

## コントラスト感度の概念と臨床応用

<sup>1</sup>東京女子医科大学眼科<sup>2</sup>清澤眼科医院<sup>3</sup>東京北部病院眼科アキヤマ ユキコ<sup>1,2</sup> ヤジ ナオコ<sup>1,3</sup> ホリ サダオ<sup>1</sup>  
秋山友紀子<sup>1,2</sup>・谷治 尚子<sup>1,3</sup>・堀 貞夫<sup>1</sup>

(受理 平成23年11月14日)

## Concept and Application of Contrast Sensitivity

Yukiko AKIYAMA<sup>1,2</sup>, Naoko YAJI<sup>1,3</sup> and Sadao HORI<sup>1</sup><sup>1</sup>Department of Ophthalmology, Tokyo Women's Medical University<sup>2</sup>Kiyosawa Eye Clinic<sup>3</sup>Department of Ophthalmology, Tokyo Hokubu Hospital

Contrast sensitivity is the evaluation of the ability to identify patterns that are not clearly outlined and without distinct contrast. Visual acuity tests are generally carried out using very high contrast images, which is insufficient when evaluating the visual functions of daily life (quality of vision). Among various diseases, there are cases in which a decrease in contrast sensitivity can be observed despite good visual acuity, while in other cases, contrast sensitivity improves as the disease subsides, but without visual acuity recovery. Contrast sensitivity can be useful to reveal visual functions that cannot be assessed by the visual acuity test. We explain the concept and definition of contrast sensitivity, methods for measuring contrast sensitivity, with an introduction to our case studies on changes in contrast sensitivity before and after photodynamic therapy for age-related macular degeneration.

**Key Words:** contrast sensitivity, visual acuity, age-related macular degeneration

## はじめに

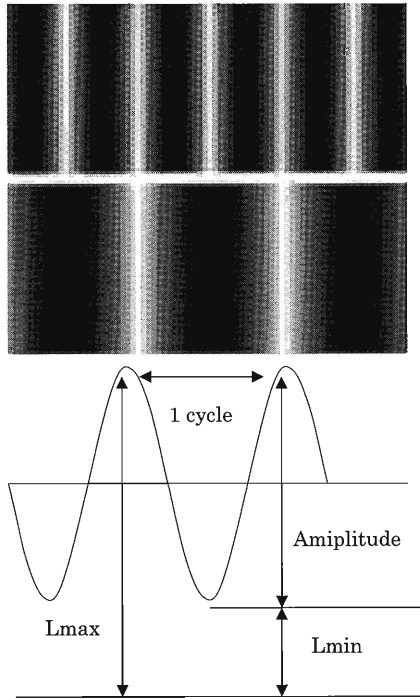
矯正視力の数値が同じであっても、患者の見え方には差がある。狭義の視力とは、どれだけ細かい物を識別できるか、すなわち2点または2線を分離して識別できる能力（最小分離閾）である。通常、視力検査は白地に黒文字の濃淡のはっきりした100%に近いコントラスト指標で行われており、形態覚の一面を評価しているに過ぎない。日常生活では濃淡や輪郭のはっきりしない物を識別しなければならず、見え方の質 quality of vision (QOV) を評価するには通常の視力検査だけでは不足である。そこで、コントラスト感度はより日常に即した形態覚を評価する方法として有用であると注目されている<sup>1)2)</sup>。

東京女子医科大学眼科（当科）にて加齢黄斑変性に対する光線力学療法（photodynamic therapy :

PDT）施行後、視力の数値は不変にも関わらず患者の自覚症状が改善する例が見られた。そこで、2005年2月～2006年6月にPDT施行前後の加齢黄斑変性患者のコントラスト感度を測定し検討した。コントラスト感度に関するいくつかの項目について自験例を交えながら解説する。

1. コントラスト感度とは<sup>1)～5)</sup>

コントラスト感度とは、見ようとする物とその背景の輝度の差を小さくしていったときに識別できる最小閾値を測定した物である。つまり、はっきりとした輪郭をもたず、しかも濃淡の差も少ない模様を識別できる能力を示す。元々、光学系の画像処理能力を評価する方法として用いられていた空間周波数特性（modulation transfer function : MTF）という概念を応用した検査であり、コントラスト感度測定



**Fig. 1** Example of sine-wave grating and definition of contrast

A sine-wave grating is a repetitive number of dark and light bars. The number of bars per one degree of visual angle determines its spatial frequency. The figure above is an example of sine-wave grating with varying spatial frequencies. The top row (thinner bars) represent higher spatial frequencies and the bottom row (thick bars) represent low spatial frequencies. The figure below shows the relationship between sine-wave grating and contrast (C). Contrast is defined as the ratio of the difference between the maximum and minimum luminance (L).

$$C = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min}) = \text{amplitude} / \text{mean luminance}$$

$L_{\max}$ : maximum luminance,  $L_{\min}$ : minimum luminance, Amplitude =  $L_{\max} - L_{\min}$ , Mean luminance =  $(L_{\max} + L_{\min}) / 2$ .

