

## レーザースペックル現象を利用した非侵襲的生体眼虹彩末梢循環解析

富所 敦男<sup>1)</sup>, 玉置 泰裕<sup>2)</sup>, 富田 憲<sup>3)</sup>, 永原 幸<sup>4)</sup>, 新家 眞<sup>4)</sup>, 藤居 仁<sup>5)</sup><sup>1)</sup>大宮赤十字病院眼科, <sup>2)</sup>東京都老人医療センター眼科, <sup>3)</sup>東京厚生年金病院眼科<sup>4)</sup>東京大学医学部附属病院分院眼科, <sup>5)</sup>九州工業大学情報工学部

## 要 約

レーザースペックル現象を利用した虹彩末梢循環の非侵襲的二次元血流速度解析装置を試作した。半導体レーザー照射により虹彩上に生じたスペックルパターンの時間的変動から算出される normalized blur (以下, NB 値) を血流速度の指標として用いた。有色家兎虹彩では角膜輪部に近いほど測定領域の NB 値の平均値は大きく, NB 値のばらつきは周辺部と瞳孔縁の中間部で最も小さかった。また, NB 値の時間的なばらつきを表す再現性指数は 5 分間隔で 8.8%, 24 時間間隔では 14.1% で

あった。虹彩 NB 値測定と microsphere 法による虹彩組織血流量測定を同一個体において同時に行い, 両者の相関を検討したところ, 相関係数は 0.57 ( $p < 0.0072$ ,  $n = 20$ ) であり, 本来, 血流速度の指標として用いた NB 値の測定領域の平均値が虹彩組織血流量の指標となり得ることが示された。(日眼会誌 99:143-148, 1995)

キーワード: レーザースペックル現象, 虹彩, 血流速度, 血流量, マイクロスフェア法

## Noninvasive Two-dimensional Analysis of Iridial Circulation Using the Laserspeckle Phenomenon

Atsuo Tomidokoro<sup>1)</sup>, Yasuhiro Tamaki<sup>2)</sup>, Ken Tomita<sup>3)</sup>, Miyuki Nagahara<sup>4)</sup>, Makoto Araie<sup>4)</sup> and Hitoshi Fujii<sup>5)</sup><sup>1)</sup>Eye Clinic, Omiya Red Cross Hospital<sup>2)</sup>Eye Clinic, Tokyo Metropolitan Geriatric Hospital<sup>3)</sup>Eye Clinic, Tokyo Kosei Nenkin Hospital<sup>4)</sup>Department of Ophthalmology, University of Tokyo Branch Hospital<sup>5)</sup>Department of Computer Science and Electronics, Kyusyu Institute of Technology

## Abstract

We have developed an apparatus using the laser speckle phenomenon for noninvasive two-dimensional measurement of the peripheral circulation of the iris. The normalized blur of the speckle pattern (NB-value) was adopted as an index of the blood velocity in the tissue. It was found that the average NB-value of the pigmented rabbit iris was gradually increasing from pupil margin to periphery. The coefficient of variation of the NB-value in the middle area of the iridial width was the smallest. The coefficient of reproducibility of the NB-value measured in the same area twice at 5-minute intervals was 8.8%, and that at 24-hour intervals was

14.1%. The NB-value of the iris showed a good correlation ( $r = 0.57$ ,  $p < 0.0072$ ,  $n = 20$ ) with the iridial blood flow rate measured at the same time by the microsphere technique when intraocular pressure was adjusted to 20 mmHg or 40 mmHg. This result suggests that the NB-value can be useful for quantitative assessment not only of the blood velocity but also of the blood flow rate in the iridial tissues. (J Jpn Ophthalmol Soc 99:143-148, 1995)

Key words: Laser speckle phenomenon, Iris, Blood velocity, Blood flow rate, Microsphere technique

別刷請求先: 338 埼玉県与野市上落合 903 大宮赤十字病院眼科 富所 敦男  
(平成6年7月11日受付, 平成6年9月7日改訂受理)

