

中心窩外，局所色覚異常検査法

色彩視野計の開発 (図7, 表1)

飯島 裕幸・佐藤 進 (山梨医科大学眼科学教室)

Perimetric Color Vision Test

Hiroyuki Iijima, and Susumu Satoh

Department of Ophthalmology, Yamanashi Medical College

要 約

局所色覚異常を検査する新しい方法 (色彩視野計) を開発した。本検査法によって網膜上での黄色純度に対する感度 (飽和度弁別能) の分布を求めることが可能となった。本法を網脈絡膜疾患および視神経疾患に臨床応用した結果、明度弁別能の検査法である従来の静的自動視野計測とは質的に異なる情報が得られた。このような情報は病変の広がりや進行をみる上で有用であり、病態の理解に役立つものと考えられる。(日眼 91: 872—878, 1987)

キーワード: 色彩視野計, 色覚異常, 飽和度弁別, 網膜局所機能, パーソナルコンピューター

Abstract

A method for evaluating extrafoveal color vision by perimetric procedures is described. A round test target tinted with yellow of various degrees of saturation is displayed in various locations on a TV monitor with a background pattern composed of round gray spots of varying luminance. The size and the shape of the background spots are the same as those of the test target and their luminance is determined at random with in the range of $18\text{cd/m}^2 \sim 80\text{cd/m}^2$. The background pattern with a yellow test target at the various locations and the other background pattern without a test target are displayed alternately. The subject is asked whether he or she noticed a yellow target in a background pattern or not. He cannot discriminate the yellow target with the cue of luminance difference because the luminance of the target is in the range of that of the background gray spots. He can only detect the target by means of the cue of the saturation difference between a target and the background gray spots. From the results of the examination performed with targets of various degrees of saturation, the just noticeable saturation difference is determined in the various points in the central visual field. A clinical application of the method disclosed that the distribution of the just noticeable difference for saturation differed from that for brightness measured with automatic static perimetry in some chorioretinal disorders and optic nerve diseases. The results indicate that the method provides information regarding local retinal function which cannot be evaluated by other perimeters. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91: 872—878, 1987)

Key words: Perimetric color vision test, Color vision defect, Just noticeable saturation difference, Local color vision, Personal computer

別刷請求先: 409-38 山梨県中巨摩郡玉穂町下河東1110 山梨医大眼科 飯島 裕幸

Reprint requests to: Hiroyuki Iijima, M.D. Dept. Ophthalmol., Yamanashi Medical College, 1110 Shimokato Tamaho-cho, Nakakoma-gun Yamanashi Pref., Japan

(昭和62年4月30日受付) (Accepted April 30, 1987)

I 緒 言

網膜の局所機能異常を検出する検査法で現在利用できるのは通常の視野検査や暗順応下での光覚閾値のプロフィール¹⁾、フリッカー視野検査²⁾などに限られる。色覚は原理的には網膜局所機能異常の指標として利用しうるが、従来の色覚検査法は視標を固視した状態で行うために、中心窩機能検査としてしか用いることができない。しかし網膜視神経疾患の経過中には、中心窩機能としての色覚は正常であっても、それ以外の部位で色覚異常が存在していることが疑われる場合がある。そのような病態において、中心窩外での色覚異常の検出とその定量的な評価は、病変の早期診断や進行経過の指標として有用性を持つことが期待される。

そこで私たちは局所的な色覚異常の広がりを検出することを目的とした新しい検査法を開発した。これは視野内の局所において提示した有彩色（黄色）と無彩色とを混同せずに認識するか否かを問うもので、黄色純度に対する感度（飽和度弁別能）とその分布を調べるものである。本論文ではその検査法（色彩視野計）の紹介とこれを実際に網脈絡膜疾患および視神経疾患に対して応用した結果について報告する。

