

## 総 説

## 瞳孔異常と自律神経

北里大学医学部眼科学 助教授

ムク ノ カズ オ  
向 野 和 雄

同 教授

イシ カワ サトシ  
石 川 哲

(受付 平成4年10月27日)

## Pupil and Autonomic Nervous System

Kazuo MUKUNO and Satoshi ISHIKAWA

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Kitasato University

Pupil is round window of the eye and is composed of pupillary sphincter muscle innervated by parasympathetic nerve in excitatory and probably inhibitory by sympathetic nerve, and pupillary dilator muscle innervated by sympathetic nerve in excitatory and inhibitory by parasympathetic nerve. Furthermore trigeminal nerve also concerned in constriction induced by tachykinin (substance P and neurokinin A) related actions. Adrenoreceptors are also present in sphincter and dilator muscles. In the former,  $\alpha$ -receptors are concerned in constriction and  $\beta$  in relaxation, and in the latter  $\alpha$ -receptors are concerned in excitatory.

In the basic topics, direct pathway from midbrain neurons to sphincter muscle and ciliary muscle is also proposed. Various methods of analyses of pupillary light reaction were reviewed i.e.; frequency response analysis, direct and indirect reaction, nasal and temporal stimulation, pupillographic perimetry, sector pupillographic analysis, and analysis of near triad. Furthermore, neuroanatomical substrate of independent action of convergence, accommodation and pupillary constriction was demonstrated. Another pupillary reactions were also introduced.

Pupillary functions in pathological states: Parinaud's syndrome, aberrant regeneration of the 3rd nerve palsy, tonic pupil, Horner's syndrome and pseudophakia (eye with implanted intraocular lens), were demonstrated by quantitative recording of P/A, A/A and light reaction. Trigeminal function seems to be important factor in pupillary function. New portable electronic pupillometer (Irisorder C2514: Hamamatsu Photonics) was introduced.

## はじめに

瞳孔は自律神経の2大要素である副交感および交感神経を直接みることのできる窓ともいえる大切な組織であり、広く基礎的、臨床的立場から検討されている。本項では瞳孔の基礎的知見のトピックスを述べ、次いで病的状況での瞳孔反応を自験例を中心に述べる。

## 1. 瞳孔の解剖、生理、薬理学的特徴

瞳孔は眼球内に入る光の量を調節する、ちょう

どカメラのシボリに相当するものであり、虹彩によって形作られる小円孔である。その働きを行っている構造物(効果器)は瞳孔括約筋と瞳孔散大筋であり、それぞれのバランスによりその大きさを保ち、またそれぞれの収縮、弛緩により縮瞳と散瞳が惹起される。その神経支配は前者は副交感神経により興奮性に、おそらく交感神経により抑制性に(但し、ヒトでは形態学的には存在するが機能的には見出されていない<sup>1)</sup>)、一方後者は交感

神経により興奮性に、副交感神経により抑制性に支配され<sup>2)</sup>、ちょうど二重相反神経支配を受けて、縮瞳は括約筋の興奮と散大筋の抑制、散瞳は散大筋の興奮と括約筋の抑制という大変合理的な機構によりとり行われていると考えられる<sup>3)</sup>。さらに第3の神経系としてウサギの虹彩の研究から三叉

神経を介する、ペプチドであるタキキニン（サブスタンス P, ノイロキニン A など）系の作用が知られ<sup>4)</sup>、虹彩括約筋に作用し、縮瞳特に後期に関与することが判っている（図1）。この系にはプロスタグランジン  $E_1$ 、モルヒネ様物質の影響が明らかかなことから、炎症や運動負荷時にみられる縮瞳にも、ヒトにおいても充分関与していると考えられる。さらにこれら両平滑筋には *adrenoreceptors* が存在しており、括約筋には  $\alpha$  収縮、 $\beta$  弛緩<sup>1)</sup>、一方散大筋でも  $\alpha$  興奮が知られており<sup>2)</sup>、瞳孔に対する  $\alpha$  刺激剤（塩酸フェニレフリン）、 $\alpha$  ブロッカー（サイモキサミン、 $\alpha_1$ -ブナゾシン）、 $\beta$  ブロッカー（チモプトールなど）の作用を考える上で大切である。

## 2. 瞳孔の機能と検査法

### 1) 瞳孔の大きさ

大きさは明るさにより変動する。この瞳孔径は一定の明るさの下では一定の大きさに保たれているとはいえ、*hippus*（瞳孔跳躍）と称される律動的動揺がみられる。さらに一日のうちでも日内変動がサーカディアンリズムのようにみられることも知られている<sup>5)6)</sup>。最近教室の、吉富らも正常人10名について瞳孔の日内変動をみており、過去の報告と同様に日中は小さく、深夜は大きくなる傾向がみられている（なお睡眠中に目を覚まして電子瞳孔計で記録したという条件下である）。また生理的な左右差（瞳孔不同）もみられる。その大きさを測定するために、肉眼、赤外線写真、電子瞳孔計を用いて色々な照明条件下で測定することがで