Reprint requests to: Atsuo Tomidokoro, M.D. Eye Clinic, Omiya Red Cross Hospital, 903 Kamiochiai Yono-shi, Saitama-ken 338, Japan

(Received July 11, 1994 and accepted in revised form September 7, 1994)

## I 緒 言

虹彩, 毛様体は眼組織の中でも血管に富んだ組織であり, 総眼血流量のうちのかなりの部分が虹彩, 毛様体に供給されている<sup>1)</sup>. 前眼部の血流動態に関する知見は臨床および眼生理学, 眼病理学上重要と考えられる. 従来の生体眼での前眼部血流動態の非侵襲的解析法としてはフルオレセイン蛍光虹彩血管造影<sup>2)~6)</sup>, サーモグラフィによる角膜表面温度計測<sup>7)~11)</sup>などが知られているが, 十分な信頼性を持った定量的解析は両者とも現在のところ困難である. 血球などの多数の散乱粒子にコヒーレンシーの高いレーザー光を照射したときにそれぞれの散乱粒子からの反射光の干渉によりランダムなパターンを示すことをレーザースペckル現象<sup>12)</sup>といい, スペckルパターンの時間的変動により血流速度を定量的に測定することが可能である<sup>13)~18)</sup>. 現在までにレーザースペckル現象を用いて視神経乳頭, 網膜, 脈絡膜などの末梢循環を解析する装置が開発され, その測定値が microsphere 法による組織血流量とよく相関することを既に報告<sup>19)~24)</sup>した. 虹彩の循環動態の解析に本法を用いた報告が過去に内田ら<sup>25)</sup>, 古川ら<sup>26)</sup>によりなされている. しかし, それらによる結果は他の既に確立された血流測定法での結果と比較検討されておらず, さらに, 用いられたスペckル値 (average difference, AD 値) については, 散乱粒子の移動速度がある値以上では測定値の定量性が不良であるという問題点が指摘されている<sup>19)20)26)</sup>. それに対し, 今回の測定に用いた NB 値は, ごく遅い移動速度の場合を除いて 2~130 mm/sec の広い速度域において移動速度と直線的関係にあり<sup>20)</sup>, 虹彩の血流解析においても十分な実用性を持つと考えられる. 今回我々は, レーザースペckル現象を利用した虹彩の末梢循環動態の解析機を試作し, 虹彩上の測定位置と NB 値の関係, 同一眼における NB 値の時間的なばらつきを検討するとともに, 血流速度の指標である NB 値と microsphere 法により測定される組織血流量との相関を調べた.

## II 方 法

### 1. 測定原理および装置

装置は, 玉置らの報告したレーザースペckル現象を利用した眼底末梢循環解析装置<sup>19)~24)</sup>に対し, レーザー光特性, 観察光学系などの面で改造を加えたものである. 光学系の模式図を図 1 に示す. 光学系は, 眼底カメラ (TRC-WT 3®, TOPCON 社製) に半導体レーザー (波長 808 nm, 最大出力 110 mW) およびエアセンサー (縦 100×横 100 画素, BASIS 型, CANON 社製) を付加したものである. 眼底カメラの照明光路を介して虹彩上に照射されたレーザー光により形成されるスペckルパターンをエアセンサーで検出し, 16 bit マイクロコンピュータにより血流速度の指標である NB 値 (normali-

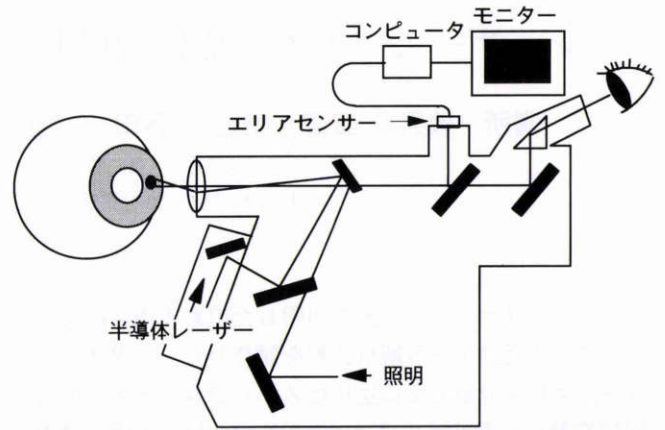


図 1 レーザースペckル虹彩末梢循環解析機の光学系の模式図.