とは視覚系の MTF を測定しているのである。

### 1) 空間周波数とは

物を見るとき、画像を色（濃度、輝度）の分布図と考えた場合、その分布を波として捉えることができる。明暗を交互に繰り返す波（正弦波格子縞）のパターンを周波数として捉えたとき、この周波数を空間周波数という。空間周波数が低いと明暗パターンの幅は広くなり、空間周波数が高いと明暗パターンの幅は狭くなる（Fig.1）。空間周波数は単位長さ（あるいは単位視角）あたりに含まれる縞の数で表される。単位は cycles/degree で表される。

### 2) MTF とは

MTF とは、空間周波数とコントラストの関係を表すものである。コントラストとは、隣接する高輝度と低輝度の明暗比である。ある特定の空間周波数をもつ波（画像）をコントラスト値に変換する物である。光学分野で、カメラのレンズの特性を表すために用いられていた。視覚系の MTF を求めるときには、正弦波格子縞が指標として用いられる。正弦波格子縞とは、正弦波曲線的に濃淡が変化する縞模様で、最大輝度と最小輝度の差が振幅で、振幅の大小がコントラストである。また1周期の幅（間隔）が空間周波数である。縦軸に縞のコントラスト、横軸に空間周波数を取り、グラフにした物が視覚系の MTF である。正弦波格子縞のコントラストは  $C = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$  で表される。 $L_{\max}$  は最大輝度 maximum luminance,  $L_{\min}$  は最小輝度 minimum luminance である (Fig.1)。コントラストは  $0 \leq C \leq 1$  の値を取り、無次元量であるため単位はない。%コントラストは  $0 \leq C\% \leq 100$  で表すことが多い。視覚伝達系は、眼球光学系・網膜・網膜から大脳系からなる。視覚系全体の MTF は 4cycles/degree 辺りにピークをもつ band-pass 型（山型のパターン）であるが、眼球光学系だけの MTF は low-pass 型（右下がりのパターン）をとる (Fig.2a, b)。これは、網膜以降の側方抑制やマッハ効果（輪郭強調現象）などが関係しているといわれている。人間の視覚系全体の MTF はコントラスト感度と同意義である。

### 3) コントラスト感度曲線

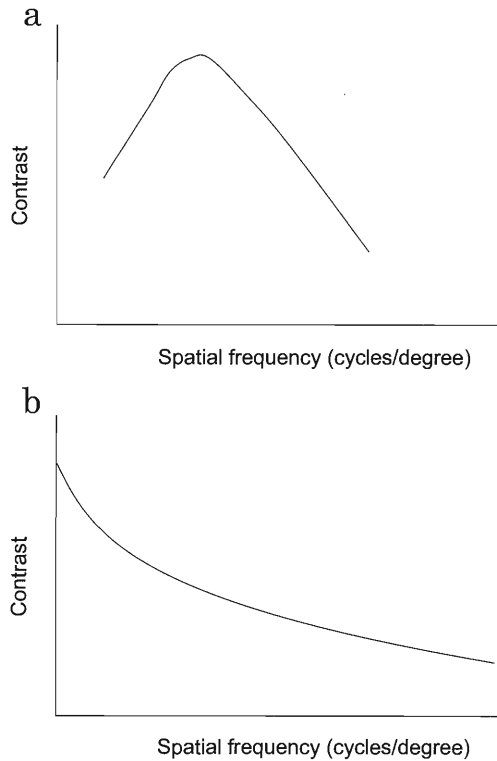
縞模様を認めるのに必要な最低のコントラストをコントラスト閾値 (contrast threshold)、コントラスト閾値の逆数をコントラスト感度という。いろいろな空間周波数においてコントラスト閾値を測定し、横軸に空間周波数、縦軸にコントラスト感度をそれぞれ対数でとってグラフとしたものをコントラスト感度曲線あるいはコントラスト感度関数という。正常では 3~6cycles/degree の中間周波数でもっとも感度が良く、その両側で感度が低下していく、band-pass 型のグラフになる (Fig.3)。

### 2. コントラスト感度測定方法<sup>5)~10)</sup>

大きく以下の3種類に分けられる。各種コントラスト検査を Table 1 に示す。

#### 1) 文字コントラスト感度

指標の大きさは一定でコントラストを変化させて測定する。指標にはアルファベット、Eチャート、



**Fig. 2**

a: Modulation transfer function (MTF) of human visual system (contrast sensitivity function)

Optical MTF of the human visual system is the same as contrast sensitivity function. Contrast sensitivity function shows a typical band-pass shape peaking at around 4 cycles/degree. Lateral inhibition and mach effect lead to a band-pass characteristic of contrast sensitivity function.