II 実験方法

開発した色彩視野計による測定原理と具体的な方法は以下のごとくである。

1. 原理

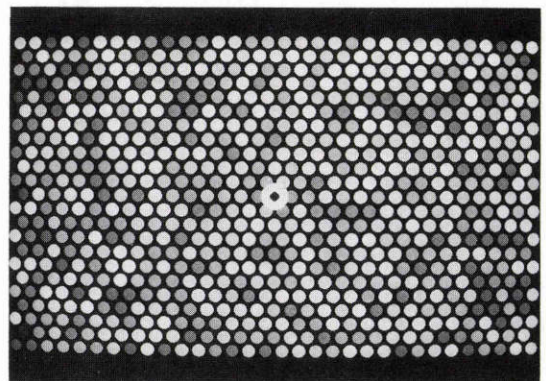
パーソナルコンピュータのディスプレイ上に種々の輝度の無彩色斑を無作為に配列した画面を作る。この画面内の固視点以外の部位に黄色斑視標を提示し、これが背景の無彩色斑と混同されずに黄色と認識されるかどうかを応答させる。この際提示される黄色視標が飽和度の違い以外の手がかり（たとえば輝度の違いや大きさ、形状など）によっては、背景の無彩色斑とは区別できないようにすることが重要である。そのため黄色視標が提示される際に、背景の個々の無彩色斑の輝度も無作為に変化させた。このような仕掛けによって、黄色に対する飽和度感覚の低下した網膜上の色覚異常領域に視標が提示された場合、被験者は黄色がみえたことを自覚しないが、色覚正常な網膜部位では、被験者は容易に黄色が視野内にみえたことを自覚する。視標として黄色を用いたのは、網脈絡膜、視神経疾患に由来する多くの後天性色覚異常では青黄異常の形をとることが多く³⁾、その際、中性色帯は波長570

nm 付近の黄色領域にある⁴⁾ことを利用したものである。

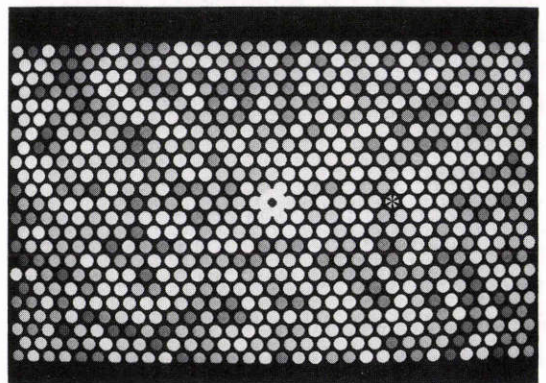
以上の方法にて、ある飽和度の黄色がある網膜部位にて周囲とは異なる飽和度をもつ視標として知覚されるか否かが決定されるが、次に飽和度の異なる数種類の黄色視標について同様の検査を行うことにより、特定の網膜部位での飽和度弁別閾が求まる。さらにこれを網膜上のいくつかの部位において行うことにより、黄色に対する飽和度弁別閾の広がりを明らかにすることができる。

2. 装置

今回使用したのは4,096色のうち任意の16色を表示するグラフィック機能を有するパーソナルコンピュータ（NEC PC-9801 UV2）とアナログ RGB 入力対応 CRT ディスプレイ（NEC PC-KD851）であり、以下のごとくプログラムを作成した。



a



b

図 1a 画面 1, 図 1b 画面 2. 画面 2 の*印は実際には黄色である。画面 1 上の円形斑と*印以外の画面 2 上の円形斑はすべて灰色である。

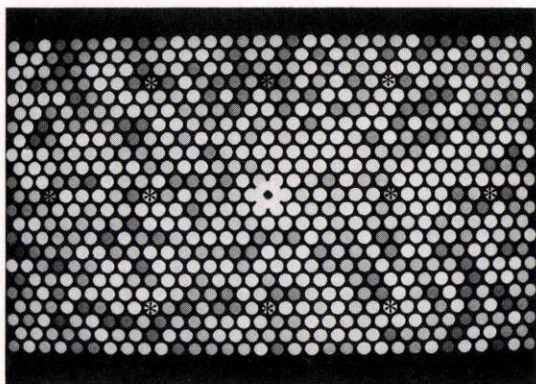


図2 視標提示位置、画面2にて提示する黄色視標の位置を*印で示した。

まずモニター画面に、7種類の輝度の円形の無彩色斑をそれぞれ無作為に配置させた異なる画面を2種類作り(画面1と画面2)、これを交互に表示させる(図1)。画面1の表示時間は1600msecであり、画面2のそれは560msecである。円形無彩色斑の大きさはこれを60cmの距離から観察する場合、直径が0.5度となり、またその中心間距離は0.7度である。画面全体の大きさは22度×14度である。画面1、画面2ともに画面中央に直径1.1度の白色輪状の固視目標を表示する。