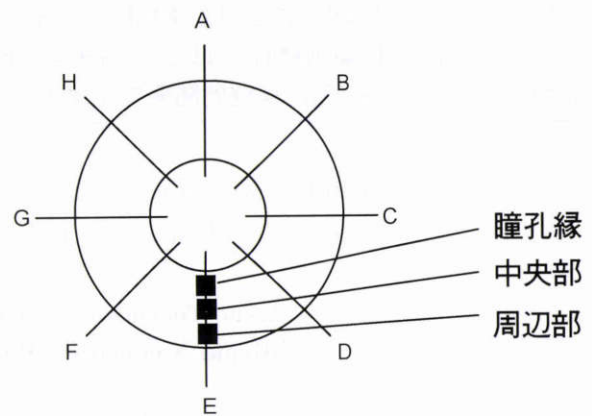


図 2 実験 1 での虹彩上での測定位置.

zed blur) が算出され, 二次元的な血流速度の分布を表すカラーマップとしてモニター上に表示される. 画角 45° を用い, 測定面積は, 虹彩上で約 0.64 mm×0.64 mm に相当する. 今回の実験では, 各画素の NB 値の 100×100 画素での平均値をその測定の NB 値として用いた. 測定中の眼球運動の有無は既報のようにエアセンサー上の 3 本の水平走査線上におけるスペckルパターンの時間変動により検出されるが<sup>19)</sup>, 0.18 秒間の測定時間中に眼球運動がみられたものは除外した.

### 2. 実験方法

以下の実験では, すべて体重 1.5~2.0 kg の成熟有色家兎 (Dutch rabbit) を用いた. また, すべての実験での NB 値の測定は連続して 3 回行い, その平均値を代表値とした. 測定は装置の観察光量を最大にし, 完全明順応下で行った. NB 値測定ごとに瞳孔径を計測し, 同一個体での複数回の測定で瞳孔径が有意に変化していないことを確認した.

#### 1) 実験 1: 虹彩上の測定位置と NB 値の関係

有色家兎 9 匹 9 眼を用い, 虹彩上の測定位置と NB 値の関係につき検討した. 押田式固定機 (夏目製作所製) に家兎を固定後, ウレタン (カルバミル酸エチル) 4.0 mg/kg を耳介静脈から緩徐に注入し全身麻酔した. 実験

中、麻酔深度の維持のため、少量のペントバルビタールナトリウム(ネンブタール®)を適宜、追加静注した。固定機に家兎を固定し、図2のように虹彩上のA~Hの8方向で、虹彩の瞳孔縁の部位(以下、瞳孔縁部)、角膜輪部に接する部位(以下、周辺部)、および両者の中間の部位(以下、中間部)の3か所においてそれぞれNB値を3回測定し、その平均値と変動係数を求めた。測定はA~Hの順、瞳孔縁部から中間部、周辺部の順に行った。

2) 実験2: 生体眼におけるNB値の時間的なばらつき

有色家兎8匹8眼を用い、生体眼における5分間隔および24時間間隔でのNB値のばらつきにつき再現性指数により検討した。実験1と同様に麻酔後、固定機に固定したまま、虹彩上の同一部位(下鼻側、瞳孔縁部と角膜輪部との中央の位置)でNB値を5分間隔で2度測定した。その後、一度麻酔を覚醒させ、さらに24時間後に虹彩上の同一位置を測定した。なお、ここでは1回目の測定値(V1)と5分後の2回目および24時間後の3回目の測定値(V2, V3)の再現性指数

