

## 瞳孔視野計による他覚的視野計測の試み

吉富 健志<sup>1)</sup>, 松井 孝子<sup>1)</sup>, 向野 和雄<sup>2)</sup>, 石川 哲<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>北里大学医学部眼科学教室, <sup>2)</sup>北里大学医療衛生学部視覚機能療法学教室

### 要 約

視野を他覚的に測定する試みとして,我々は Goldmann(ゴールドマン)視野計に赤外線電子瞳孔計を組み込むことによって瞳孔視野計を開発した。視野計の背景輝度は,より大きな対光反応を得るため 10 Asb へ落として測定した。指標はゴールドマン視野計の視標を用い,提示時間は 0.25 秒,輝度は 1,000 Asb として静的に測定した。指標の提示場所は自動視野計の指標提示場所を原則とし,指標提示場所における最大縮瞳量(面積, mm<sup>2</sup>)をその場所での反応として表した。正常人では水平経線上で外側 90 度,内側 60 度まで対光反射を認め,マ

リオット盲点も検出可能であった。同名半盲,緑内障,レーベル病などの患者で測定したところ,自覚的視野で認められた暗点に一致する部位で対光反射の著明な減弱あるいは消失を認めた。瞳孔視野計は様々な疾患の視野を他覚的に測定できる有用な方法であり,自覚的視野が信頼できない患者への応用が期待される。(日眼会誌 100: 825-831, 1996)

キーワード: 瞳孔視野計, 対光反射, 視野, ハンプフリー自動視野計, ゴールドマン視野計

## Objective Visual Field Measurement Using "Pupil Perimetry"

Takeshi Yoshitomi<sup>1)</sup>, Takako Matsui<sup>1)</sup>, Kazuo Mukuno<sup>2)</sup>  
and Satoshi Ishikawa<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Ophthalmology, Kitasato University, School of Medicine

<sup>2)</sup>Department of Orthoptics and Visual Science Kitasato University, School of Allied Health Sciences

### Abstract

In an attempt to measure the visual field objectively, we developed a system of "Pupil Perimetry". An infrared pupillometry machine was linked to a Goldmann perimeter to record the visual field by mapping the change in the pupil area (mm<sup>2</sup>) at each target location within the field. We decreased the background intensity to 10Asb to get maximum pupil response. The target was exposed for 0.25 seconds with an intensity of 1,000 Asb. Pupil response was observed up to 90 degrees laterally and 60 degrees nasally across a meridian in normal

subjects. Visual fields obtained from patients with homonymous hemianopsia, glaucoma and Leber's optic neuropathy were compatible with a field obtained by a Humphrey field analyzer (FHA) 30-2 program. Pupil perimetry is a useful tool for measuring the visual field objectively. (J Jpn Ophthalmol Soc 100: 825-831, 1996)

Key words: Pupil perimetry, Light reflex, Visual field, Humphrey field analyzer, Goldmann's perimetry

## I 緒 言

近年の自動視野計の発達とともに,より初期の視野変化や視野進行の判定が容易にコンピューターで解析されるようになってきた<sup>1)2)</sup>。また,high pass resolution perimetry<sup>3)</sup>など新しい視野測定の方法も開発され,視神経の様々な機能を分離して計測することも試みられてい

る。様々な視野計の開発で,より詳細な視機能の分析,より早期の視野異常の検出が行われるようになった反面,これらの方法はすべて自覚的応答に頼った検査であるため,反応が曖昧な患者や小児では検査の信頼性が低くなることは避けられない。また,反応を故意に詐称した場合,その確認が困難であるなどの問題点もある。もし,視野を他覚的に測定することができれば,自覚的視野測定

別刷請求先: 228 神奈川県相模原市北里1-15-1 北里大学医学部眼科学教室 吉富 健志  
(平成8年3月22日受付,平成8年6月10日改訂受理)

Reprint requests to: Takeshi Yoshitomi, M.D. Department of Ophthalmology, Kitasato University, School of Medicine, 1-15-1 Kitasato, Sagami-hara-shi, Kanagawa-ken 228, Japan  
(Received March 22, 1996 and accepted in revised form June 10, 1996)