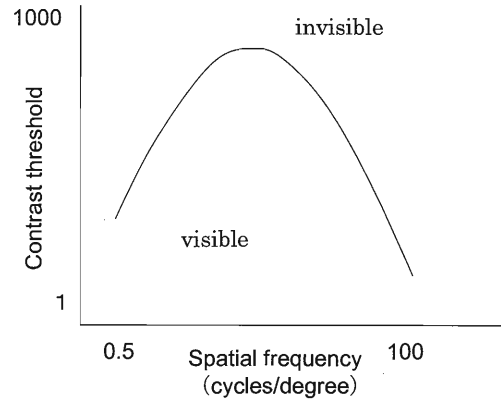
b: Optical MTF

Optical MTF shows low-pass shape. For low spatial frequencies, the MTF is close to 1 and generally falls as the spatial frequency increases until it reaches nearly zero.

Landolt 環, 単純な図形がある. 代表的なものに Pelli-Robson チャート® (Haag-Streit 社), CSV-1000 LV® (Vector-Vision 社), CAT-2000® (NEITZ 社) などがある.

## 2) 縞指標コントラスト感度

ある特定の空間周波数におけるコントラスト感度を測定するために, 鮮明な縞模様ではなく正弦波縞模様を用いる. コントラストも指標の大きさも変化する. 各周波数において, 縞の間隔が狭くなっていくときに縞模様を識別できなくなる最小のコントラスト (コントラスト閾値) を測定する. 統計学的検討の際には, log コントラストに換算したものを使う. 代表的なものに VCTS (Vision Contrast Test System® (Vistech 社)), CSV-1000E® (Vector Vision



**Fig. 3** Contrast sensitivity function

Contrast threshold is measured among different spatial frequency and plotted as shown in the graph where the horizontal axis indicates spatial frequency and the vertical axis illustrates contrast threshold (sensitivity). This graph is an example of a typical pattern of a contrast sensitivity curve of young to middle age adults. The normal curve shows a peak in the intermediate range of spatial frequencies (around 4-6 cycles/degree) where it becomes less sensitive at low and high contrast thresholds.

**Table 1** Classification of contrast sensitivity tests

Low contrast letter tests	CAT-2000® (Neitz Co.) CSV-1000LV® (VectorVision Co.) Pelli-Robson chart® (Haag-Streit Co.) SSC-350® (Menicon Co.)
Sine-wave grating tests	CSV-1000E® (Vector Vision Co.) VCTS6500® (Vistech Co.) MCT-8000® (Vistech Co.)
Low contrast acuity tests	10%EDTRS chart Wang-Katsumi® (Kowa Co.)

社) などがある.

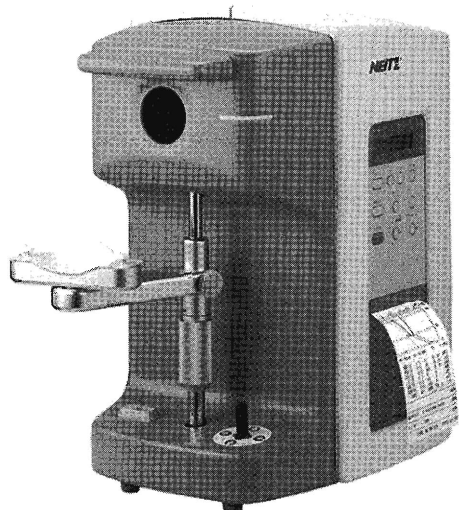
## 3) 低コントラスト視力

コントラストは低く一定に保ち, 指標の大きさを変化させて, そのコントラストにおける視力の閾値を調べる検査である. 代表的なものが 10%EDTRS チャートである.