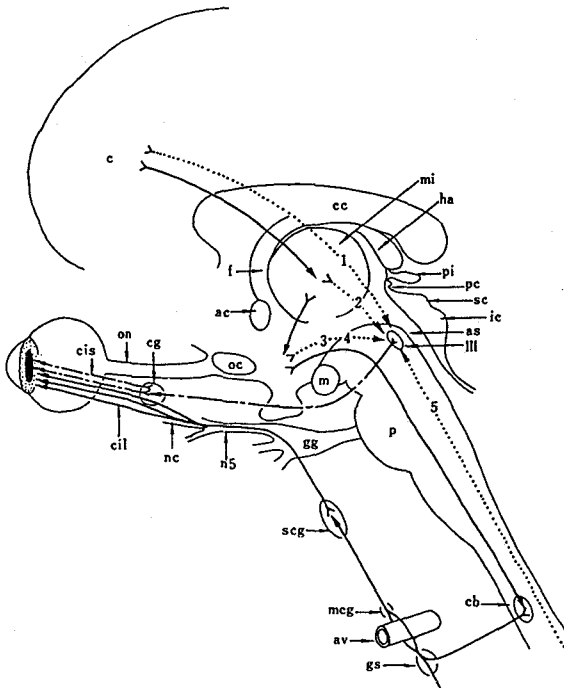


図1 瞳孔神経支配模式図（神経眼科学、医学書院図、181より引用）

—瞳孔散大筋支配の交感神経遠心路、-・-瞳孔括約筋支配の動眼神経遠心路、……瞳孔括約筋核の核上性抑制要素。これは、無数に存在すると考えられるが、想定される主なるものは、1. 大脳皮質→括約筋核。2. 皮質→視床→括約筋核。3. 皮質→視床→視床下部→括約筋核。4. 中脳の網様体から polysynaptic relay を介して、視床下部→括約筋核。5. 知覚神経より網様体中の diffuse afferent system を介して括約筋核。

ac: 前交連, as: 中脳水道, av: 鎖骨下係蹄, c: 大脳皮質, cb: 毛様体脊髄中枢, cc: 脳梁, cg: 毛様神経節, cis: 短毛様神経, cil: 長毛様神経, f: 脳弓, gg: 半月神経節, gs: 星状神経節, ha: 手網核, m: 乳頭体, mcg: 中頸神経節, mi: 中間質, nc: 鼻毛様神経, n5: 三叉神経第1枝, oc: 視交叉, on: 視神経, p: 脳橋, pc: 後交連, pi: 松果体, scg: 上頸神経節, III: 動眼神経核

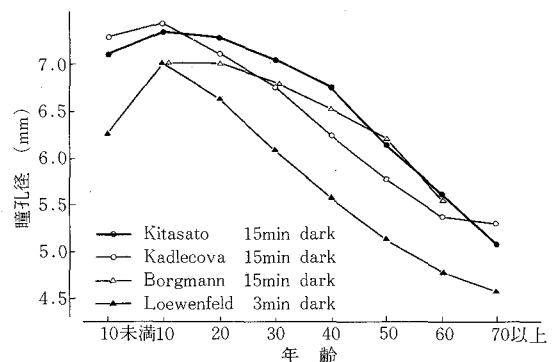


図2 年齢別瞳孔径（文献7より）

きる。私共は70年齢別瞳孔径、反応を分析した(図2)。瞳孔径は10代で最も大きく、それ以降次第に縮瞳しており、外国人の報告とほぼ一致する。この老人における縮瞳について力学的解析により、交感神経系の選択的障害による相対的副交感神経優位がその一因となることが報告されている<sup>8)</sup>。その他核上性抑制の減少も関与していよう。

## 2) 瞳孔反応

### (1) 対光反応

#### a. 対光反応とその経路

瞳孔反応の一番大切な働きは光が当たると縮瞳するという対光反応であり、その現象を電子瞳孔計(イリスコーダー<sup>9)10)</sup>で記録すると図3のごとく、光刺激、潜時、縮瞳、散瞳という動きがみられる<sup>7)</sup>。この対光反応の入力系経路は図4のごとく、網膜神経節細胞のうち、X、Y細胞とは異なるW細胞により、視蓋前域核(視蓋前域オリブ核など)に伝えられ、次いで動眼神経自律神経核(E-W核、前正中核)に伝えられ、そこからの出力は動眼神経、毛様神経節を介し(ここでシナプスを介して、ノイロンをかえ)瞳孔括約筋、一部散大筋に達し、縮瞳がみられる(図3のT<sub>3</sub>まで)。しかし最近毛様

神経節でシナプスを介さずノイロンをかえず直接中脳ノイロンが効果器に達する“direct pathway”の存在がネコ<sup>11)12)</sup>、サル<sup>12)</sup>で示されており、中脳病変、Fisher症候群、動眼神経麻痺、瞳孔緊張症などの瞳孔、調節系の変化について分析する場合この知見は広く用いられるべきものと考えられる。

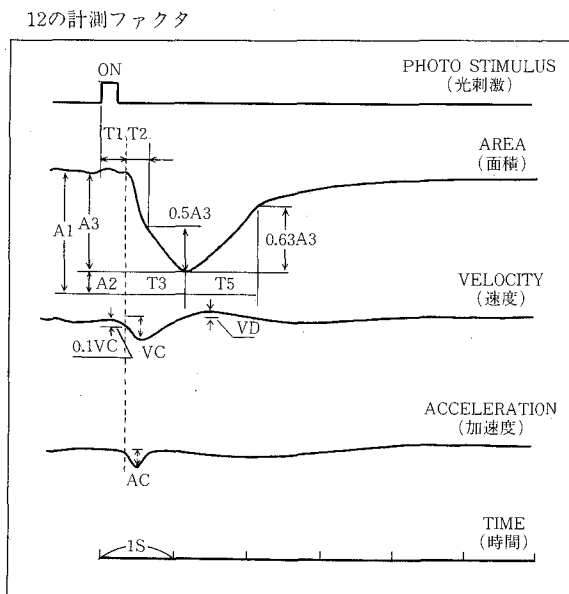
次で括約筋の弛緩と共に交感神経系が興奮し、散瞳がみられることとなる(図3の散瞳相、T<sub>5</sub>)。この経路は視床下部—毛様脊髄中枢(C<sub>8</sub>, T<sub>1,2</sub>)—上頸部神経節—瞳孔散大筋(一部括約筋—抑制性)へと至る。