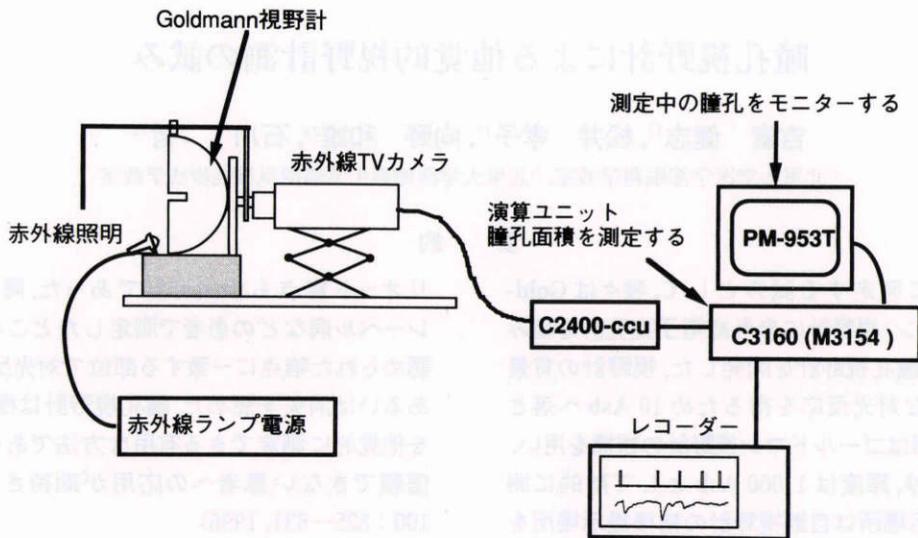


図1 瞳孔視野計のブロックダイアグラム。

Goldmann(ゴールドマン)視野計の背景輝度を10 Absに落とした関係で光量が不足するため、TVカメラに必要な光量を赤外線光源で確保している。

の信頼性が低いこれらの患者に対して有用であると考えられる。他覚的に視野を測定する試みは、1949年 Harms<sup>4)</sup>が対光反応を利用した視野測定を報告して以来、数多くの報告<sup>5)~10)</sup>があり、特に本邦では青山<sup>11)12)</sup>が詳細に報告している。しかし、当時は対光反射の瞳孔の細かい動きを測定する機器の技術的困難さから、測定、解析に多大の時間と労力が必要で実用化には至っていなかった。近年の科学技術の進歩、取り分けコンピューターの発達で再びこの機械が目ざされつつある。瞳孔視野計は被検者の応答が必要とされない点で、これまでの視野計とは全く異なるものである。また、この視野計では光刺激に対する興奮の経路は自覚的視野計とは異なっており、得られる結果も自覚的視野計とは異なる可能性がある。今回、我々はGoldmann(ゴールドマン)視野計を利用した瞳孔視野計を試作し、正常人および様々な疾患を有する患者の視野を測定したので報告する。

## II 実験方法

### 1. 瞳孔視野計

今回、我々が試作した瞳孔視野計はゴールドマン視野計に赤外線電子瞳孔計を組み込んだもので(図1)、視標の呈示によって起こる瞳孔反応を記録することにより、視野上の一定の場所における網膜の感度を対光反応の大きさから測定するものである。ゴールドマン視野計の固視監視スコープを取り外し、赤外線 CCD カメラを取り付けた。背景輝度は、より大きな対光反応を得るため10 Asbへ落として測定した。このため、カメラに入る光量が不足するので、赤外線光源を被験者の顎台の脇に設置し、良好な画像が得られる光量を確保した。視標は通常のゴールドマン視野計のものをそのまま使用した。視標は機械的シャッターで提示時間を0.25秒間に固定し、輝度

は1,000 Asbとした。視標提示場所は、正常対象者では水平経線上で10度刻みに行ったが、症例では自動視野計(Humphrey Field Analyzer program 30-2)の結果と比較するため、視標呈示場所を一致させ、静的に施行した。測定前に5分間、視野計の前で10 Absの背景輝度に順応させた。また、被検者の眼前にレンズを置くことによって生じる見かけ状の瞳孔面積の変化や解像度の低下を避けるため、測定の際に屈折矯正は行っていない。視標呈示とともに発生する対光反射は記録機上に波形として現れる(図2)。視標提示場所における最大縮瞳量(面積,  $\text{mm}^2$ : この波形の振幅の測定は手作業で行った)をその場所での反応とし、視野上の位置にその数字をマッピングした。測定は各測定点につき1回としたが、hippusなどで反応が不明瞭な場合は適宜繰り返して行った。記録紙上で確認できる縮瞳量は最小で0.3  $\text{mm}^2$ までで、これより小さな縮瞳はモニター上でも確認できなかった。同一刺激点上で2回繰り返して反応がなかった点は、縮瞳量0とした。