## 4) CAT-2000® (NEITZ 社) の概要

自験例に用いた CAT-2000® (Fig. 4, 5) につき概説する. 指標に Landolt 環 (矩形波) を用いており, 被検者は log MAR 視力検査と同じ要領で行うことができる. 指標提示範囲は 1.0 ~ -0.1 log MAR までの 12 段階に対数配列になっている. 指標平均輝度は昼間視 100cd/m<sup>2</sup>, 薄暮視 5cd/m<sup>2</sup> の 2 段階に一定に設定できる. コントラスト値は 2.5, 5, 10, 25, 100% の 5 段階で, 白色 LED 光源を用いたグレア負荷照

度は 200lux である。測定距離は 40cm(補正レンズ追加により 1m 遠用), 測定条件は暗室に近い部屋で 5 分間順応させてから矯正レンズを使用し遠方視状態にする。片眼測定時は両眼開放下で片眼遮蔽する。指標を 3 回提示したときに 2 回正答で判別とみなす。



**Fig. 4** CAT-2000® (Neitz Co)  
This photograph shows the appearance of CAT-2000® (Supplied by Neitz Co.)

### 3. コントラスト感度と疾患

各種疾患とコントラスト感度について述べる。

#### 1) 加齢<sup>11)12)</sup>

加齢によりコントラスト感度は低下し、ピークの空間周波数も低周波域に移動する。原因として瞳孔の収縮、網膜の神経節細胞層の減少、水晶体の混濁、球面収差の増大などが関与しているといわれている。

#### 2) 白内障<sup>13)~15)</sup>

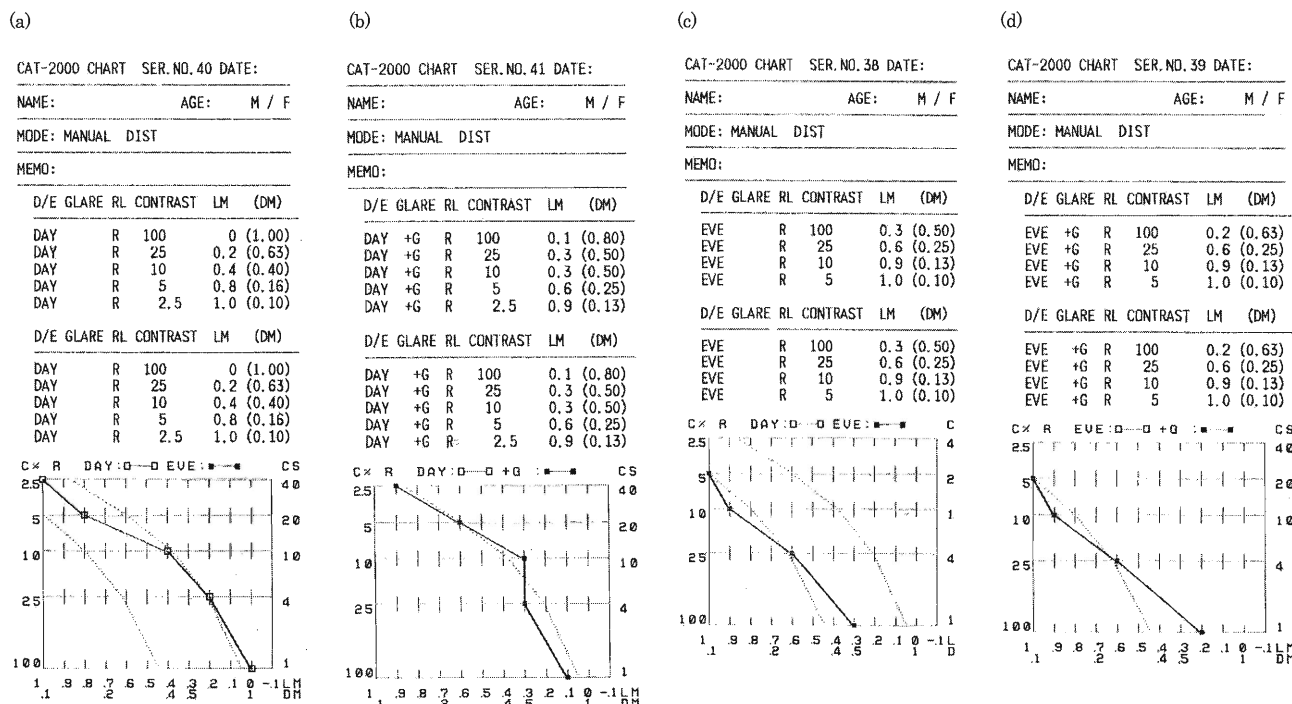
視力が保たれている初期白内障でもコントラスト感度の低下を認めることが多い。軽度白内障では、高空間周波数域のコントラスト感度の低下がまず見られ、混濁の進行により全周波数域の感度低下が見られる。また低周波数域のコントラスト感度は白内障の視機能低下をよく反映するといわれている。

#### 3) 緑内障<sup>16)~18)</sup>

緑内障患者では正常者に比較してコントラスト感度の低下が見られる。また、高眼圧症や早期緑内障ではコントラスト感度は正常で、視神経障害が進行すると高空間周波域または低周波数域の低下を示すという報告がある。

#### 4) 視神経症, 視神経炎<sup>19)~22)</sup>

急性期視神経炎ではコントラスト感度の低下を示すことが多く、視力は低下していなくても、コント



**Fig. 5** Results of contrast sensitivity function measured by CAT-2000®  
These figures are examples of a normal contrast sensitivity curve in young adults, measured using the CAT-2000®. (a) Daytime condition, (b) daytime condition with glare, (c) evening time condition, (d) evening time condition with glare.