$$\frac{|V1-V2|}{(V1+V2)/2} \times 100 (\%)$$

$$\frac{|V1-V3|}{(V1+V3)/2} \times 100 (\%)$$

をそれぞれ生体眼における測定値の時間的なばらつきの指標として用いた。

3) 実験3: 虹彩NB値とmicrosphere法による虹彩組織血流量の比較

有色家兎10匹10眼を用いて、虹彩NB値とcolored microsphere法による虹彩血流量測定値との相関について検討した。今回用いたcolored microsphere法による組織血流量測定値は心筋組織血流においてradioactive microsphere法による測定値とほぼ直線関係にあることが報告されている<sup>27)</sup>。実験1と同様に麻酔後、血液の凝固を防ぐためヘパリン500 IU/kgを静注した。以後ペントバルビタール(ネンブタール®)を適宜少量追加し、麻酔深度をほぼ一定に保った。血圧測定、動脈血採取のため大腿動脈を切開してカニューレを挿入し、圧力トランスデューサー(DTX®, Spectromed)とひずみ圧力アンプ(Ap-601 G®, 日本電光)に接続し、卓上型ペンレコーダー(R-OX®, 理化電機工業)で血圧変動を記録した。また、同側の内頸動脈から左心室にカニューレを挿入した。カニューレ側の対側の眼に0.1%ジクロフェナックナトリウム(ジクロード点眼液®, わかもと製薬)を点眼した後、2本の25 G針を角膜輪部から虹彩に接触せぬように注意深く挿入し、一方を上記と同型の圧力トランスデューサーおよびひずみ圧力用アンプに、他方を眼内灌流液(オペガードMA®, 千寿製薬)入りのリザーバーにそれぞれ持続し、眼圧を卓上ペンレコーダーで記録しつつリザーバーの高さを変えることにより、眼圧を20mmHg

と40 mmHgの2段階に、順に調節した。眼圧を20 mmHgの調節した5分後にカニューレ挿入と対側の眼の鼻側の中間部で虹彩NB値を3回測定し、その直後にcolored microsphere(赤色)溶液(15±0.3 μm, E-Z TRAC®) 0.25 mlを左心室内に注入した。microsphere注入時から60秒間、大動脈カテーテルから基準血液を採取した。その後、40 mmHgに眼圧を上昇させ、同様に虹彩NB値測定およびmicrosphere(青色)注入を行った。なお、各眼圧における測定終了時に大腿動脈カニューレから動脈血を採取し、全自動pH/血液ガス分析装置(Model 170®, Corning)を用いてpH, Po<sub>2</sub>, Pco<sub>2</sub>を測定した。室温を20±2°Cに保ち直腸温をサーミスタ温度計(MAGIII-219 Y®, 芝浦電機製作所)で測定した。致死量のペントバルビタールナトリウム(ネンブタール®)を静注し屠殺後、NB値測定側の眼球を摘出した。角膜輪部から約2 mm離れた位置で角膜輪部に平行に切開し前眼部と後眼部を分割後、網膜、脈絡膜を切離し虹彩を毛様体を含んだままで鈍的に強膜から剝離した。手術用顕微鏡下で虹彩から毛様体突起部を環状に切離した。虹彩裏面の虹彩突起はとくに剝離せず虹彩側に残した。Haleら<sup>27)</sup>の方法と同様の方法を用いて、得られた虹彩および基準血流中のmicrosphereの数をカウントした。なお、各眼圧時のmicrosphereはその色により識別し、各眼圧における虹彩組織血流量を算出した。

### III 結 果

#### 1. 実験1: 虹彩上の位置によるNB値のばらつき

各測定値ごとのNB値の平均値を表1に示す。A~Hの各方向でのNB値の平均値に有意差はなかった(一元配置による分散分析, F=0.58, p=0.7748)。それに対しNB値の平均値は、瞳孔縁部<中間部<周辺部の関係にあり有意な差がみられた(F=129.2, p<0.00001)。また、各位置のNB値の変動係数はそれぞれ0.12, 0.064, 0.080で中間部がNB値のばらつきが最も小さかった。