### 2. 対象

対象として、屈折異常以外の眼疾患のない正常人7例(男性2例、女性5例、年齢22~42歳、平均 $27.6 \pm 7.0$ 歳、屈折は $-0.5 \sim -4.5$  D、平均 $2.25 \pm 1.4$  D)、および当科で経過観察中の緑内障患者1例、同名半盲患者1例、レーベル病患者1例で検討を行った。症例は縮瞳薬点眼や内眼手術の既往など、瞳孔の反応に影響の可能性がある症例は除き、自動視野計測定後1か月以内に瞳孔視野計での測定を行い、両者を比較した。

## III 結果

正常対象者に対して、水平経線上で視標を提示した場合の最大縮瞳量をグラフで示したのが図3である。実験

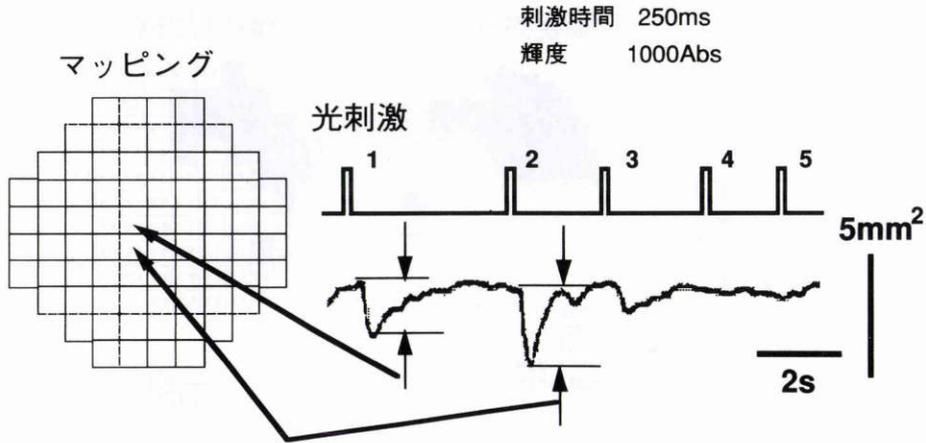


図2 実際の記録.

上段は視標呈示を表し,下段が実際の瞳孔面積変化を示す.刺激4,5では対光反応が現れていない.対光反応の大きさを視標を呈示した場所にプロットしている.