画面2を表示する際に図に示すごとく固視点より5～10度の10箇所部位のいずれかの位置に黄色の円形視標を提示させる(図2)。黄色視標の大きさは背景の無彩色斑の大きさと同じである。それぞれの提示位置に黄色視標が提示される確率は11分の1であり、残りの11分の1の確率で黄色斑を提示しない無彩色斑のみのパターンを表示する。黄色斑を提示するかしないか、あるいは提示する部位の順序は無作為とし、同一部位について計5回提示するようにした。なお検査は調光可能な明室にて行い、ディスプレイ画面上の照度は150 luxとした。

3. 被験者

被験者は片眼を遮閉し他眼は近方矯正を行い、ディスプレイ画面を60cmの距離より観察出来るよう、背もたれ付きの安楽いすに腰掛させた(図3)。そして画面が変化した際に、部位にかかわらず灰色とは異なる黄色がみえたかどうかを判断させて、みえた場合にはキーボードよりの入力にて応答させた。

4. 結果の判定

各部位について5回中3回以上応答した場合、この網膜位置での色覚は正常(pass)と判断し、2回以下



図3 実際の検査風景。

の場合は異常(fail)と判断した。テスト視標である黄色斑は輝度、飽和度の異なる4種類を用意し、これを飽和度の高い順に1から4までの番号を付け、それぞれについて各検査部位での応答を調べた。そして任意の検査部位においてpassした視標番号の最も大きい数値でもって、その部位での黄色に対する飽和度弁別能を表示した。すなわち正常の色覚機能であれば4番までのすべてをpassするので“4”と表示され、3番までpassし、4番をfailした場合には“3”と表示した。また最も飽和度の高い1番の黄色でもfailした場合には“0”と表示した。一つの黄色視標に対する検査において黄色視標が提示されない画面が5回表示されるが、その際に黄色が見えたと応答したものはfalse positive errorとして判断し、これが5分の2以上の場合は再検査した。

5. 視標の輝度および色度

ディスプレイ上の無彩色斑および黄色視標の輝度と色度は色彩色差計(ミノルタCS-100)にクローズアップレンズNo 122を装着して測定した。画面上の種々の位置に提示した視標および無彩色斑をそれぞれ10回ずつ計測し、輝度と色度座標値(CIEのXYZ表色系による)について平均値と標準偏差を求めた(表1)。また図4にこれら視標の色度図上の位置を示す。

6. 対象

本検査法を-5ディオプター以下の近視以外に眼科的異常のみられない正常被験者6名(25歳男、26歳男、26歳女、28歳男、33歳男、61歳男)6眼について行った。また病眼として原田病回復期の患者、虚血性視神経症のそれぞれ1例についても検査を行った。また本検査法の評価のために、静的自動視野計であるハンフリーフィールドアナライザー(以下HFAと略)によ

表1 視標の測定値. 色度計にて各視標を10回ずつ計測した値の平均と標準偏差を示す.
主波長および輝度純度は標準照光C (0.3101, 0.3163) に対して求めた.

	輝度 (cd/m ²) Y	色 度 座 標		主 波 長 λ_d	刺激純度 P_e	輝度純度 P_e
		x	y			
(黄色) 視標 1	78.3±5.7	0.397±0.003	0.513±0.003	567	0.763	0.854
視標 2	68.1±3.7	0.390±0.001	0.497±0.003	567	0.702	0.811
視標 3	57.2±4.3	0.364±0.001	0.450±0.003	566	0.505	0.653
視標 4	48.8±3.5	0.322±0.001	0.373±0.003	566	0.115	0.180
(無彩色斑)	73.5±3.0	0.270±0.001	0.278±0.002			
	60.8±2.5	0.270±0.002	0.281±0.002			
	52.7±2.2	0.270±0.001	0.281±0.003			
	42.1±2.3	0.273±0.002	0.284±0.002			
	33.1±0.9	0.275±0.002	0.286±0.002			
	24.7±1.4	0.280±0.003	0.294±0.003			
	18.7±0.7	0.286±0.004	0.301±0.005			
(固視標)	155.3±5.1	0.263±0.001	0.275±0.001			
(背景)	4.3±0.5					

