も指先容積脈波法とレーザー血流計両者の長所を生かした臨床上の応用が望ましいと考えられた。

### 結 語

1. 指先容積脈波 (DPG) の波高 (HV) とレーザー血流計での血流量 (BF) は高い相関を示した。
2. DPG の一次微分波の P 波高と BF も高い相関を示した。
3. 計算負荷、深吸気負荷により HV, P は減少し、BF でも同様の変化が認められた。
4. 血管壁の緊張度、交感神経の緊張度を反映するとされている DPG の DI 値は計算負荷では上昇、深吸気負荷では減少した。両者はともに皮膚血流が減少する負荷法であるが、皮膚血流減少の際の末梢血管反応に異なる生理学的機序の存在が推察された。また、自律神経系の検査法においては通常行われているものであってもその検査法の持つ意義、解釈については常に再考が必要と考えられた。
5. 今後も指先容積脈波法とレーザー血流計両

者の長所を生かした臨床上の応用が望ましいと考えられた。

### 文 献

- 1) 竹宮敏子：臨床脈波について。東女医大誌 46：1-12, 1976
- 2) 山口晴子：脈波による動脈硬化度判定の臨床的研究。東女医大誌 49：527-544, 1979
- 3) 三浦明子：自律神経機能検査に利用した指先容積脈波法。東女医大誌 51：729-751, 1981
- 4) Bernstein EF: Noninvasive Diagnostic Technique in Vasculr Disease. 3rd ed, pp97-150, Mosby, St Louis (1985)
- 5) 吉村正治：臨床脈波判読講座。pp17-116, 金原出版, 東京 (1974)
- 6) 鹿嶋 進, 橋爪俊幸, 満井顕太郎：レーザー血流計の特性。日レーザー医学会誌 9：3-7, 1988
- 7) Winsor T, Haumschild DJ, Winsor DW et al: Clinical application of laser Doppler flowmetry for measurement of cutaneous circulation in health disease. Angiology 38：727-736, 1987
- 8) Johnson JM, Taylor WF, Shephred AP et al: Laser-Doppler measurement of skin blood flow: Comparison with plethsmography. J Appl Physiol (Respirat Environ Exercise Physiol) 56：798-803, 1984
- 9) Cooke JP, Creager MA, Osmundson PJ et al: Sex differences in control of cutaneous blood flow. Circulation 82：1607-1615, 1990
- 10) Strandnes DE, Priest RE, Gibbons GE et al: Combined clinical and pathologic study of diabetic and nondiabetic peripheral arterial disease. Diabetes 13：366-372, 1964
- 11) Burch GE: Digital Plethsmograph. pp65-70, Grune & Stratton, New York (1954)
- 12) Strandness DE, Bell MD: Peripheral vascular disease; diagnosis and objective evaluation using a mercury strain gauge. Ann Surg 161：11-14, 1965
- 13) 村松 準 監訳：循環の生理。第2版, pp151-195, 医学書院, 東京 (1989)
- 14) 井上通敏, 多田道彦：心臓と末梢血管の神経性調節。第1版, pp40-47, メディカルトリビューン, 東京 (1991)
- 15) Tahmouh AJ, Bowen PD, Bonner RF et al: Lasser Doppler blood flow studies during open muscle biopsy in ptients with neuromuscular diseases. Neurology 33：547-551, 1983