ラスト感度とくに低周波数域の低下を認め、'hidden visual loss' といわれる。また、視力の回復よりもコントラスト感度の回復のほうが遅れることが多く、高周波域より改善し、遅れて低周波域の改善を認めることが多い。視力良好で自覚症状もない多発性硬化症でコントラスト感度の低下が見られるとの報告もある。

#### 5) 眼内レンズ挿入眼<sup>23)~25)</sup>

正常眼に比較してコントラスト感度は低下するといわれている。夜間視力およびグレア負荷の夜間視力の低下が特徴的である。従来型の球面眼内レンズから非球面眼内レンズにすることにより球面収差が減少し、コントラスト感度も低下しないように改良されている。

#### 6) 角膜屈折矯正術 (laser-assisted in situ keratomileusis : LASIK) 後<sup>25)~28)</sup>

従来型の LASIK 術後は高次波面収差が増加し、コントラスト感度、低コントラスト視力が低下することが知られている。しかし wavefront-guided LASIK の導入により、高次波面収差は少なくなり、コントラスト感度も改善が見られたとの報告もある。

#### 7) 網膜疾患<sup>2)29)</sup>

中心性漿液性網脈絡膜症、スターガルト病、ベスト病などの黄斑疾患、網膜色素変性症、糖尿病網膜症などの網膜疾患では、視力低下の進行に伴ってコントラスト感度も低下する。とくに低周波数域に比べて著明に高周波数域の低下が見られる。よって、中心視力がかなり障害されていても低周波域のコントラスト感度が保たれている例がある。逆に、視力は保たれていてもコントラスト感度には異常が見られることもある。加齢黄斑変性に関しては次項目で解説する。

### 4. 加齢黄斑変性とコントラスト感度

早期加齢黄斑変性、すなわち脈絡膜新生血管や網膜色素上皮剝離を認めない軟性ドレーゼン病変のみでは、視力に異常をきたさないことが多い。しかし、正常者と比べると、この段階からコントラスト感度の低下が見られる。高周波数域のコントラスト感度低下が初期より見られ、病期の進行に伴い低周波数域も低下する。かなり視力が低下しても、低～中間周波数域のコントラスト感度は保たれているとの報告が見られる。また、回復時には低周波数域のコントラスト感度から改善が見られ、高周波数域の感度は長期にわたり残存するとされている<sup>22)30)~33)</sup>。当科の網膜硝子体外来に通院している加齢黄斑変性患者

の PDT 施行前後、患者の自覚症状は改善しているのに視力の数値には改善がない例が多く見られた。そこで、コントラスト感度の変化が自覚症状に関係しているのではないかと考え、PDT 施行前後の加齢黄斑変性患者のコントラスト感度を測定して検討した<sup>30)</sup>。

対象は 2005 年 2 月～2006 年 6 月に当科で PDT を施行した広義の加齢黄斑変性 39 例 41 眼のうち、術前後でコントラスト感度検査を測定できた 20 例 21 眼 (男性 13 例 14 眼, 女性 7 例 7 眼) である。平均年齢は  $73.4 \pm 8.0$  歳であった。検眼鏡所見に加え、フルオレセイン蛍光眼底造影検査、インドシアニングリーン蛍光眼底造影検査、光干渉断層検査を施行し診断した。PDT は、規定に従いベルテポルフィン  $6 \text{ mg/m}^2$  (体表面積) を 10 分間かけて静脈内持続投与し、注入開始 15 分後にレーザー波長 689nm, 総エネルギー量  $50 \text{ J/cm}^2$ , 照射出力  $600 \text{ mW/cm}^2$  83 秒間、照射径は病変最大径 (greatest linear dimension : GLD) +  $1,000 \mu\text{m}$  の条件で照射した。PDT 施行直前、術後 2 週間以内、1, 3, 6 ヶ月に前述のコントラスト感度測定装置 CAT-2000<sup>®</sup> (NEITZ 社) を用いてコントラスト感度を測定し、術前後の変化について比較検討した。術後の検査結果は経過観察期間にばらつきがあるため、最終検査日の結果を用いた。