#### b. 対光反応の種々なる分析

##### i) 周波数応答

これら対光反応に対しても小脳の関与が知られており、小脳破壊では周波数特性が著しく高周波特性が悪くなり、位相遅れが著しくなることが見出されている<sup>13)</sup>。さらに小脳核刺激で散瞳をみており散大系を介しての現象、また一方縮瞳系の抑制によることも考えられている<sup>14)15)</sup>。このように小脳はこれら対光反応系にも適応制御系の中で補償回路の役割を果していると考えられている。

##### ii) 直接、間接反応はほぼ均等とされている



- A1: 初期状態の瞳孔面積値 (mm<sup>2</sup>)  
 A2: 光刺激後の最小縮瞳面積値 (mm<sup>2</sup>)  
 A3: 光刺激後の変化瞳孔面積値 (mm<sup>2</sup>)  
 CR: 縮瞳率 A3/A1  
 D1: 初期状態での瞳孔直径<sup>①</sup> (mm)  
 T1: 光刺激から縮瞳開始までの時間<sup>②</sup> (msec)  
 T2: 変化面積の1/2まで変化するのに要した時間 (msec)  
 T3: 瞳孔が最小になるまでに要した時間 (msec)  
 T5: 瞳孔が最小から散瞳して、最小値の63%まで回復するのに要した時間 (msec)  
 VC: 縮瞳速度の最高値 (mm<sup>2</sup>/sec)  
 VD: 散瞳速度の最高値 (mm<sup>2</sup>/sec)  
 AC: 縮瞳の加速度最高値 (mm<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup>)

分析される12のファクターを示す。

図3 電子瞳孔計による対光反応の波型と12の計測ファクター(パラメーター)

が詳細に検討してみると<sup>16)</sup>、直接反応の方がわずかに大きく、また鼻側、耳側刺激では鼻側刺激の方が大きな反応となり<sup>17)</sup>、視交叉での交叉線維53%という研究と対応すると視蓋前域オリブ核から交叉して動眼神経縮瞳核に入る入力系は非交叉よりも多いと考えられることとなる。

### iii) Pupillographic perimetry

単純に考えると外側膝状体より中枢性視路障害による半盲側への光刺激による瞳孔反応は、障害されないと考えられていた。その説明として対光反応の入力線維は図4のごとくW細胞より発した線維が視索の約2/3の途中から上丘腕を経て視蓋前域オリブ核に入るため、上記の病変では障害されないとするものであった。しかし事実はそれから視放線、後頭葉病変による半盲例で明らかな半盲性瞳孔強直が見出されている<sup>18)19)</sup>。このための説明はまだ納得できるものではなく、逆行性trans-synaptic変性による瞳孔反応入力細胞への影響、皮質からの抑制系の上丘系への脱抑制に基づく対光反応への影響などがいわれている。今後

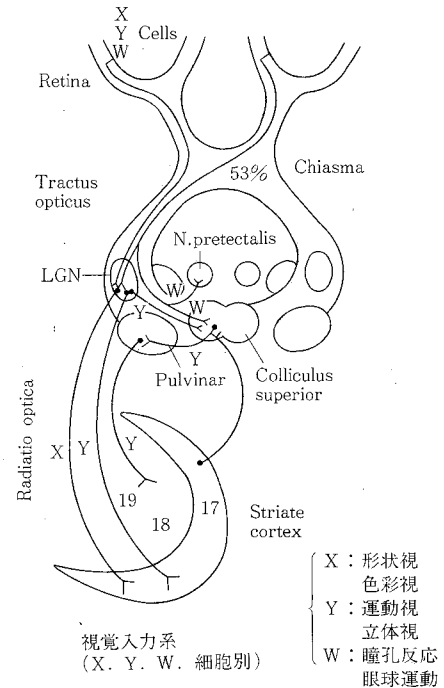


図4 視覚入力系の模式  
W細胞は対光反応入力系。

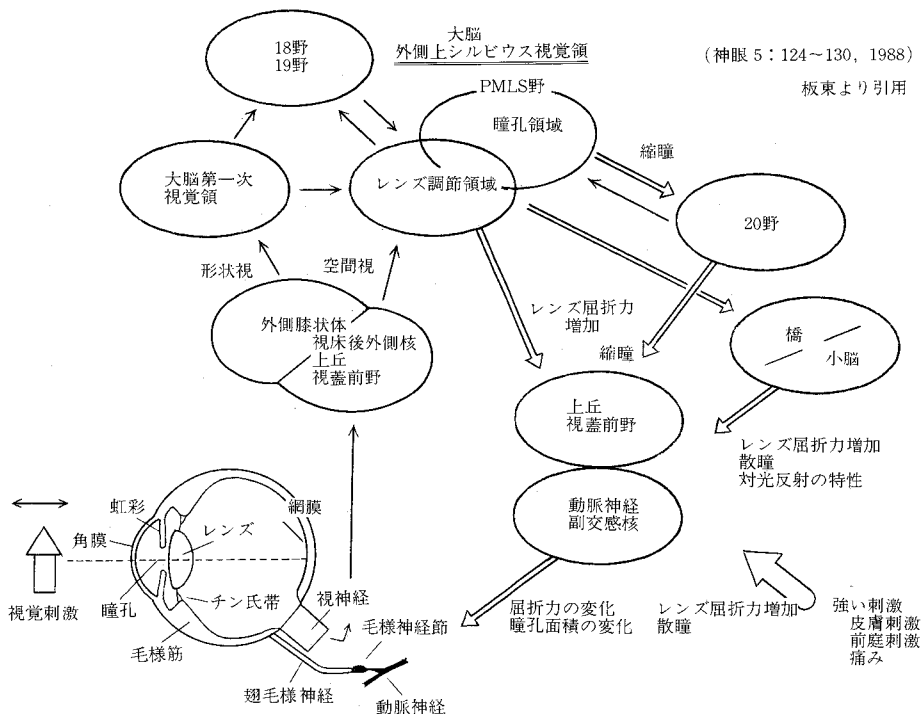


図5 調節の神経解剖 (文献21坂東より)