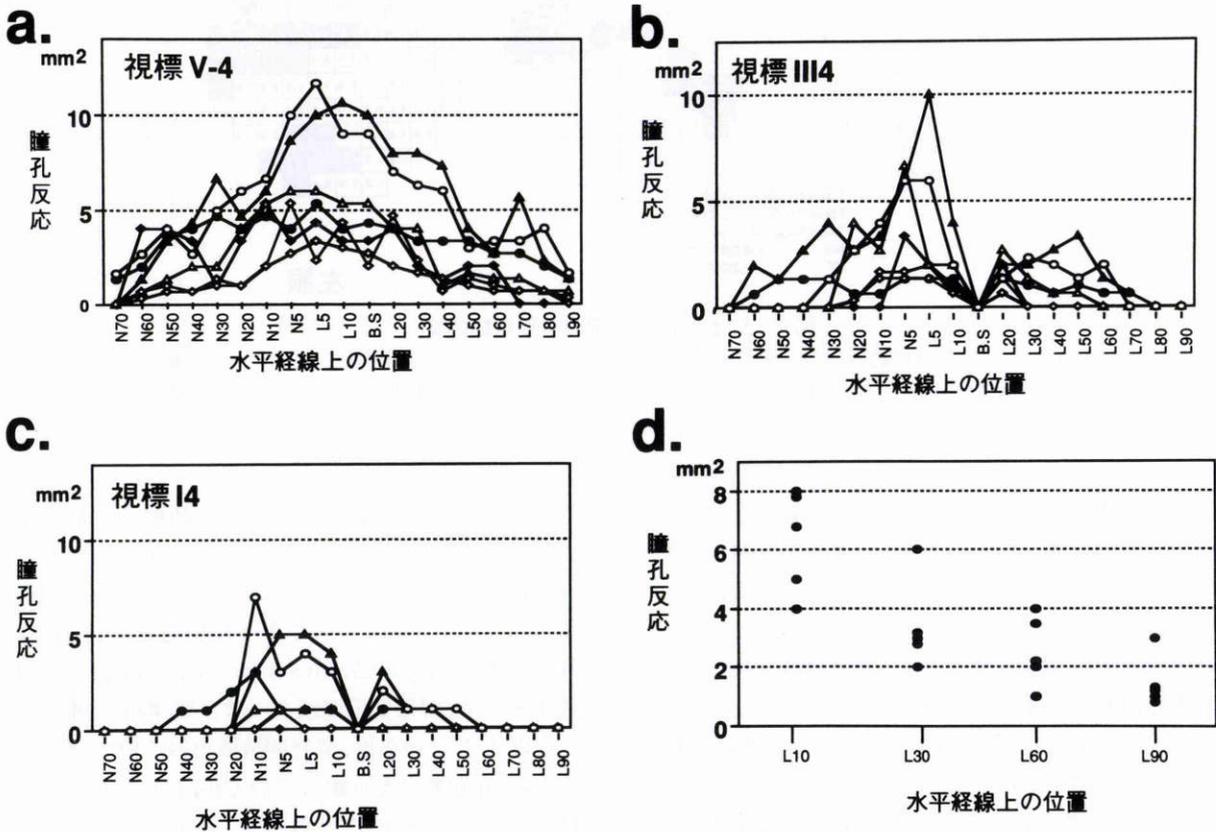


図3 正常対象者の水平経線上における対光反応の大きさ.

a: 正常対象者7例の水平経線上における対光反応の大きさ.L10は外側10度を,N10は内側10度,BSはマリオット盲点を表す.視標はゴールドマン視野計の視標V-4. b: 正常対象者7例の水平経線上における対光反応の大きさ.視標はゴールドマン視野計の視標III-4. c: 視標はゴールドマン視野計の視標I-4. d: 正常対象者(No. 3)における水平経線上での対光反応の大きさ.同一箇所をそれぞれ5回刺激してすべてプロットしている.同一条件の刺激でもかなりのばらつきがある.

は個々の症例でマリオット盲点の位置を通常の動的視野測定によって確認した後行った.最大縮瞳量は刺激前の瞳孔面積にも影響されるが,視標による刺激が中心に近いほど大きく,周辺になるに従って小さくなる傾向にあった.V-4の視標を0.25秒提示した場合は,マリオット

ト盲点上でも対光反応は出現した.また,全例耳側60度,鼻側60度まで反応が得られ,特に耳側は7例中6例が80度まで検出できた.しかし,中心から耳側へ5度の部位での最大縮瞳量は $5.67 \pm 2.76 \text{ mm}^2$ (平均値±標準偏差)と症例によるばらつきが大きかった(図3a).III-4の

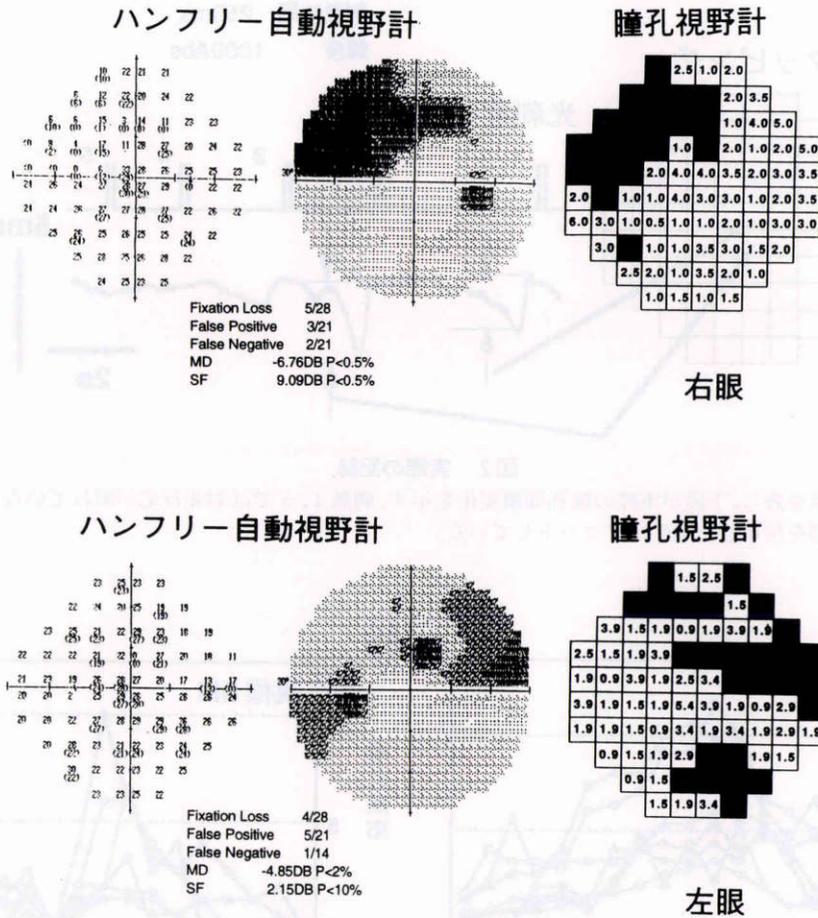


図4 52歳,男性,原発開放隅角緑内障.