表1 測定位置ごとのnormalized blur (NB値)

	瞳孔縁部	中間部	周辺部
A	7.6±0.6	12.9±0.5	21.2±1.6
B	11.4±0.7	14.3±1.1	19.6±1.4
C	11.6±1.0	14.0±0.8	17.8±1.0
D	10.4±0.7	11.7±0.5	20.5±1.4
E	10.5±0.6	12.8±1.2	18.0±1.5
F	11.4±0.7	14.3±1.2	21.9±1.7
G	11.0±0.6	14.2±1.0	22.6±2.0
H	9.4±0.8	14.0±1.1	19.6±1.8
平均	10.4±0.7	14.0±1.1	20.1±1.5
変動係数	0.1200	0.0644	0.0804

平均値±標準誤差(n=9)

表2 実験3中の全身状態のパラメーターの変化

眼 圧	20 mmHg	40 mmHg
匹数	10	10
大腿動脈平均血圧(mmHg)	85.1±4.5	87.7±5.7
脈拍(拍/分)	290±7	300±11
pH	7.35±0.02	7.37±0.01
Pco <sub>2</sub> (mmHg)	29.7±1.2	30.8±1.2
Po <sub>2</sub> (mmHg)	84.4±6.4	87.6±5.4
直腸温(°C)	36.1±0.2	35.7±0.5

平均値±標準誤差(n=10)

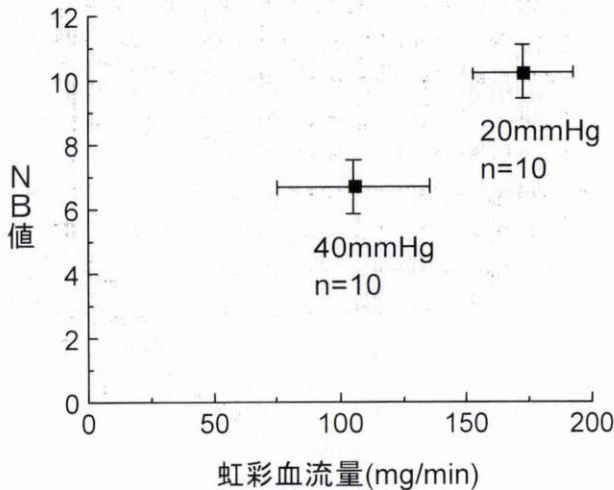


図3 虹彩 normalized blur (NB 値) と microsphere 法による虹彩組織血流量の関係。

各プロットは各眼圧における虹彩 NB 値と microsphere 法による虹彩組織血流量の平均値±標準誤差(それぞれ n=10)を表す。相関係数  $r=0.57$  ( $p<0.0072$ ,  $n=20$ )

## 2. 実験2：生体眼における NB 値の時間的なばらつき

8眼における再現性指数は5分間隔で  $8.8\pm 2.0\%$ 、24時間間隔で  $14.1\pm 3.0\%$ であった。V1とV2間、V1とV3間には有意差はなかった(対応のあるt検定, それぞれ  $p=0.457$ ,  $p=0.365$ )。

## 3. 実験3：虹彩 NB 値と microsphere 法により虹彩, 毛様体組織血流量測定値の比較

Microsphere 注入時の大腿動脈平均血圧, 脈拍および大腿動脈血 pH, Pco<sub>2</sub>, Po<sub>2</sub>, 直腸温の10匹の平均値を表2に示す。これらの全身状態のパラメーターはいずれも健康家兎の正常域内の値<sup>28)29)</sup>であり, 実験中に有意な変化はみられなかった。

虹彩 NB 値と microsphere 法による虹彩組織血流量測定値の関係を図3に示す。各プロットはそれぞれ眼圧が 20 mmHg, 40 mmHg の時の虹彩 NB 値および microsphere 法による虹彩組織血流量測定値の平均値を示す。虹彩 NB 値と組織血流量の間の相関係数は  $0.57$  ( $p<0.0072$ ) であった。