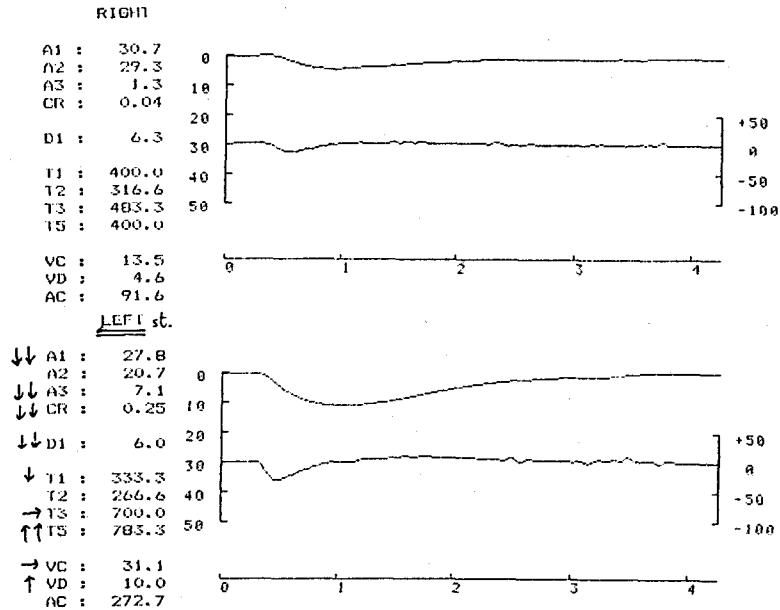


図7 Parinaud 症候群の対光反応  
右眼反応の方がより著明に減弱。

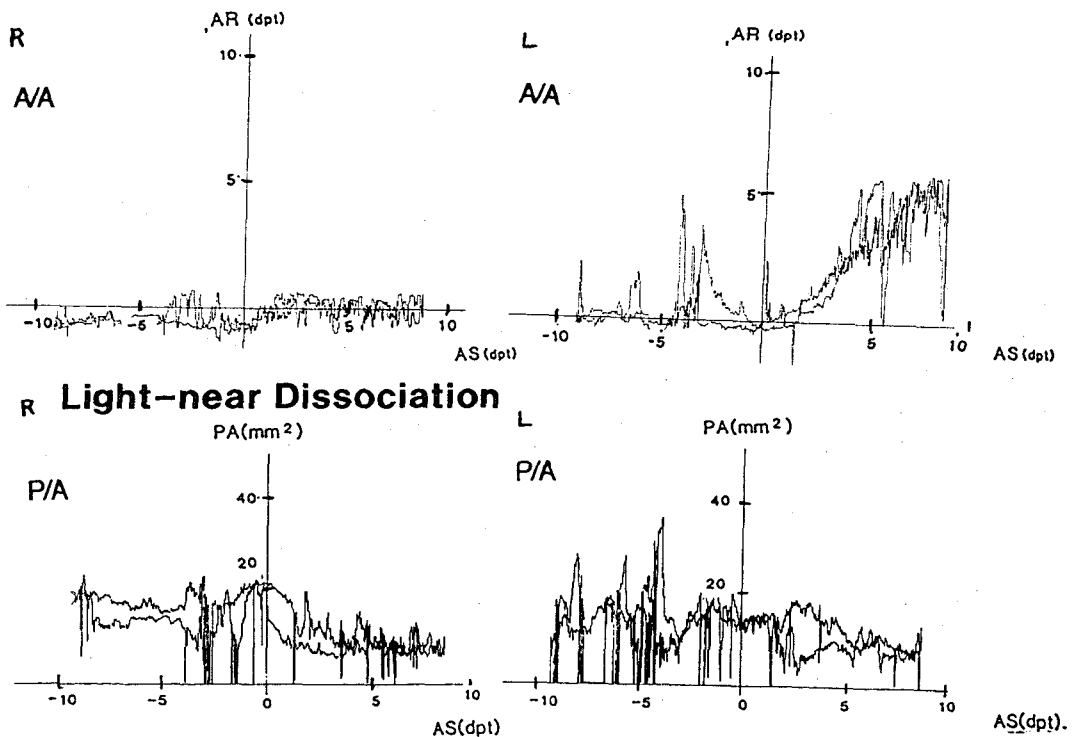


図8 図7 症例の準静的調節刺激による調節反応 (A/A) および調節刺激による縮瞳 (P/A)  
右眼調節刺激による縮瞳はほぼ正常に保たれている。図7に合わせ light-near dissociation が示されている。

バセドウ病眼瞳孔について edge light pupillary oscillation を用いて記録分析し、長期例ほど、また眼症のみ（機能正常化）の例で、その対光反応による oscillation が小さく遅くなることが示された<sup>32)</sup>。甲状腺機能異常で虹彩の adrenoreceptor の変化が知られており<sup>33)</sup>、その点からも大変興味ある所見である。

脳死の瞳孔についても詳細な検討を行い<sup>34)35)</sup>、脳死では4~6mmの大きさに固定してくることが大部分であり、一部には縮瞳例もみられた。Oval pupil は回復例に比しその出現頻度が高く(36%)、予後不良の所見であることがわかった<sup>36)37)</sup>。