Humphrey(ハンフリー)自動視野計と瞳孔視野計の結果を同時に示す.瞳孔視野でハンフリー自動視野計で見られた感度低下部位にほぼ一致して対光反応の欠如を認める.瞳孔視野計の結果の数字は最大縮瞳量(mm<sup>2</sup>),縮瞳がなかった部位は黒く塗りつぶしてある.

視標を0.25秒提示した場合は,マリOTT盲点上では全例において対光反応は消失した.背景輝度を減弱させたことによって視標の提示時における光の散乱が問題となる.V-4の視標ではマリOTT盲点程度の大きさの暗点は散乱の影響で検出できないが,III-4の視標ではこの暗点に関する限り光の散乱の影響は無視できることがわかった.しかし,III-4視標では,外側30度は7例中4例,内側30度は7例中3例でしか反応が得られなかった.すなわち,すべての例において中心30度以内で反応を得るためにはV-4の視標を使用せざるを得ず,光の散乱の影響はある程度結果に影響を与えると考えられた.また,中心から外側へ5度の部位での最大縮瞳量は3.52±3.04mm<sup>2</sup>で,やはり症例によるばらつきは大きかった(図3b).I-4視標では7例中3例で外側30度まで反応が得られたが,内側30度まで反応が得られたのは7例中1例のみであった(図3c).症例間での再現性ととも問題となる同一症例での再現性を検討するため,同一部位で10秒以上の間隔を持って5回刺激した場合の最大縮瞳量を検討した.視標はV-4,刺激場所は水平経線上で外側10度,30度,60度,90度で行い,同一部位で5回の刺激を行っ

た.図に示すように,同一部位,同一刺激でも最大縮瞳量にはかなりのばらつきがみられた(図3d).

次に,我々が経験した種々の症例について,その代表例を供覧する.症例はすべてV-4視標を用い,自動視野計(Humphrey Field Analyzer program 30-2)の結果と比較するため,視標呈示場所を一致させ,静的に施行した.

症例1:52歳男性,原発開放隅角緑内障で経過観察中である.β遮断剤を点眼しているが,ピロカルピンの点眼は過去にも行ったことはない.両眼のBjerum領域にHumphrey(ハンフリー)自動視野計で感度低下がみられる.瞳孔視野では,その感度低下部位にほぼ一致する部位に対光反応の欠如を認める(図4).

症例2:25歳男性,平成6年4月視野異常を自覚して受診.視力は,両眼1.0であり,対光反射は正常だった.同名半盲を認めたため,頭部コンピューター断層撮影検査を行い,右後頭葉に限局した脳膿瘍が発見された.脳外科でドレナージ手術を受けた.術後(症状発生後10日目)ハンフリー自動視野と瞳孔視野を測定した(図5).