## IV 考 按

生体眼における前眼部循環動態の非侵襲的解析法としてフルオレセイン蛍光虹彩血管造影<sup>2)~6)</sup>, サーモグラフィによる角膜表面温度計測<sup>7)~10)</sup>などが現在までに報告されているが, 前者は定量性に乏しく, また短時間での頻回の測定が困難であり, 後者は角膜表面温度と前眼部循環動態の直接的な関係が明らかでなく, 循環動態を間接的に推察するにとどまっている。よって, 本実験における方法は現時点では虹彩, 毛様体の組織血流動態を生体眼で非侵襲的かつ定量的に解析可能な唯一の方法であるといえる。

実験1では, 虹彩上のさまざまな測定点での NB 値の大小およびばらつきを検討した。虹彩上では角膜輪部に近い周辺部ほど NB 値が大きく, NB 値のばらつきは中間部で最も小さい傾向を示した。家兎はヒトとは異なる虹彩, 毛様体の解剖学的特徴を有している<sup>30)</sup>。虹彩の裏面に毛様体突起から連続する虹彩突起を持ち, 毛様体自体はヒトに比べ発達していない。血管系は耳側および鼻側の2本の長後毛様体動脈が毛様体内で前毛様体動脈からの交通枝と連絡した後, 角膜輪部のすぐ内側の虹彩突起内で虹彩大動脈輪を形成する。大動脈輪から細動脈が瞳孔縁に向い放射状に走行する。したがって, 実験1の測定位置のうち, 角膜輪部近くでは大動脈輪がその測定域に含まれる可能性がある。本機では血流速度の分布が二次元的なカラーマッピングで表されるので, 測定域中の大血管の存在を測定中に類推にすることは可能だが, 実験1ではその血管を避けて測定域を設定し直すことはしなかった。測定域中の大動脈輪の有無が測定値に大きく影響するため, 周辺部で測定値のばらつきが比較的大きかった可能性がある。それに対し, 中間部では血管の分布が比較的均一のため, NB 値のばらつきが小さかったことが考えられる。また, レーザー光は生体組織中では虹彩のみならず, その裏面の虹彩突起まで浸透していると考えられ<sup>31)</sup>, 瞳孔縁部では裏面に血流の豊富な虹彩突起がないか, または不規則に存在するため NB 値が小さく, かつばらつきが大きかったことが考えられる。

実験2では生体での測定における NB 値の時間的なばらつきが示された。NB 値の再現性指数が低下する要因として生体眼の血流動態が変わることの他, 測定位置を厳密に同一にはできないことがあげられる。しかし, 本機は虹彩上で  $0.62\text{ mm}\times 0.62\text{ mm}$  という比較的広範囲な測定域を持ち, わずかな測定位置の違いは NB 値に影響しにくい特徴を持つことに加え, 前述のように本実験の測定部位である中間部は, 裏面に虹彩突起がほぼ均一に付着し, かつ血管の分布はほぼ一樣なので, わずかな位置の違いは NB 値に反映されにくいことが考えられる。