## 2) 各論

### (1) Parinaud 症候群

本症は松果体部胚芽腫、中脳吻部病変（動静脈奇形、腫瘍、梗塞）にみられ、垂直注視麻痺などに伴って視蓋瞳孔（tectal pupil）として散瞳、対光反応遅鈍～消失、輻輳反応保存の light-near dissociation が特徴である。この例は対光反応の減弱（右>左）がみられ（図7）、それと比し輻輳反応 P/A（図8左下段）は保たれており、右眼の調節力（A/A）は右がほとんど消失している<sup>38)</sup>（図

8左上段）。このように対光反応、輻輳反応・調節が定量的に記録分析できるようになり、中脳の自律神経機能が微細な変化迄検出できるようになっている。

### (2) 動眼神経麻痺後の迷入再生（異常神経支配）<sup>39)</sup>

図9は左外傷性動眼神経麻痺後の迷入再生例である。左対光反応は消失しているが P/A で示す輻輳反応はほぼ出現し、内直筋神経枝の迷入が証明された（偽アーガイル・ロバートソン瞳孔）。調節も著しく減弱している（A/A）。次いで0.125%ピロカルピン点眼40分後に P/A、A/A を再検するところのうすい濃度（脱神経過敏を検査する）の点眼薬で縮瞳とわずかの近視化がみられている。縮瞳は有意な変化であり節前麻痺での脱神経過敏性獲得がみられている<sup>40)</sup>。

### (3) 瞳孔緊張症，Adie 症候群

瞳孔緊張症は対光反応消失または減弱と緊張性（tonic），一方輻輳反応は比較的保たれ tonic であることを特徴とし、詳細にみると瞳孔分節状収縮がみられる。2.5%メコリール点または0.125%ピロカルピン点という正常眼では反応しない濃度で縮瞳することから、また病理学的知見より、毛様

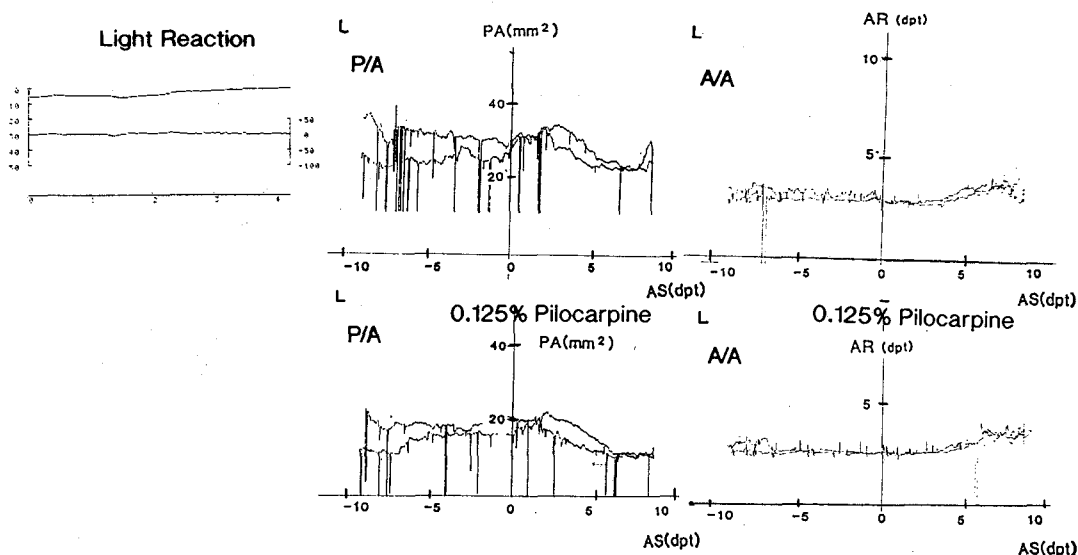


図9 左外傷性動眼神経麻痺後の迷入再生例

対光反応はほぼ消失、調節刺激による縮瞳は比較的保たれている（偽アーガイル・ロバートソン瞳孔）ことより light-near dissociation がみられる。同時に調節反応（A/A）も著明に低下している。

神経節～節後性の病変が考えられている。しかし調節の早期障害例がみられるなど節前～中脳（中枢性）の病変の可能性も示唆されており<sup>41)</sup>、E-W核とその抑制系（コリン性）を含む部位の病変も否定できない(図10)。両側性で発汗異常の伴う例はRoss症候群として報告されており、発汗は交感神経支配であるがアセチルコリン軸索反射の消失がいわれており、節後ないし節前が異常とされ、さらに交感神経系の異常も加わる広い病変が指摘されている<sup>42)</sup>。

#### (4) ホルネル症候群

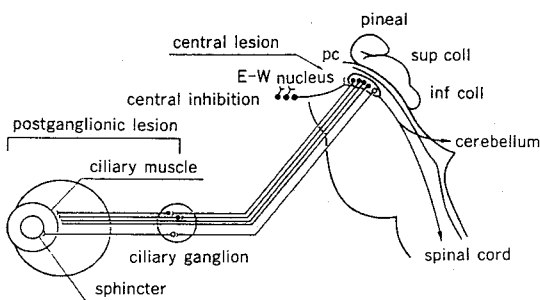


図10 Adie 症候群の病変部位を考えるための模式図  
節前～中枢性の可能性を示す。

瞳孔散大筋を支配する交感神経の障害はホルネル症候群として知られる。図11は右上頸部交感神経節前での腫瘍摘出によるホルネル症候群の対光反応を示す。このデータからも交感神経系のパラメーターは  $T_5$  (63%散瞳時間)の延長であることが再確認された。今一つVC(縮瞳最高速度)の増加(速くなる)がみられ、注目される。縮瞳に際して括約筋の興奮、散大筋の抑制が同時に起こることになるが、散大筋はすでに十分抑制されていることもこの速度増加(正常よりも)の理由とも考えられる。今1例46歳女性の内分泌性眼症(甲状腺機能亢進症)の左上瞼後退症に対し5%イヌメリン(グアネジン)点眼を行い薬物的ホルネル症候群(神経末端よりノルアドレナリンを放出させてしまう)を作ったの瞳孔反応(図12)も全く同様の特徴を有している。したがってVCの増加というパラメーターにも注目したい。