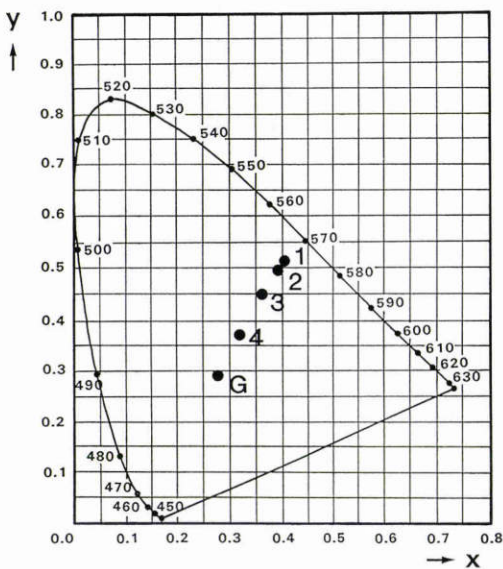


図4 黄色視標1から4および無彩色斑の色度図上での位置. Gは無彩色斑の位置を示す.

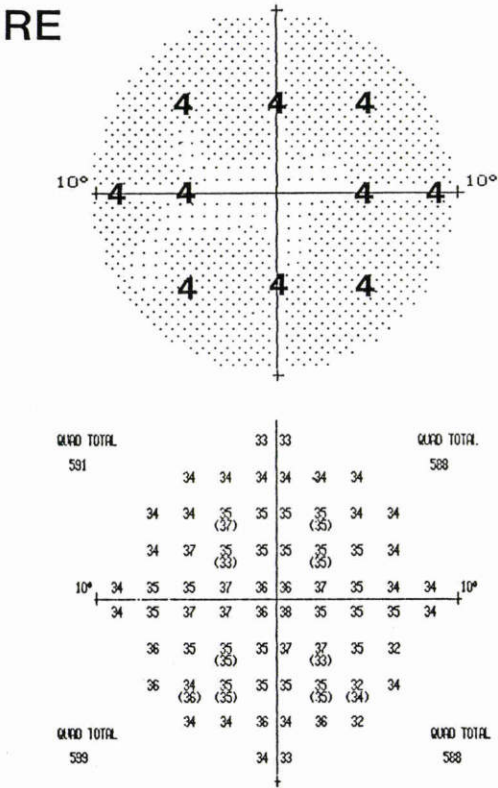


図5 正常眼での HFA と色彩視野計の結果. 飽和度弁別能の値を HFA のグレイスケール表示視野の対応する位置に記載している.