PDT 施行後に通常の log MAR 視力検査で視力が 2 段階以上改善した症例が 10 眼, 不変が 10 眼, 低下が 1 眼であった。各条件下でのコントラスト感度の変化を Fig. 6 に示す (症例の大部分が術前後ともコントラスト感度測定不能であった条件は省く)。通常の視力検査で、術前後の視力が不変でもコントラスト感度のみ改善が見られた症例は 100% 昼間視で 4 眼, 25% 昼間視で 3 眼, 100% グレア負荷昼間視で 3 眼, 25% グレア負荷昼間視で 3 眼, 100% 薄暮視で 7 眼, 25% 薄暮視で 6 眼, 100% グレア負荷薄暮視で 5 眼であった。視力は改善したのにコントラスト感度は低下してしまった症例が 100% 昼間視で 1 眼, 100% グレア負荷昼間視で 1 眼, 25% 昼間視で 2 眼, 25% グレア負荷昼間視で 1 眼見られた。これらは網膜下出血が著明な症例と、罹患してからの経過が長く広範な網脈絡膜萎縮を認めた症例だった。しかし、これらも薄暮視条件下ではコントラスト感度が改善した。100% 薄暮視で視力は改善したのにコントラスト感度は低下した症例が 1 例あったが、25% 薄暮視ではコントラスト感度も改善していた。視力は不変なのにコントラスト感度が低下した症例が 100% 薄暮視および 100% グレア負荷薄暮視にてそれぞれ

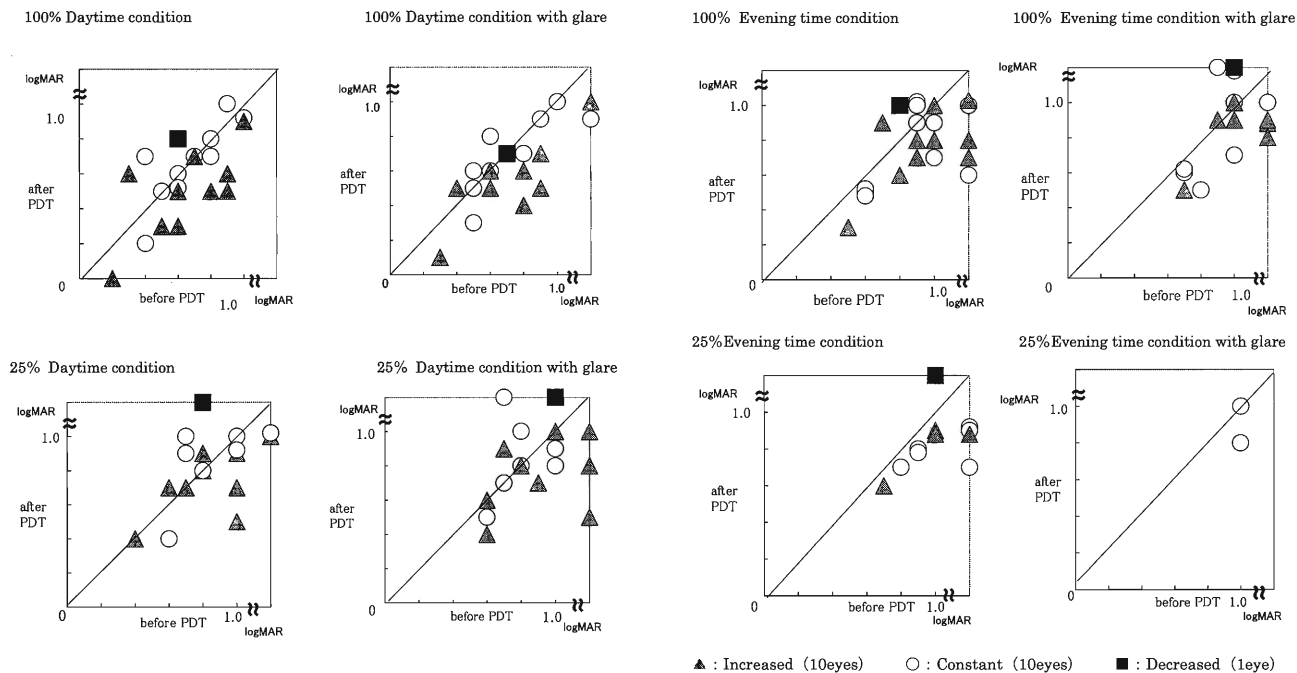


Fig. 6 Results of contrast sensitivity before and after PDT.

This figure shows the changes in contrast sensitivity before and after PDT. The triangle represents cases in which visual acuity increased, the square represents cases in which visual acuity was constant, and the circle represents cases in which visual acuity decreased.