#### (5) 人工水晶体移植後の瞳孔動態

我が国の人口構成も老人が増え21世紀には1/3が60歳以上となるといわれている。70歳以上になると誰でも白内障の出現、場合によっては視力低下、手術が必要となることとなる。その方法として近

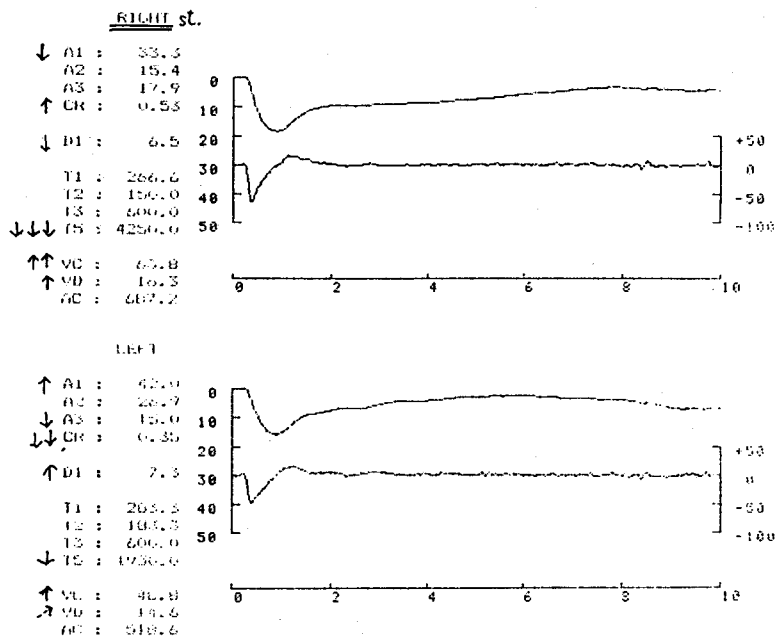


図11 右節前ホルネル症候群(術後性)の対光反応。T5延長とVC増加がみられる。

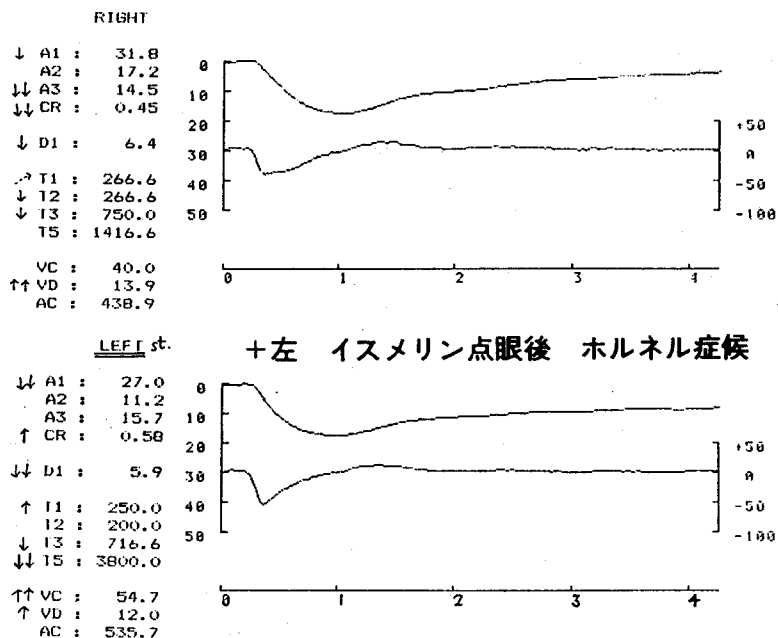


図12 内分泌性眼症，左眼イスマリン点眼後ホルネル症候群の対光反応  
図11と同様の特徴。

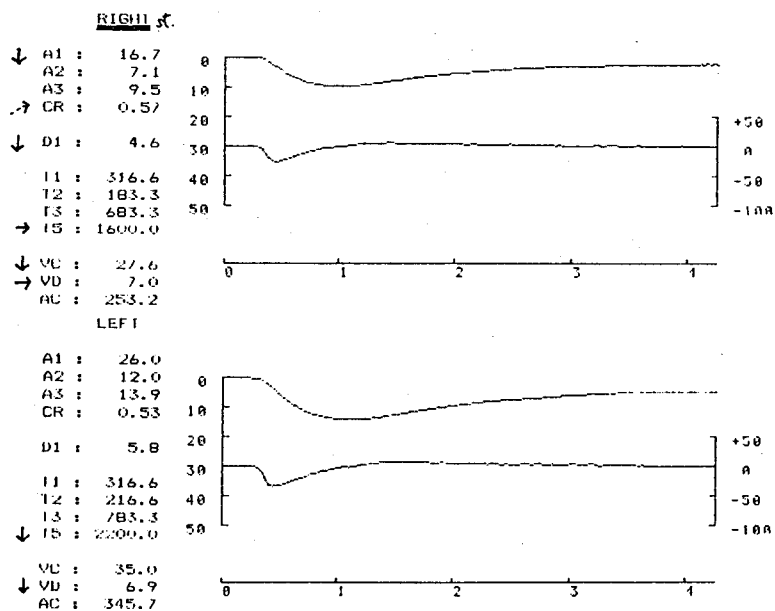


図13 右人工水晶体移植眼の対光反応

術眼（右眼）にはもちろん非術眼（左眼）にも影響が出現，三叉神経などを介する交感反応などの可能性を考える必要がある。

年, ほぼこの10数年来, 応用されている人工水晶体移植術が, 1992年4月より保険医療として広く行えることとなった。はたしてこの人工水晶体の眼内移植は生体に対して長期にわたって影響はないものであろうか, この問題を精密に捉え分析する方法として瞳孔反応を用いて分析する方法が取り上げられている<sup>(43)(44)</sup>。移植眼の瞳孔は小さくなり反応の程度の低下, さらに非手術眼における反応をみることができる点は極めて重要な点である。事実軽い縮瞳,  $T_s$ , VDの低下が交感性反応による散大の低下を示唆している(図13)。すなわち, 自律神経と三叉神経を介する反応が微妙に出現していることが考えられており, 今後瞳孔反応を用いるこれらの臨床研究は大変重要となると考えられる。