本機により算出される NB 値は理論的には血流量を

直接示す値ではなく、赤血球の移動速度に代表される血流速度を表す指標である。本法により虹彩、毛様体末梢循環の相対値を正確かつ定量的に解析するためには、血流速度の指標であるNB値が実際の虹彩、毛様体の血流量とどのような相関関係を持つのか知る必要がある。実験3で得られたcolored microsphere法による眼圧20 mmHgの時の血流量の測定値172.8 mg/min ( $\approx 1.614$  mg blood/min/mg tissue)は、過去に報告されたradioactive microsphereによるBillら<sup>32)</sup>の測定値(188 mg/min)、Morganら<sup>33)</sup>の測定値(1.33 mg blood/min/mg tissue)にほぼ一致していた。本実験では虹彩を毛様体および虹彩突起を含んで強膜から鈍的に剝離したあと、毛様体突起部に相当する部位を輪状に虹彩から切除するとともに虹彩突起は剝離しなかった。虹彩突起は虹彩に比べ組織血流量が大きく、虹彩突起を虹彩から剝離するかどうか組織血流量算出に大きく影響する。虹彩単独の組織血流量を考える場合には虹彩突起は完全に除外されることが望ましいが、家兎において両者の連絡は強固で明確に分割することは困難であり、また、半導体レーザーは虹彩から深部の虹彩突起にまで浸透し、虹彩突起の循環動態が本機による虹彩NB値の測定結果に大きく影響すると考えられるので、本実験では血流量は虹彩突起を含んで算出した。虹彩NB値とcolored microsphere法による虹彩組織血流量の測定値がよく相関したことから、本来血流速度の指標である虹彩NB値が虹彩組織血流量の定量的指標としても使用し得ることが示された。

以上、半導体レーザーによるレーザースペckル現象を利用した虹彩および毛様体の循環動態解析装置を試作した。本機は虹彩の中間部においてNB値のばらつきが小さく、再現性8.8%(5分間隔)、14.1%(24時間間隔)で、虹彩、毛様体の末梢血流速度の測定が非侵襲的かつ二次元的に可能であり、そのNB値は組織血流量の定量的指標となり得ることが示され、本機が今後の前眼部循環動態の研究にきわめて有用であることが示唆された。

#### 文 献

- Alm A: Ocular Circulation. In: Hart WM (Ed): Adler's Physiology of the Eye 9th Edition, Mosby Year Book, St. Louis, 198—227, 1991.
- Hayreh SS, Scott WE: Fluorescein iris angiography 1. Normal pattern. Arch Ophthalmol 96: 1383—1389, 1978.
- Hayreh SS, Scott WE: Fluorescein iris angiography 2. Disturbance iris circulation following strabismus operation on the various recti. Arch Ophthalmol 96: 1390—1400, 1978.
- Meyer PA, Watson PG: Low dose fluorescein angiography of the conjunctiva and episclera. Brit J Ophthalmol 71: 2—10, 1987.
- Marsh RJ, Ford SM: Blood flow in the anterior segment of the eye. Trans Ophthal Soc UK 100: 388—387, 1980.
- Olver JM, Lee JP: The effect of strabismus surgery on anterior segment circulation. Eye 3: 318—326, 1989.
- Mapstone R: Ocular thermography. Brit J Ophthalmol 54: 751—754, 1970.
- 蒲山俊夫, 鈴木 仁, 堀内二彦, 芥川泰生, 松崎 浩: 眼科サーモグラフィの研究—サーモグラフィとその眼科領域への応用—. 日眼会誌 83: 326—335, 1979.
- 大木孝太郎, 蒲山俊夫: 眼科 Thermography の研究—角膜面 Thermal Recovery 法による眼循環障害の検索. 眼紀 32: 2568—2574, 1981.
- 杉山哲也, 徳岡 覚, 中島正之, 東 郁郎: 眼圧下降剤による脈絡膜組織血流量, 角膜温度の変化—プロスタグランディン関連物質,  $\alpha$ 1遮断剤,  $\beta$ 遮断剤の比較—. あたらしい眼科 9: 1430—1434, 1992.
- 徳岡 覚, 中島正之, 西川潤子, 黒田裕美, 東 郁郎: 緑内障と眼, 皮膚の温度調整能. 眼紀 41: 1159—1165, 1990.
- Goodman JW: Statical properties of laser speckle patterns. In: Dainty JC (Ed): Laser Speckle and Related Phenomenona. Springer-Verlag, New York, 9—75, 1975.
- Felcher AF, Briers JD: Flow visualization by means of single-exposure speckle photography. Opt Commun 37: 326—330, 1981.
- Briers JD, Felcher AF: Retinal blood-flow visualization by means of laser speckle photography. Invest Ophthalmol Vis Sci 22: 255—259, 1982.
- Fujii H, Asakura T: Blood observed by time-varying laser speckle. Optics Letters 10: 104—106, 1985.
- Fujii H, Nohira K, Yamamoto Y, Ikkawa H, Ohura T: Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing, Part 1. Applied Optics 26: 5321—4325, 1987.
- Ruth B: Non-contact blood flow determination using a laser speckle method. Opt Laser Technol 20: 309—316, 1988.
- Ruth B: Blood flow determination by the laser speckle method. Int J Microcirc Clin Exp 9: 21—45, 1990.
- 玉置泰裕, 川本英三, 江口秀一郎, 新家 眞, 藤居 仁: レーザースペckル現象を利用した視神経乳頭末梢循環の生体用二次元解析機の開発. 日眼会誌 97: 501—508, 1993.
- 玉置泰裕, 川本英三, 江口秀一郎, 新家 眞, 藤居 仁: レーザースペckル現象を利用した脈絡膜末梢循環の生体用二次元解析機の開発. 日眼会誌 97: 602—609, 1993.
- 玉置泰裕, 川本英三, 新家 眞, 江口秀一郎, 藤居 仁: レーザースペckル現象を利用した網膜末梢循環の生体用二次元解析機の開発. 日眼会誌 98: 47—54, 1994.
- 玉置泰裕, 川本英三, 新家 眞, 江口秀一郎, 藤居 仁: レーザースペckル現象を利用した網膜末梢循環の生体用二次元解析—II. Microsphere法による測定値との比較—. 日眼会誌 98: 169—174, 1994.