III 結 果

正常眼 5 眼においてはすべての測定点において色彩視野計による感度は4であり，異常は検出されなかった. 図 5 は 1 眼における色彩視野計による結果を

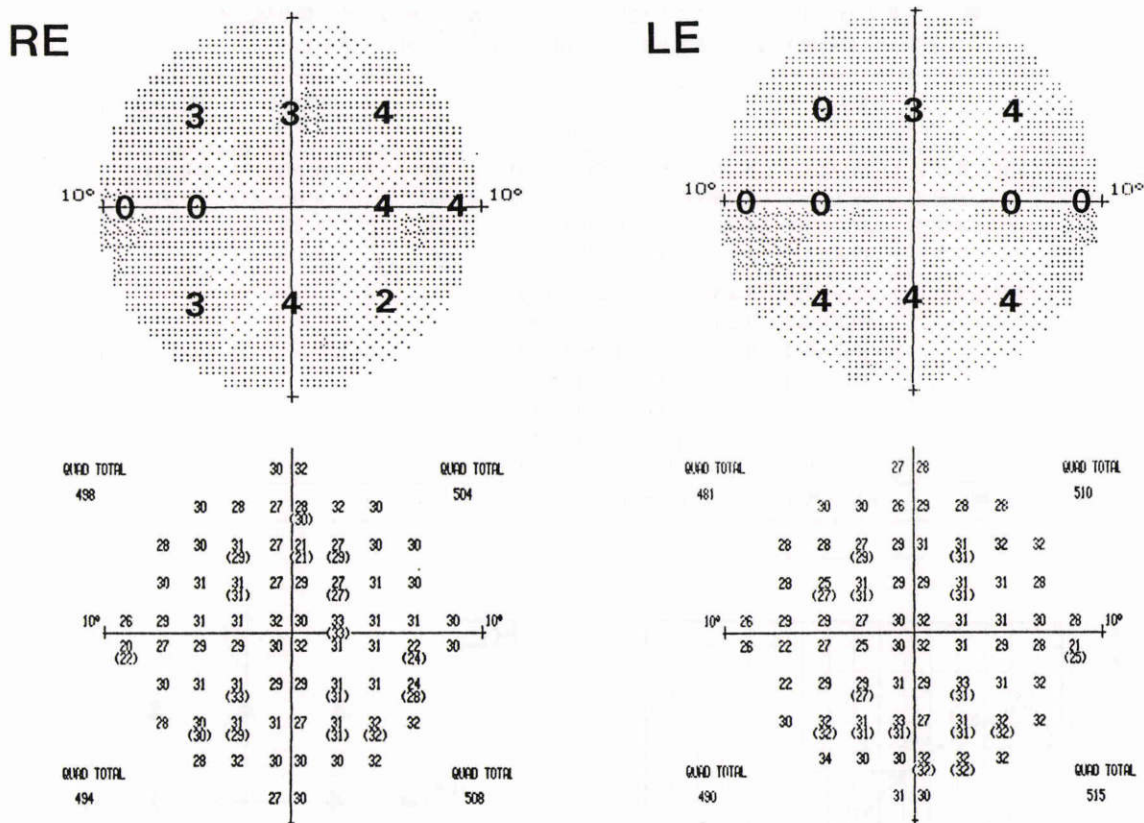


図6 原田病回復期でのHFAと色彩視野の結果、症例は33歳、女性で両眼の急激な視力低下を主訴として来院し、検眼鏡所見、蛍光眼底検査にて眼底後極部の漿液性網膜剝離が観察され、原田病と診断された。本検査は発症後50日目に施行したが、この時にはステロイド治療により網膜剝離は消退しており、視力も1.0にまで回復してきていた。HFAの結果からは両眼とも中心部に感度のわずかな低下がみられるものの、明らかな中心暗点は検出されない。しかし色彩視野計にて部位により飽和度弁別能の著しい低下がみられる。

HFAによるグレイスケール表示上の対応する位置に書き加えたものである。図6、7に原田病回復期症例と虚血性視神経症での同様の結果を示す。これらの病眼においては、HFAによる明度弁別能と色彩視野計による飽和度弁別能は必ずしも一致しなかった。特に原田病の回復期での結果では、HFAにてはほぼ均質な軽度の感度低下が示された視野中心部において、色彩視野計にて飽和度弁別能の著しい起伏が示された。

IV 考 按

網膜の局所機能評価法として視機能検査を行う場合、対象となる視覚要素には光覚、色覚、形態覚の3つがあり、光覚はさらに絶対閾と明度弁別能、フリッカー融合頻度等に細分される⁵⁾。これらのうち最も高

的な視覚機能である形態覚は中心窩において最も発達しており、中心窩からのわずかなずれによって著しい感度低下をきたすことから、これを周辺部網膜の機能検査として採用することはあまり意味がないように思われるが、他の要素については中心窩機能として以外に、これより周辺の網膜の機能評価法として利用する。実際に光覚の絶対閾はperimetric dark adaptationとして、明度弁別能は視野検査として、またフリッカー融合頻度はフリッカー視野として、中心窩以外の局所機能検査法として臨床応用されている。しかるに色覚については現在までのところ、これを中心窩外において検査し、網膜局所機能検査法として臨床応用した報告は見あたらない。筆者らは色覚を指標とした視機能異常の広がりを明らかにすることは臨床的に