これらの瞳孔反応分析に三叉神経からの影響をうまく取り出せるパラメーターを見つける必要性が痛感される。

#### (6) その他の種々の病態における瞳孔反応

上述の他 VDT 作業による VDT 症候群における近見反応の分析<sup>(45)</sup>, 星状神経節ブロックの影響<sup>(46)</sup>, 群発頭痛における瞳孔反応<sup>(47)</sup>, 青錐体1色型色覚(全色盲)における暗黒での縮瞳<sup>(48)</sup>, など大変重要な研究が興味を引く。

#### 3) その他の検査法など

視神経障害など求心路障害についての検査法として瞳孔反応を用いる方法が大変有用であり, 別報49, 50, 51を参照いただきたい。Marcus Gunn 瞳孔, Swinging flashlight test, Escape などが定量的に検出できるようになっている。

また近見反応の3要素を簡便に記録できるビデオレフラクション法も次第に臨床応用が可能となりつつあり教室の鵜飼ら<sup>(52)</sup>が報告している。またポータブル型電子瞳孔計(イリスコーダーC2514: 浜松ホトニクス)が開発されたことで簡便に利用が可能となると期待される。

#### おわりに

瞳孔は自律神経のバランスによってその状態を保つと共に三叉神経, その他の入力により微妙にコントロールされている。一方病態になるとあらゆる病態が瞳孔に出現すると考えても過言ではな

い。特に神経系に関するものでは何らかの形で瞳孔に現れると考えて日常の臨床において“ひとみ”をみていただけると大変有力な情報が与えられると思われる。1991年から保険でもやっと独立して瞳孔点眼テスト, また1992年からイリスコーダーによる動的検査にも保険が認められ, このように極めて大切な窓が明けられたことになった。本稿が少しでも日常の研究, 臨床のヒントとなればと思いつつ日頃考えていることを自験のデータをまじえて総説的に述べた。

#### 文 献

- 1) Yoshitomi T, Ito Y: Functional innervation and contractile properties of the human iris sphincter muscle. *Exp Eye Res* 46: 979-986, 1988
- 2) Yoshitomi T, Ito Y, Inomata H: Adrenergic excitatory and cholinergic inhibitory innervations in the human iris dilator. *Exp Eye Res* 40: 453-459, 1985
- 3) Yoshitomi T, Ito Y: Double reciprocal innervations in the dog iris sphincter and dilator muscles. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27: 83-91, 1986
- 4) 藤原元始: 瞳孔括約筋のタキキニン性伝達。自律神経 23: 333-336, 1986
- 5) 内海 隆, 石川 哲, 木村 徹: 両眼同時記録赤外線電子瞳孔計による瞳孔運動の日内変動について。神経進歩 20: 977-979, 1976
- 6) 内海 隆, 大西洋一郎, 橋本忠男: Open loop 赤外線電子瞳孔計による瞳孔反応の日内変動について。神経進歩 22: 615-623, 1978
- 7) 長谷川幸子, 石川 哲: 正常対光反応の加齢による変化。日眼会誌 93: 955-961, 1989
- 8) 東 長人: 瞳孔径決定因子の力学的解析—老人性縮瞳の機序について—。北里医学 19: 541-545, 1989
- 9) 石川 哲: 瞳孔記録計の最近の進歩とその応用。神経進歩 29: 720-734, 1985
- 10) 石川 哲: 新しい双眼電子瞳孔計(イリスコーダーC2515)。神経眼科 3: 235-240, 1986
- 11) 種本康之, 宇賀茂三, 向野和雄ほか: ネコ内眼筋支配副交感神経経路—中脳-眼球間における direct pathway の存在—。日眼会誌 98: 1380-1389, 1988
- 12) 木村真也: 中脳から毛様体筋への副交感神経直接線維—ネコ及びサルにおける神経解剖学的研究—。日眼会誌 95: 1031-1036, 1991
- 13) 塚原伸晃: 瞳孔と小脳。神経進歩 29: 765-774, 1985