症例3:29歳男性,レーベル病.平成6年5月ごろから右眼視力低下を自覚.平成6年9月に当科初診.ミトコ

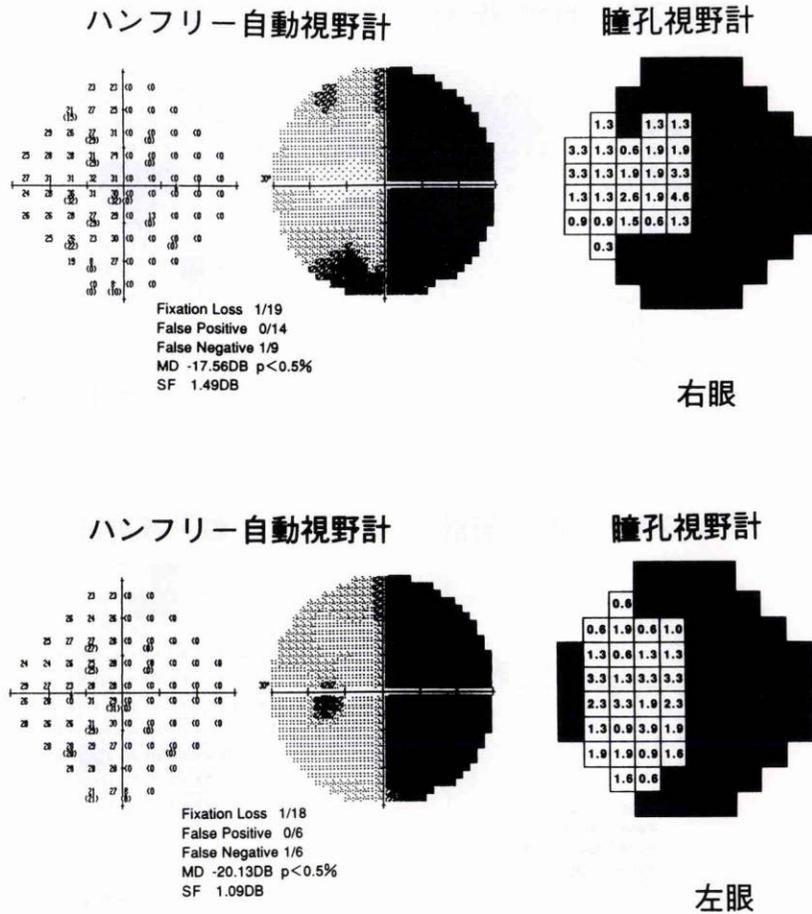


図5 25歳,男性.

視力,対光反射は正常だった.同名半盲を認め,頭部コンピューター断層撮影で脳膿瘍を認められ,脳外科でドレナージ手術を受けた.術後のハンフリー自動視野計と瞳孔視野計の結果を同時に示す(症状発生後10日目).

ンドリア DNA 点突然変異 11778 が証明され,レーベル病の診断が確定した.平成6年11月にハンフリー自動視野計と瞳孔視野計で視野を測定した.その時点での視力は右眼 0.03(0.05×-1.5 D),左眼 1.2(矯正不能)であった.右眼の中心暗点は両視野計ともに検出されている.患者はその後左眼にも暗点が出現し,平成8年1月現在の視力は両眼 0.02 である(図6).

#### IV 考 按

視野の他覚的測定の試みは,古くから多くの研究者によってなされてきた.しかし,現在も様々な視野計が開発されているが,そのほとんどが自覚的視野計であり,他覚的視野計は実用化されていない.他覚的に視野を測る方法としては,visual evoked potential (VEP)を利用する方法<sup>13)</sup>,近年開発された multifocal electroretinogram (ERG)による方法<sup>14)</sup>と,今回我々が行った対光反射を利用する方法がある.VEPによる視野測定は1点における反応を取るのに加算平均が必要で,あまりに多くの時間がかかり実用的でない.むしろ,網膜上の特定部位の精密な反応をみるといった使い方が主なものになりそ

うである.Multifocal ERGを用いた方法は局所の網膜の機能をERGトポグラフィーとして表すもので,厳密にいうと視野とは異なるものである.対光反射を利用した視野計は過去にも報告<sup>4)~13)</sup>があり,他覚的視野計としてより実用の可能性のある方法とみなされていたが,やはり実用化されていない.その理由としてKardonは,①微小な瞳孔反応を記録することの困難さ,②それぞれの刺激部位での対光反応を視野として解析するのに非常に手間と時間がかかること,③異なる部位における小さな刺激に対して対光反射のばらつきが大きいことなどをあげている<sup>10)</sup>.そのうち,①と②は近年の自動視野計の進歩とコンピューターの発達で技術的問題が解決しつつあり,瞳孔視野計は再び注目を集めるようになってきた<sup>9)10)15)</sup>.他覚的視野計の利点として,協力が得にくい患者での応用があげられる.瞳孔視野計は光が見えたかどうかを被検者が気にする必要がなく,固視が良好に保たれる傾向にあり,また何回測定しても信頼性のある自覚的視野がとれない患者に対する応用も考えられる.青山<sup>11)12)</sup>は過去に,今回我々が開発した瞳孔視野計とよく似た機械を報告している.青山<sup>12)</sup>の報告によれば,瞳孔視