Table 2 Relationship between subjective symptoms and visual acuity

Subjective symptoms	No. of patients	Visual acuity	No. of patients
Improved	16	Increased	8
		Constant	7
		Decreased	1
Constant	5	Increased	2
		Constant	3
		Decreased	0
Deteriorated	0		

2眼見られたが、この2症例も広範囲な網脈絡膜萎縮を認めた症例であった。コントラスト感度改善の変化は薄暮視条件で顕著であった。

PDT施行前後の患者の自覚症状と視力変化をTable 2に示す。PDT施行前後に患者の自覚症状を問診したところ、明るくなった、見やすくなった、すっきりしたなどの改善を表す表現をしたものは16眼、変わらないといったものが5眼、悪化したといったものはなかった。視力は改善しないのに自覚症状が改善していたのは7眼で、そのうち昼間視条件のコントラスト感度が改善したものが3眼、薄暮視条件のコントラスト感度が改善したものが6眼であった。薄暮視条件でのコントラスト感度の改善が

視力改善は見られないのに患者の自覚症状は改善していたことに関与しているのではないかと考えた。

TAP (the treatment of age-related macular degeneration with photodynamic therapy) Study Groupによると、minimally classic CNV (choroidal neovascularization)について術後24ヵ月で、ベルテポルフィン投与群とプラセボ群の間で視力維持率に有意差はなかったがコントラスト感度維持率については有意差が認められたという報告がされており、コントラスト感度は視力では評価できない視機能を反映できることが示唆されている<sup>35)</sup>。小嶋らによるPDT施行後24ヵ月の視力とコントラスト感度に関する検討の報告でも、視力改善8眼(21%)、不変19眼(50%)に対して、低周波数域(3cycles/degree)におけるコントラスト感度は改善22眼(58%)、不変3眼(8%)と今回の著者らの検討と同様に低コントラストでのコントラスト感度の改善が見られた<sup>34)</sup>。高周波数域は通常の視力の数値に相関しており、PDT施行により、低周波数域のコントラスト感度が改善し、視力には反映されない視機能回復により自覚症状の改善が見られたのではないかとと思われる。

#### おわりに

自験例を含めてこれまでのコントラスト感度に関する報告を見ると、コントラスト感度有用性は以下

の3つにまとめることができる。

1. ほかの視機能検査では評価できない視機能低下の存在を検知することができる。
2. 治療効果の判定として有用である。
3. QOV すなわち移動、運転、読書、顔の認識などの日常生活における視機能の評価に適している。

視機能を評価する方法として、そのほかにも視野、色覚、動体視力など各種あるが、コントラスト感度検査は外来で比較的簡単に患者の負担も少なく施行できる検査である。現在のところ、とくに広く普及しているコントラスト感度検査方法・装置はないようだが、視力とは異なる側面で微細な変化を捉えるのに非常に有用であり、患者のQOVを考えて診療・治療にあたる際に活用できると思われる。