- 23) 玉置泰裕, 川本英三, 新家 眞, 江口秀一郎, 藤居 仁: レーザースペックル現象を利用した視神経乳頭および脈絡膜末梢循環の血流測定. 日眼会誌 98: 162-168, 1994.
- 24) **Tamaki Y, Kawamoto E, Araie M, Eguchi S, Fujii H**: An application of laser speckle phenomenon for noninvasive two-dimensional evaluation of microcirculation in ocular fundus. A preliminary report. *Jpn J Ophthalmol* 37: 178-186, 1993.
- 25) 内田研一, 新家 眞, 清水莊一郎, 藤居 仁: 眼内微小循環の定量—レーザースペックル法による画像化. 病態生理 11: 41-46, 1992.
- 26) 古川秀樹, 田川 博, 藤居 仁: レーザースペックル血流画像化法を用いた家兎虹彩血流速度の測定. 日眼会誌 96: 872-877, 1992.
- 27) **Hale SL, Alker KJ, Kloner RA**: Evaluation of nonradioactive, colored microsphere for measurement of regional myocardial blood flow in dogs. *Circulation* 78: 428-434, 1988.
- 28) **Kozuma C, Macklin W, Cummins LM, Mauer R**: Anatomy, physiology, and biochemistry of the rabbit. In: Weisbroth SH, et al (Eds): *The Biology of the Laboratory Rabbit*, Academic Press, New York, 50-72, 1974.
- 29) **Neutze JM, Wyler F, Rudolph AM**: Use of radioactive microspheres to assess distribution of cardiac output in rabbits. *Am J Physiol* 215: 486-495, 1968.
- 30) **Prince JW**: *The Rabbit in Eye Research*. Charles C Thoms Publisher, Springfield, 531-542, 1964.
- 31) 阿部友厚, 米谷 新, 飯田知広, 森 圭介, 林 直樹, 磯部博明, 他: 眼球組織の吸光特性. 日眼会誌 96: 1387-1393, 1992.
- 32) **Bill A, Stjernscantz J, Alm A**: Effects of hexamethonium, biperiden and phentolamine on the vasoconstrictive effects of oculomotornerve stimulation in rabbits. *Exp Eye Res* 23: 615-622, 1976.
- 33) **Morgan TR, Green K, Bowman K**: Effects of adrenergic agonists upon regional ocular blood flow in normal and ganglionectomized rabbits. *Exp Eye Res* 32: 691-697, 1981.