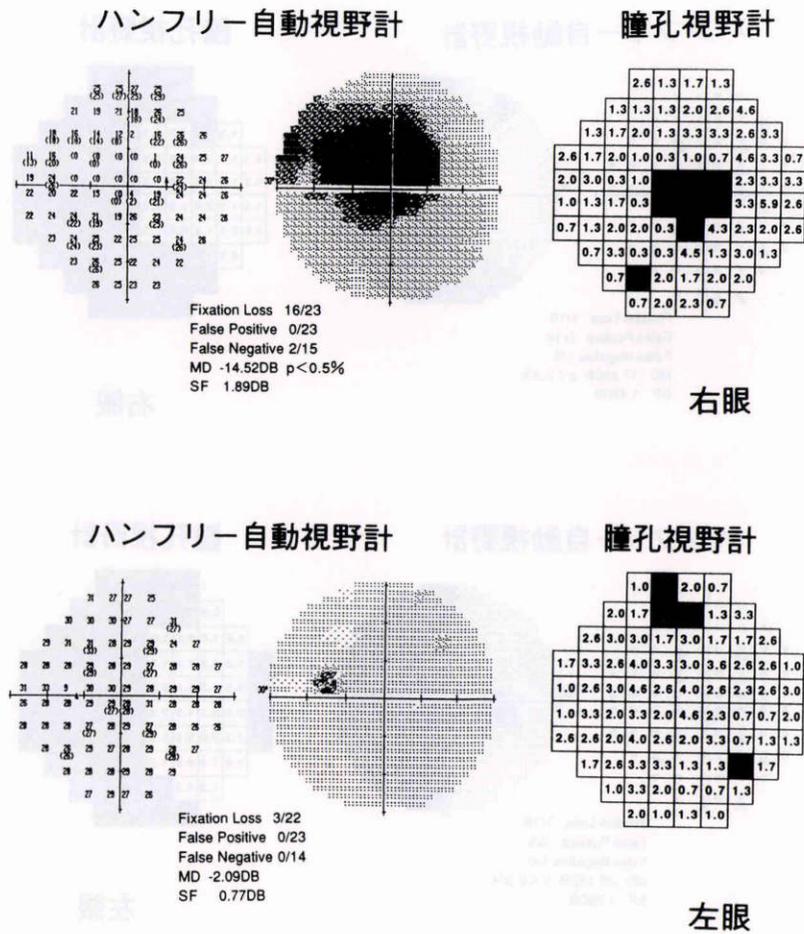


図6 29歳,男性.

ミトコンドリア DNA 点突然変異 11778 が証明され、レーベル病の診断が確定した。ハンフリー自動視野計と瞳孔視野計の結果を同時に示す。右眼の中心暗点は両視野計ともに検出されている。

野計における対光反応の縮瞳率は中心部ほど大きく、周辺にゆくに従って小さくなっており、今回の結果と一致した。我々の結果では、最大の縮瞳量は 10 mm<sup>2</sup>で、これは瞳孔径にして約 0.5 mm に相当する。1 mm<sup>2</sup>は瞳孔径にして 0.1 mm 以下であり、やはり、かなり高解像度のカメラが必要であると考えられた。正常人で得られた今回の結果は、症例間あるいは同一症例内でもかなりのばらつきがあり、対光反応の大きさを網膜感度の指標として考えた場合、誤差率は 20~30% にも達する。これは Kardon<sup>9)</sup>、青山<sup>12)</sup>の報告とも一部一致するデータであり、対光反射のばらつきはこの視野計の基本的な問題点である。

また、典型的な症例で視野を測った結果では、半盲のようなはっきりとした大きな暗点の検出には非常に有効であるが、緑内障視野のような比較暗点や微妙な感度低下部位の検出には問題があった。対光反応の消失した部位と自覚的視野で検出される絶対暗点は、かなりの相関を示したが完全には一致せず、ばらつきも多かった。瞳孔視野計は今までの視野計と全く異なり、視野を他覚的に測定できるという特徴を有するが、視覚感度の正確な評価という点で自覚的視野計にとって変わるものではない。

しかし、自覚的視野の信頼性に何らかの疑問があるときは、補助手段として非常に有用であると思われる。

症例 2 に示すように、この視野で測定した同名半盲患者において、半盲側の対光反射が欠如していた問題について考えてみたい。対光反射は網膜、視神経、視交叉、視索を経て外側膝状体に入る直前で分かれて上丘の視蓋前核 (Nucleus Pretectalis Olivaris) でシナプスを作り、両側の Edinger-Westphal 核に入る。ここから動眼神経副交感神経線維として虹彩の平滑筋を支配しているのであるが、この経路から考えると、後頭葉障害で同名半盲を来したこの症例の半盲側での反応の欠如は矛盾がある。この現象は古くから報告<sup>16)17)</sup>があり、過去に対光反射で視野測定を試みた報告<sup>4)10)11)17)</sup>のほとんどは同様の現象を見出している。我々も同様な症例を数例検討しているが、すべての症例で半盲側での反応の欠如を認めた。そこで、少なくとも今回のような刺激条件で起こる対光反射は、後頭葉を介しているのではないかと考えている。実際、ネコにおいて後頭葉から上丘の視蓋前核に投射する線維の存在が証明されている<sup>18)</sup>。もし、これが事実とすれば、この視野計は後頭葉の障害をも検出できることになり、より自覚的視野に近い結果を他覚的に検出し得ることにな