#### 文 献

- 1) Owsley C: Contrast sensitivity. *Ophthalmol Clin North Am* **16**: 171-177, 2003
- 2) 山出新一, 黄野桃世: コントラスト感度 (MTF) の考え方. *眼科* **33** (1): 57-68, 1991
- 3) 魚里 博: 低コントラスト視力. *IOL&RS* **15**(3): 200-204, 2001
- 4) 魚里 博, 中山奈々美: 視力検査とコントラスト感度. *あたらしい眼科* **26** (11): 1483-1487, 2009
- 5) 高静 花, 前田直之: コントラスト感度. *眼科* **48** (1): 55-62, 2006
- 6) コントラスト感度と干渉縞視力. 「眼科検査ガイド」(眼科診療プラクティス編集委員編), pp117-124, 文光堂, 東京 (2004)
- 7) 長行司純子, 阿曾沼早苗, 田中仁菜ほか: 文字コントラスト感度における視標改良の試み. *眼紀* **57** (9): 655-660, 2006
- 8) 森田勝則: コントラスト感度視力検査装置 CAT-2000. *視覚の科* **23** (1): 18-20, 2000
- 9) 李 俊哉, 滝本正子, 築島謙次ほか: 新しいコントラスト感度検査装置 (CAT-2000) 試作機の評価. *臨眼* **55** (6): 1147-1150, 2001
- 10) 野上かおり, 魚里 博, 藤山由紀子ほか: CAT2000での低コントラスト視力. *日視機能訓練士協誌* **32**: 115-119, 2003
- 11) Sekuler R, Owsley C, Hutman L: Assessing spatial vision of older people. *Am J Optom Physiol Opt* **59** (12): 961-968, 1982
- 12) Owsley C, Sekuler R, Siemsen D: Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Res* **23** (7): 689-699, 1983
- 13) 吉田健一, 林 幸子, 中嶋順子ほか: コントラスト感度からみた白内障の視機能. *あたらしい眼科* **10** (2): 317-322, 1993
- 14) 弓削経夫, 小笹晃太郎, 山出新一: 白内障の混濁と視力およびコントラスト感度との相関. *日眼会誌* **97**: 619-626, 1993
- 15) 喜多敏泰, 大倉久和, 魚里 博ほか: 初期白内障眼のコントラスト感度と視力についての検討. *眼臨* **94**: 348-350, 2000
- 16) Arden GB, Jacobson JJ: A simple grating test for contrast sensitivity: preliminary results indicate value in screening for glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* **17** (1): 23-32, 1978
- 17) Stamper RL, Hsu-Winges C, Sopher M: Arden contrast sensitivity testing in glaucoma. *Arch Ophthalmol* **100** (6): 947-950, 1982
- 18) Abe H, Hasegawa S, Iwata K: Contrast sensitivity and pattern visual evoked potential in patients with glaucoma. *Doc Ophthalmol* **65** (1): 65-70, 1987
- 19) Wolkstein M, Atkin A, Bodis-Wollner I: Contrast sensitivity in retinal disease. *Ophthalmology* **87** (11): 1140-1149, 1980
- 20) Arden GB, Gucukoglu AG: Grating test of contrast sensitivity in patients with retrobulbar neuritis. *Arch Ophthalmol* **96** (9): 1626-1629, 1978
- 21) van Diemen HA, Lanting P, Koetsier JC et al: Evaluation of the visual system in multiple sclerosis: a comparative study of diagnostic tests. *Clin Neurol Neurosurg* **94** (3): 191-195, 1992
- 22) Hyvärinen L, Laurinen P, Rovamo J: Contrast sensitivity in evaluation of visual impairment due to macular degeneration and optic nerve lesions. *Acta Ophthalmol* **61** (2): 161-170, 1983
- 23) Miyajima H, Katsumi O, Ogawa T et al: Contrast visual acuities in cataract patients II. After IOL implantation. *Acta Ophthalmol* **70** (4): 427-433, 1992
- 24) Trueb PR, Albach C, Montés-Micó R et al: Visual acuity and contrast sensitivity in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses. *Ophthalmology* **116** (5): 890-895, 2009
- 25) Ginsburg AP: Contrast sensitivity: determining the visual quality and function of cataract, intraocular lenses and refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol* **17** (1): 19-26, 2006
- 26) Lee YC, Hu FR, Wang IJ: Quality of vision after laser in situ keratomileusis: influence of dioptric correction and pupil size on visual function. *J Cataract Refract Surg* **29** (4): 769-777, 2003
- 27) Pop M, Payette Y: Correlation of wavefront data and corneal asphericity with contrast sensitivity after laser in situ keratomileusis for myopia. *J Refract Surg* **20** (5 Suppl): S678-S684, 2004
- 28) Keir NJ, Simpson T, Jones LW et al: Wavefront-guided LASIK for myopia: effect on visual acuity, contrast sensitivity, and higher order aberrations. *J Refract Surg* **25** (6): 524-533, 2009
- 29) Marmor MF: Contrast sensitivity versus visual acuity in retinal disease. *Br J Ophthalmol* **70**: 553-559, 1986
- 30) Kleiner RC, Enger C, Alexander MF et al: Contrast sensitivity in age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol* **106** (1): 55-57, 1988
- 31) Midena E, Degli Angeli C, Blarzino MC et al: Macular function impairment in eyes with early age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* **38** (2): 469-477, 1997
- 32) 萱沢文男: 網膜疾患の視覚の周波数特性. *眼臨医報* **77** (10): 1450-1454, 1983
- 33) 小嶋由香, 阿曾沼早苗, 前田江麻ほか: 光線力学療法前後の視機能変化. *眼紀* **57**: 899-904, 2006
- 34) 秋山友紀子, 谷治尚子, 鹿内真美子ほか: 光線力学療法施行前後におけるコントラスト感度. *眼紀* **58**: 205-209, 2007
- 35) Rubin GS, Bressler NM, Treatment of Age-Related Macular Degeneration with Photodynamic therapy (TAP) study group: Effects of verteporfin therapy on contrast sensitivity: results from the treatment of age-related macular degeneration with photodynamic therapy (TAP) investigation-TAP report no. 4. *Retina* **22** (5): 536-544, 2002