- 14) **Ijichi Y, Kiyohara T, Hosoba M et al**: The cerebellar control of the pupillary light reflex in the cat. *Brain Res* 128: 69-79, 1977
- 15) **Hultborn H, Mori K, Tsukahara N**: Cerebellar influence of parasympathetic neurones innervating intra-ocular muscles. *Brain Res* 159: 269-278, 1978
- 16) 白川慎爾, 難波龍人, 石川 哲: 瞳孔の直接および間接反応について. *神経眼科* 1: 87-91, 1984
- 17) **Cox TA, Drewes CP**: Contraction anisocoria resulting from half-field illumination. *Am J Ophthalmol* 97: 577-582, 1984
- 18) 青山達也: Pupillographic Perimetry—臨床的応用について—. *日眼会誌* 81: 1527-1538, 1977
- 19) **Hamann K-U, Hellner KA, Müller-Jensen A et al**: Videopupillographic and VER investigations in patients with congenital and acquired lesions of the optic radiation. *Ophthalmologica* 178: 348-356, 1979
- 20) 関谷治久: 瞳孔の部位別反応の解析. あたらしい眼科 8: 957-960, 1991
- 21) 板東武彦: 調節の神経解剖. *神経眼科* 5: 124-130, 1988
- 22) **Hiraoka M, Shimamura M**: The midbrain reticular formation as an integration center for the 'near reflex' in the cat. *Neuroscience Res* 7: 1-12, 1989
- 23) **Ishikawa S, Sekiya H, Kondo Y**: The center for controlling the near reflex in the midbrain of the monkey: A double labelling study. *Brain Res* 519: 217-222, 1990
- 24) 大野新治, 真崎浩見, 川野庸一: 聴覚および本性感覚誘発瞳孔反応. *日眼会誌* 88: 371-380, 1984
- 25) **Young RSL, Clavdetscher JE, Teller DY**: Screening of red-green color-deficient observers using the chromatic pupillary response. *Clin Vision Sci* 2: 117-122, 1987
- 26) **Ukai K**: Spatial pattern as a stimulus to the pupillary system. *J Opt Soc Am A* 2: 1094-1100, 1985
- 27) **Tobimatsu S, Shidoji K, Matsunaga K et al**: Changes in pupillary diameter to checkerboard pattern-reversal stimulation. *Clin Vision Sci* 5: 427-431, 1990
- 28) 向野和雄: 瞳孔異常の見方. *臨床眼科* 45: 39-41, 1991
- 29) 山崎篤巳, 石川 哲: Open loop における瞳孔対光反応の研究. 正弦波刺激による瞳孔の周波数特性について. *日眼会誌* 79: 1238-1246, 1975
- 30) 石川 哲, 林 正雄: 瞳孔異常の機序と治療. *神経内科治療* 3: 215-221, 1986
- 31) 向野和雄, 難波龍人, 坂本則敏: 糖尿病とニューロパチー, 特に眼球運動障害. (診断と治療). *眼科 Mook* 46: 213-222, 1991
- 32) **Higashi JT, Ishikawa S, Mukuno K et al**: Pupillary analyses in Graves' disease. *Jpn J Ophthalmol* 26: 213-223, 1982
- 33) **Matheny JL**: Adrenergic responsiveness in vitro of iris dilator muscle from rabbits with experimentally induced thyroid disorders. *Exp Eye Res* 30: 13-18, 1980
- 34) 辻沢宇彦, 向野和雄, 石川 哲: 脳死と瞳孔. *自律神経* 26: 63-70, 1989
- 35) 藤田 哲, 石川 均, 辻沢宇彦ほか: 脳死における瞳孔の役割. *臨床眼科* 45: 541-543, 1991
- 36) **Fisher CM**: Oval pupils. *Arch Neurol* 37: 502-503, 1980
- 37) 寺尾心一, 石川作和夫, 青木はつ江ほか: 中脳性瞳孔偏位の臨床病理学的検討—その発現機序と症候学的意義について—. *臨床神経* 31: 135-141, 1991
- 38) 土屋邦彦, 鶴飼一彦, 石川 哲: 調節準静的特性記録時の瞳孔反応同時測定. *日眼会誌* 92: 336-343, 1988
- 39) 向野和雄, 大野新治, 井上恭彦ほか: 動眼神経麻痺経過中にみられる異常連合運動—その9症例と外眼筋筋電図検査の必要性について—. *眼紀* 22: 566-580, 1971
- 40) 大野新治, 向野和雄: 動眼神経麻痺の経過中にみられる瞳孔の異常連合運動について. *臨床眼科* 27: 229-239, 1973
- 41) 向野和雄, 種本康之: Adie 症候群—瞳孔緊張症+良性腱反射消失. *Clin Neurosci* 7: 730-732, 1989
- 42) 磯野 理, 北 耕平, 福武敏夫ほか: 瞳孔緊張症を伴う無汗症 (Ross 症候群)—その自律神経病変の広がりについて—. *自律神経* 26: 55-62, 1989
- 43) 安藤秀夫, 海谷忠良, 中村泰久ほか: 人工水晶体移植術後の瞳孔動態—双眼イリスコーダ C2515を用いて—. *眼紀* 41: 681-687, 1990
- 44) 宛坂法文, 奥 英弘, 菅澤 淳ほか: 白内障手術の他眼瞳孔反応に及ぼす影響. 第1報. 対光反応異常について. *日眼会誌* 96: 645-651, 1992
- 45) **Ishikawa S**: Examination of the near triad in VDU operators. *Ergonomics* 33: 787-798, 1990
- 46) 丸木雄一, 島津邦雄, 濱口勝彦: 瞳孔反応に及ぼす星状神経節ブロックの影響—Open-loop videopupillographyを用いた検討—. *自律神経* 22: 40-45, 1985
- 47) 浅野賀雄: 群発頭痛における瞳孔反応. *神経眼科* 5: 178-185, 1988
- 48) **Sobol WM, Kimura AE, Kardon RH et al**: Pupillary constriction to darkness in a patient with blue-cone monochromatism. *J Clin Neuro-ophthalmol* 11: 53-54, 1991

- 49) 石川 哲：瞳孔検査の最近の進歩—求心路の障害  
と新しい瞳孔計—, 自律神経 23: 242-247, 1986  
50) 白川慎爾, 石川 哲：最近の瞳孔計測法, 神経内  
科 29: 229-235, 1988  
51) 辻澤宇彦, 石川 哲：瞳孔運動検査法, 眼科

- Mook** 43: 90—100, 1990  
52) 香取順子, 小町祐子, 鷗飼一彦ほか：ビデオレフ  
ラクション法による両眼調節静特性の測定, 眼臨  
医報 86: 1473-1477, 1992