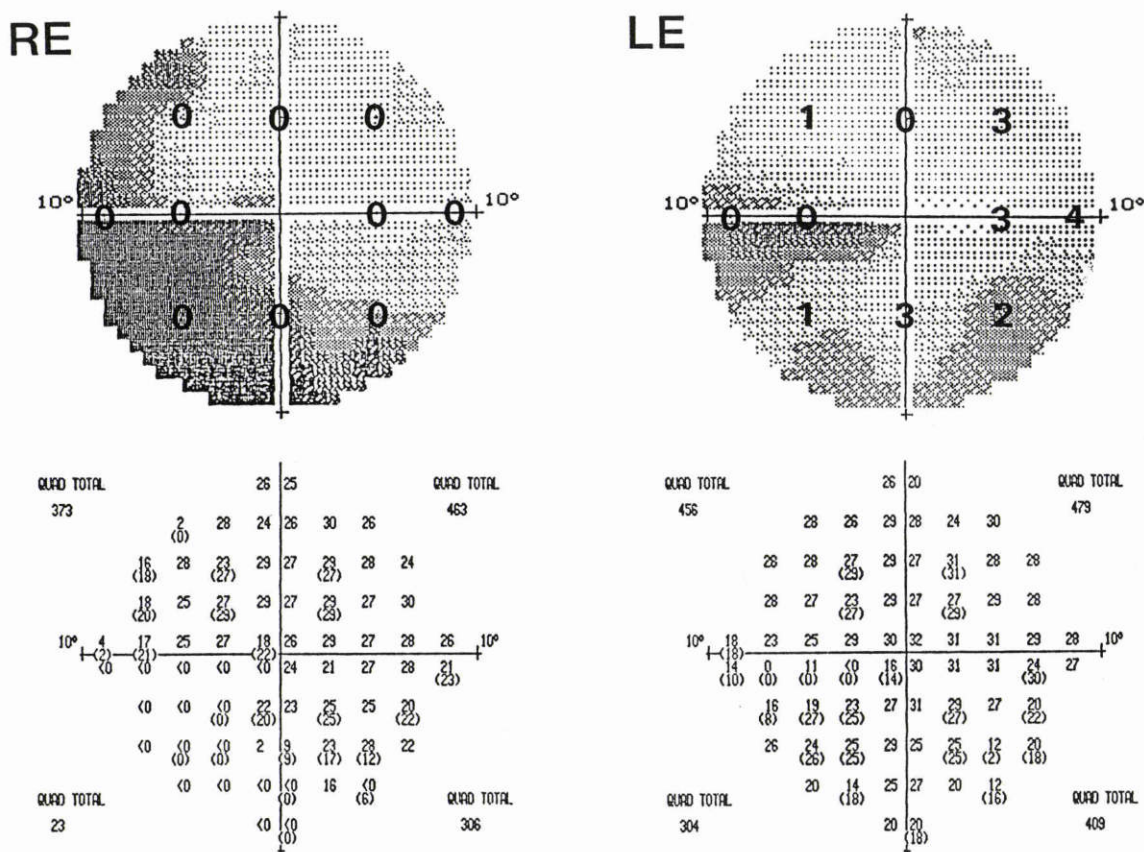


図7 虚血性視神経症での HFA と色彩視野計の結果、症例は60歳、男性で主訴は右眼の視力低下である。初診時右眼矯正視力は0.1であり、眼底検査にて右眼視神経乳頭の火焰状出血と浮腫がみられ、視野検査にて下鼻側4分の1半盲様の欠損がみられた。半年の後、左眼に同様の変化をきたしたが、この時右眼はすでに視神経萎縮を示して、偽フォスターケネディ症候群の所見を呈していた。全身的には糖尿病があり、原因は虚血性視神経症と考えられた。左眼視野は前回の右眼視野と対称性で下鼻側4分の1半盲の形であり、CFFは右18Hz、左27Hzと両眼とも低下していた。図は左眼発症後7日目の HFA と色彩視野計の結果である。この時矯正視力は右眼0.3、左眼0.4であった。右眼では HFA にて感度の比較的良好な部位も認められるが色彩視野計にてはすべての検査部位にて著しい感度低下を示す。左眼においては HFA にて比較的良好と判定される部位内において、飽和度弁別能の良好な部位と不良な部位とが混在している。

十分意義あることと考え、これまで行われなかった中心窩外での網膜局所色覚異常の定量的評価という全く新しい臨床検査のための装置を開発した。

色覚異常の検査法には色混同を利用したものが多い。この色混同は大きく2つに分かれる。第1は波長弁別閾に関係する色相混同であり、これは多くの仮性同色表や100 Hue test, Panel D-15 test など色相配列検査に利用されている。第2はいわゆる中性色帯での飽和度感覚の低下に由来する無彩色との混同である。

これは臨床的には Lanthony の New Color Test における分離検査や AO-HRR 表に利用されている。本報にて紹介した方法はこのうち第2の色混同を利用したものである。輝度の変化する無彩色の背景の中に、有彩色である黄色がみえるか否かの応答は、中心窩外に視標を提示した場合でも、正常者においては容易であった。しかも被験者は輝度や形態、大きさの違いなど飽和度の差異以外の手がかりにて、視標を認識することは不可能であるので、局所色覚機能検査としての