る。しかし、瞳孔視野計は患者の自発的応答の代わりに対光反応を使うもので、刺激の認知の代わりに反射を指標とするという点で自覚的視野計とは大きく異なるものである。すなわち、今まで我々が慣れ親しんできた自覚的視野と質的に異なるものである可能性がある。今回までの結果では、少なくとも暗点などの大きな視野異常は自覚的視野と大きな違いはなかったが、これはこれからの研究課題である。

このように瞳孔視野計は測定の際の問題、この視野計で得られた視野が視路のどの部分を反映したものがはっきりしない点など、まだ多くの問題をはらんでいるが、視野を他覚的に測定する方法として今後の発展が期待できる。

#### 文 献

- 1) **Harrington DO, Drake MV**: Computerized perimeters. In: Klein EA (Ed): The Visual Fields. Text and Atlas of Clinical Perimetry. CV Mosby, St Louis, 35-56, 1990.
- 2) **Heijl A, Krakau CET**: An automatic static perimeter, design and pilot study. Acta Ophthalmol 53: 293-310, 1975.
- 3) **Frisen L**: A computer-graphics visual field screener using high-pass spatial frequency resolution targets and multiple feedback devices. Doc Ophthalmol Proc Se 49: 441-446, 1987.
- 4) **Harms H**: Grundlagen, Methodik und Bedeutung der Pupillenperimetrie für die Physiologie und Pathologie des Sehorgans. Albrecht von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol 149: 1-68, 1949.
- 5) **Bresky R, Charles S**: Pupil motor perimetry. Am J Ophthalmol 68: 108-112, 1969.
- 6) **杉田虔一郎, 杉田雄一郎, 六鹿直視, 高岡淑郎**: 意識障害: 小児の視野計測法—赤外線テレビによる瞳孔反射視野計—. 臨眼 24: 517-523, 1970.
- 7) **榑崎嗣郎, 野口順治**: 視野の他覚的測定に関する研究. 第1報. 視野の他覚的測定装置について. 日眼会誌 76: 1639-1645, 1972.
- 8) **Narasaki S, Kawai K, Kubota S, Noguchi J**: Videopupillographic perimetry and its clinical application. Jpn J Ophthalmol 18: 253-274, 1974.
- 9) **Kardon R, Kirkali P, Thompson H**: Automated pupil perimetry—Pupil field mapping in patients and normal subjects—. Ophthalmology 98: 485-496, 1991.
- 10) **Kardon R**: Pupil perimetry Editorial review. Curr Opin Ophthalmol 3: 565-570, 1992.
- 11) **青山達也**: Pupillographic perimetry—臨床的応用について—. 日眼会誌 81: 1527-1538, 1977.
- 12) **青山達也**: Pupillographic perimetry. 日眼会誌 79: 1247-1255, 1975.
- 13) **永田 啓, 可児一孝**: 他覚的視野検査. 眼科 35: 233-237, 1993.
- 14) **Kondo M, Miyake Y, Horiguchi M, Suzuki S, Tanihara A**: Clinical evaluation of multifocal electroretinogram. Invest Ophthalmol Vis Sci 36: 2146-2150, 1995.
- 15) **Fankhauser F II, Flammer J**: Puptrak 1.0—A new semiautomated system for pupillometry with the Octopus perimeter: A preliminary report. Doc Ophthalmol 73: 235-248, 1990.
- 16) **吉富正常**: 網膜部位別刺激による瞳孔対光反射, 特に半盲性瞳孔硬直について. 日眼会誌 59: 118-133, 1955.
- 17) **Hamann KU, Hellner KA, Muller-Jensen A, Zschoke S**: Videopupillographic and VER investigations in patients with congenital and acquired lesions of the optic radiation. Ophthalmologica 178: 348-356, 1979.
- 18) **Distler C, Hoffmann K**: The pupillary light reflex in normal and innate microstrabismic cats, II: Retinal and cortical input to the nucleus pretectalis olivaris. Visual Neurosci 3: 139-153, 1989.