要件を満たしている。

さて飽和度に対する感覚は一般には飽和度弁別能と呼ばれ、心理物理学では主波長に対する輝度純度を指標として評価されている⁶⁾。今回用いた黄色視標の主波長と輝度純度を表1に示す。今回は参照光の役割をしている背景の無彩色斑が白色として用いるべき標準照明光とは少しずれた座標値であり、また輝度純度の値も間隔が不均一である。輝度純度は心理物理量ではないのでこれを等間隔にとる必要は必ずしもないと思われるが、黄色視標の純度および背景の無彩色斑の色度の選択は今後改良の余地がある。

用いた4種類の黄色視標の輝度は異なっているが、これは飽和度の高い黄色を作るには、ある程度輝度を高くすることが不可欠なためである。しかし背景の無彩色斑の輝度の範囲内にはほぼ納まっていることより、視標の認識への輝度の関与は無視できると考えられる。

本報では飽和度弁別閾を、飽和度の異なる数種類の視標を用いて心理物理学での恒常法に準じた方法にて求めたが、これはLanthonyのNew Color Testにおける無彩色分離検査のやり方に類似している。New Color Testを中心窩外の特定の視野位置において検査することは実際問題として不可能に近いが、本法によってこれを可能にした。しかもこのようにして求めた飽和度弁別閾を指標にして色覚異常の程度の広がり、通常の静的視野計測と同様に表現することが可能となった。今回は比較的少ない検査点だけの結果しか示していないが、この方法を発展させれば色覚異常の視野をグレイスケールにて表示することも可能であり、色彩視野の名前にふさわしい臨床検査法に発展させることができよう。

色覚検査を本報のごとくテレビ画面を用いる際には視標の安定性が問題となる。今回用いたコンピュータではRGBそれぞれについて16段階の輝度が設定でき、しかもその組み合わせにより任意の色が表現できるようになっている。このように設定された色を実際に色度計にて測ってみると、表1に示された色度と輝度についてはある程度のバラツキがみられるものの、

色度は非常にバラツキが少ないことがわかる。表1の色度座標の実測結果は、ディスプレイのブライトネスつまみを一定にした上で、画面上いくつかの部位に提示された黄色視標の輝度と色度を計測したもののだが、ブライトネスつまみを故意に動かして、輝度を10cd/m²程度上下させても色度座標値の変化は軽微である(x座標、y座標ともに0.01以内)ことを確認しており、本法における視標は色度に関しては非常に安定であるといえよう。

さて本法にて検出することのできる局所色覚異常を2, 3の疾患にて検討してみたが、症例によりHFAにて示される明度弁別能の感度分布とはかなり異なった結果が得られた。これは検査の対象が一方は明度弁別能の感度であり、他方は色の飽和度に対する感度であって、全く異なる機能をみているわけだから、むしろ当然の結果といえるかもしれない。重要なことは通常の静的自動視野計測にては検出し得ないような異常が、本法において検出できる可能性のあることが示されたことである。今後、本法の発展により静的自動視野計測の感度を上まわる臨床検査機器の開発が期待される。

御校閲いただいた塚原重雄教授および御教示いただいた岡島 修博士に感謝いたします。

文 献

- 1) Sloan LL: Rate of dark adaptation and regional threshold gradient of the dark-adapted eye. *Am J Ophthalmol* 30: 705—720, 1947.
- 2) 大島利文, 中尾雄三: フリッカー視野検査とその意義. *眼科* 24: 1489—1495, 1982.
- 3) 太田安雄: 後天色覚異常総論. 市川 浩編, *眼科Mook* 16 色覚異常, 東京, 金原出版, 179—186, 1982.
- 4) 大庭紀雄: 第3色覚異常. 市川 浩編, *Mook* 16, 色覚異常, 東京, 金原出版, 171—178, 1982.
- 5) 大島祐之: 視力検査の基礎と臨床. *日眼* 91: 27—47, 1987.
- 6) 安間哲史: 先天色覚異常 1. 色覚異常の生理学的特性. 市川 浩編, *眼科Mook* 16, 色覚異常, 東京, 金原出版, 88—101, 1982.
- 7) 池田光男: 色彩工学の基礎. 東京, 朝倉書店, 149—153, 1980.